Escuela Politécnica Superior de Jaén

Grado en Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

INGENIERÍA GRÁFICA Y ANÁLISIS DESDE LA INGENIERÍA MECÁNICA DE INVENCIONES HISTÓRICAS ESTACIONARIAS DE HENRY MUNCASTER ACCIONADAS POR VAPOR DE AGUA

Alumna: José Francisco Gutiérrez Antúnez

Tutor: Prof. Dr. D. José Ignacio Rojas Sola
Dpto.: Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos

Junio, 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: MODELADO TRIDIMENSIONAL Y ANÁLISIS DESDE LA NGENIERÍA MECÁNICA DE INVENCIONES HISTÓRICAS ACCIONADAS POR VAPOR DE AGUA, que presenta JOSÉ FRANCISCO GUTIÉRREZ ANTÚNEZ, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, JUNIO de 2023

El alumno: El tutor:

JOSÉ FRANCISCO GUTIÉRREZ ANTÚNEZ JOSÉ IGNACIO ROJAS SOLA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 3
1.1. ENTORNO DE LA INVESTIGACIÓN 3
1.2. OBJETIVOS 3
2. MATERIAL Y MÉTODOS 4
2.1. SOFTWARE DE MODELADO 3D Y ENSAMBLAJE: INVENTOR PROFESSIONAL 2023 4
2.1.1. Modelado 3D 4
2.1.2. Ensamblaje 12
2.2. SOFTWARE PARA LA DOCUMENTACIÓN: AUTOCAD MECHANICAL 2023 24
2.3. SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS ESTÁTICO: INVENTOR NASTRAN 2023 50
2.4. SOFTWARE PARA RECREACIÓN VIRTUAL: INVENTOR STUDIO 2023 71
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 77
3.1. INGENIERÍA GRÁFICA: MODELADO TRIDIMENSIONAL Y DOCUMENTACIÓN GRÁFICA 77
3.1.1. Invención 1: Motor marino vertical compuesto de dos cilindros 78
3.1.2. Invención 2: Motor de un solo cilindro tipo ‘Saltamontes’ 162
3.2. INGENIERÍA ASISTIDA POR ORDENADOR: ANÁLISIS ESTÁTICO POR ELEMENTOS FINITOS 246
3.2.1. Invención 1. Motor marino vertical compuesto de dos cilindros 251
3.2.2. Invención 2: Motor de un solo cilindro tipo ‘Saltamontes’ 275
3.3. RECREACIÓN VIRTUAL 295
3.3.1. Invención 1: Motor marino vertical compuesto de dos cilindros 295
3.3.2. Invención 2: Motor de un solo cilindro tipo ‘Saltamontes’ 302
4. CONCLUSIONES 306
5. BIBLIOGRAFÍA 309
6. ANEXO: PLANOS 310

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ENTORNO DE LA INVESTIGACIÓN

Este TFG se ha desarrollado en el seno de una Beca de Colaboración con los Departamentos Universitarios financiada por el Ministerio de Educación y Formación Profesional del Gobierno de España en la convocatoria del año 2022.

El proyecto de colaboración planteado se desarrolla 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.

1.2. OBJETIVOS

Los objetivos concretos perseguidos por el presente TFG son:

1. Manejo de bibliografía relacionada [1-4].
2. Modelización CAD 3D de las dos invenciones históricas [7,8] a partir de la información recopilada en sus respectivos expedientes, así como la obtención de su documentación gráfica (planos de conjunto, planos de despiece y perspectivas estalladas).
3. Realización de análisis estático mediante elementos finitos (FEA) de ambas invenciones históricas.
4. Realización de una recreación virtual que muestre sus funcionamientos.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

En este apartado se va a describir la metodología seguida, así como el software utilizado para cada uno de los estudios realizados a las invenciones de Henry Muncaster [1]. Henry Muncaster fue un ingeniero inglés que nació en la segunda mitad del siglo XIX, experto en todo lo relacionado con las máquinas de vapor, y que desarrolló su trabajo en la industria de la minería, del carbón, acero y grandes instalaciones de bombeo. En 1912 publicó un libro donde presentaba 8 ingenios estacionarios accionados por vapor [2].

2.1. SOFTWARE DE MODELADO 3D Y ENSAMBLAJE: INVENTOR PROFESSIONAL 2023

2.1.1. Modelado 3D

El software utilizado para recrear las piezas en 3D, así como su posterior ensamblaje, es Autodesk Inventor Professional 2023 [3]. Se trata de un programa CAD (Computer-Aided Design), bastante utilizado para el diseño mecánico de productos y/o piezas, que permite crear modelos tridimensionales de gran precisión y de forma paramétrica. Además, mediante uno de los módulos que posee este programa, que posteriormente será descrito, se pueden unir piezas y establecer relaciones, así como restricciones de movimiento entre ellas, es decir, obtener un conjunto compuesto por varios elementos, mediante el ensamblaje de los mismos.

Una vez inicializado el programa (Ilustración 1), aparece esta interfaz donde se pueden elegir cada una de las opciones posibles.

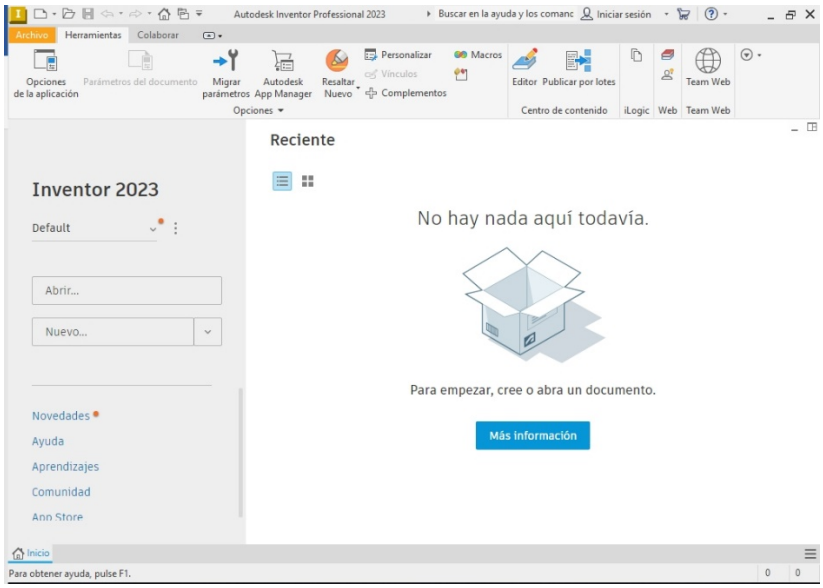


Ilustración 1. Pantalla inicial de Autodesk Inventor Professional 2023.

Seleccionando la opción 'Nuevo', aparecerá una nueva ventana (Ilustración 2), con los módulos del programa.

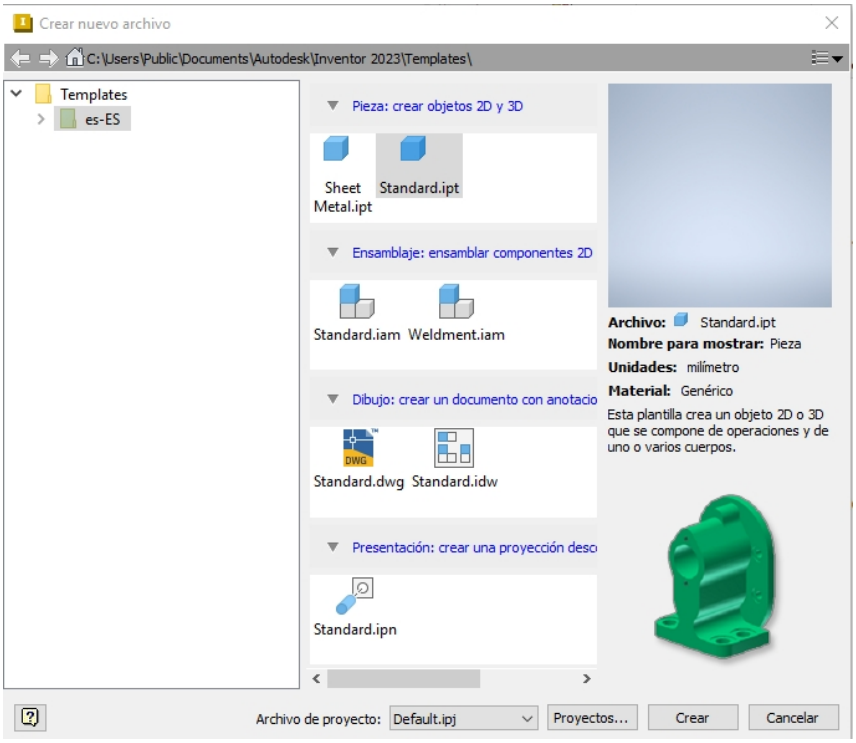


Ilustración 2. Crear nuevo archivo.

Las opciones mostradas son las siguientes:

- **Pieza:** con esta opción se pueden crear bocetos en dos dimensiones, y, posteriormente, mediante el uso de unas determinadas operaciones (extrusión), obtener el modelo tridimensional.
- **Ensamblaje:** la función de este módulo es relacionar dos o más piezas mediante relaciones y restricciones de movimiento. De esta manera, se crea un equipo, máquina, etc., compuesto de varios elementos.
- **Dibujo:** permite crear planos de las piezas modeladas y ensamblajes, con las cotas necesarias para que quede perfectamente definido el plano, así como el listado de piezas correspondientes al ensamble, y el cuadro de rotulación.
- **Presentación:** se puede obtener una simulación con movimientos de mecanismos, trayectorias para el despiece y vistas instantáneas.

Para comenzar, habría que modelar las piezas y posteriormente, ensamblarlas con las correspondientes restricciones. Por ello, se comienza seleccionando la opción 'Pieza>Standard', apareciendo un entorno (Ilustración 3) donde se puede dar comienzo al modelado.

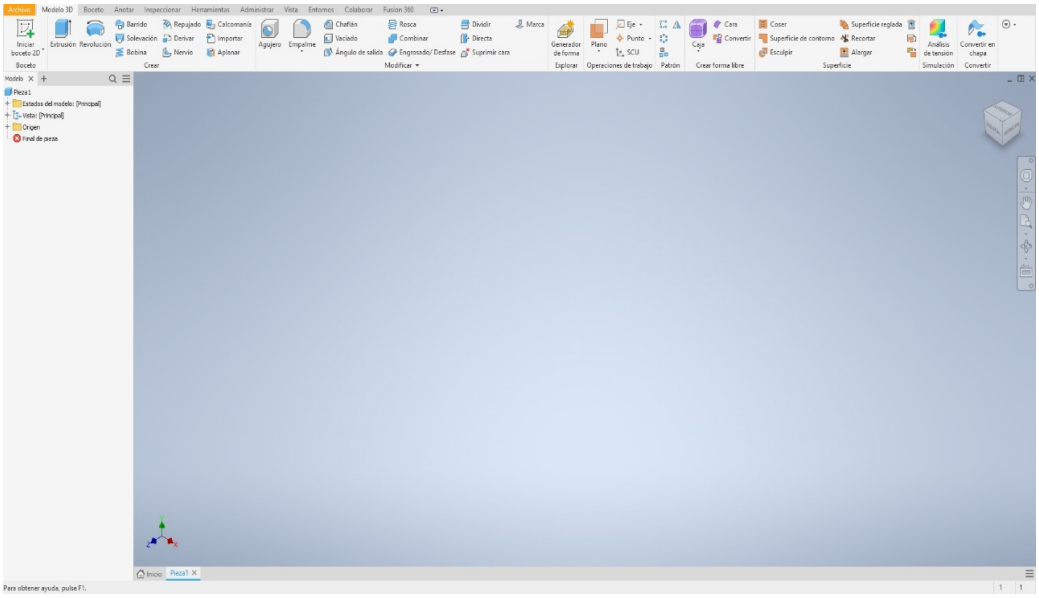


Ilustración 3. Entorno para creación de modelos.

En esta primera ventana inicial tras seleccionar la opción anteriormente nombrada, se pueden destacar varios elementos que resultan de gran interés para el modelado de piezas, ya que permiten una rápida interacción con el modelo, además de una mayor velocidad a la hora de realizar las diferentes operaciones.

En la esquina superior derecha (Ilustración 4), aparece el denominado cubo de vistas, a partir del cual se podrá explorar cada una de las vistas de la pieza, así como aristas y vértices, con tan sólo clicar sobre la cara, arista o vértice correspondiente del cubo.

Ilustración 4. Cubo de vistas.

La barra de navegación (Ilustración 5), o también llamada cinta de opciones, está situada en la parte superior de la ventana inicial. A través de ella se puede acceder a las distintas herramientas que tiene el programa, en función de la fase de diseño (las herramientas y operaciones de diseño no son iguales para boceto que para modelado).

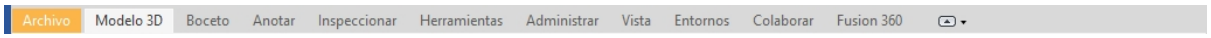


Ilustración 5. Cinta de opciones.

Se observa cada una de las opciones posibles en la barra de navegación, siendo éstas: Modelo 3D, Boceto, Anotar, Inspeccionar, Herramientas, Administrar, Vista, Entornos, Colaborar y Fusion 360. En función del módulo en el que se encuentre, las operaciones que aparecen en la barra de navegación, serán unas u otras.

Una vez en el interior de algún módulo de la cinta de opciones, si se pulsa el botón derecho del ratón, aparecerá el denominado menú de marcado (Ilustración 6), a través del cual, se puede seleccionar cualquiera de las operaciones disponibles sin necesidad de buscarlas en la barra de herramientas. Es obvio, que, para cada fase de diseño, las opciones del menú de marcado varían. Esta es una herramienta que permite al usuario del software ir con una mayor velocidad en cada fase de diseño del producto.

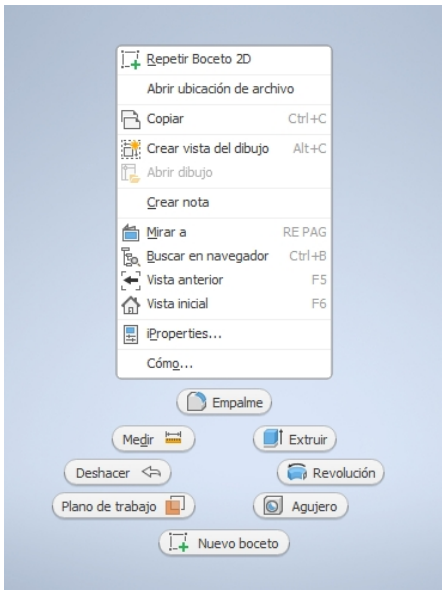


Ilustración 6. Menú de marcado de Modelo 3D.

El primer paso para poder obtener el modelado de una pieza o producto, es realizar un croquis. Para ello, se puede seleccionar la opción 'Iniciar boceto 2D' (Ilustración 7). Se encuentra en la parte superior izquierda de la pantalla, y puede pulsarse dicha opción ya sea desde la barra de herramientas de Modelo 3D, como desde boceto.

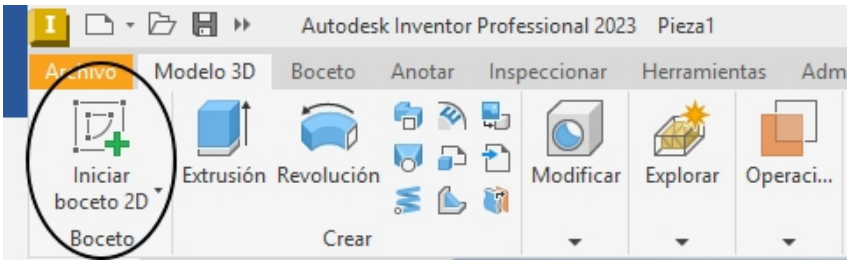


Ilustración 7. Opción de Iniciar boceto 2D.

Una vez seleccionada esta opción, se carga en pantalla los tres planos cartesianos (Ilustración 8), y se debe pulsar sobre aquél que se desea croquizar.

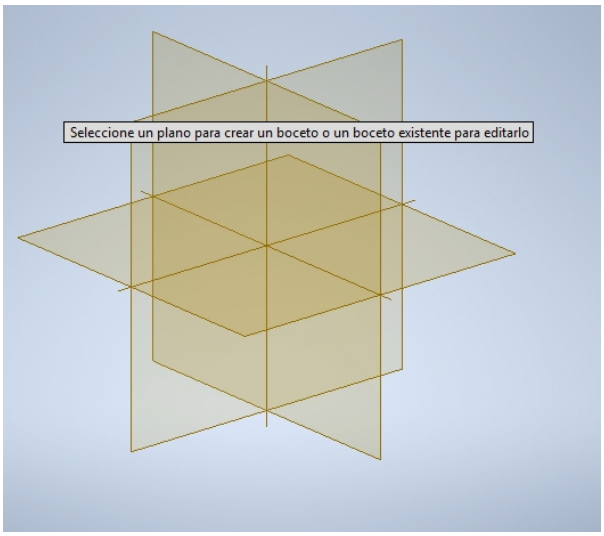


Ilustración 8. Planos cartesianos.

Esta vista de los planos sólo aparecerá si no se ha realizado ningún croquis previamente. Por tanto, si en bocetos posteriores se desea seleccionar algunos de estos planos, se debe ir al árbol de operaciones (Ilustración 9), situado en el margen izquierdo de la pantalla, clicar sobre Origen, y se desplegará un sub-árbol en el cuál, seleccionando cualquiera de los tres planos, podrá trabajarse sobre ellos. Esta forma de seleccionar el plano de trabajo, puede resultar de gran interés para crear nuevos planos auxiliares a partir de éstos o de los ejes del sistema de referencia originado por la intersección de los planos cartesianos.

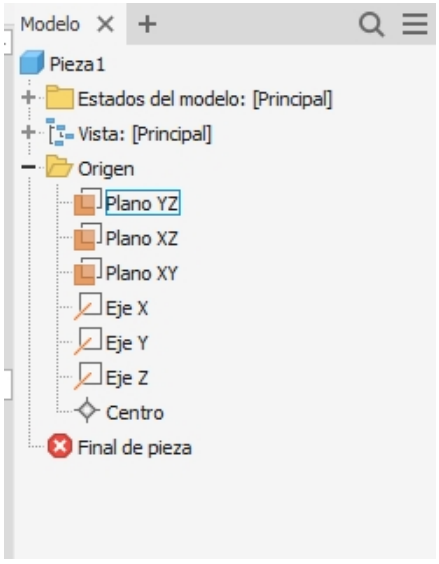


Ilustración 9. Árbol de operaciones.

Todas las operaciones que se vayan realizando en el archivo de pieza, irán apareciendo en el árbol de operaciones, por lo que, si en operaciones siguientes, se desea modificar alguna operación previa, con tan sólo seleccionar en el árbol la operación a modificar, pulsando el botón derecho del ratón, aparece un listado de opciones. Para el ejemplo mostrado (Ilustración 10), se debe elegir 'Editar Boceto', y de esta manera se podrá realizar los cambios oportunos sobre el mismo.

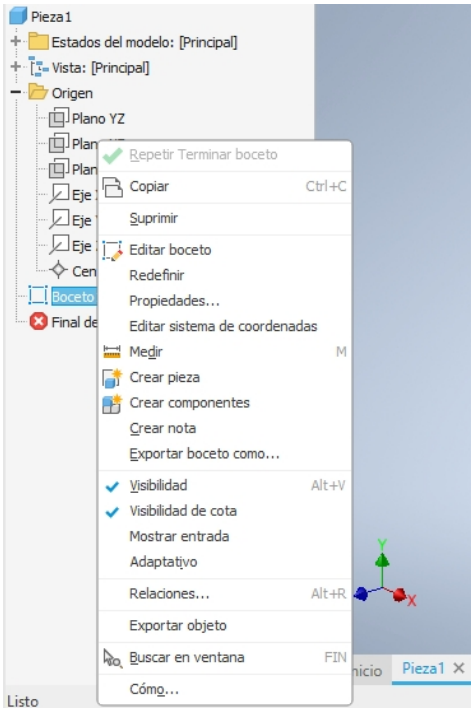


Ilustración 10. Opciones posibles sobre operación.

En la interfaz gráfica de 'Boceto' (Ilustración 11), aparecen las opciones posibles y/o fundamentales para croquizar. Entre las más destacadas, están:

- **Línea:** se dibuja una línea seleccionando dos puntos en el plano.
- **Círculo:** se puede obtener una circunferencia en el plano de varias maneras, pulsando en dos puntos, siendo el primero correspondiente al centro de la circunferencia, y el segundo punto perteneciente al contorno, o bien, seleccionando tres curvas o rectas a las que se desea que la circunferencia sea tangente. Desde la opción de círculo también se puede seleccionar elipse.
- **Arco:** para realizar arcos de circunferencia, pudiendo ser los mismos de tres puntos (extremos y radio), tangente a una entidad, o de centro (se selecciona el centro y posteriormente los extremos inicial y final del arco).

- **Rectángulo:** con esta opción se pueden dibujar rectángulos de diferentes maneras. Además, se permite croquizar otro tipo de geometrías, como polígonos y ranuras.
- **Empalme o chaflán:** permite insertar radio o arco de unión (en el caso de empalme), o un chaflán, en un vértice o intersección de dos líneas.
- **Texto:** permite la escritura de un texto sobre una arista o línea de construcción.
- **Proyectar geometría:** esta opción es bastante útil, ya que permite ahorrar tiempo, proyectando croquis o geometrías de otros planos, sobre el plano de trabajo.

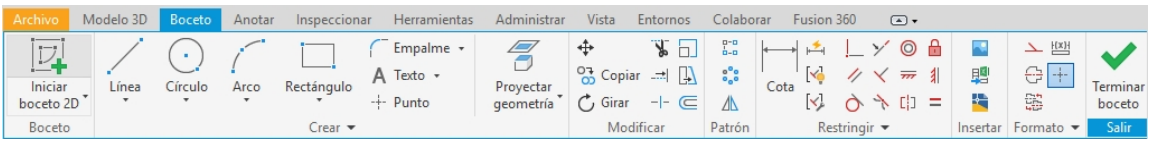


Ilustración 11. Interfaz gráfica de Boceto.

Para terminar un boceto, es necesario establecer una serie de medidas y relaciones geométricas en el croquis obtenido. Para ello se puede hacer uso de cualquiera de las opciones disponibles (Ilustración 12) sobre la interfaz gráfica de Boceto. Para insertar una medida, se pulsa sobre 'Cota', y posteriormente sobre la/s entidad/es que se desean acotar. Entre las relaciones geométricas más destacadas están la restricción de perpendicularidad, tangencia, coincidente, concéntrica, paralelo, etc.

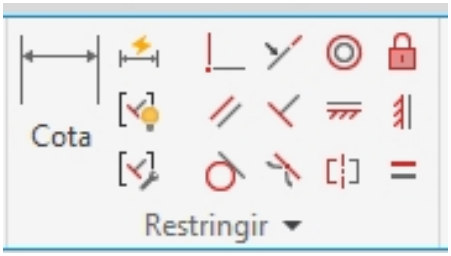


Ilustración 12. Operaciones de restricción.

El siguiente paso en el modelado es obtener el objeto en 3D. Para ello existen multitud de operaciones que se pueden realizar, pero previamente ha debido de crearse un croquis, que debe tener la condición de que los contornos sean cerrados para poder obtener un sólido (hay una excepción para modelar superficies, en la que sí es válido un croquis/boceto con contornos abiertos). Las operaciones aparecen en la interfaz gráfica de 'Modelo 3D' (Ilustración 13), o bien en el menú de marcado clicando el botón derecho del ratón.

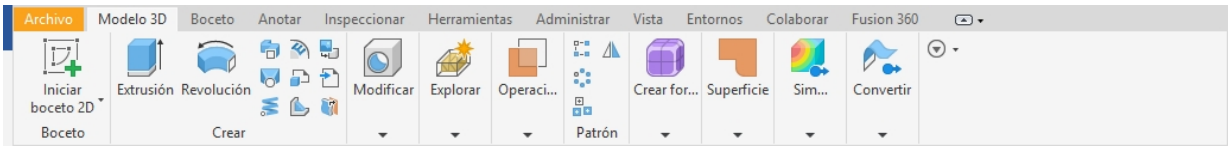


Ilustración 13. Interfaz gráfica de Modelo 3D.

Entre las operaciones más destacadas están:

- **Extrusión:** se puede extruir un contorno cerrado de un croquis, o bien extruir un corte de un contorno, sobre otro sólido previamente extruido.
- **Revolución:** para obtener sólidos de revolución alrededor de un eje.
- **Agujero:** para crear orificios y agujeros roscados.
- **Rosca:** para roscar superficies cilíndricas, modelándose así tornillos.
- **Empalme:** permite unir dos o tres caras mediante una superficie curva de un determinado radio, así como el redondeo de aristas. Muy útil para obtener radios de encuentro en superficies que se cortan con una arista viva, reduciendo de esta manera el factor de concentrador de tensiones (ya que para una arista viva éste tiende a infinito).
- **Barrido:** se obtiene un sólido a partir de un croquis que sigue una curva definida en otro boceto. También se puede realizar un corte barrido.
- **Plano de trabajo:** para crear planos auxiliares sobre el que realizar croquis o cortes.
- **Simetría:** permite realizar simetría de operaciones respecto de algún plano.
- **Matriz:** crea cuerpos u operaciones duplicados siguiendo un patrón circular o rectangular.

2.1.2. Ensamblaje

Tras el modelado de cada uno de los componentes que forman las invenciones, se debe de establecer el conjunto de relaciones y restricciones geométricas entre los elementos, así como la definición de la posición relativa entre elementos. El objetivo de este conjunto de operaciones es obtener un conjunto final representativo del modelo real, de manera que se pueda visualizar con claridad la posición de los elementos y el movimiento relativo entre los mismos, consiguiéndose así, un modelo digital completamente funcional y fidedigno del modelo real.

Tras esta breve introducción de la función de ensamblar componentes, se procederá a explicar el entorno de Autodesk Inventor Professional 2023 utilizado para esta parte del TFG, describiendo herramientas y operaciones usadas y que se han considerado de mayor interés. Hay que destacar que este módulo, así como el resto de entornos del software tratados, dispone de una multitud de herramientas y operaciones, pero, para simplificar, sólo se describirán las usadas para el desarrollo del proyecto.

Para entrar en dicho módulo, tras abrir el programa y clicar sobre nuevo, aparece la ventana emergente (Ilustración 14), y se escoge la opción de 'Standard', en Ensamblaje.

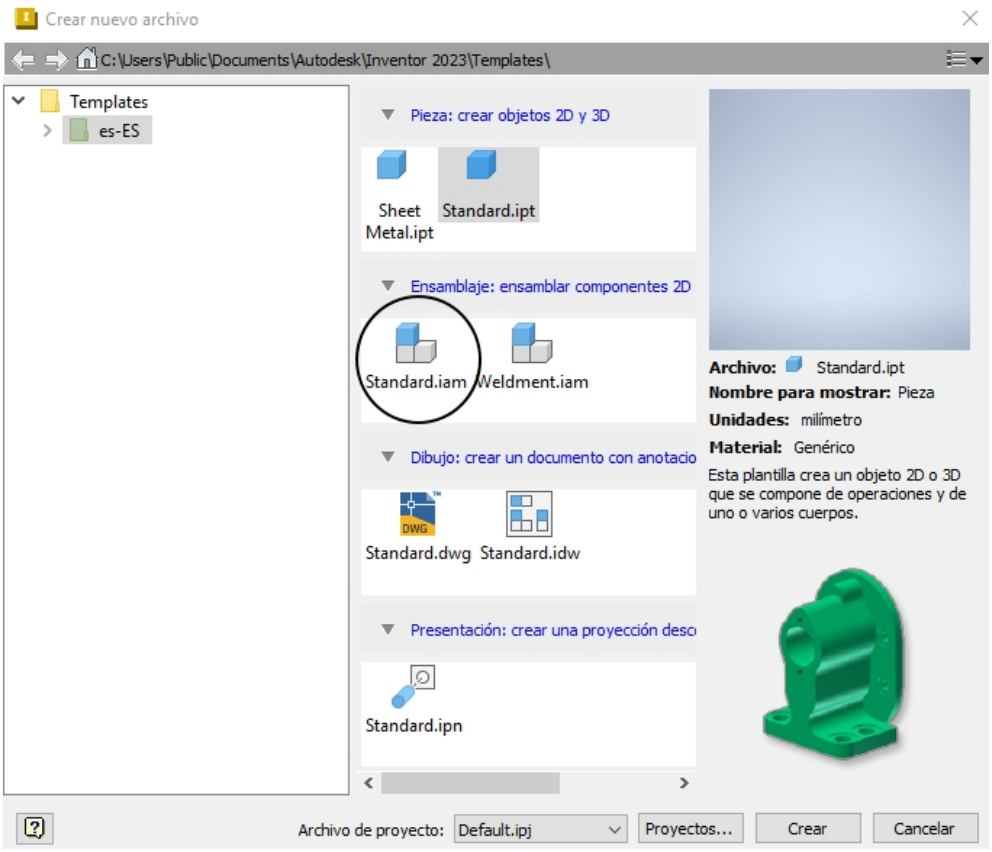


Ilustración 14. Ventana emergente de nuevo archivo.

Una vez elegido esta opción, aparece el entorno propio de este módulo (Ilustración 15).

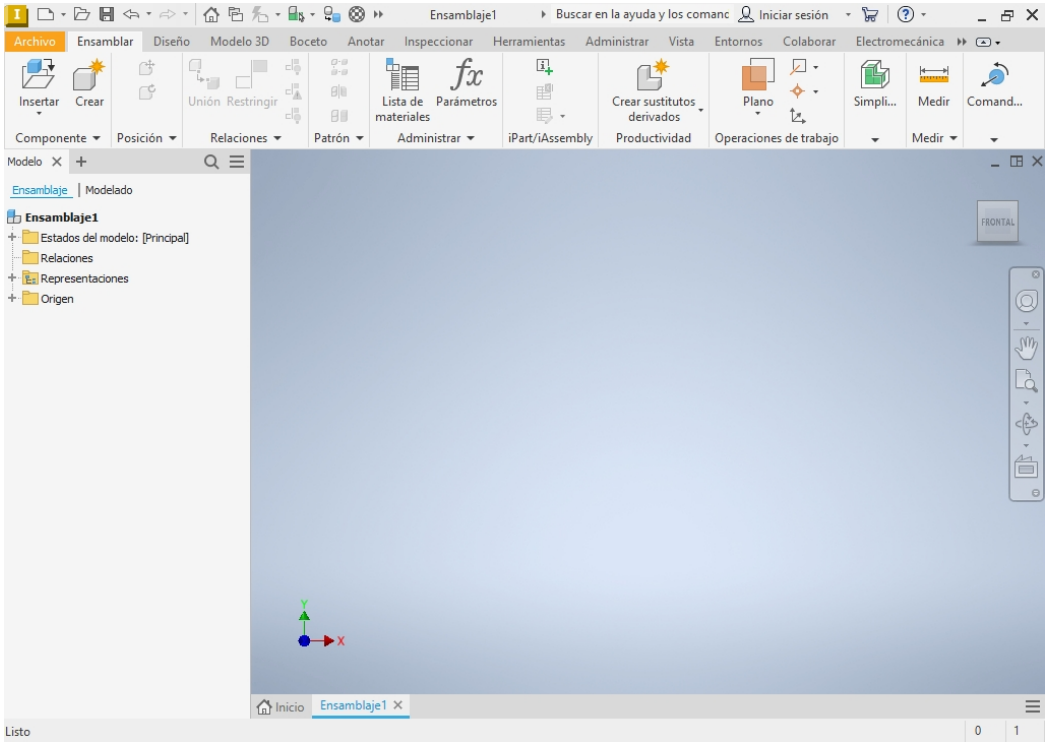


Ilustración 15. Entorno de ensamblaje.

La interfaz gráfica que aparece en la parte superior, depende del módulo elegido. Están disponibles los módulos de Ensamblar, Diseño, Modelo 3D, Boceto, Anotar, Inspeccionar, Herramientas, Administar, Vista, Entornos, Colaborar, Electromecánica y Fusion 360. Para ensamblar, se centrará la descripción en los módulos usados, que serán Ensamblar y Vista. Las interfaces gráficas de Modelo 3D y Boceto son iguales que las que aparecían en la creación de un objeto y/o elemento.

En la interfaz gráfica de Ensamblar (Ilustración 16), la operación fundamental es 'Insertar', que aparece rodeada en la imagen inferior. Si se pincha con el ratón sobre este comando, aparecen las opciones posibles, que son las mostradas a continuación (Ilustración 17).

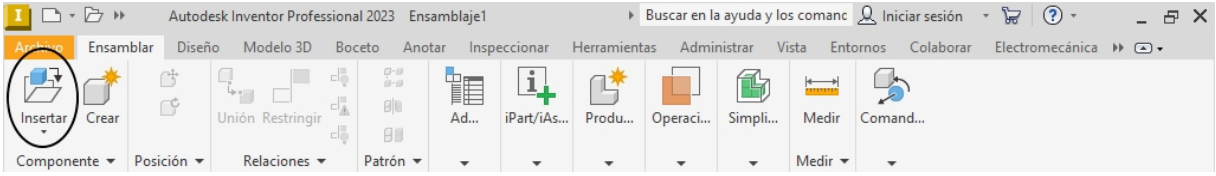


Ilustración 16. Interfaz gráfica de ensamblar.

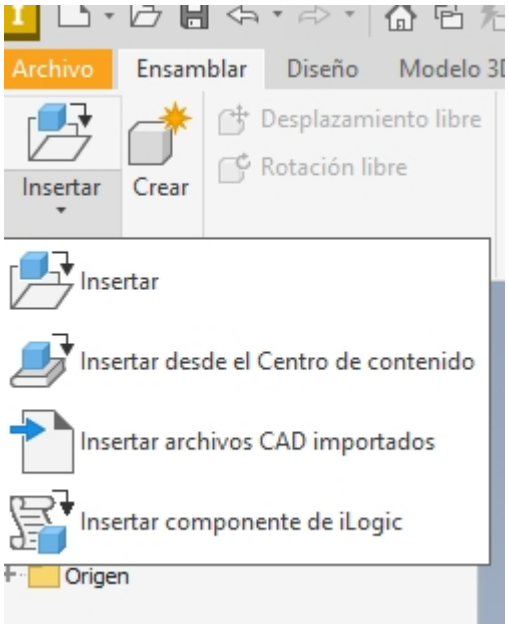


Ilustración 17. Opciones de insertar.

Las opciones posibles son las visibles en la imagen superior. La primera opción, permite insertar tanto piezas como subensamblajes creados previamente.

También se pueden introducir piezas desde el centro de contenido, esto es de gran utilidad, pues contiene elementos de fijación y muchos más, normalizados, por lo que no habría que diseñar elementos que ya lo están y que siguen una norma.

Para poder introducir elementos desde el Centro de contenido, previamente hay que cargar la librería en Inventor Professional. El primer paso, es ir a la ventana inicial del programa (Ilustración 18), y clicar sobre los tres puntos de la derecha de 'Default' para acceder a la configuración. Una vez se haya pulsado sobre 'Configuración', aparecerá una ventana (Ilustración 19). En ella, se coloca el puntero sobre la opción 'Usar biblioteca de estilos = Solo lectura', se pulsa botón derecho del ratón y se selecciona opción de Lectura/escritura. Finalmente, se debe introducir la ubicación de la librería, para ello, en 'Bibliotecas', botón derecho del ratón y se elige la opción 'Añadir ruta'. La ruta de la librería es la siguiente:

C:\Users\Public\Documents\Autodesk\Inventor 2023\Biblioteca (viene por defecto al instalar el programa, si no se cambia la dirección del directorio del mismo, en cuyo

caso, el instalador deberá conocer la ubicación de los archivos de programa de Autodesk Inventor, y en el interior de dicha carpeta, seguir la ubicación siguiente: Inventor 2023\Biblioteca).

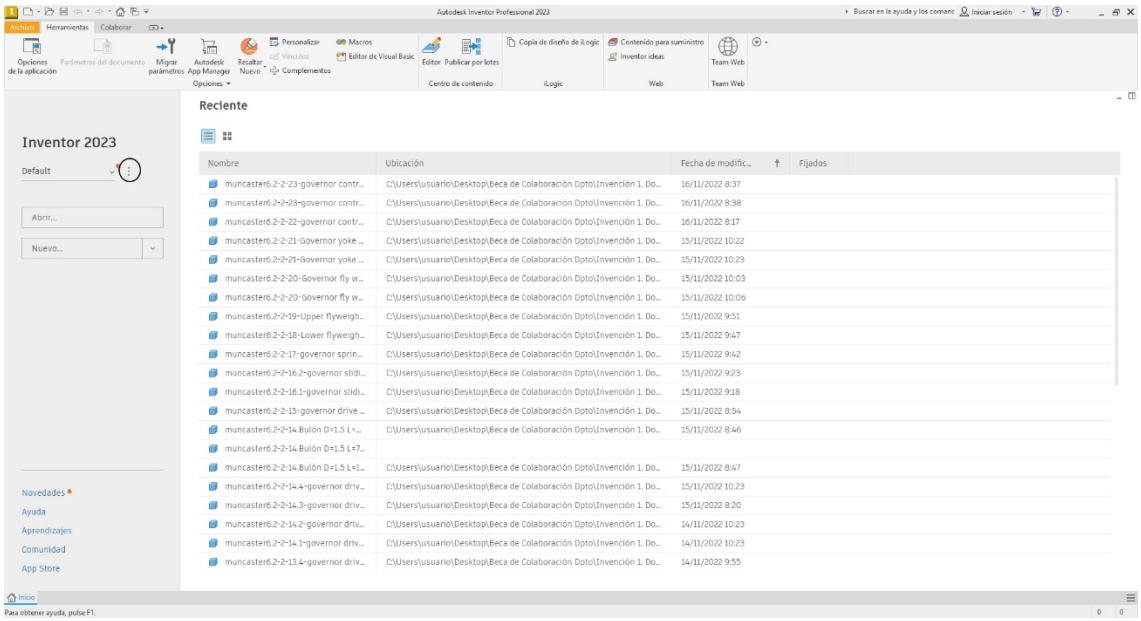


Ilustración 18. Ventana inicial de Inventor.

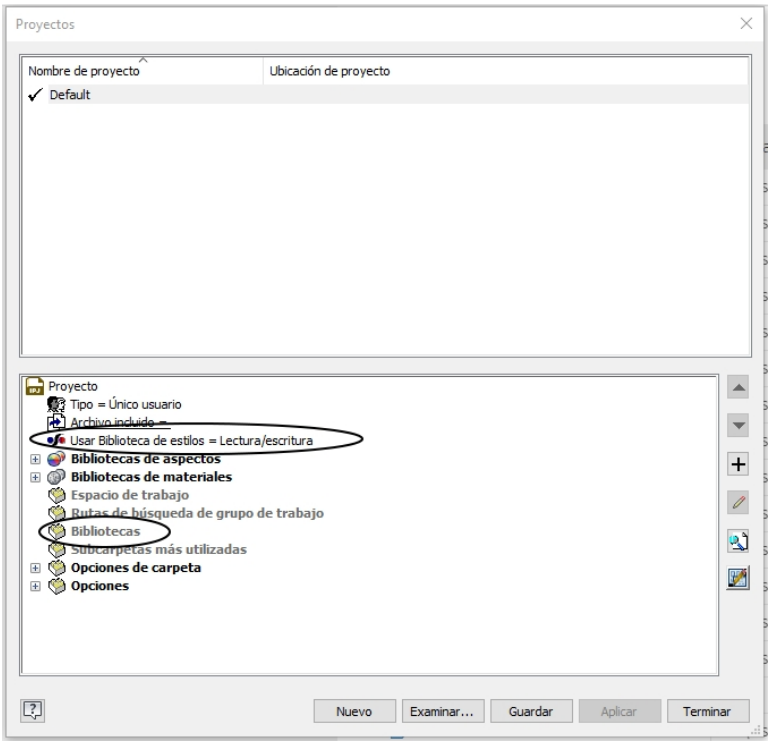


Ilustración 19. Ventana de configuración.

El módulo de ensamblaje también permite crear una pieza 'in situ', es decir, sin necesidad de salir del ensamblaje. Para ello, en la interfaz gráfica de Ensamblar, se clica sobre la opción 'Crear', situada justo a la derecha de Insertar (Ilustración 16).

Aparece una ventana (Ilustración 20), donde se elegirá el tipo de archivo, así como la ubicación y el nombre del mismo.

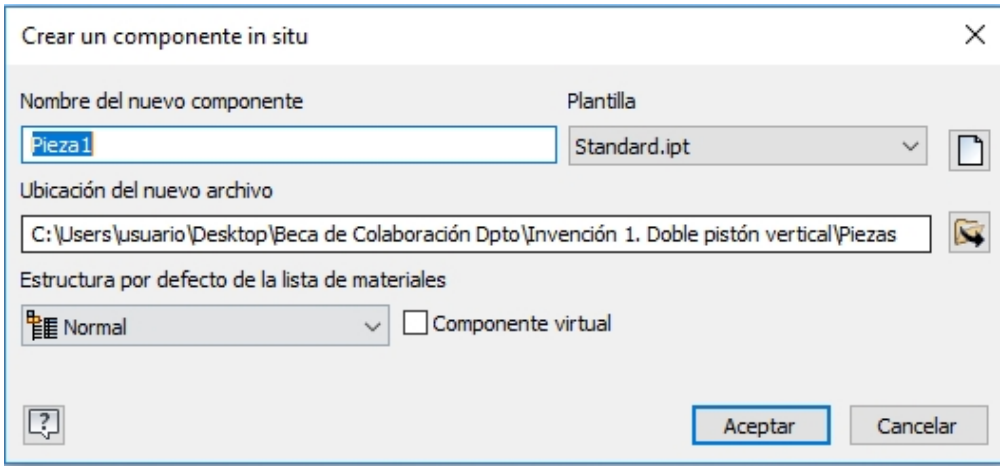


Ilustración 20. Crear componente 'in situ'.

Una vez se han introducido los elementos en el ensamblaje, es necesario unirlos entre sí con las restricciones necesarias. Para llevar a cabo este proceso, en la interfaz gráfica de 'Ensamblar' se pincha con el ratón sobre el comando 'Restricciones', y aparecerá una ventana (Ilustración 21) con las opciones posibles.

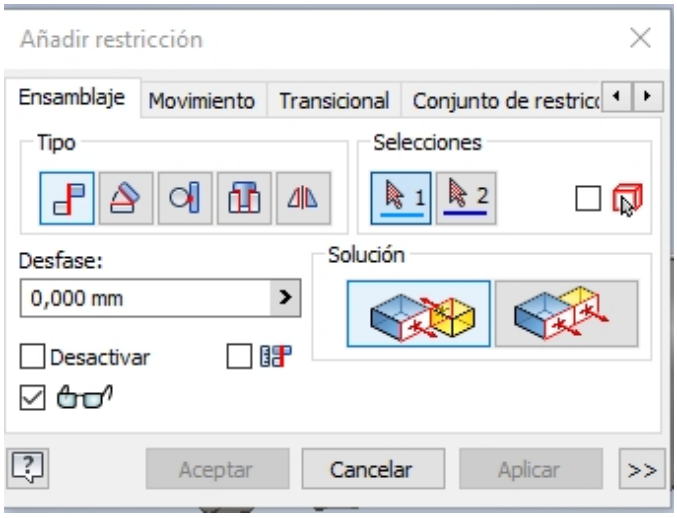


Ilustración 21. Ventana de añadir restricción.

En ella aparecen las opciones de ensamblaje, movimiento, transicional y conjunto de restricciones. La opción de ensamblaje ofrece las restricciones de tipo geométrica a establecer entre dos elementos insertados en el módulo. Por tanto, se usará esta opción para este apartado. El resto de opciones introducen restricciones en el movimiento entre dos elementos, así como la transición. Estas dos últimas son secundarias, ya que al no establecer una restricción de tipo geométrica no sitúa a los elementos en su posición correspondiente.

En ensamblaje, aparecen las siguientes opciones, que se pueden observar en los iconos de la Ilustración 21, situados justo bajo 'Tipo'. Se explicará la función de cada uno de ellos, ordenados de izquierda a derecha:

- **Coincidencia:** Establece la restricción geométrica de coincidencia entre dos elementos, como pueden ser por ejemplo la coincidencia entre dos caras, dos aristas, dos puntos, dos ejes de revolución, etc. Puede ser de dos tipos, de nivelación o coincidencia. En nivelación, los elementos a restringir se sitúan a la misma altura. Además, se permite introducir un desfase entre los elementos a restringir.
- **Ángulo:** Permite introducir el ángulo entre los planos (caras) o ejes (aristas) seleccionadas. Hay tres formas de definir el ángulo que forman (Ilustración 22), la primera de ellas (primer icono) se define directamente el ángulo formado, la segunda opción, se introduce el ángulo indirectamente, es decir, el ángulo negativo. Por último, el tercer icono, se seleccionan las dos aristas cuyo ángulo se quiere restringir, y, además, un vector normal a ambas aristas o ejes (el correspondiente al vector z).

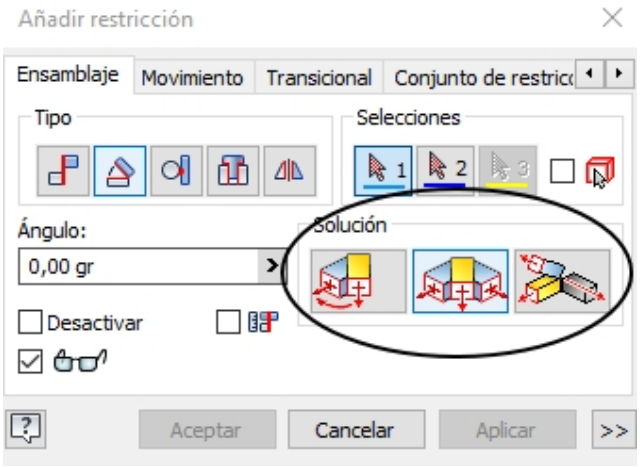


Ilustración 22. Opciones de la restricción de ángulo.

- **Tangente:** define restricción de tangencia entre planos, cilindros, esferas, conos y superficies spline. La tangencia puede ser interior o exterior (Ilustración 23).

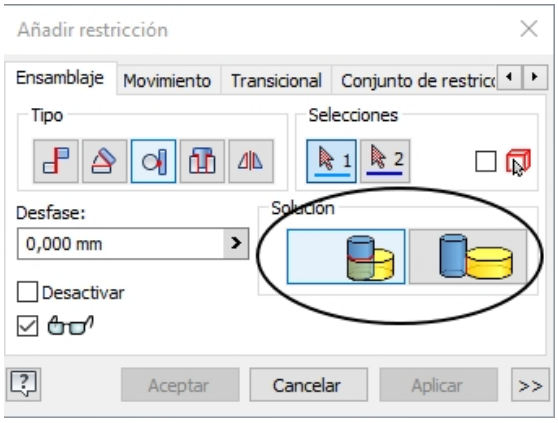


Ilustración 23. Restricción de tangencia.

- **Insertar:** esta restricción es usada para alinear ejes de revolución, reduciendo cinco grados de libertad con una sola operación. Sólo es posible aplicarla entre dos ejes correspondientes a superficies y/o cuerpos cilíndricos. Dado que cada eje de este tipo tiene asociado un centro y dos planos extremos, de manera que se tendrán dos soluciones posibles, que serán alineadas, en la que los planos asociados a cada uno de los ejes se harán coincidentes, u opuestas, en la cual sólo serán coincidentes dos planos, y los otros dos opuestos (Ilustración 24).

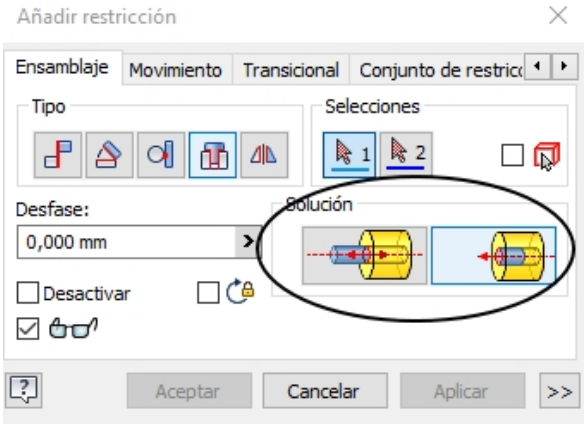


Ilustración 24. Restricción de insertar.

- **Simetría:** permite hacer dos partes o subensamblajes simétricos alrededor de un plano, seleccionando para ello las dos partes, y un plano de simetría. Al igual que en la restricción anterior, tiene dos soluciones posibles, alineada u opuesta (Ilustración 25).

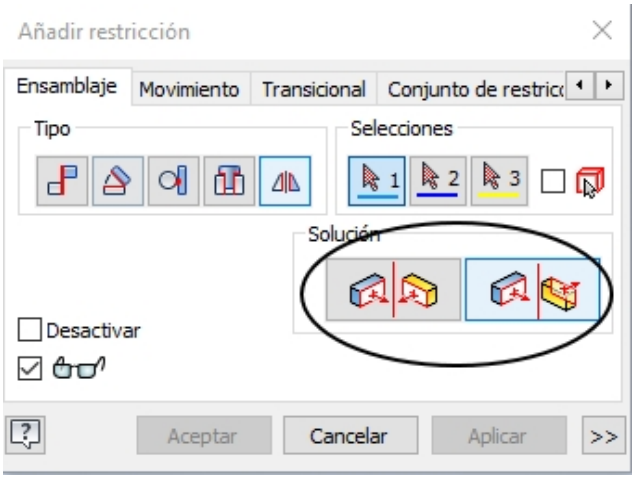


Ilustración 25. Restricción de simetría.

La finalidad de establecer restricciones de geometría entre partes o subensamblajes es reducir los grados de libertad. Se pueden visualizar los grados de libertad del ensamblaje y de los elementos que lo forman con la opción 'Grados de libertad' en comandos de usuario (Ilustración 26), en la interfaz gráfica de Ensamblar.

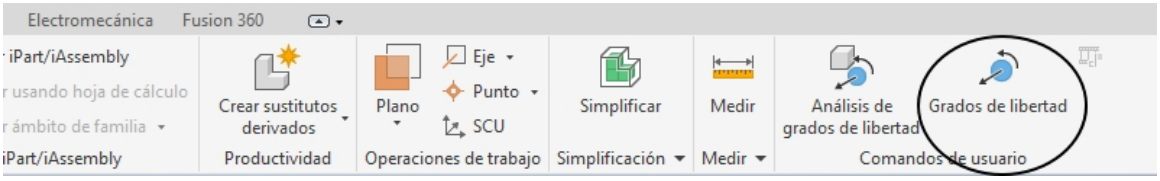


Ilustración 26. Grados de libertad del ensamble.

Una vez seleccionada esta opción, se podrán visualizar sobre el ensamblaje los grados de libertad de cada componente. Se pueden visualizar de otra manera, para la que se clica sobre la opción de 'Análisis de grados de libertad', y aparecerá una ventana con un listado de los componentes, y el número de grados de libertad de cada componente, ya sea de rotación o traslación (el máximo número de grados de libertad de un elemento será seis, tres de rotación y tres de traslación).

Para definir de forma correcta un ensamblaje, se debe de establecer una pieza o parte de referencia, en la cual los grados de libertad totales serán cero, es decir, se trataría de un elemento fijo. Para ello, se clica sobre la pieza o subensamble a fijar, se pulsa el botón derecho del ratón y se habilita la opción de fijar pulsando sobre ella. El elemento fijado aparecerá con una 'chincheta' en el árbol de operaciones (Ilustración 27).

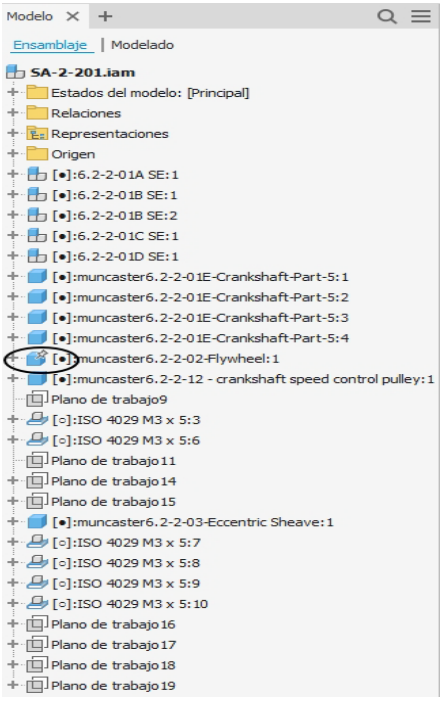


Ilustración 27. Árbol de operaciones.

En este árbol de operaciones se pueden observar los elementos del ensamblaje, planos y ejes creados en el mismo, las restricciones establecidas entre elementos y los planos de origen.

Se puede realizar una operación de forma más inmediata pulsando el botón derecho del ratón en el espacio del ensamblaje (Ilustración 28).

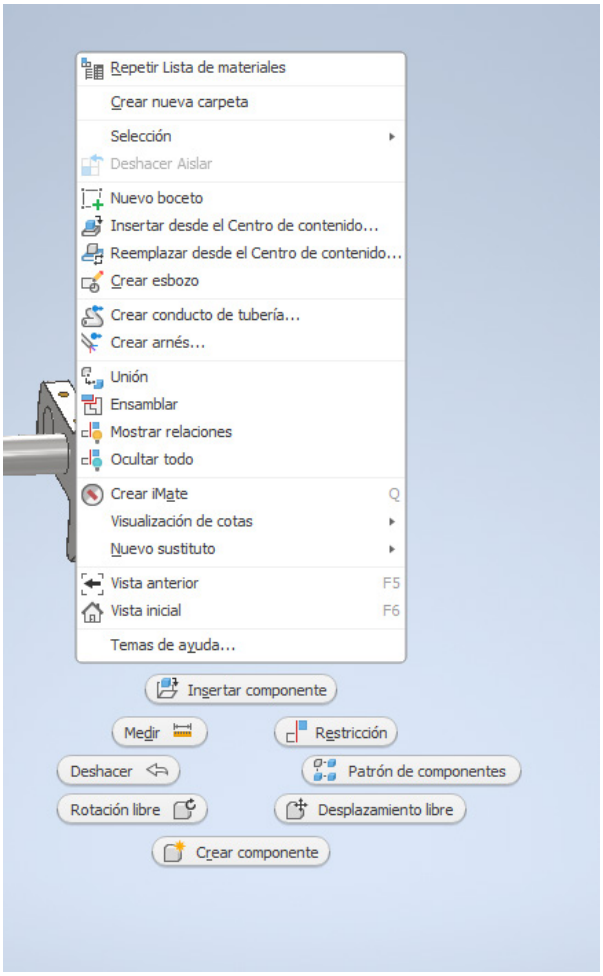


Ilustración 28. Selección rápida.

Como se puede observar en la imagen superior, se puede establecer una restricción, medir, insertar un componente o crearlo, etc.

Si se clica sobre un componente y se pulsa el botón derecho del ratón, aparecerá un listado de operaciones similares a los de la Ilustración 28, y se podrá abrir la pieza y realizar los cambios pertinentes en ella. Dichos cambios se guardarán en la pieza y,

además, se actualizarán en el ensamblaje. Estas modificaciones también se pueden realizar pulsando dos veces consecutivas sobre la pieza, y el resto de elementos del ensamblaje aparecerán difuminados, y se visualizará de forma clara la pieza seleccionada, pudiéndose realizar los cambios oportunos en ella.

Esto se ha realizado para ir definiendo los materiales de cada una de las piezas; para ello, una vez abierta la pieza, si se seleccionada la opción de herramientas en la barra superior y, posteriormente en la interfaz gráfica de este módulo (Ilustración 29), la opción de Material, se abrirá una ventana (Ilustración 30) con el listado de materiales de la librería de Inventor Professional. Se pulsa sobre el material deseado y se aplicará sobre la pieza. De esta forma, cambiará la apariencia y las propiedades mecánicas y térmicas.

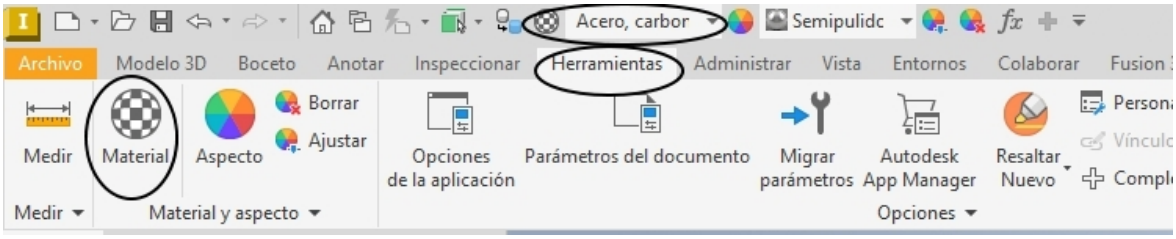


Ilustración 29. Seleccionar material.

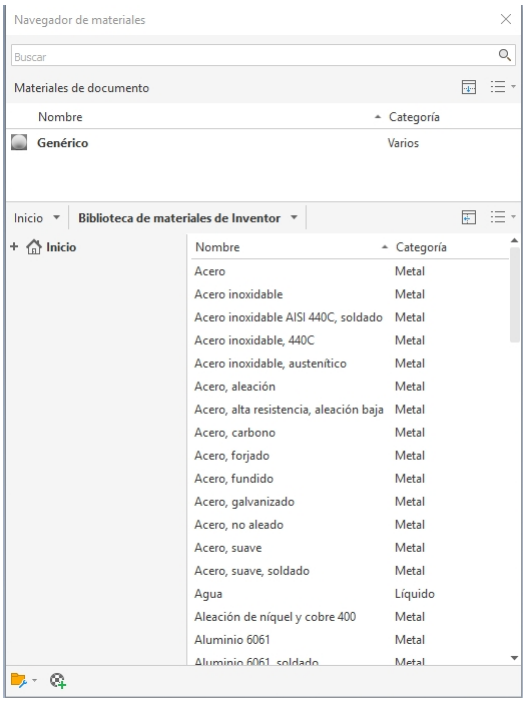


Ilustración 30. Ventana de materiales disponibles.

Esta selección se puede hacer de una manera más rápida. Como se puede observar en la ilustración 29, situada sobre 'Herramientas' hay una ventana y una esfera con cuadrados blancos y negros, igual que la de material. Si se pulsa sobre ella, se abre la biblioteca de materiales de Inventor Professional.

Por último, si se accede al módulo de vista, se podrán realizar dos operaciones de gran interés y ayuda a la hora de restringir. Una de ellas será cambiar el estilo visual (Ilustración 31), ha sombreado con aristas (hay varias opciones posibles), ya que se podrán ver de forma más clara y concisa aristas y vértices, y será más fácil seleccionarlas a la hora de establecer las restricciones.

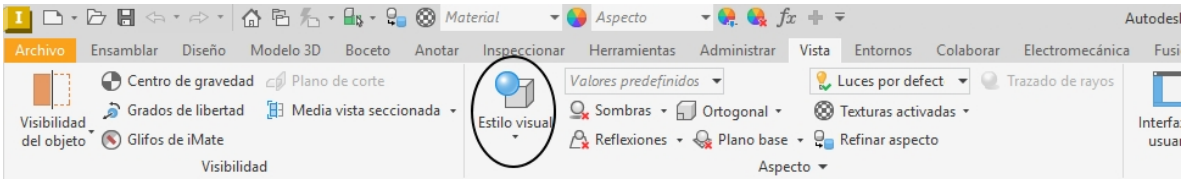


Ilustración 31. Estilo visual del ensamblaje.

La segunda operación de interés, se resalta en la ilustración inferior (Ilustración 32). En ella, se puede seccionar el ensamblaje. Se clica sobre dicha operación, posteriormente se selecciona un plano de origen o creado, o alguna cara plana del ensamblaje, y se podrá arrastrar el plano de sección.

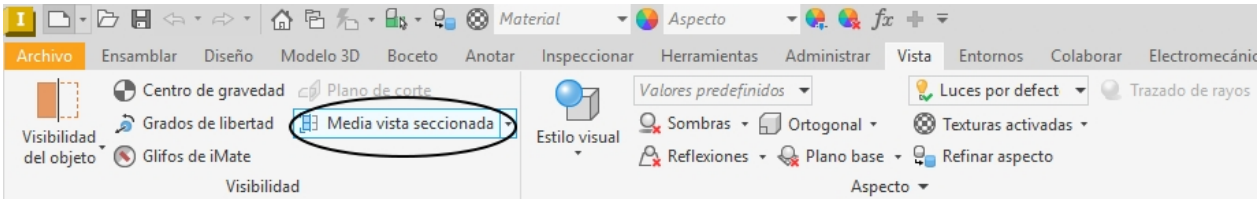


Ilustración 32. Operación de vista de sección.

2.2. SOFTWARE PARA LA DOCUMENTACIÓN: AUTOCAD MECHANICAL 2023

Tras obtener el modelado de piezas y el ensamblaje final, se debe de obtener la documentación gráfica de las invenciones. Esto consiste en obtener los planos de conjunto en los que aparezcan las marcas de las diferentes piezas y los planos de cada pieza. De esta manera se consigue una documentación completa de las

invenciones, con toda la información necesaria de las dimensiones de cada pieza, así como el material asignado a cada una de ellas, junto a la posición de dichas piezas en el ensamblaje final gracias a los diversos planos de conjunto elaborados.

Para esta parte, se ha optado por el uso del software AutoCAD Mechanical 2023 [4]. Este software es un módulo de AutoCAD 2023, que tiene operaciones específicas para el desarrollo de planos mecánicos y un entorno adaptado a dicha función.

Se procederá de igual manera que para el software Inventor Professional 2023, es decir, se describirá de forma breve el programa, así como el entorno del mismo, operaciones y comandos más utilizados para la obtención de la documentación de las invenciones.

Tras abrir el programa, aparece la pantalla de inicio (Ilustración 33). En ella se puede proceder a crear un nuevo archivo, clicando sobre la opción 'Nuevo' en la parte izquierda de la pantalla, o bien, abriendo un archivo ya existente. Para el caso presente, se abrirá un archivo que contiene la pieza, que deberá exportarse desde Inventor Professional en formato .dwg.

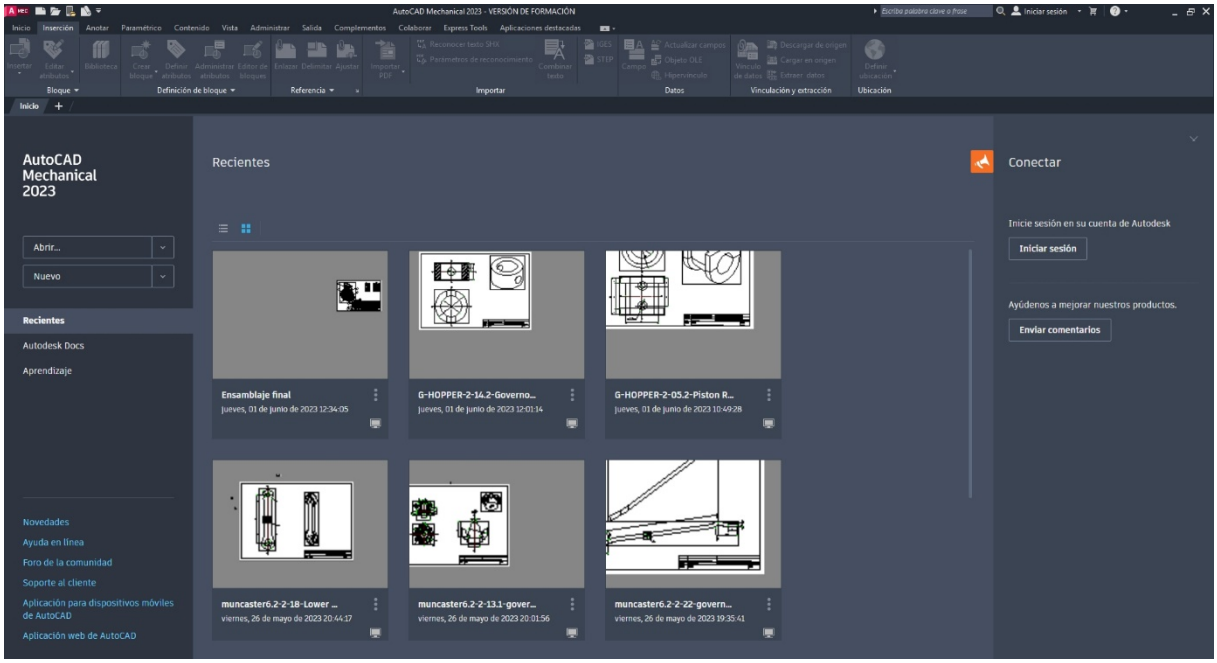


Ilustración 33. Pantalla de inicio de AutoCAD Mechanical 2023.

Para exportar el archivo desde Inventor Professional, se abrirá el archivo que se desea exportar para poder abrirlo en AutoCAD Mechanical. Seguidamente, en la parte superior izquierda, en la barra de herramientas, se clicará en 'Archivo', después en 'Exportar' y, finalmente, en 'Exportar dwg' (Ilustración 34). De esta manera, se habrá creado un archivo con la extensión .dwg, que se podrá abrir con el software AutoCAD Mechanical para su edición.

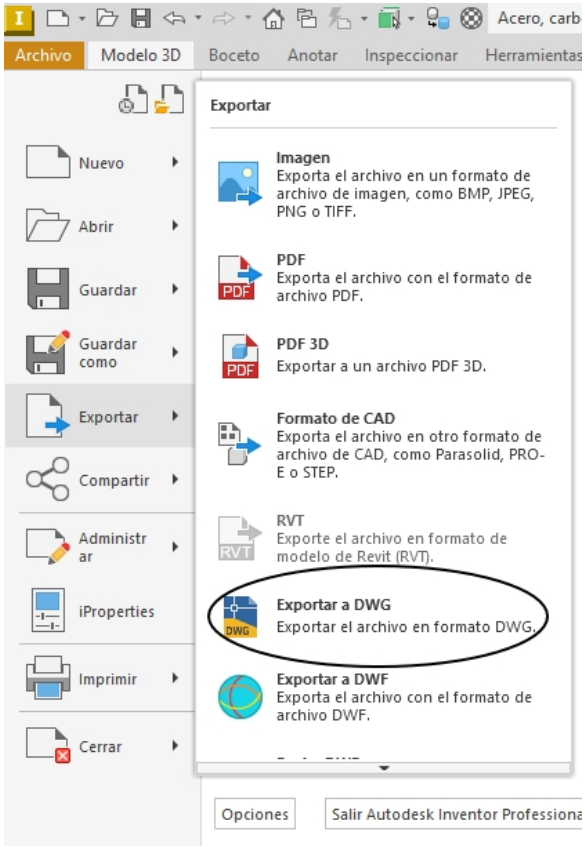


Ilustración 34. Exportar archivo .dwg desde Autodesk Inventor

Una vez se tiene el archivo con la información de la pieza, se abre desde AutoCAD Mechanical, o bien, en la esquina superior izquierda, pinchando sobre el símbolo de AutoCAD Mechanical, se desplegará una lista de opciones, y seleccionando la opción Abrir, aparecerá una ventana (Ilustración 35), a través de la cual se buscará la ubicación del archivo y, posteriormente, se abrirá pinchando sobre abrir.

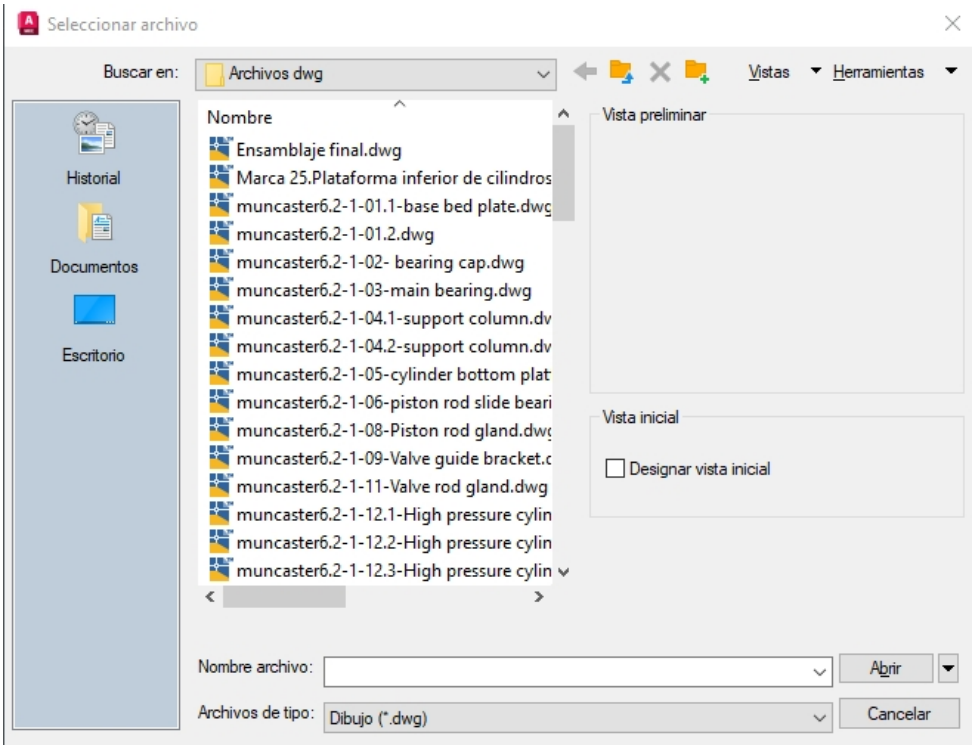


Ilustración 35. Apertura de archivo en AutoCAD

AutoCAD Mechanical permite crear un nuevo archivo, y desde dicho archivo, abrir el correspondiente con la extensión .ipt o .iam, siendo estas últimas extensiones las correspondientes a piezas y ensamblajes de Inventor Professional respectivamente. Esto puede parecer a primera vista una gran ventaja, dado que no habría que exportar cada una de las piezas o ensamblajes, pero, si se quiere abrir posteriormente alguno de los archivos .dwg creados de esta manera, se necesitará también tener el correspondiente archivo .iam o .ipt, ya que si no es así, aparecerá un error dado que no encontrará el archivo enlazado. Además, si se abre en otro ordenador o sistema informático con el programa AutoCAD Mechanical, aunque esté el archivo de Inventor Professional, dado que la ruta del directorio del archivo no es la misma, también dará errores. Por tanto, es preferible exportar las piezas a archivos .dwg, y de esta manera se evitarán estos inconvenientes.

Para dar una descripción del entorno del software y de sus comandos y operaciones básicas, se abrirá una de las piezas del ensamblaje, en este caso, esta pieza será la bancada de la invención 1 (motor marino vertical compuesto de dos cilindros.

Tras abrir el archivo, se abrirá el entorno Modelo de AutoCAD Mechanical. En ella aparecerá la pieza con una estructura alámbrica como se puede ver en la imagen inferior (Ilustración 36). Esta forma de representación se puede modificar pinchando en la parte superior izquierda, debajo de la barra de herramientas, sobre Estructura alámbrica 2D. Aparecerá una lista con los diferentes tipos de visualización disponibles para representar el modelo 3D de la pieza (Ilustración 37).

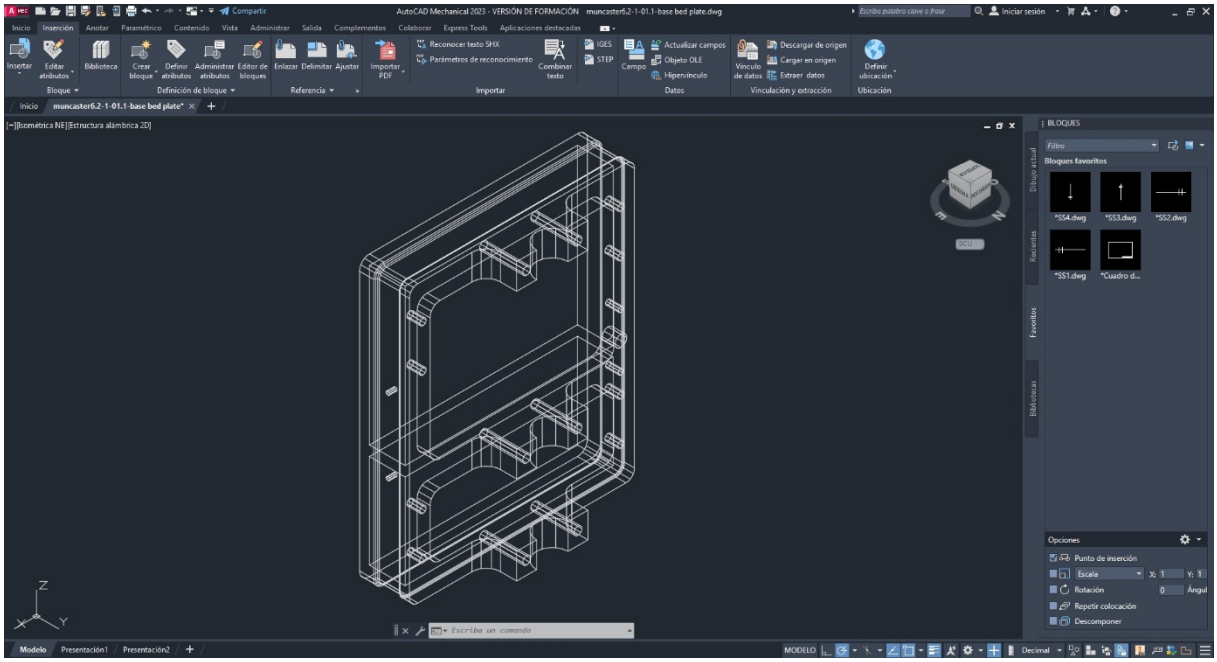


Ilustración 36. Entorno Modelo de AutoCAD.

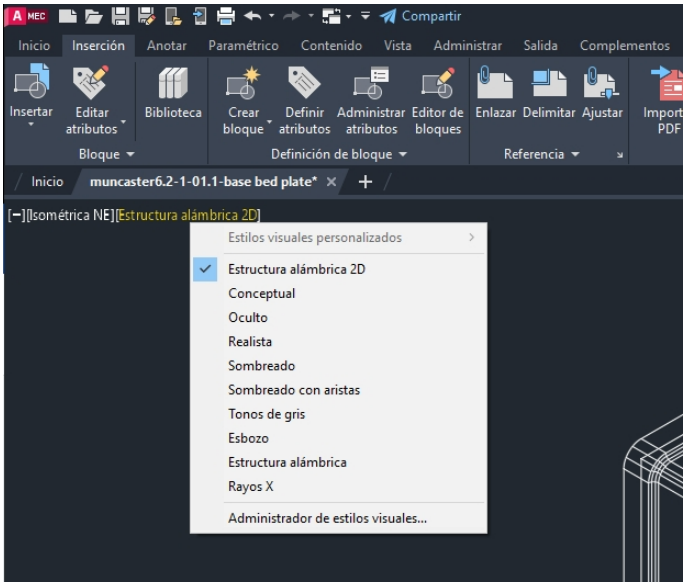


Ilustración 37. Tipos de representación del modelo 3D.

Esto no es de vital importancia, ya que la finalidad de usar este software es generar los planos con toda la información geométrica necesaria para definir la pieza completamente. Por tanto, el siguiente paso es acceder al entorno de Presentación, pulsando en la parte inferior de la pantalla sobre Presentación 1.

En este entorno, aparecerá una hoja en blanco, con un rectángulo en línea de trazo discontinuo (Ilustración 38). En el caso presentado, se ha abierto Presentación 2, ya que la número 1 contiene el plano de la pieza de ejemplo. Estas líneas de trazo discontinuo representan el área de impresión, es decir, toda aquella geometría que quede fuera del recinto interior que forman dichas líneas, no aparecerán en el archivo impreso o generado.

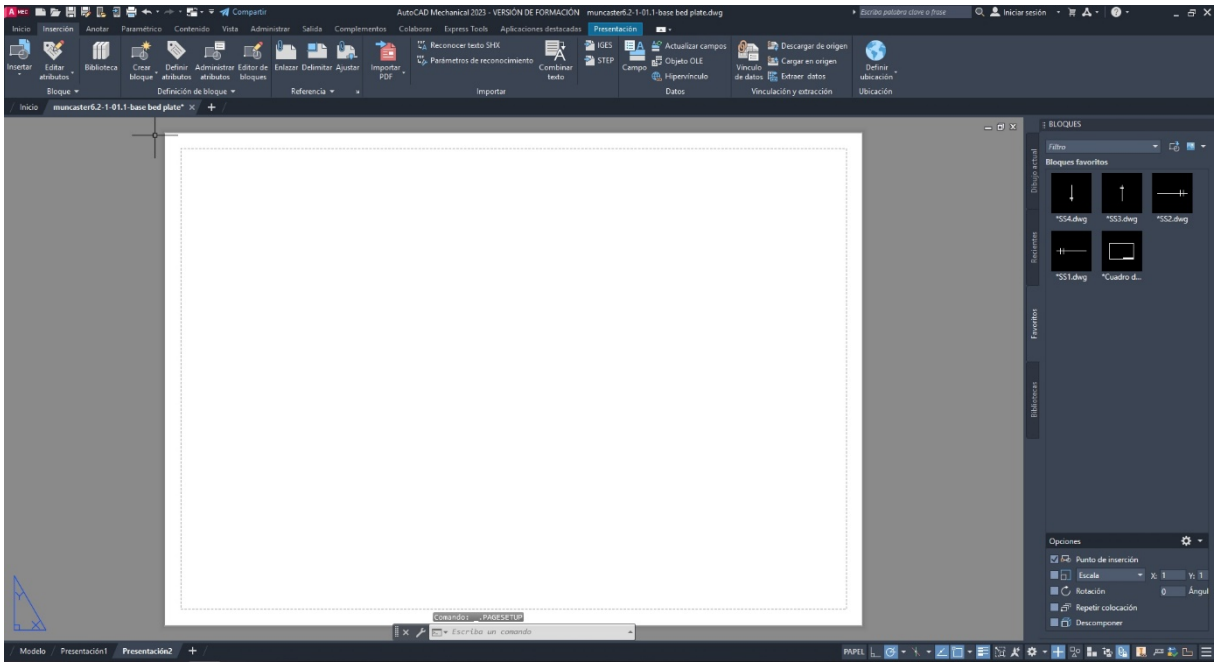


Ilustración 38. Entorno Presentación de AutoCAD.

Esto conduce al primer paso antes de continuar con el desarrollo del plano, y esto es modificar el área de impresión del formato de papel a utilizar (A3 en la mayoría de los casos para el presente TFG). Para ello, se pulsará con el botón derecho del ratón en Presentación 1 o 2, y en la lista despegable, se elegirá la opción de Administrador de configuraciones de página. Aparecerá una ventana (Ilustración 39). En ella, todas las presentaciones del documento. Se selecciona una de ellas, y seguidamente en la opción Modificar, apareciendo una ventana (Ilustración 40). Se

elegirá el nombre de la impresora o trazador, siendo el caso AutoCAD PDF (General Documentation), ya que se desea generar un archivo de extensión .pdf. Asimismo, con el tamaño de papel en el que se desea modificar el área de impresión y sobre el que se dibujarán las vistas acotadas de la pieza. Para seguir con la modificación, hay que clicar sobre Propiedades (a la derecha del nombre de la impresora/trazador). Se abrirá una nueva ventana (Ilustración 41). En ella, se selecciona en primer lugar Modificar tamaños de papel estándar (Área de impresión), en el área de Parámetros de dispositivos y documentos. En la parte inferior, se busca el formato de papel que se desea modificar (A3 420x297) y se pincha sobre modificar.

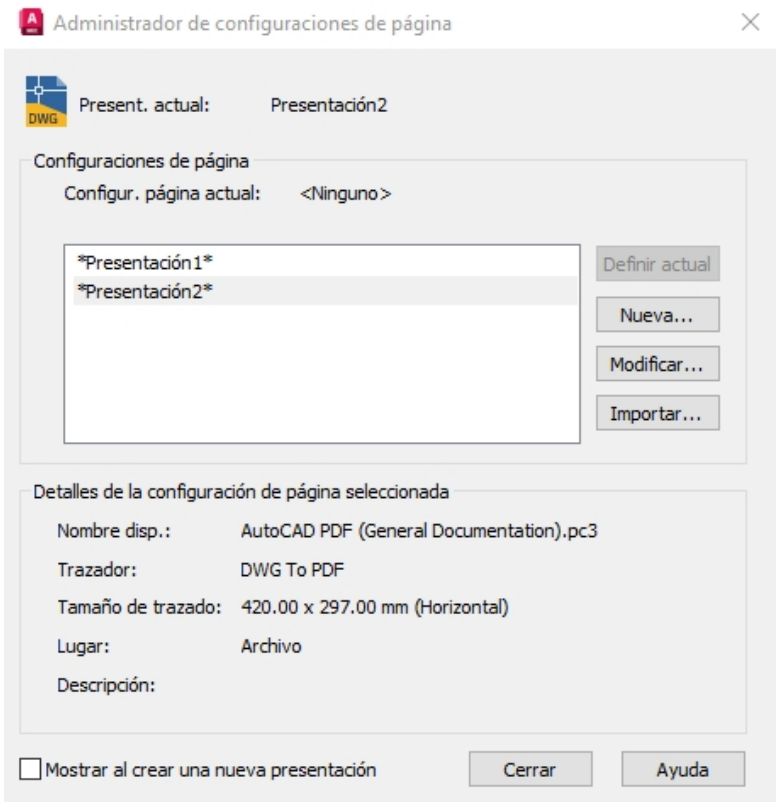


Ilustración 39. Administrador de configuraciones de página.

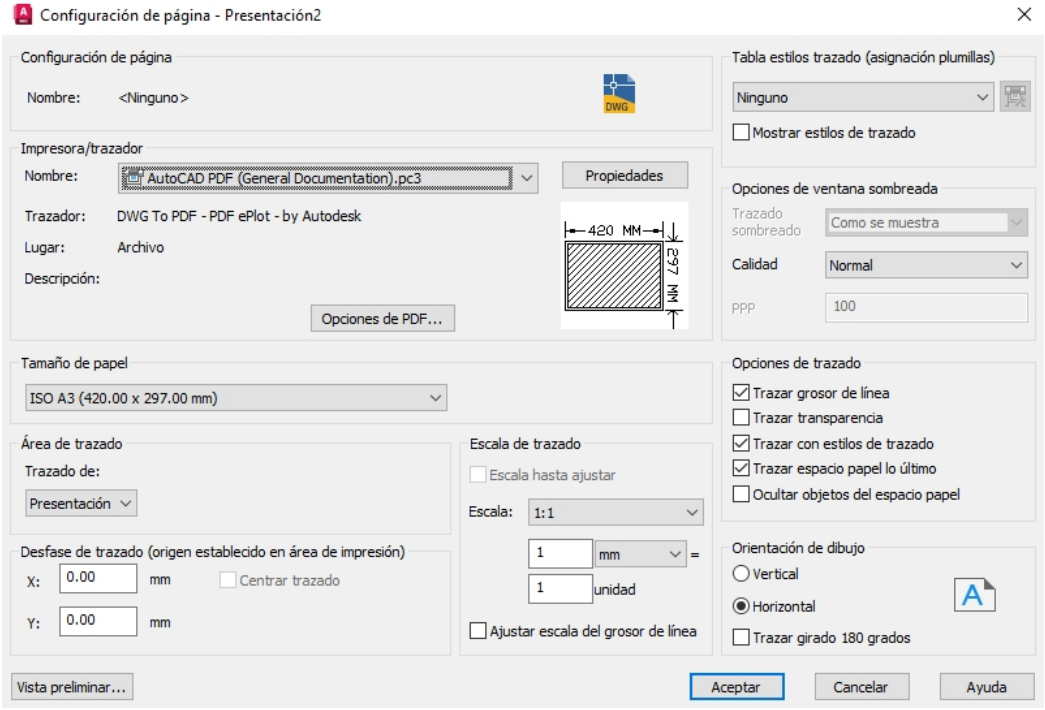


Ilustración 40. Configuración de página.

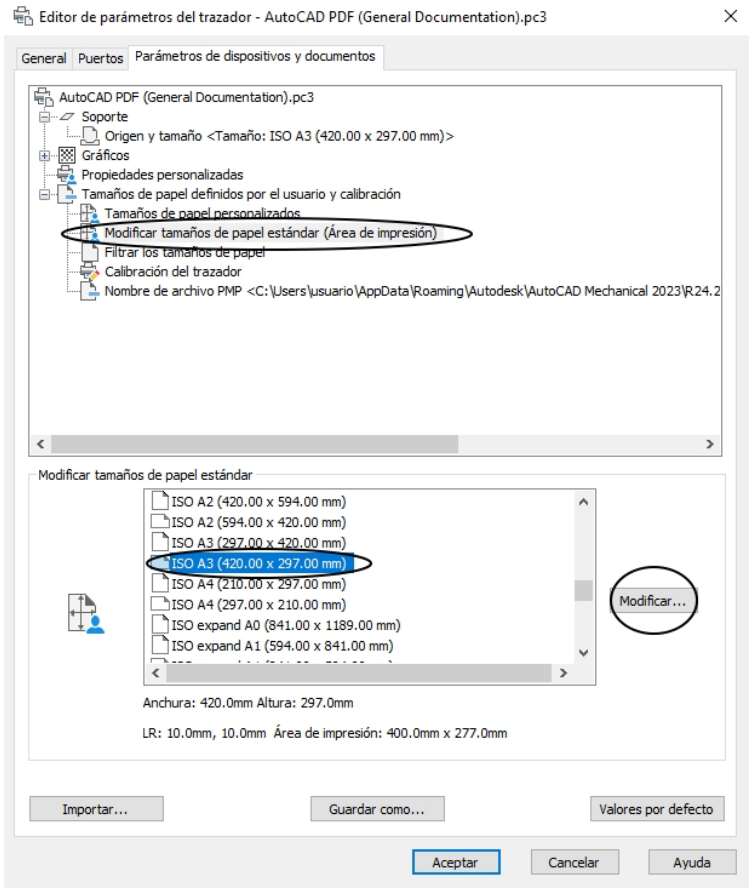


Ilustración 41. Editor de parámetros del trazador.

Tras pinchar en Modificar, aparecerá una nueva ventana en la que se introducirán los valores de los márgenes. Se introduce una cantidad de 0 mm, ya que se desea imprimir toda el área del formato (Ilustración 42). Para finalizar, se pincha en Siguiente, seguidamente en Guardar y, para terminar la operación, en Aceptar.

De esta manera, se ha conseguido que al imprimir el formato A3 420x297 mm aparezca toda la geometría sobre el mismo. Dado que hay un elevado número de planos, se debe de crear un bloque con el cuadro de rotulación, que incluirá toda la información pertinente, como pueden ser autores de los planos, fecha, escala, número de plano, etc. Para llevar a cabo la creación del cajetín o también denominado cuadro de rotulación, se realizarán una serie de pasos y/o procedimientos.

Antes de dar una explicación de cómo crear un cuadro de rotulación con atributos, se describirán los módulos disponibles que se utilizarán en AutoCAD Mechanical.

En la Ilustración 42, se muestra el módulo de inicio. En él se encuentran todas las operaciones básicas para croquizado de diferentes geometrías, incluidas en la sección de dibujo en la barra superior de herramientas. Además, otras herramientas muy utilizadas para poder realizar los planos son las disponibles en la sección de modificar, ya que permite desplazar, girar, escalar, recortar, estirar, … los objetos presentes en el plano. Asimismo, una de las grandes ventajas que presenta el uso de este software, es el trabajo por capas. Esto permite definir una capa para cada geometría o tipo de geometría. Por ejemplo, se puede definir una capa denominada Construcción, y en ella definir el grosor y tipo de línea, de manera que, siempre que se croquice sobre esa capa, se realizará con ese tipo de línea y grosor, así como el color seleccionado. Y no sólo esto, también se pueden desactivar o activar otras capas, para visualizar solamente aquellas de mayor interés. Por último, una de las opciones de este módulo es la opción de Insertar Vistas. Esta operación se encuentra en la esquina superior derecha en la barra de herramientas, clicando sobre Base y, a continuación, sobre A partir del espacio modelo. De esta manera se podrán insertar

vistas de la pieza presente en el espacio Modelo. Posteriormente se explicará con mayor detalle el procedimiento de inserción y modificación de vistas.

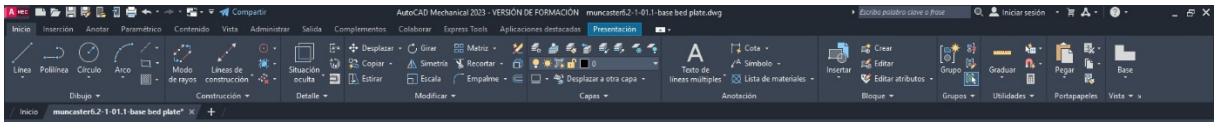


Ilustración 42. Barra de herramientas del módulo de Inicio.

En segundo lugar, se muestra el módulo de Inserción (Ilustración 43). A través de este módulo, se pueden insertar y crear bloques y atributos.

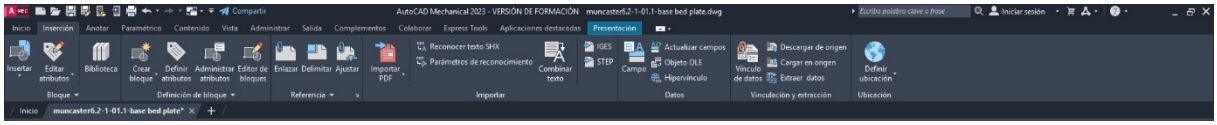


Ilustración 43. Barra de herramientas del módulo de inserción.

A continuación, se presenta uno de los módulos más usados para la elaboración de los planos. Este módulo recibe el nombre de Anotar (Ilustración 44), y en él se encuentran todas las operaciones necesarias para acotar la pieza en las diferentes vistas insertadas de la misma. Además, también se pueden introducir anotaciones de texto a través del comando Texto de líneas múltiples, así como los diferentes símbolos de convergencia, soldadura, acabado superficial, etc. Para el caso de planos de conjunto, en los cuales es necesario incluir referencias numéricas y una tabla de lista de materiales con la información necesaria de los componentes, se introducirán desde este módulo, a través de las operaciones de Referencias numéricas y de Tabla (parte superior de la pantalla en la barra de herramientas).

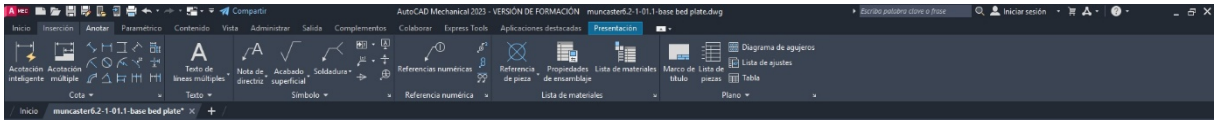


Ilustración 44. Barra de herramientas del módulo de Anotar.

Por último, se muestra el último módulo que se usará, siendo denominado Salida (Ilustración 45). A través de este módulo se trazará el plano usando la operación Trazar. Esto no es más que obtener un documento .pdf con el plano en el tamaño de papel seleccionado.

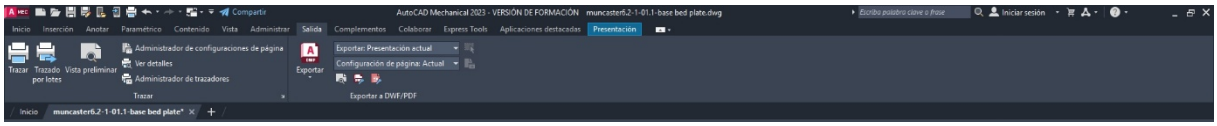


Ilustración 45. Barra de herramientas del módulo de Salida.

Para poder crear el cuadro de rotulación, será necesario definir el tipo y tamaño de letra apropiado. Para ello, desde el módulo Anotar, se pincha en la flecha inferior de la sección de Texto, en la barra de herramientas de dicho módulo, se clica sobre la flecha derecha de la primera casilla, y, seguidamente, en administrar estilos de texto. Todo esto se puede ver con claridad en la imagen inferior (Ilustración 46).

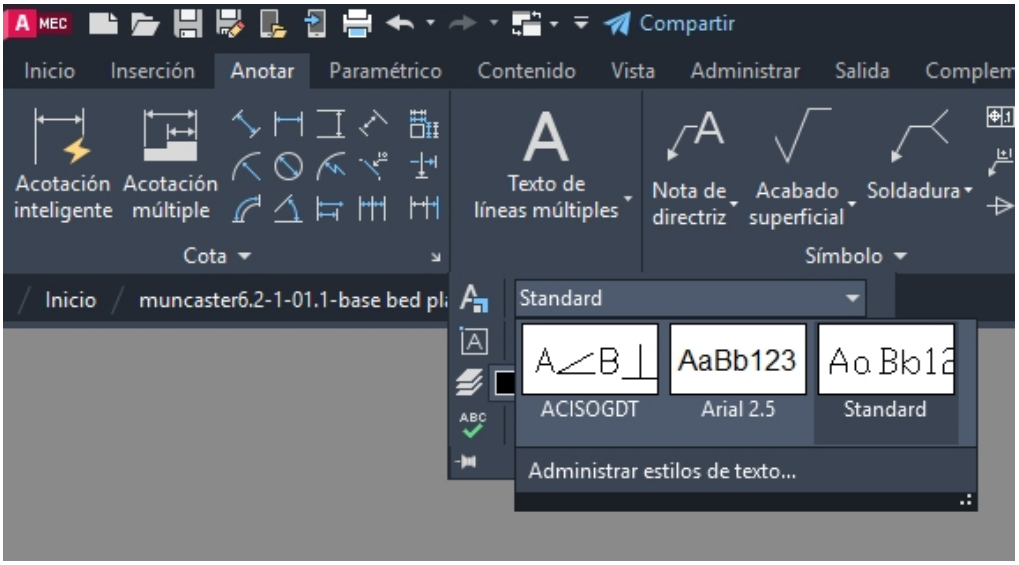


Ilustración 46. Administrar estilos de texto.

Aparecerá una nueva ventana (Ilustración 47). En ella, pinchando en nuevo, se podrá asignar el nombre del tipo de letra que se creará, y se podrá definir el tipo de letra y la altura de la misma.

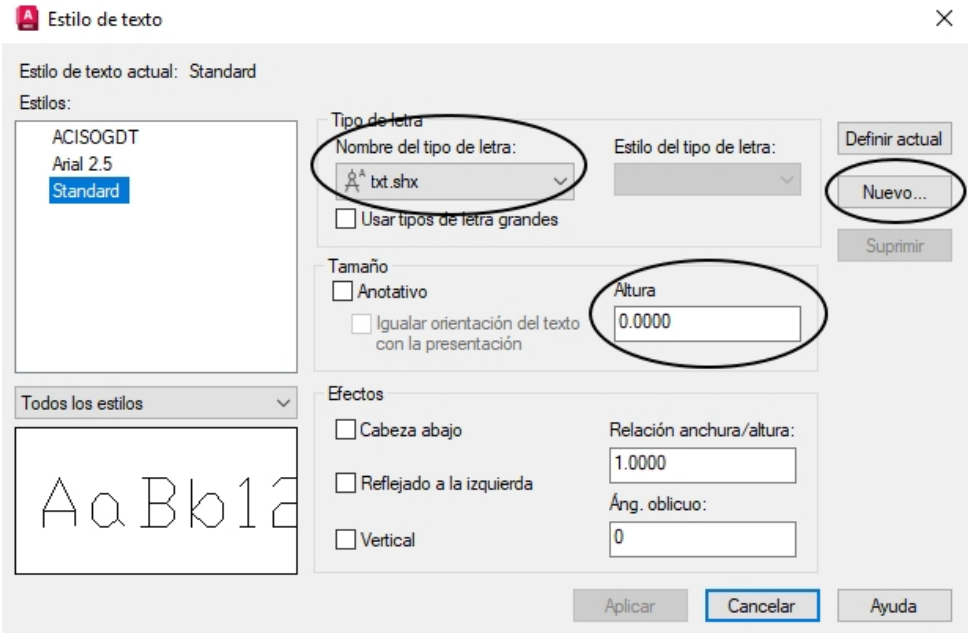


Ilustración 47. Estilo de texto.

Una vez descrito de una manera breve los módulos usados, y cómo se crea un estilo de texto, se continuará con la explicación del proceso para crear el cuadro de rotulación. El procedimiento a seguir será el siguiente:

- En primer lugar, se irá a una presentación nueva que no contenga ningún dibujo ni geometría. En ella, se establecerá el formato adecuado, A3 420x297 mm. Tras seleccionar el formato del plano, se dibujará un rectángulo de dimensiones de 400x277 mm, de forma que deje un margen a cada lado del mismo de 10 mm.
- Una vez croquizado el rectángulo, se trazará una tabla con un ancho de 170 mm, y se dividirá en diversas secciones, con las dimensiones adecuadas para poder incluir en su interior la información pertinente.
- Una vez se ha croquizado la tabla, y se ha dividido en las celdas necesarias, se procederá a rellenar dichas celdas con la información. Para ello, se escribirá sobre ella (operación de texto de líneas múltiples), con el tipo de letra determinado (posteriormente se explicará cómo crear un tipo de letra). Se escribirá de esta manera la información del cuadro de rotulación que no cambiará en ningún plano, siendo esta fecha, autor, revisor, nombre del proyecto, etc.

- El siguiente paso es definir los atributos. Estos serán la información que cambiará para cada plano, es decir, escala, título del plano y número. Al definir los atributos, cada vez que se inserte el bloque, el software pedirá en una ventana (Ilustración 48), el contenido en dichas celdas, es decir, el título, la escala y el número de plano. Previamente a la definición del atributo, se deberá escribir en las celdas deseadas, una referencia, por ejemplo, Título, con el tipo de letra determinado, y en la posición correcta en el interior de la celda, respetando márgenes. Posteriormente, para definir el atributo, desde el módulo de inserción, en la sección Definición de bloque, se clica sobre Definir atributos, y aparecerá una ventana (Ilustración 49). En ella se escribirá en Identificador el nombre asignado, para el caso del ejemplo, se escribiría Título. Se repite esta operación para el resto de datos, es decir, escala y número de plano.

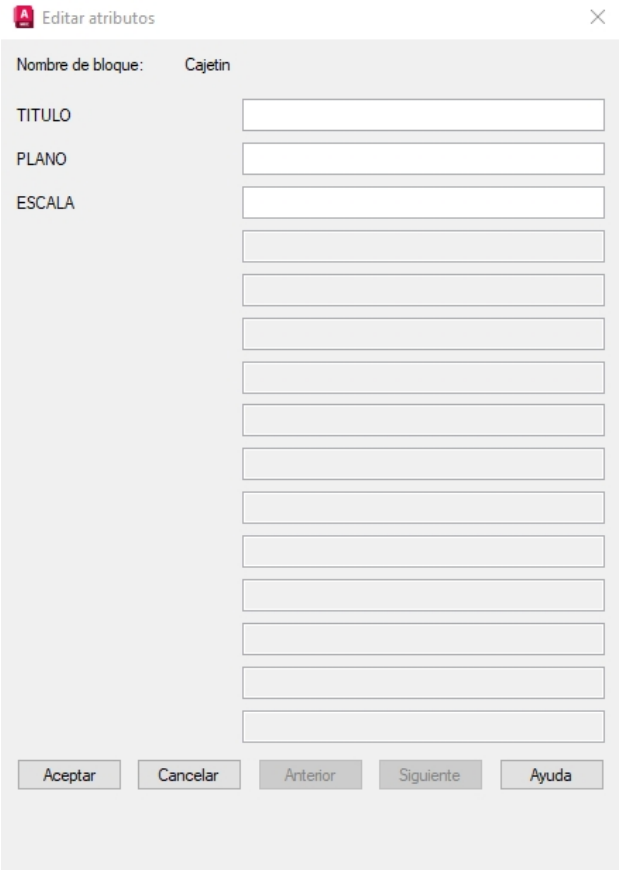


Ilustración 48. Introducción de datos del cuadro de cuadro de rotulación.

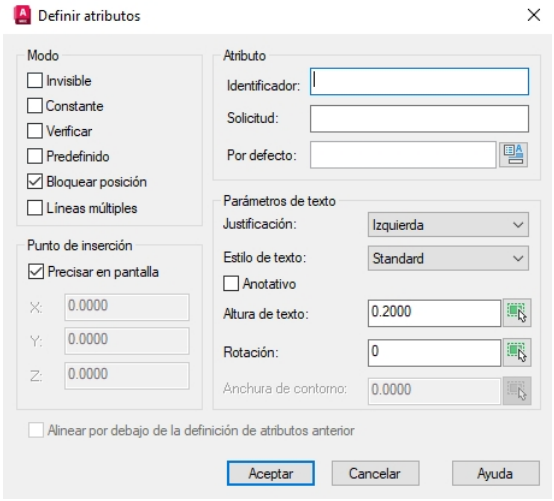


Ilustración 49. Ventana de definición de atributos.

- Por último, sólo falta crear el bloque para poder introducirlo en cualquier presentación o modelo de otros archivos. Para ello, desde el módulo de inserción, sección definición de bloque, se clica sobre Crear bloque, y aparecerá un menú desplegable con dos opciones, se elegirá la opción de Escribir bloque. A continuación, se abrirá una ventana (Ilustración 48). En ella, se definirán los objetos que pertenecerán al bloque, y el punto de inserción, clicando sobre las dos opciones marcadas con una elipse en la imagen inferior (Ilustración 50). Finalmente, en el apartado de destino, pinchando sobre los tres puntos suspensivos, se abrirá una ventana y se podrá seleccionar el directorio donde se guardará el bloque.

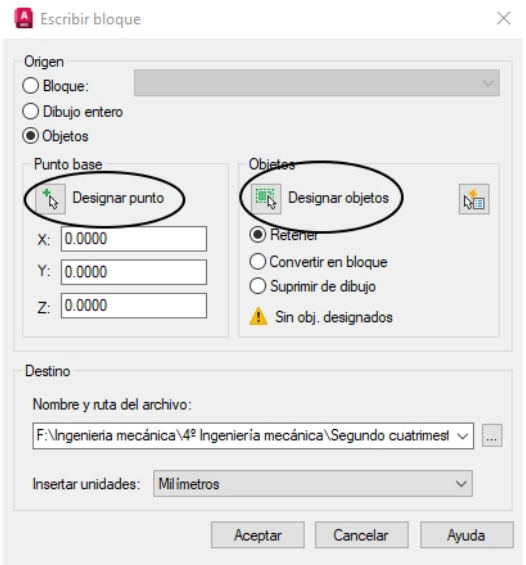


Ilustración 50. Ventana para escribir bloques.

De esta manera, ya se tiene el cuadro de rotulación creado para poder insertarlo en cualquier presentación. Para insertarlo, desde el módulo de inserción, en la sección de Bloque, se pincha sobre Insertar, y en el menú desplegable, se selecciona Biblioteca de bloques. Aparecerá a la derecha de la pantalla una ventana (Ilustración 51). En ella, debajo de Filtro, se clica sobre la flechita, y en el menú desplegable, se selecciona la opción Examinar biblioteca de bloques. Se busca la ubicación del bloque, y se acepta. Aparecerá en la ventana de la imagen inferior (Ilustración 49), y se podrá arrastrar a la presentación para insertarla en el lugar deseado.

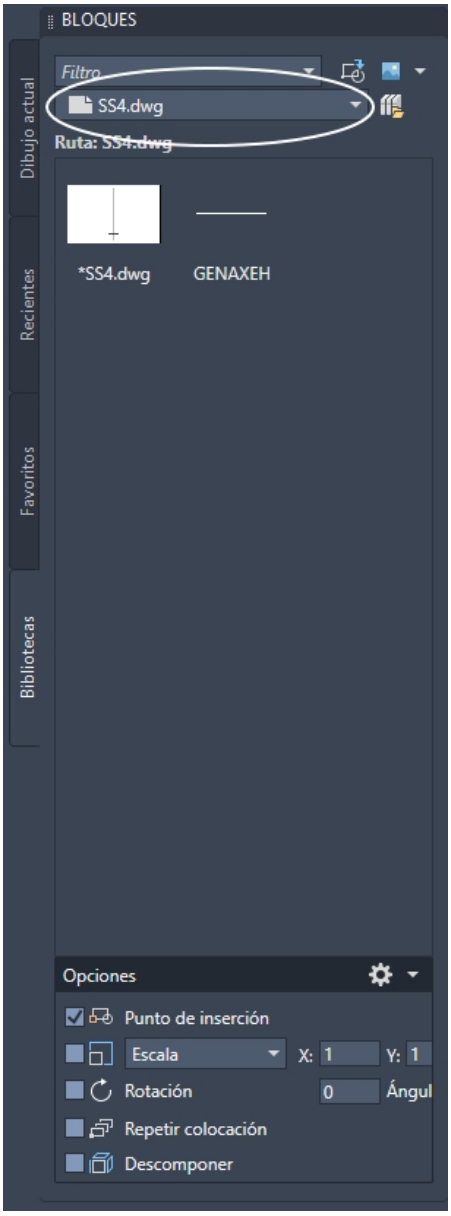


Ilustración 51. Menú para insertar bloques.

El siguiente paso tras insertar el cuadro de rotulación en la presentación, y escribir sobre el mismo el título, escala y número del plano, a través de los atributos definidos al crear el bloque que contiene el cuadro de rotulación, será crear las escalas apropiadas para las vistas que posteriormente serán insertadas en el dibujo. Para ello, se escribirá en la barra de comandos, situada en el centro de la pantalla en la parte inferior, el comando Editarlistaescalas, y se pulsa Enter. En la ventana que aparece (Ilustración 52), se pincha en añadir y aparecerá nuevamente una ventana (Ilustración 53). En ella, se escribirá el nombre de la escala (1:2, 1:5, 2:1, …), así como las propiedades de la escala. Por ejemplo, si se desea crear una escala 1:2, se insertará el valor 1 en unidades de papel, y el valor 2 en unidades de dibujo.

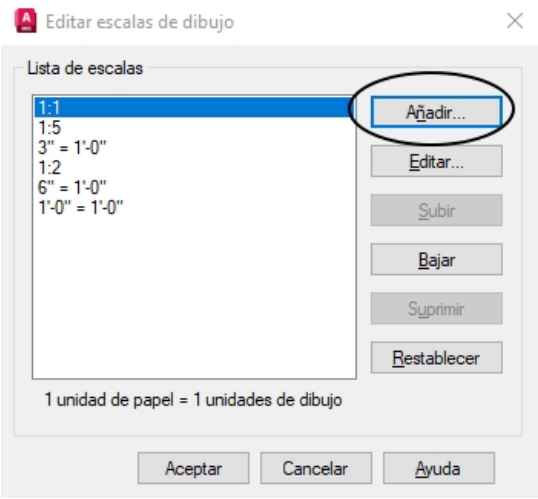


Ilustración 52. Editar escala de dibujos.

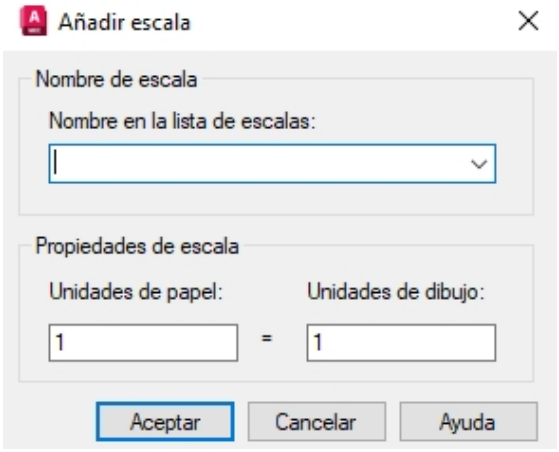


Ilustración 53. Añadir escala.

Para insertar las vistas, se debe acudir al módulo Inicio. En él, en la barra de herramientas, a la derecha, se pincha en base, y en A partir del espacio modelo. De esta manera, aparecerá una vista, y se podrá insertar en la zona deseada del papel, y con una orientación determinada. Para ello, al ubicar la vista en el papel, la barra de herramientas cambia (Ilustración 53) y se podrá modificar escala, visibilidad de las aristas y la orientación.

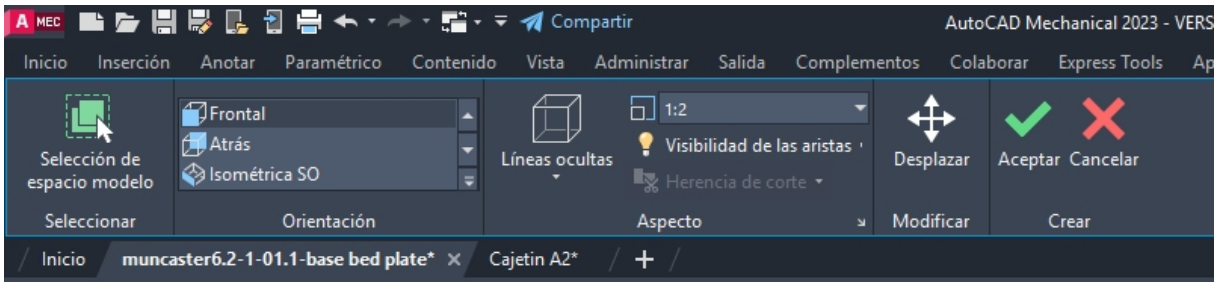


Ilustración 54. Barra de herramientas al insertar vista.

Para editar la vista, se pulsa sobre ella, y la barra de herramientas cambiará automáticamente (Ilustración 55).

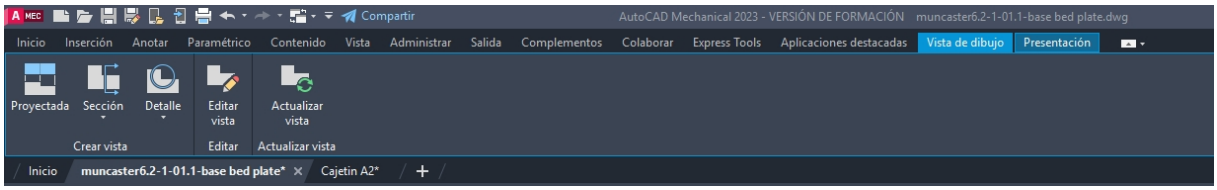


Ilustración 55. Barra de herramientas al clicar sobre una vista.

Las opciones posibles son:

- **Proyectada:** con esta opción se podrá crear otra vista a partir de la proyección de la vista seleccionada.
- **Sección:** se podrá crear una vista seccionada trazando la línea de corte a través de la vista elegida, así como el sentido de la proyección.
- **Detalle:** para crear una vista de un detalle de la pieza, a otra escala.
- **Editar vista:** si se opta por esta opción, la barra de herramientas volverá a cambiar (Ilustración 56), y se podrá cambiar la visión de las aristas (líneas visibles, líneas visibles y ocultas, etc.), así como la escala.

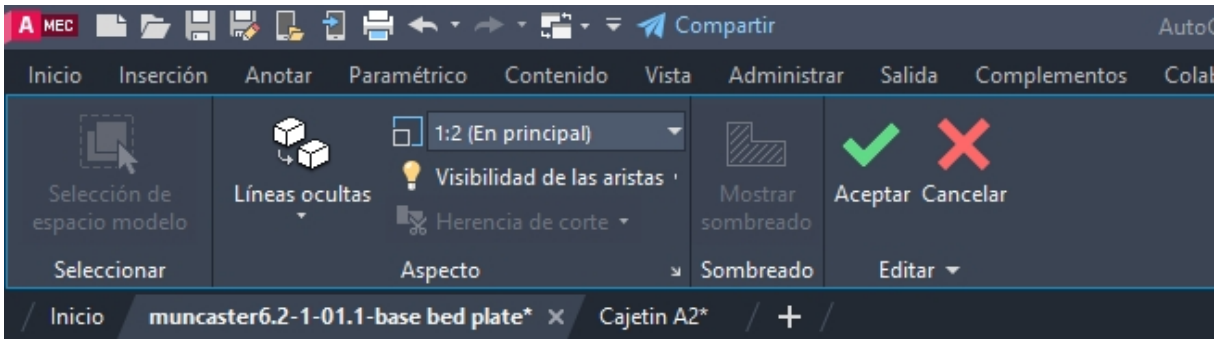


Ilustración 56. Barra de herramientas para editar vista.

De esta manera, se editan las vistas y se pueden añadir nuevas a partir de las ya existentes, ya sea creando proyecciones, o a partir de cortes o detalles.

Ahora, ya que se tienen las vistas en el dibujo, será necesario acotarlas. Esta operación se lleva a cabo desde el Módulo Anotar. En la sección Cota, se podrán crear cotas lineales verticales u horizontales, así como acotar radios o diámetros, ángulos, etc. Hay unos comandos muy interesantes, como lo son Marcacentro, que permite seleccionar circunferencias o radios, y se dibujará la marca del centro o bien, Centerline, a través del cual se creará una línea central. Ambos comandos se escribirán en la barra de escritura de comandos.

Para editar las líneas creadas y las marcas de centro, se pincha sobre ellas, y con el botón derecho del ratón, en el menú desplegable, se pulsa en Propiedades. En la ventana que aparece (Ilustración 57), hay numerosas opciones. Las más importantes son las que aparecen en una elipse en la ilustración, en las cuales se puede cambiar el tipo de línea, para poner, por ejemplo, líneas de trazo y punto (ya que son las utilizadas para orificios y líneas de simetría), y la escala de la misma, para que los trazos sean de menor o mayor tamaño. Además, se podrá cambiar el color o la capa a la que pertenece la geometría seleccionada.

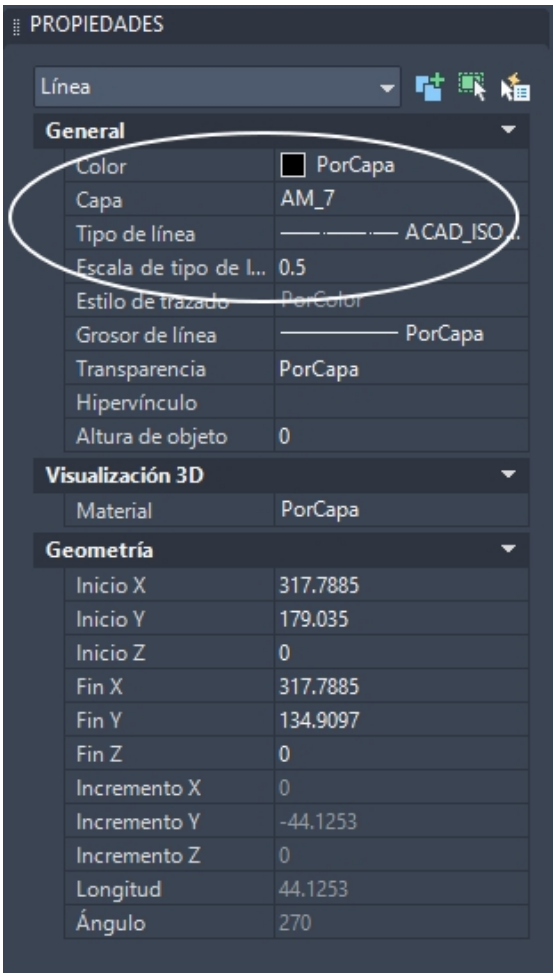


Ilustración 57. Propiedades de línea.

Las cotas se realizarán con el formato predeterminado de AutoCAD Mechanical. Para poder modificar la norma en la que se realizan, y definir el tipo de letra, color, tamaño, y otros parámetros de interés, se escribirá en la barra de comandos Config. Aparecerá la siguiente ventana (Ilustración 58).

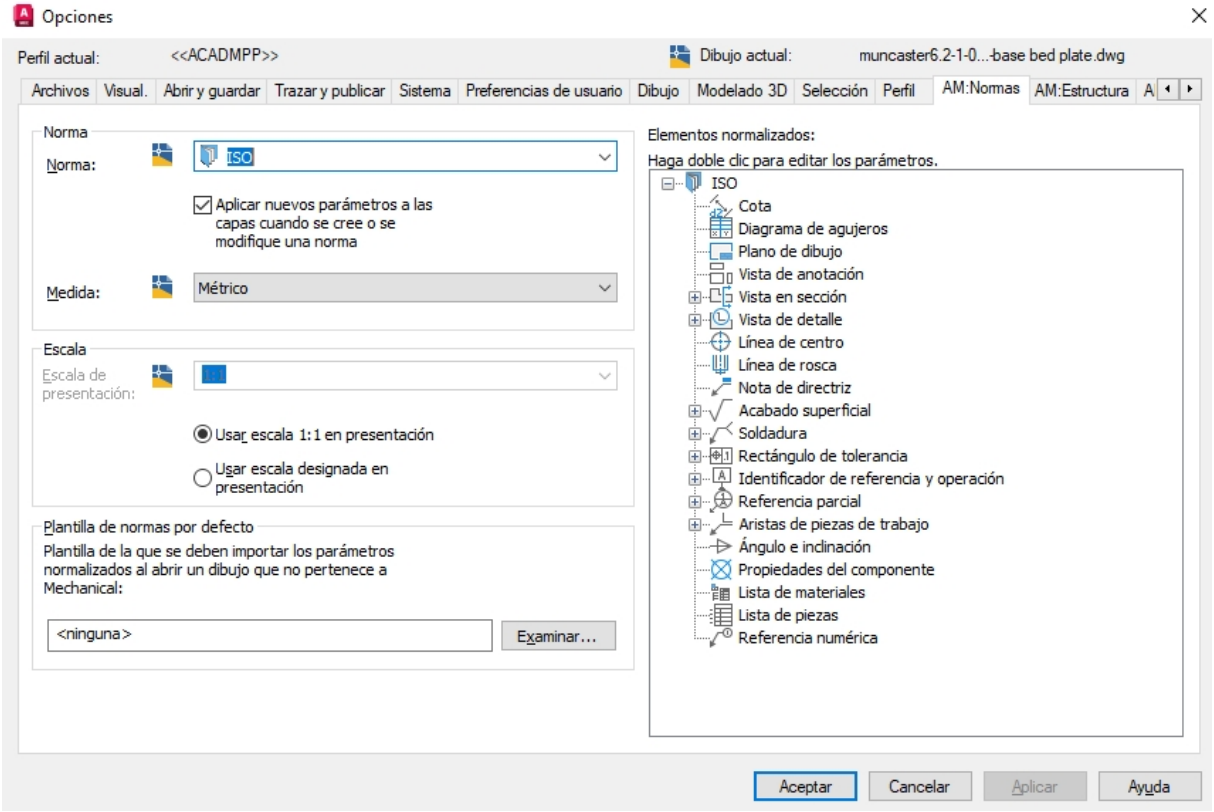


Ilustración 58. Menú de configuración de AutoCAD.

En la barra superior, se pinchará sobre la pestaña AM:Normas. En ella, se podrá cambiar la configuración de bastantes parámetros. Los de mayor interés son los pertenecientes a Cota (Ilustración 59), vista de sección (Ilustración 60) y vista de detalle (Ilustración 61).

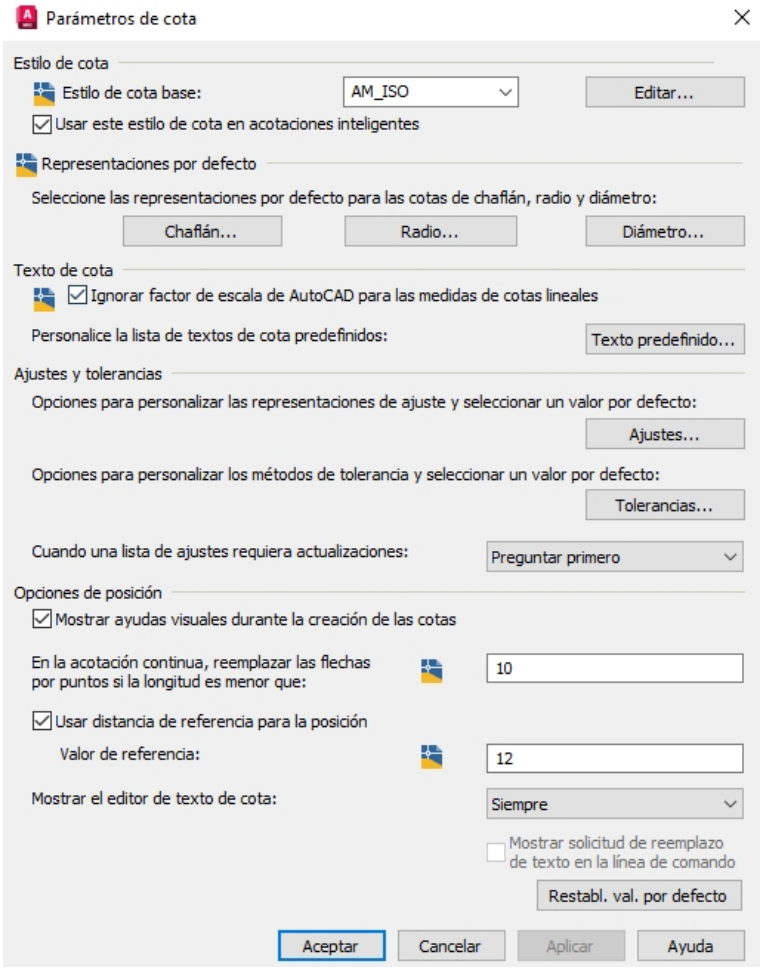


Ilustración 59. Parámetros de cota.

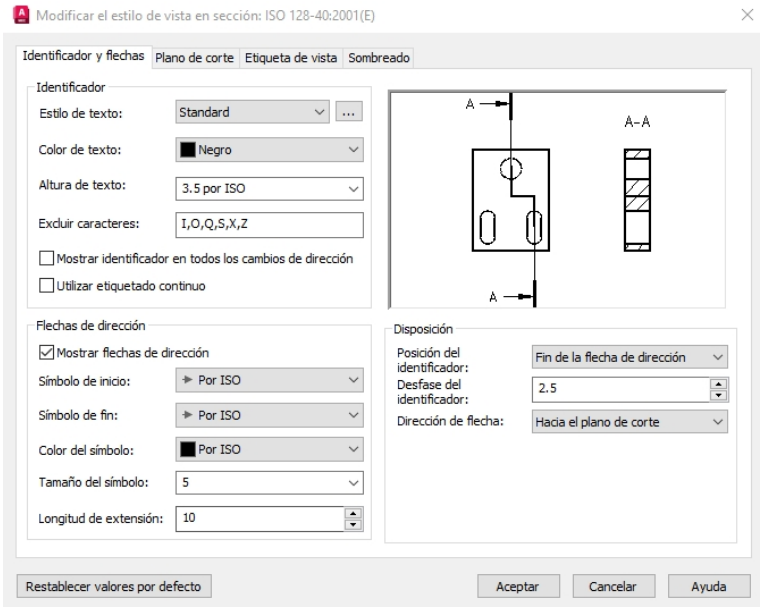


Ilustración 60. Parámetros de vista de sección.

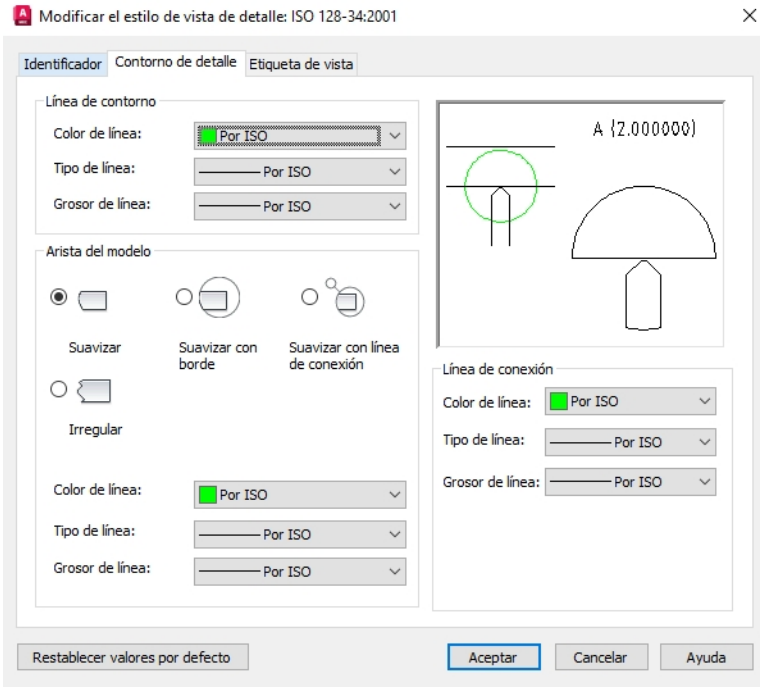


Ilustración 61. Parámetros de vista de detalle.

En cada una de estas ventanas, se pueden modificar los parámetros de la cota, vistas de detalle, y sección. Los parámetros más importantes que se pueden variar en cada uno de ellos se resumen a continuación.

- **Parámetros de cota:** en la imagen anterior (Ilustración 59), se puede ver con total claridad diversos parámetros que se pueden modificar. En dicha ventana, se pueden variar la representación de radios, diámetros y chaflanes. Asimismo, se puede editar la norma aplicada a la acotación, pinchando sobre editar, en la primera sección de la ventana. Se abrirá una ventana (Ilustración 62). Se clica sobre modificar, y se abrirá una nueva ventana (Ilustración 63). En ella se podrá cambiar el texto, altura del texto, anchura de las líneas de cota, tamaño y tipo de la flecha, color del texto, formato de número, separador decimal, y muchos parámetros más de los cuáles no se entrará en detalle ya que no tienen mucha utilidad en este proyecto.

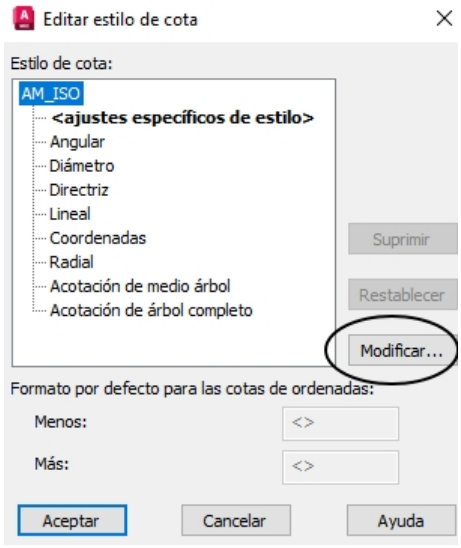


Ilustración 62. Editar estilo de cota.

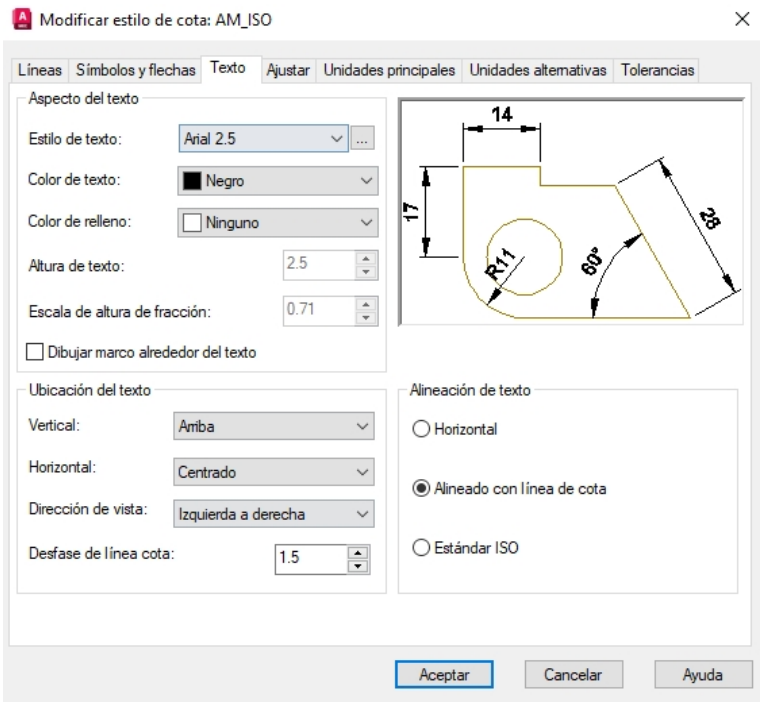


Ilustración 63. Modificar estilo de cota.

- **Parámetros de vista de sección:** se podrá modificar el tipo de línea de la sección, así como su color, el tipo de texto de la vista y, seleccionar o no, la representación de las flechas de sentido de la vista, la línea de sección, identificador del plano de corte, etc.
- **Parámetros de vista de detalle:** al igual que en los parámetros de vista de sección, se puede modificar el color de la línea y el tipo, color del texto o tamaño.

Por último, sólo faltaría imprimir el plano. En el módulo Salida, se pincha en Trazar (en la izquierda de la barra de herramientas), y aparecerá una ventana (Ilustración 64), en la cual se define el tamaño de papel de impresión, el trazador o impresora, y el estilo de trazado (monochrome para impresión en blanco y negro). Para terminar, se pincha en Aceptar, se selecciona directorio de ubicación del archivo .pdf generado, así como su nombre.

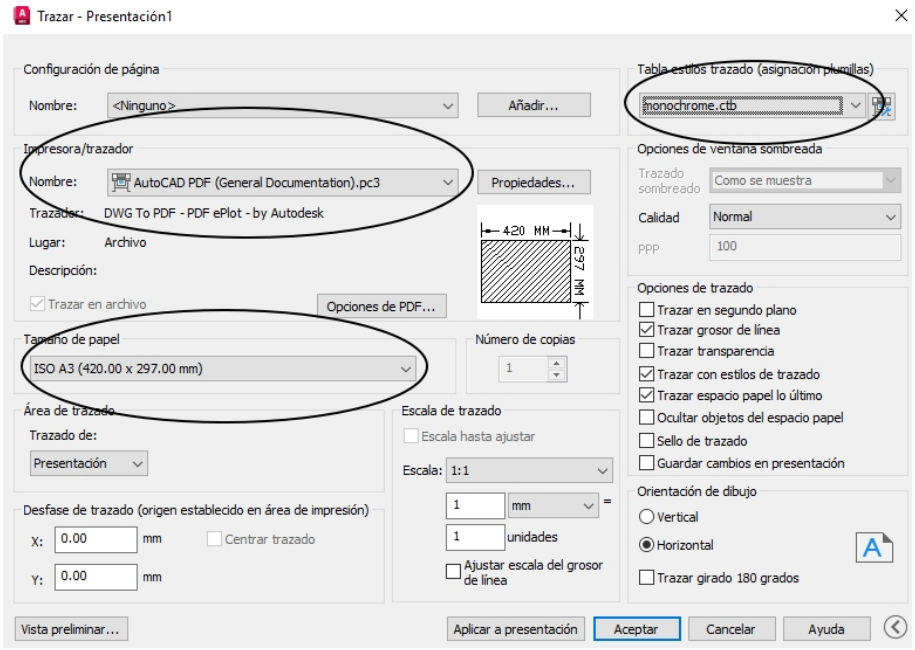


Ilustración 64. Trazar plano.

Para terminar con este apartado, se procederá a la explicación de la creación de tablas, para el caso de planos de conjunto, que requieren una tabla con la información de la referencia numérica. Para ello, desde el módulo Anotar, en la sección Plano, se clica sobre Tabla, y aparecerá una ventana (Ilustración 65). En ella se podrá definir el número de filas y columnas, así como los estilos de celda, que podrán ser título, encabezamiento o datos. Para modificar la tabla, se pulsa sobre el icono redondeado en la imagen (Ilustración 65), y aparecerá una ventana (Ilustración 66), que permitirá modificar o crear un estilo de tabla. Para el caso de modificar, aparece una ventana (Ilustración 67), y se podrá cambiar la altura, estilo y color del texto, así como los bordes, para cada tipo de celda.

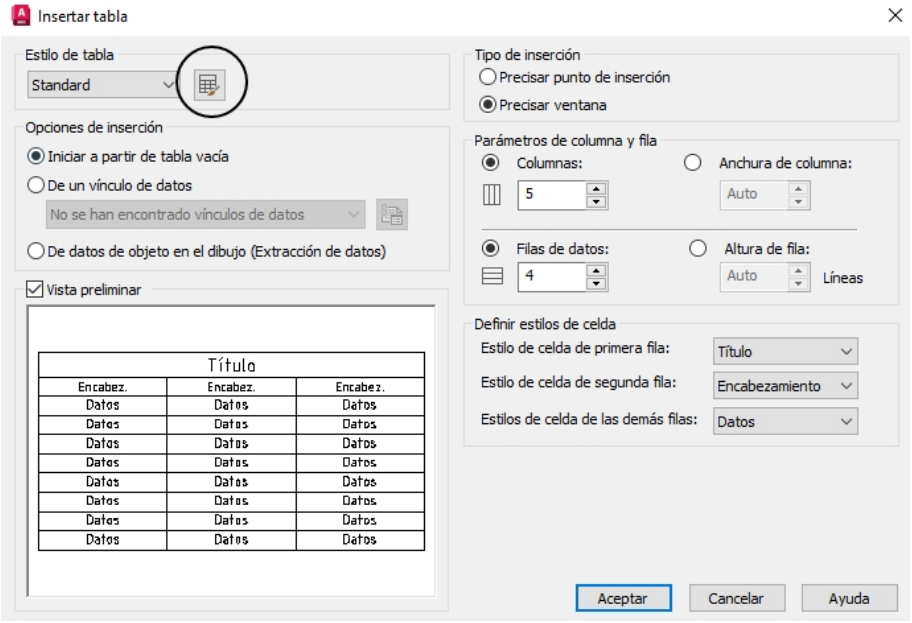


Ilustración 65. Insertar tabla.

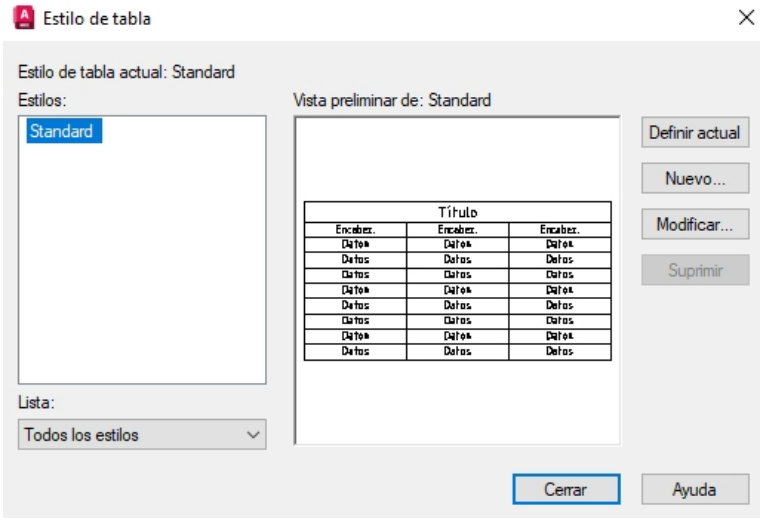


Ilustración 66. Estilo de tabla.

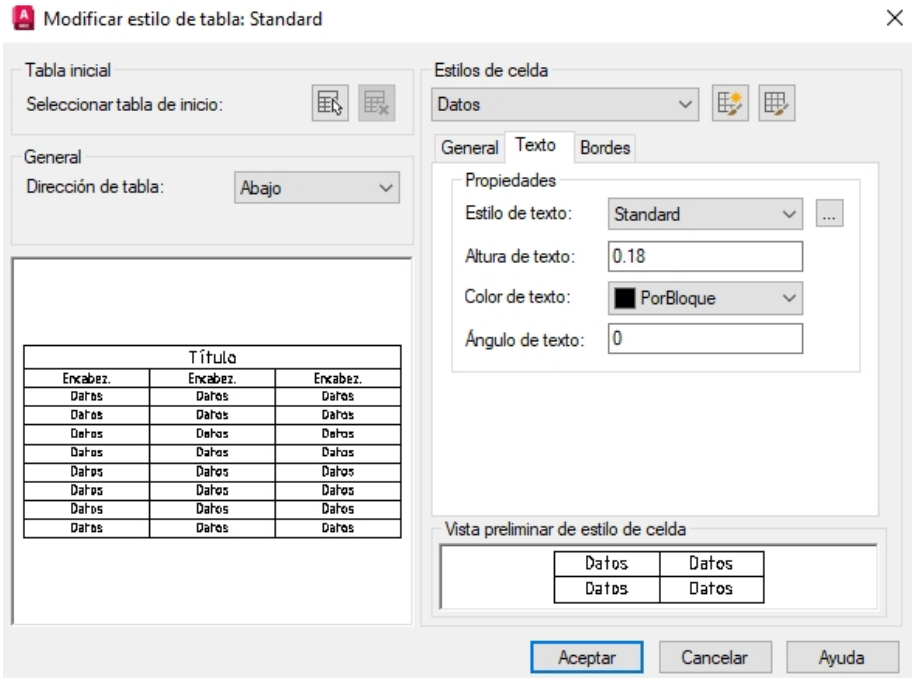


Ilustración 67. Modificar estilo de tabla.

Para terminar, se presentará una de las ventajas de AutoCAD, y es que permite insertar tablas de Excel en formato de entidad de AutoCAD. Se copia la tabla de Excel, y en la barra de comandos de AutoCAD, se escribe el comando Pegaesp, y aparecerá una ventana (Ilustración 68). Se selecciona Entidades de AutoCAD, y se pegará la tabla, de manera que se podrá editar como si hubiera sido creada desde AutoCAD. Esto permite crear una tabla de materiales en Excel, y pegar en AutoCAD los datos de dicha tabla necesarios, evitando así la necesidad de crear varias veces la misma tabla.

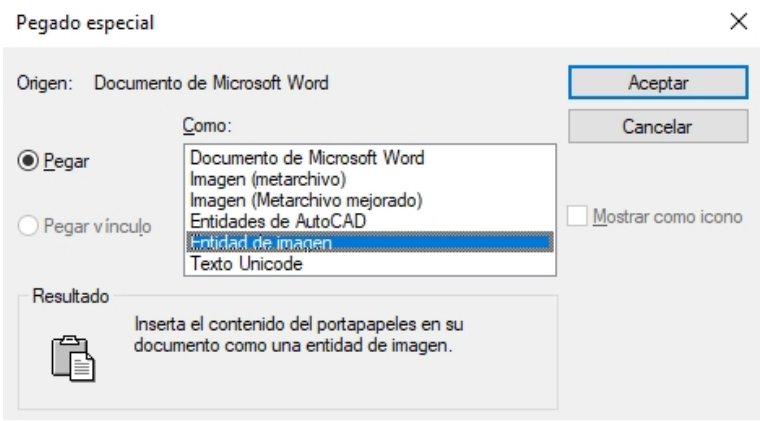


Ilustración 68. Pegado especial.

2.3. SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS ESTÁTICO: INVENTOR NASTRAN 2023

En este subapartado se explicará la metodología de trabajo empleada para poder realizar los análisis CAE a las invenciones de estudio. Los análisis que se realizarán son: un análisis modal para determinar las frecuencias naturales de vibración de los sistemas (máquinas de vapor), así como un análisis estático lineal en las posiciones más críticas de ambas invenciones. Para llevar a cabo estos análisis, se ha optado por el uso de software Autodesk Inventor Nastran 2023 [5], que es un entorno de Autodesk Inventor, pero que no viene incluido en el mismo, sino que requiere de la instalación de Nastran. Por tanto, requiere la adquisición de una licencia a parte de la requerida para Inventor.

En primer lugar, se debe abrir Autodesk Inventor Professional 2023, y en la barra superior de herramientas, ir al módulo Entornos, y clicar sobre Inventor Nastran (Ilustración 69).

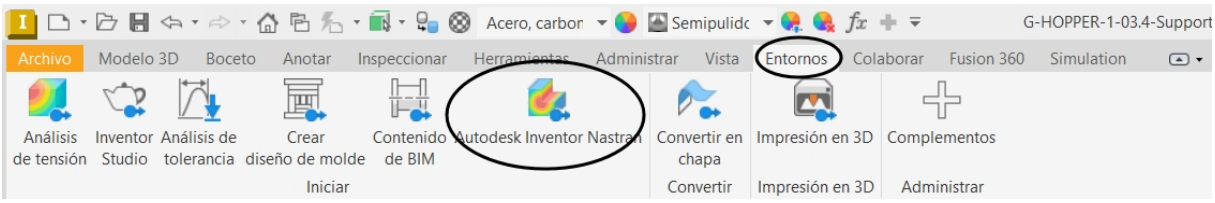


Ilustración 69. Entrar en Inventor Nastran 2023.

Una vez se ha pinchado sobre el icono, se abrirá el entorno de Autodesk Inventor Nastran 2023 (Ilustración 70). En él se tiene una barra de herramientas con numerosas opciones. Lo más interesante de usar este software en lugar del disponible para análisis tensional que posee Autodesk Inventor Professional, es que se tiene a la izquierda de la pantalla una ventana en la cual se puede navegar. Dicha ventana está compuesta de cuatro campos de visualización. En primer lugar, se tiene el árbol del modelo. En él se visualiza el ensamblaje, componentes del ensamblaje, restricciones, planos de origen del sistema de coordenadas, etc. En la segunda opción, se presenta el árbol de Nastran. En él se pueden visualizar los análisis creados, y el árbol del modelo. El árbol modelo recoge toda la información creada en los análisis, es decir, restricciones (condiciones de contorno), cargas, idealización de materiales, etc. En

tercer lugar, se tiene Nastran Output. En esta ventana el programa escribirá automáticamente la salida que genera al ejecutar un análisis. En ella se puede visualizar el número de iteración que está realizando el software en un momento determinado, la convergencia de los contactos, …, es decir, qué está haciendo el 'Solver' en ese momento. Por último, se tiene Nastran File, donde el programa escribe una lectura de toda la información entrante al 'Solver', y las asocia a los denominados BSCOMP. Estas entradas son las condiciones de contorno, solicitaciones externas, superficies de contacto, etc. Estas dos últimas ventanas son de gran utilidad, ya que, si hay algún fallo, en la ventana Nastran Output, se indica el fallo, por ejemplo, fallo de malla en BSCOMP 1995. Así pues, si se busca ese BSCOMP en la ventana Nastran File, se puede ver qué se ha asociado a dicho BSCOMP, y determinar el fallo para poder establecer una solución.

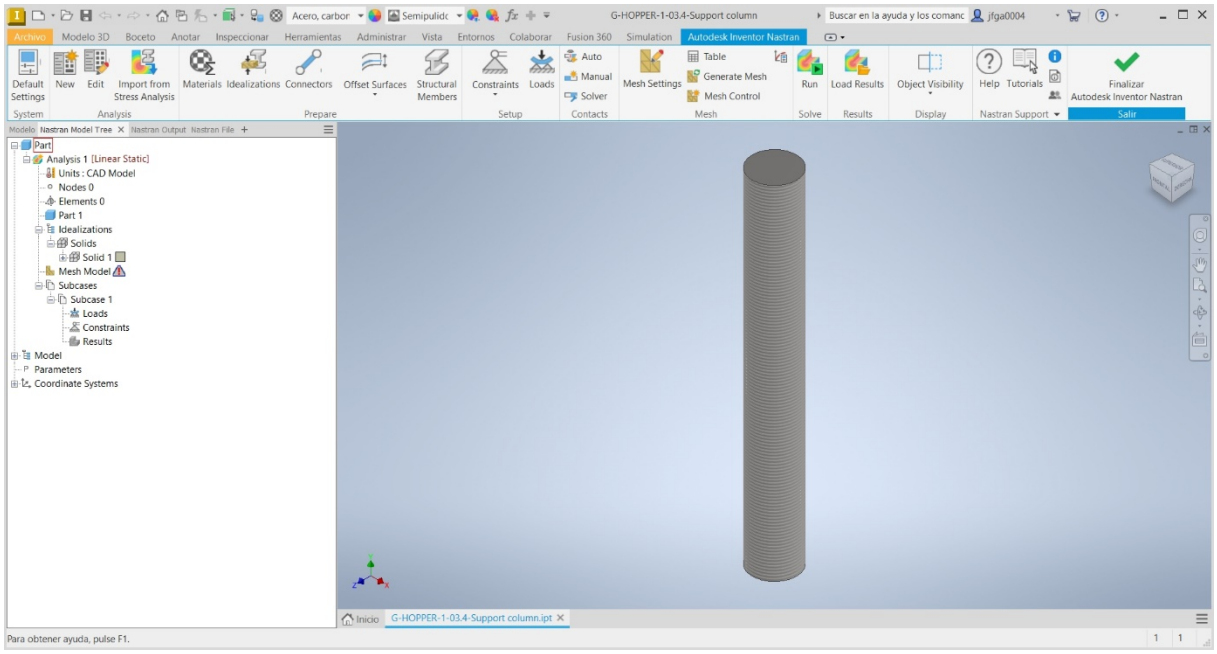


Ilustración 70. Entorno de Inventor Nastran 2023.

Lo primero de todo, para poder realizar cualquier análisis, es tener el modelo CAD de una pieza. A continuación, se explicará el procedimiento a emplear para poder realizar cualquier análisis, es decir, el pre-procesado.

En primer lugar, se debe de realizar una idealización, es decir, se debe de adjudicar un material con sus respectivas propiedades mecánicas y térmicas al

modelo CAD. De esta manera, se habrá creado una idealización del sólido. Inventor Nastran posee una biblioteca de materiales con las propiedades definidas, pero si se desea, se puede crear un material. Si se pincha sobre 'Idealizations' en la barra de herramientas (Ilustración 71), aparece una ventana (Ilustración 72), en la que se puede seleccionar el/los sólidos a los que se le va a aplicar cierta idealización, y el material que se le va a adjudicar.

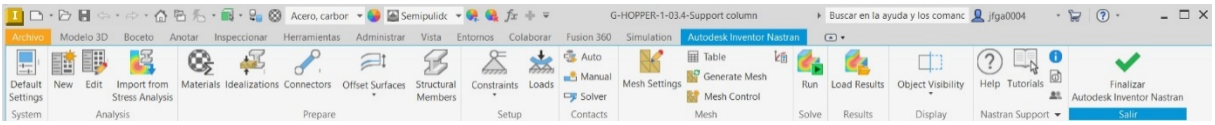


Ilustración 71. Barra de herramientas de Inventor Nastran.

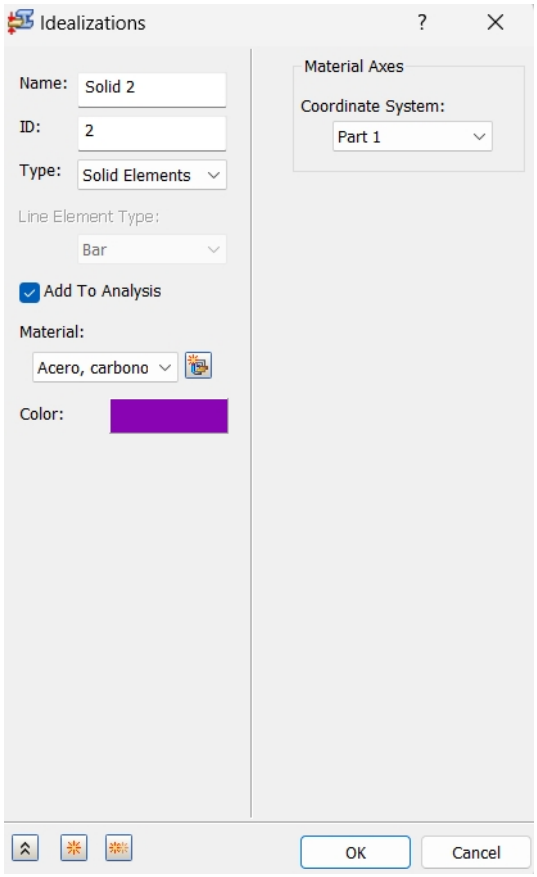


Ilustración 72. Ventana de idealización.

Si se pincha sobre el icono que hay a la derecha del material seleccionado (Acero, carbono para el ejemplo), se podrá crear un nuevo material, a través de la ventana que aparece en pantalla (Ilustración 73).

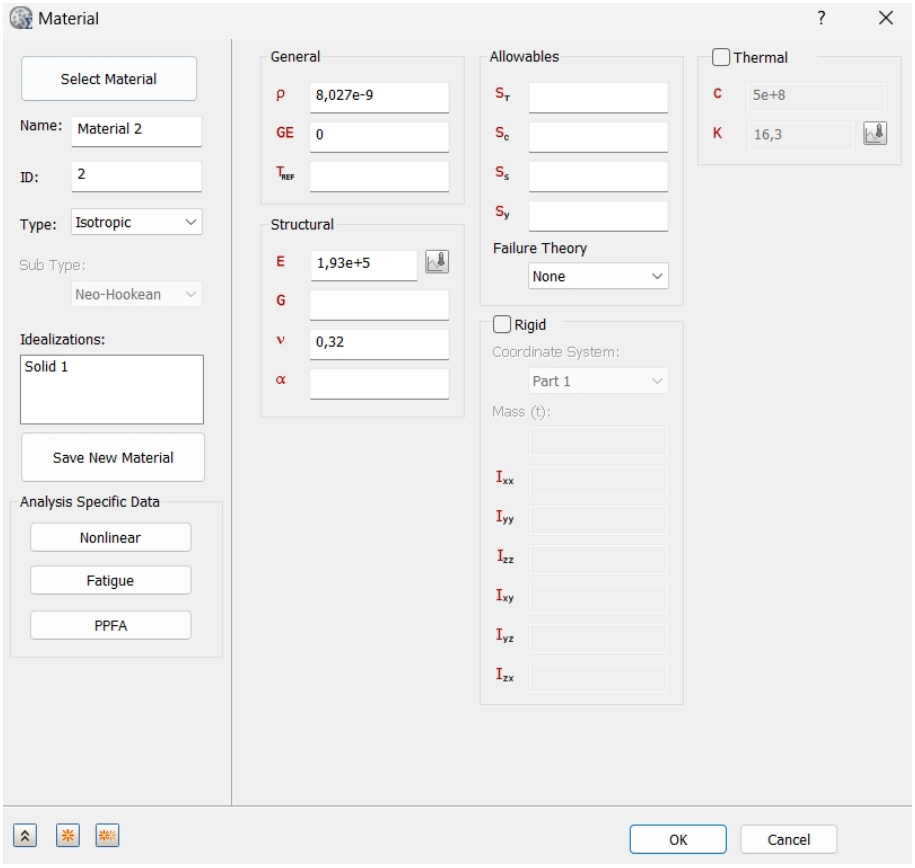


Ilustración 73. Creación de material.

Este proceso de idealización de material se debe de realizar para todos los componentes que haya en un ensamblaje. Otra opción, es asignar el material cuando se modela el componente, de esta manera cuando se accede al entorno de Nastran, las idealizaciones ya están creadas, pero hay que tener especial cuidado, dado que, si el ensamblaje está compuesto por un número elevado de componentes, y muchos de ellos tienen igual nombre (puesto que se ha insertado varias veces en el ensamblaje), puede que no se cree la idealización para todos ellos, y esto de lugar problemas a la hora de lanzar la simulación. Esto también sucede para los elementos de fijación (pernos, arandelas, tuercas,…) si hay un número muy elevado de estos componentes. La solución a este problema es realizar un primer mallado, y aunque aparezca el mensaje Mesh Failed, continuar, y al final del mallado, se podrá ver qué elementos no han sido mallados, y se idealizarán dichos elementos no mallados. También puede haber otros motivos para que la generación de la malla falle, pero, para el caso estudiado, ésta ha sido la solución, dado que al haber un gran número

de elementos iguales (por ejemplo, pernos ISO M5 x 15), no se creaba correctamente la idealización para todos y, como resultado, se tenían algunos de ellos sin mallar.

Una vez se tienen idealizados los sólidos, se debe crear el análisis. Al abrir Inventor Nastran, ya aparece un análisis creado, por lo que se tienen dos opciones: o crear uno nuevo o editar el ya existente. Para editarlo, se clica con el botón derecho del ratón sobre el análisis, y aparecerá un menú desplegable, se selecciona 'Edit' (Ilustración 74), y aparecerá una ventana (Ilustración 75).

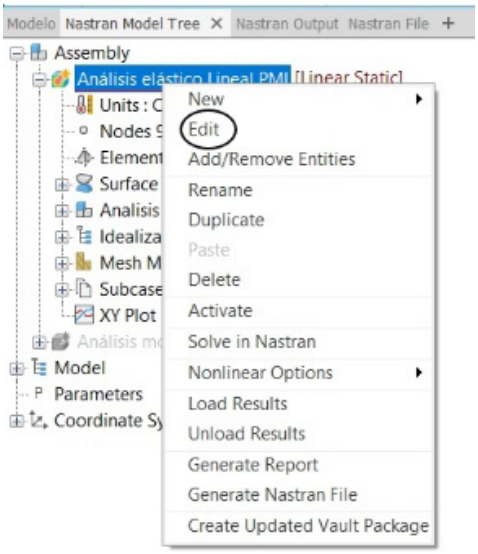


Ilustración 74. Edición de análisis.

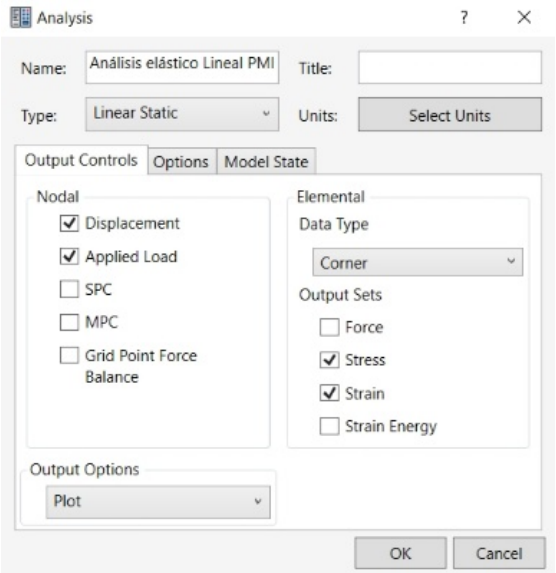


Ilustración 75. Ventana de edición del análisis.

En dicha ventana, se pueden seleccionar las variables de entrada, en las cuales no se va a entrar en mucho detalle ya que se sale del objetivo de este TFG, y se adentraría a explicar métodos de cálculo avanzados en ingeniería mecánica (método de los elementos finitos). Asimismo, se definen las variables de salida. Es de vital importancia seleccionar aquellas de mayor interés, ya que cuanto mayor sea el número de parámetros de salida, mayor será el coste computacional, es decir, la simulación tendrá un tiempo de ejecución mayor. También se puede seleccionar el sistema de unidades, así como el tipo de análisis. En la siguiente imagen (Ilustración 76), se muestran los análisis disponibles en Inventor Nastran 2023.

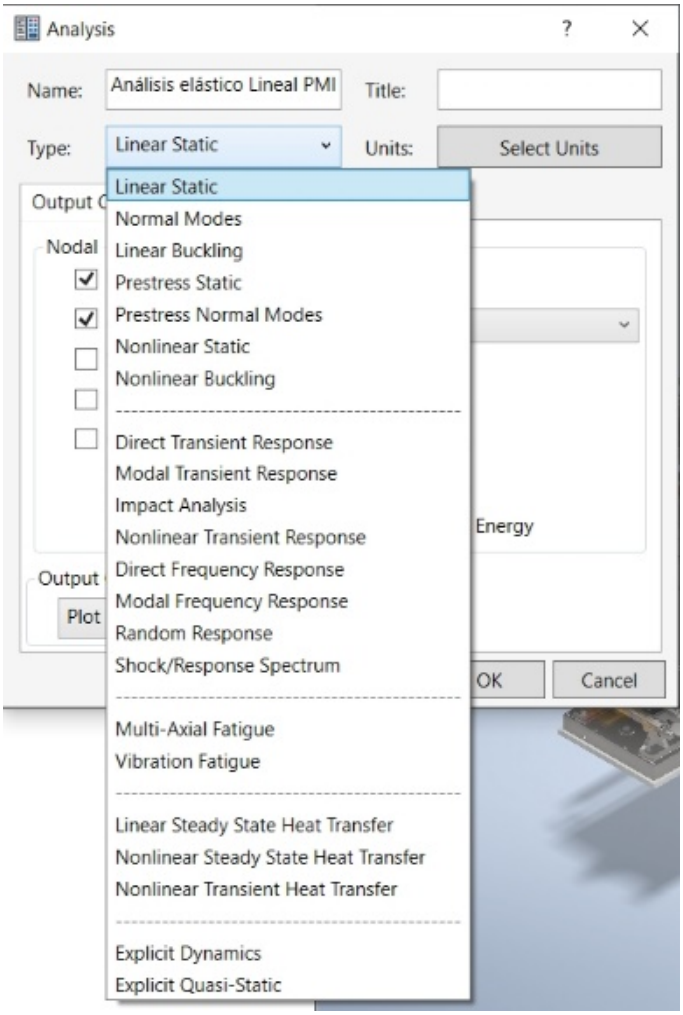


Ilustración 76. Análisis disponibles en Inventor Nastran 2023.

En este TFG se realizarán dos tipos de análisis, siendo estos el análisis modal (Normal Modes) y análisis estático lineal (Linear Static).

Una vez definido el análisis, así como los parámetros de entrada y salida, y el sistema de medidas, se debe simplificar el ensamblaje. Este proceso es de vital importancia en ensamblajes con un elevado número de componentes, ya que esto reduce el tiempo de simulación.

Para eliminar componentes del análisis, dentro de Nastran Model Tree (Ilustración 77), se desplegará el árbol del ensamblaje, para este caso, Analisis CAE posición crítica 1.PMI, ya que es el nombre que recibe el ensamblaje. Una vez se despliegan todos los componentes que hay en el ensamblaje, se clica con el botón derecho del mouse en el nombre del componente que se desea eliminar, y en el menú desplegable se selecciona la opción 'Exclude from Analysis' (Ilustración 78). Este procedimiento se repetirá hasta eliminar del análisis todos aquellos elementos cuya influencia en los resultados es mínima.

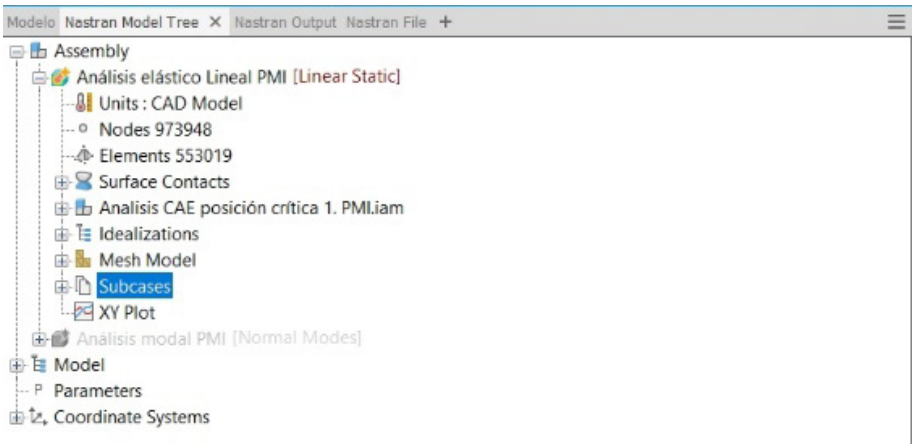


Ilustración 77. Nastran Model Tree.

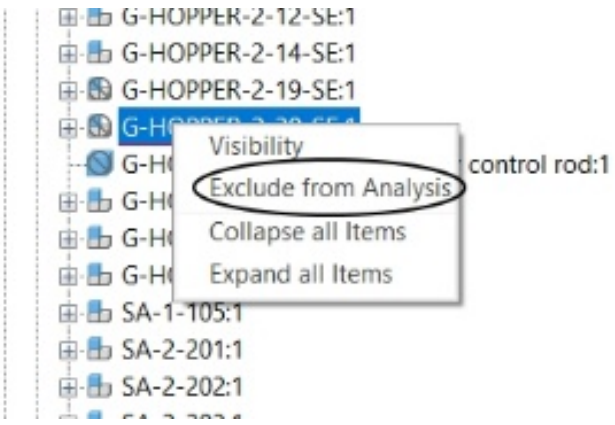


Ilustración 78. Excluir elemento del análisis.

Cuando se tiene un ensamblaje, como es el caso, se deben establecer contactos entre las superficies de los elementos que están en contacto. De esta manera, en función del tipo de contacto definido, las fuerzas entre los elementos se transmitirán de una manera u otra. A continuación se describen de una forma breve los tipos de contacto usados:

- **Separation:** este tipo de contacto es el contacto de fricción más habitual entre elementos, es decir, dos elementos con movimiento relativo entre ellos, con un coeficiente de fricción determinado que dependerá de las propiedades del material.
- **Bonded:** representa una soldadura. Los elementos de las superficies en contacto no tendrán movimiento relativo uno con respecto del otro.

Se debe establecer también el tipo de penetración:

- **Symmetric contact:** en este tipo de penetración no se permite que los nodos de la malla de una superficie de un sólido penetren en la superficie del sólido en contacto. Hay una pequeña penetración inevitable.
- **Unsymmetric contact:** para este tipo de penetración sí se permite la penetración entre los nodos de ambas superficies en contacto.

Inventor Nastran permite establecer los contactos de manera automática. Esto puede resultar una gran ventaja, ya que en los ensamblajes estudiados, hay un elevado número de contactos. El inconveniente que presenta, es que sólo creará contactos de un tipo. Por tanto, se tienen dos opciones: crear los contactos de manera manual, o crearlos automáticamente en un tipo de contacto, y modificar aquellos que requieran otra definición, para que, de esta manera, el modelo matemático responda de igual manera que el modelo real. A continuación se expone la metodología y la manera de crear los contactos de ambas maneras.

a. Creación automática de contactos

Para establecer los contactos automáticamente, se debe editar el análisis, siguiendo los pasos previamente explicados. En la ventana emergente, se

seleccionará el menú Options, y en él se podrá definir el tipo de contacto (Ilustración 79).

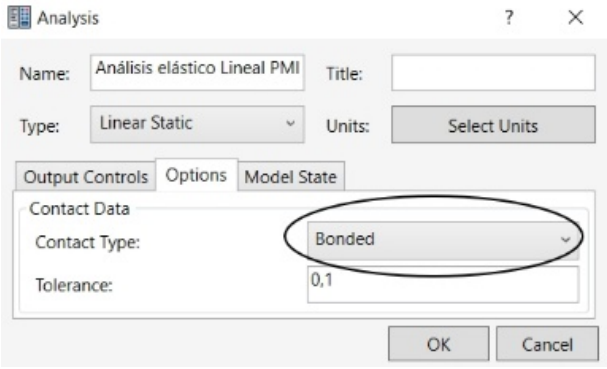


Ilustración 79. Definición del tipo de contacto.

Una vez establecido el tipo de contacto (en el caso analizado, se ha optado por tipo Bonded), se clica sobre el icono redondeado de la imagen inferior (Ilustración 80), y el software calculará de manera automática todos los contactos.

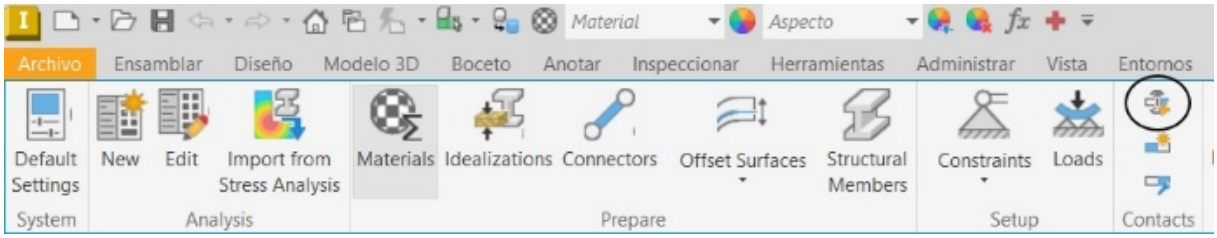


Ilustración 80. Generación automática de contactos.

b. Creación manual

Este procedimiento es mucho más complejo que el anterior, dado que hay un número elevado de sólidos y, por tanto, también de contactos. Para llevar a cabo este proceso, se pincha sobre el icono marcado de la figura (Ilustración 81).

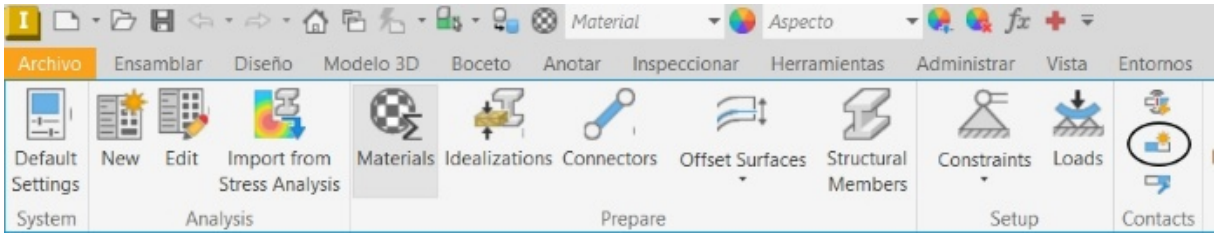


Ilustración 81. Definición manual de contactos.

Cuando se clica sobre dicho icono, aparece una ventana (Ilustración 82). En ella, se define el tipo de contacto, el tipo de penetración, si es de superficie a superficie o de arista a superficie, el factor de rigidez, coeficiente de fricción, nombre del contacto, y, lo más importante, las superficies que estarán en contacto. Para contactos de tipo simétrico, da igual qué superficie se considere primaria y cuál secundaria. Si fuera de tipo asimétrico, sí se debe elegir correctamente qué superficie es cada una.

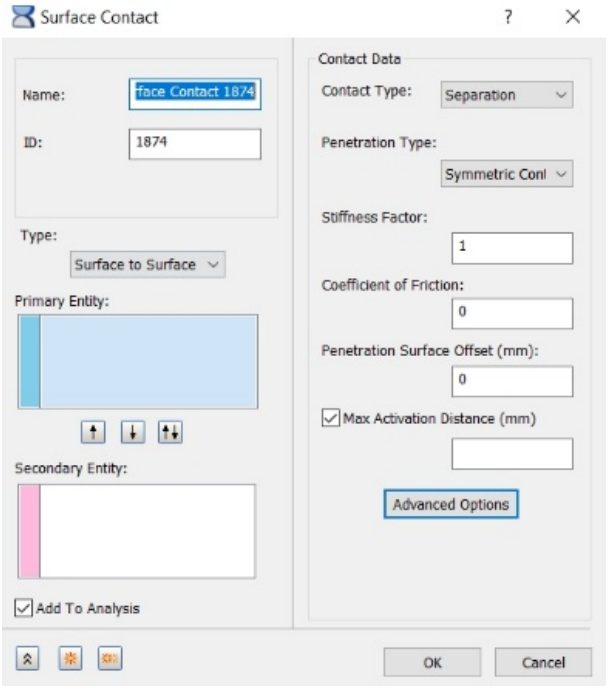


Ilustración 82. Definición manual de contacto.

Para los casos de estudio, se ha optado por la primera opción, creando de manera automática contactos tipo Bonded, y modificando a contactos de tipo Surface to Surface que lo requieren para una correcta simulación y obtener un comportamiento lo más fidedigno a la realidad.

A continuación, se discretizará el medio continuo. Este proceso transforma el medio continuo como la suma de elementos finitos, y se calcularán las variables en una serie de puntos (nodos), y se interpolará entre los valores de las variables en los nodos de un elemento para obtener el valor de la misma en el interior del elemento finito. Así se consigue aproximar la solución numérica a la solución exacta que se obtendría al resolver las ecuaciones en derivadas parciales que rigen el problema, y

que, hasta la fecha, no han podido resolverse de manera exacta. Con este método, denominado Método de los Elementos Finitos, se consigue una buena aproximación a la solución real. El error cometido dependerá del tipo de elemento utilizado, del tamaño del mismo, del número de nodos que haya en el elemento, así como del tipo de interpolación (lineal, cuadrática, etc).

Tras esta breve descripción del método numérico, se procede a explicar el procedimiento llevado a cabo para mallar el ensamblaje. En primer lugar, se debe establecer el tipo de elemento, así como el tamaño de malla global, tasa de crecimiento del elemento, ángulos máximos y mínimos del triángulo que forma el elemento finito, así como otros parámetros importantes para la definición y creación de una malla que dé lugar a unos resultados lo más precisos posible. Para ello, en la barra de herramientas, se clica sobre Mesh settings, en la sección Mesh (Ilustración 83), y aparecerá una ventana (Ilustración 84). Se podrá definir el tamaño máximo de elemento, el orden de interpolación del mismo, y si se desea crear una malla continua o no. Además, si se clica sobre 'Settings', aparecerá una ventana (Ilustración 85), en la que se podrán configurar parámetros avanzados de malla, como lo son los ángulos máximo y mínimo del triángulo del elemento finito, la tasa de crecimiento del elemento entre mallas de sólidos en contacto, la tolerancia, y otros parámetros más, de los cuáles para este TFG no tienen gran importancia, dado que no afectan a los resultados.

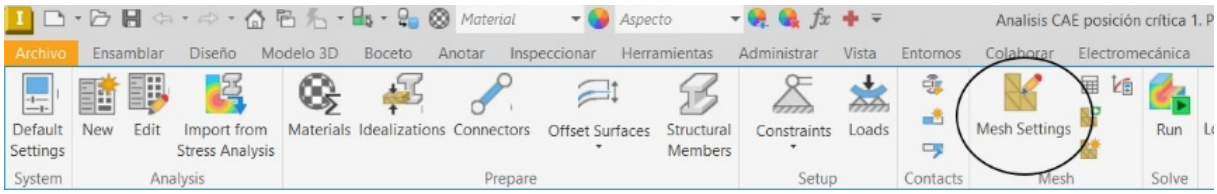


Ilustración 83. Ubicación de operación Mesh Settings en la barra de herramientas.

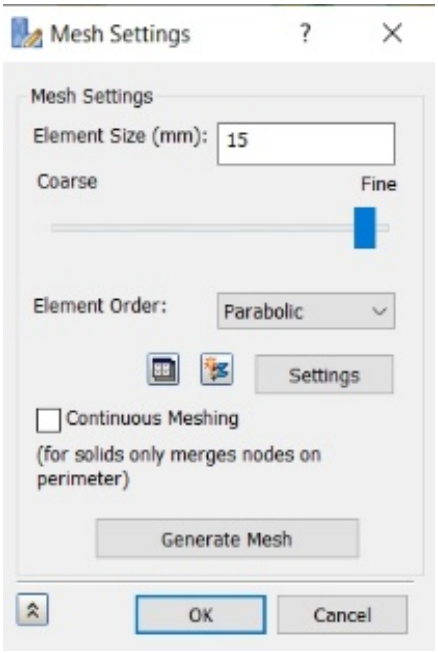


Ilustración 84. Configuración de malla global.

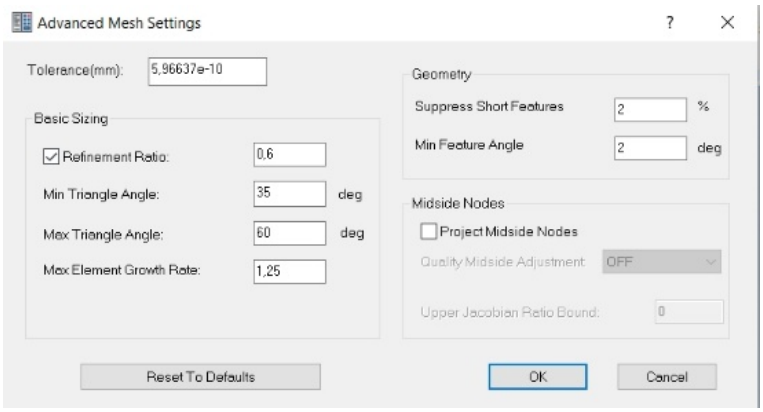


Ilustración 85. Configuración avanzada de malla global.

A pesar de que Inventor Nastran genera un tamaño de malla adaptado al tamaño de cada sólido, en muchas ocasiones, se requiere especificar un tamaño de malla local para un sólido, superficie u arista. Por ejemplo, una vez se conoce el lugar de mayor tensión, se puede refinar la malla sólo en esa zona, para determinar la convergencia de la malla en el análisis, y reducir el tamaño de grilla para unos resultados más precisos sólo en la zona de mayor interés, siendo ésta la de tensión equivalente de von Mises máxima, ya que es donde se producirá el fallo estático de primer ciclo (para un análisis estático lineal). Para realizar un control de malla, en la barra de herramientas, en la sección ‘Mesh’, se clicará sobre el icono Mesh Control

(Ilustración 86). Se abrirá una ventana (Ilustración 87), donde se podrán seleccionar superficies, aristas, puntos o sólidos, especificando un tamaño de malla local para dichos elementos seleccionados. En ellos se puede definir el tamaño del elemento finito. En aristas, además, se puede establecer el control de malla o bien estableciendo el tamaño del elemento, o el número de elementos en la arista/s seleccionadas.

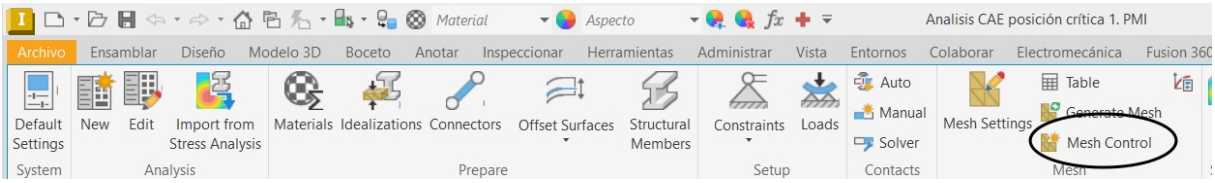


Ilustración 86. Mesh control.

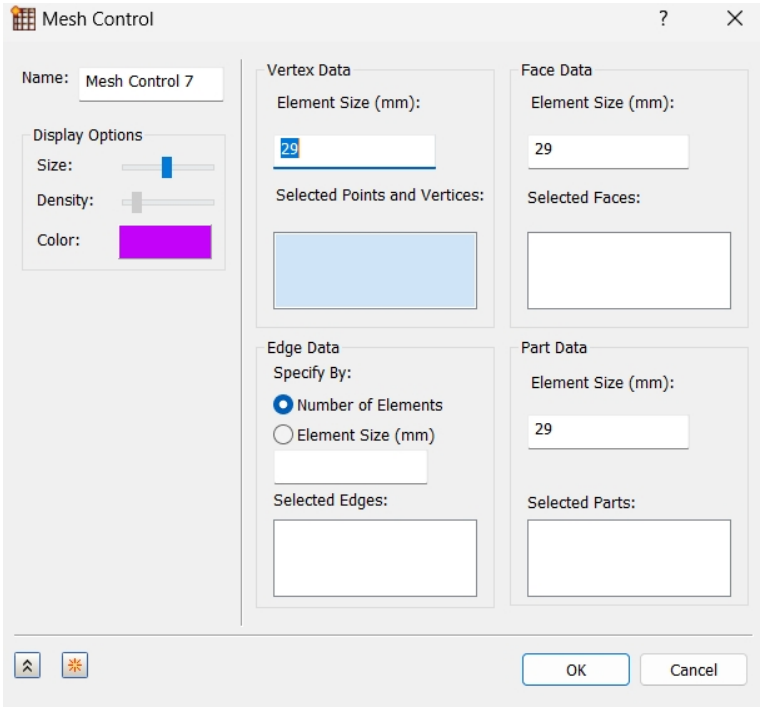
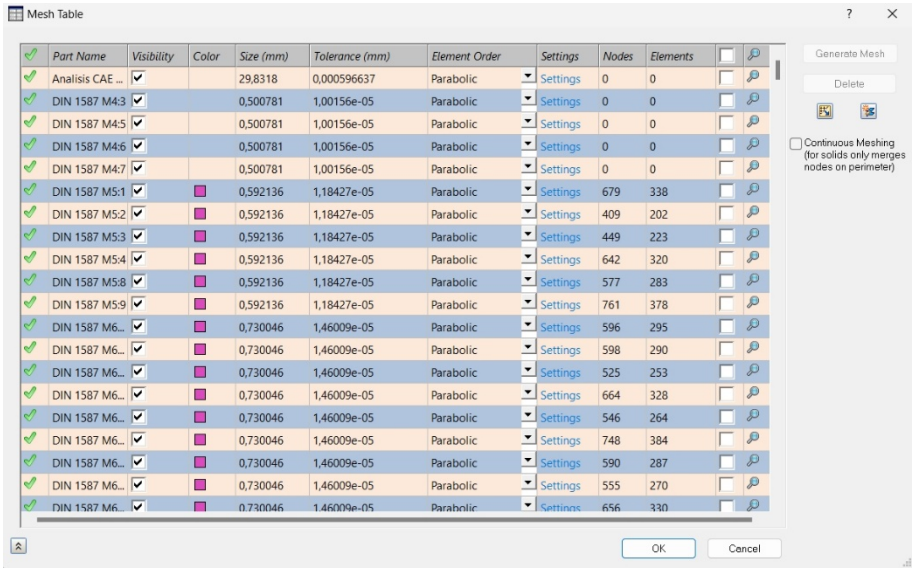


Ilustración 87. Configuración del control de malla local.

Una vez definido el tamaño de grilla global, y establecidos controles de malla locales en las zonas y/o partes de mayor interés, pinchando sobre el icono Generate Mesh (sobre Mesh Control), el software generará la malla. Este proceso puede llevar unos minutos, en función de la complejidad de la malla y del ensamblaje, así como del número de elementos.

Una vez se genera la malla, si ocurren fallos en algunos elementos, se puede desplegar la tabla de mallado. Para ello, en la sección Mesh de la barra de herramientas, se pulsa sobre Table, y se abrirá una ventana (Ilustración 88) con una tabla que contiene todos los elementos. En ella, los elementos que no han sido correctamente mallados estarán marcados con una x en rojo.



Part Name	Visibility	Color	Size (mm)	Tolerance (mm)	Element Order	Settings	Nodes	Elements
Analisis CAE ...	☑		29,8318	0,000596637	Parabolic	Settings	0	0
DIN 1587 M4:3	☑		0,500781	1,00156e-05	Parabolic	Settings	0	0
DIN 1587 M4:5	☑		0,500781	1,00156e-05	Parabolic	Settings	0	0
DIN 1587 M4:6	☑		0,500781	1,00156e-05	Parabolic	Settings	0	0
DIN 1587 M4:7	☑		0,500781	1,00156e-05	Parabolic	Settings	0	0
DIN 1587 M5:1	☑		0,592136	1,18427e-05	Parabolic	Settings	679	338
DIN 1587 M5:2	☑		0,592136	1,18427e-05	Parabolic	Settings	409	202
DIN 1587 M5:3	☑		0,592136	1,18427e-05	Parabolic	Settings	449	223
DIN 1587 M5:4	☑		0,592136	1,18427e-05	Parabolic	Settings	642	320
DIN 1587 M5:8	☑		0,592136	1,18427e-05	Parabolic	Settings	577	283
DIN 1587 M5:9	☑		0,592136	1,18427e-05	Parabolic	Settings	761	378
DIN 1587 M6...	☑		0,730046	1,46009e-05	Parabolic	Settings	596	295
DIN 1587 M6...	☑		0,730046	1,46009e-05	Parabolic	Settings	598	290
DIN 1587 M6...	☑		0,730046	1,46009e-05	Parabolic	Settings	525	253
DIN 1587 M6...	☑		0,730046	1,46009e-05	Parabolic	Settings	664	328
DIN 1587 M6...	☑		0,730046	1,46009e-05	Parabolic	Settings	546	264
DIN 1587 M6...	☑		0,730046	1,46009e-05	Parabolic	Settings	748	384
DIN 1587 M6...	☑		0,730046	1,46009e-05	Parabolic	Settings	590	287
DIN 1587 M6...	☑		0,730046	1,46009e-05	Parabolic	Settings	555	270
DIN 1587 M6...	☑		0,730046	1,46009e-05	Parabolic	Settings	656	330

Ilustración 88. Mesh table.

Los motivos de fallo en el mallado de algunos elementos, puede deberse a que el tamaño del elemento es demasiado grande para el sólido. Para corregir esto, se creará un control de malla local sobre los elementos que no han sido mallados, y se establecerá un tamaño de malla de menor tamaño. Si se desea determinar el tamaño apropiado para cada elemento, se abrirá el archivo de la pieza, y se entrará en el entorno de Inventor Nastran. Una vez dentro, se clicará sobre Mesh Settings, y aparecerá el tamaño de malla global adecuado para dicho elemento. Se anotará dicho valor, y es el que se establecerá en el control de malla local dentro del ensamblaje. Se repetirá este procedimiento hasta haber establecido un tamaño de malla adecuado a todos aquellos elementos que no hayan sido mallados en la primera generación de malla, debido a fallos. Se vuelve a regenerar la malla, y no debería haber problema alguno.

Para determinar si la malla creada tiene o no una buena calidad, en el árbol de operaciones de Nastran, se pulsa con el botón derecho del ratón sobre Mesh Model, y en el menú desplegable (Ilustración 89), se selecciona Check Quality For Mesh. Aparecerá una ventana (Ilustración 90), donde se podrán establecer los valores máximos o mínimos de diferentes parámetros. En el caso estudiado, se tiene un gran interés en detectar aquellos elementos cuyo aspecto de ratio es mayor del valor que aparece en la imagen, ya que esto indica que el elemento está muy distorsionado, y puede haber dificultades a la hora de pasar del espacio normalizado (matriz Jacobiana) al espacio cartesiano. Si se pulsa sobre Check, se mostrarán todos aquellos elementos de menor calidad. Es muy complicado obtener una malla perfecta, sobre todo en sistemas muy complejos, como es el caso, por tanto, si la distorsión no es muy grande, se pueden aceptar dichos elementos. Pero, si se desea mejorar la calidad de la malla, se pueden modificar ángulos máximo y mínimo de los triángulos del tetraedro del elemento finito, la tasa de crecimiento de elemento en superficies en contacto, así como disminuir el tamaño del elemento.

Por último, para finalizar con la malla, Inventor Nastran permite realizar un análisis de convergencia de malla en un análisis estático lineal. Para ello, se pincha sobre el icono redondeado de la imagen, denominado Convergence Settings (Ilustración 91), y aparecerá una ventana (Ilustración 92). En ella, se podrá definir dos tipos de análisis de convergencia, global o local. La diferencia entra ambos es muy sencilla. El programa realizará varias iteraciones, y en cada una de ellas, el tamaño de malla será cada vez menor, y calculará los resultados de la tensión equivalente de von Mises para cada iteración. En el análisis global, el remallado será de todo el sólido, mientras que, para el análisis local, el programa automáticamente mallará algunas partes del sólido, como pueden ser aristas, superficies, etc, las cuáles serán las de mayor interés, es decir, donde las tensiones son máximas. Habrá dos criterios de parada de las iteraciones: máximo número de iteraciones, o alcance de un error relativo determinado. Se pueden definir otros parámetros, como el factor de refinamiento (solo para análisis local), y el refinamiento en orificios.

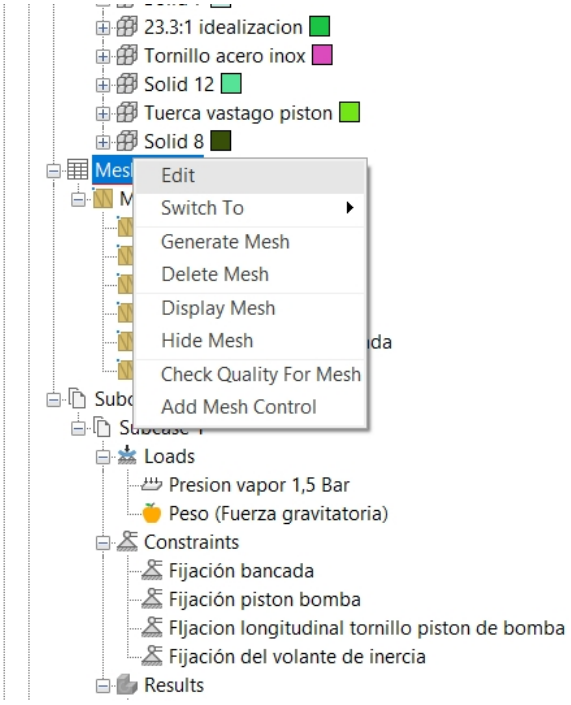


Ilustración 89. Menú desplegable de Mesh Model.

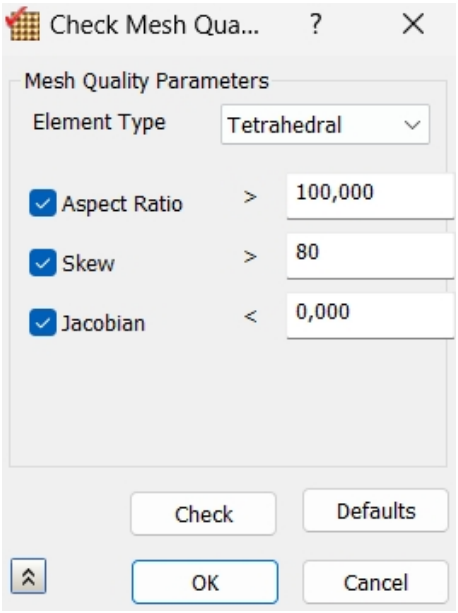


Ilustración 90. Check Mesh Quality.

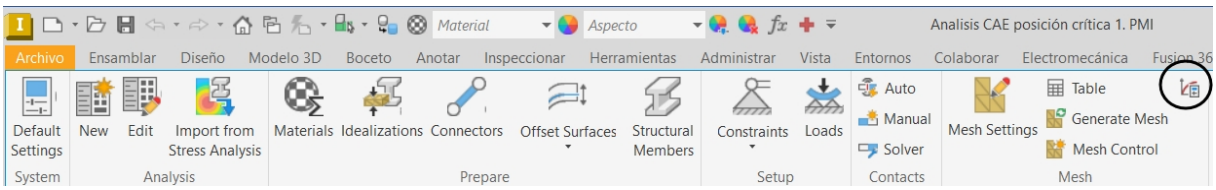


Ilustración 91. Convergence Settings.

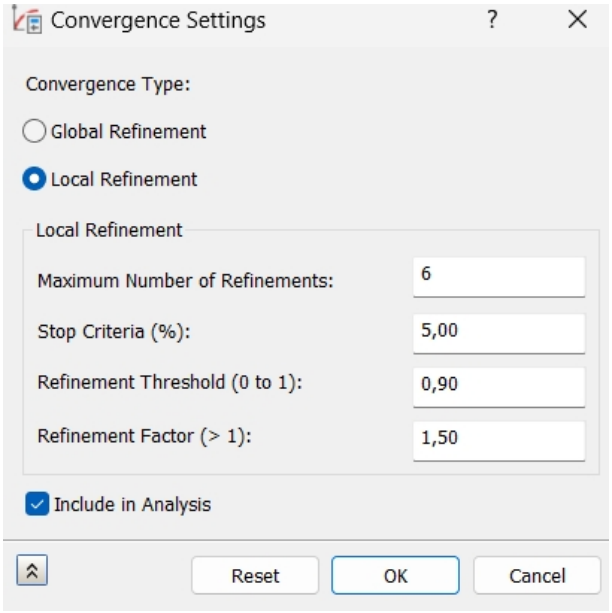


Ilustración 92. Convergence Settings menu.

Para finalizar con el preprocesado, se deben establecer las condiciones de contorno. Para ello, en la barra de herramientas, se clica sobre 'Constraints' (Ilustración 93), y se abrirá una ventana (Ilustración 94). En ella, se seleccionarán las caras, aristas o vértices a las cuáles se les aplicará la condición de contorno, así como los grados de libertad que serán impedidos.

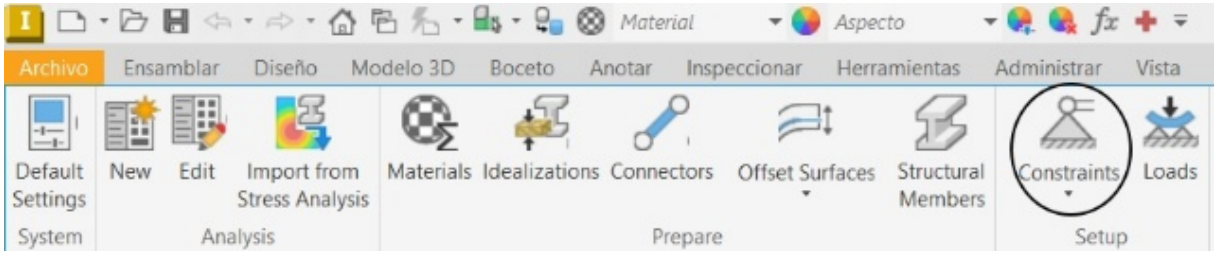


Ilustración 93. Operación Constraints.

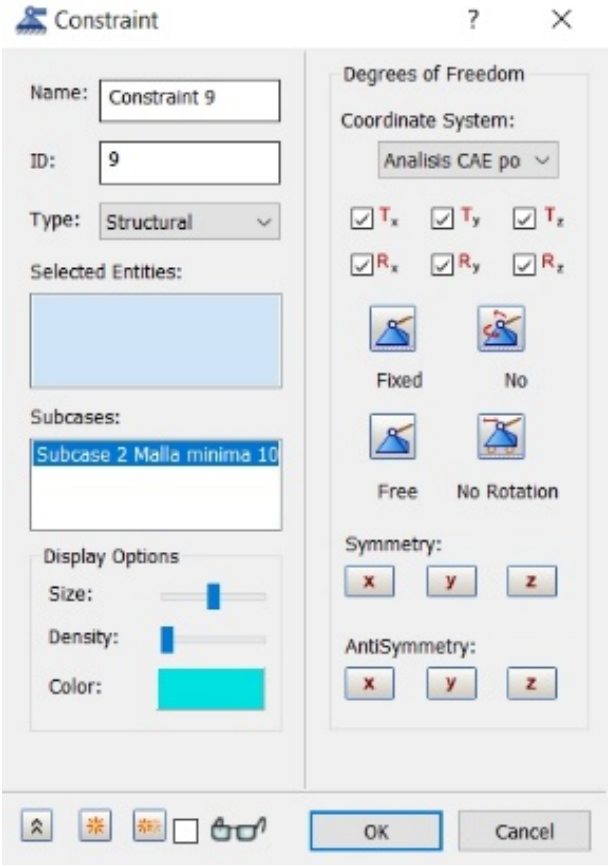


Ilustración 94. Menú Constraints.

En la imagen anterior (Ilustración 93), a la derecha de la operación Constraints, se encuentra la operación Loads. Clicando sobre dicho icono aparecerá una ventana (Ilustración 95). A través de ella se pueden aplicar cargas sobre superficies, aristas, o vértices. Hay multitud de tipo de cargas que se pueden aplicar a través de esta operación, como cargas puntuales, distribuidas, hidrostáticas, de presión, de tipo gravitatoria, etc.

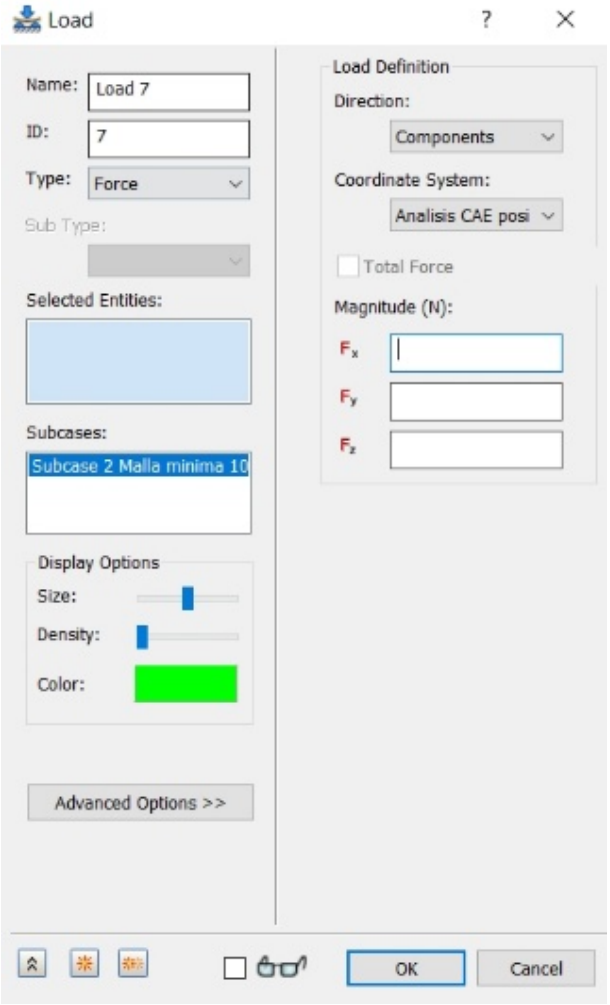


Ilustración 95. Menú Loads.

Una operación interesante de Inventor Nastran se denomina Connectors. Con este comando, se pueden referenciar superficies a un solo punto, y esto puede ser ventajoso por ejemplo, para taladros, ya que se puede referenciar la superficie del mismo al centro de la circunferencia, y se pueden aplicar las restricciones de movimiento o las cargas a dicho punto, y sería equivalente a la aplicación en toda la superficie.

Para lanzar la simulación, se clica sobre Run. Una vez finalizada la simulación, automáticamente se cargará el módulo de operaciones. No se comentará en detalle en este módulo, ya que tan sólo se desea visualizar los resultados, y tomar capturas de pantalla de los mismos. Para visualizar los resultados, en el árbol de Nastran, en

la sección Results, se clica con el botón derecho del ratón sobre la variable que se desea visualizar y, en el menú desplegable, se selecciona Display (Ilustración 96).

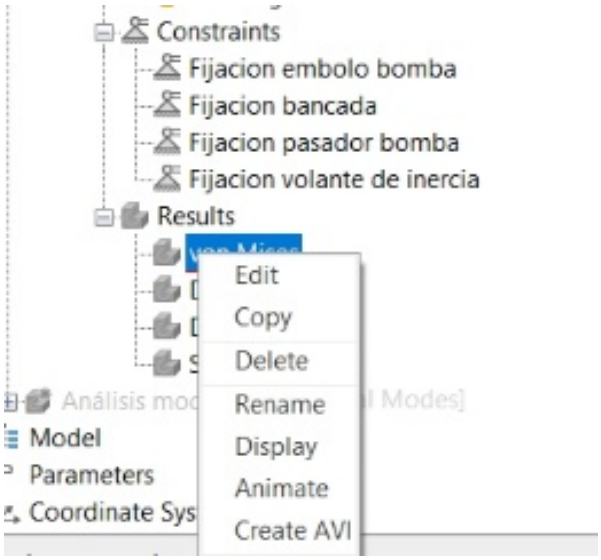


Ilustración 96. Mostrar resultados.

En la barra de herramientas del módulo de resultados, clicando sobre el icono redondeado de la imagen inferior (Ilustración 97), se pueden modificar parámetros de la visualización de resultados, como el mapa de colores, el factor de aumento de la deformada, que se muestren los resultados en la posición indeformada, la variable a mostrar, etc (Ilustración 98).

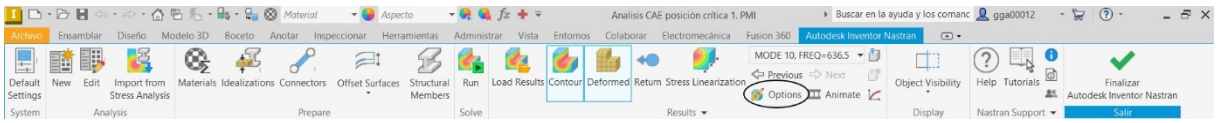


Ilustración 97. Opciones de resultados.

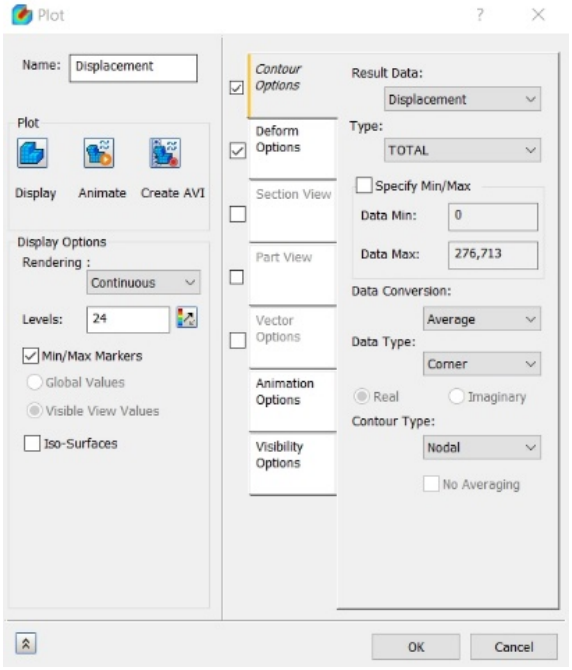


Ilustración 98. Menú de modificación del ploteado de resultados.

Para finalizar con la explicación de la metodología usada para trabajar con este software, se destaca la operación Object Visibility. Este comando se encuentra en la barra de herramientas. Si se clica sobre el icono, aparecerá un menú desplegable (Ilustración 99), en el que se podrán seleccionar aquellos parámetros que se desean visualizar o no, como las cargas aplicadas, restricciones de contorno, la malla, etc.

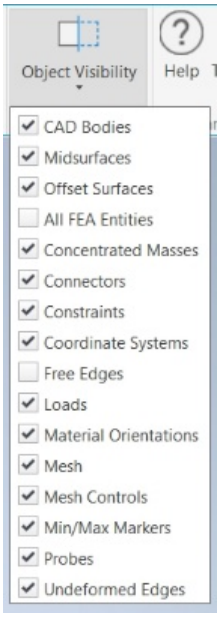


Ilustración 99. Visibilidad de objetos.

2.4. SOFTWARE PARA RECREACIÓN VIRTUAL: INVENTOR STUDIO 2023

Este software, al igual que Inventor Nastran, es un entorno de Autodesk Inventor Professional, pero con la diferencia de que viene incluido en la licencia de Inventor Professional.

Para entrar en él, desde el módulo de Entornos, en Inventor, se selecciona Inventor Studio [6] (Ilustración 100).

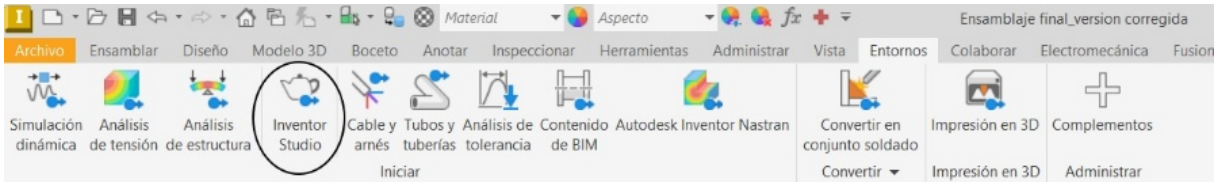


Ilustración 100. Entorno Inventor Studio.

El entorno se muestra a continuación (Ilustración 101).

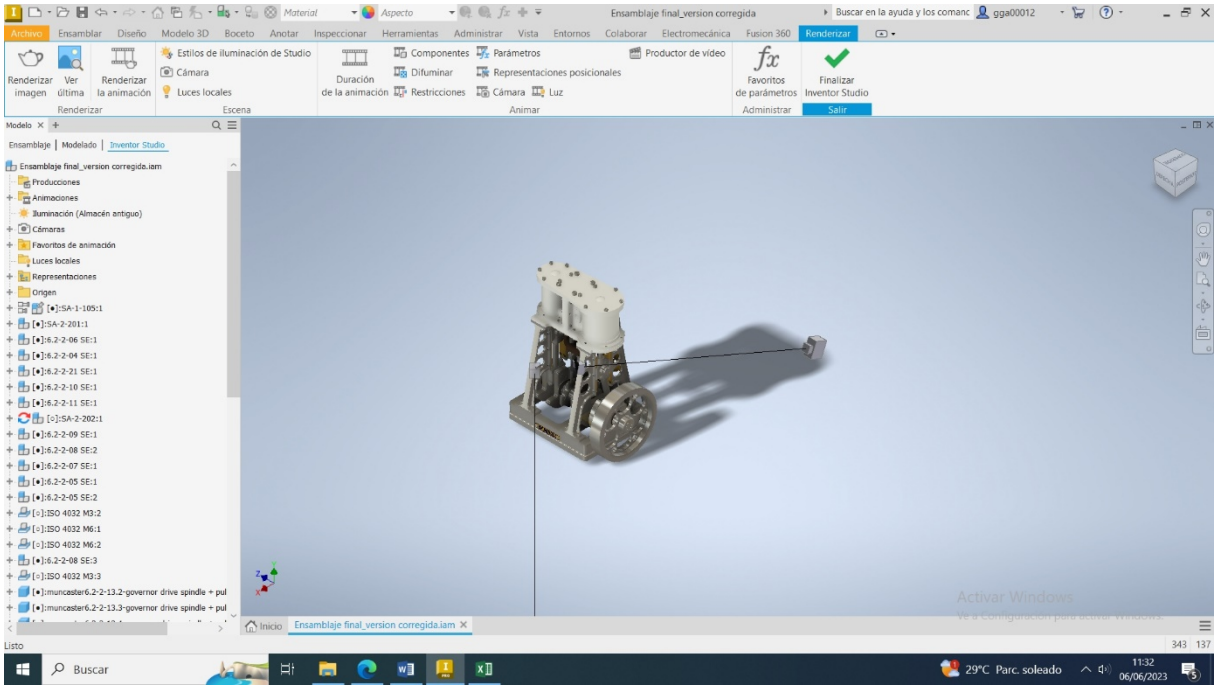


Ilustración 101. Entorno de Inventor Studio 2023.

Este software es el más fácil de usar de todos los usados para el desarrollo del TFG. Se explicará brevemente su funcionamiento así como la metodología empleada.

A continuación, se muestra la barra de herramientas del entorno (Ilustración 102). En ella se encuentran todas las operaciones que serán necesarias para la elaboración de la recreación virtual de ambas invenciones.

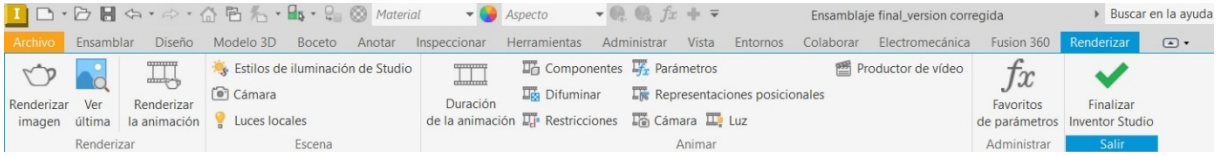


Ilustración 102. Barra de herramientas de Inventor Studio.

Se debe establecer la duración de la animación. Para ello, se clica sobre Duración de la animación, en la barra de herramientas, y se abrirá una ventana. En ella, se clica sobre opciones de animación (icono redondeado de la imagen), y se abrirá una nueva ventana (Ilustración 103). En ella se puede definir la duración de la animación, así como el perfil de velocidades, aunque se realizarán ambas recreaciones para velocidad constante.

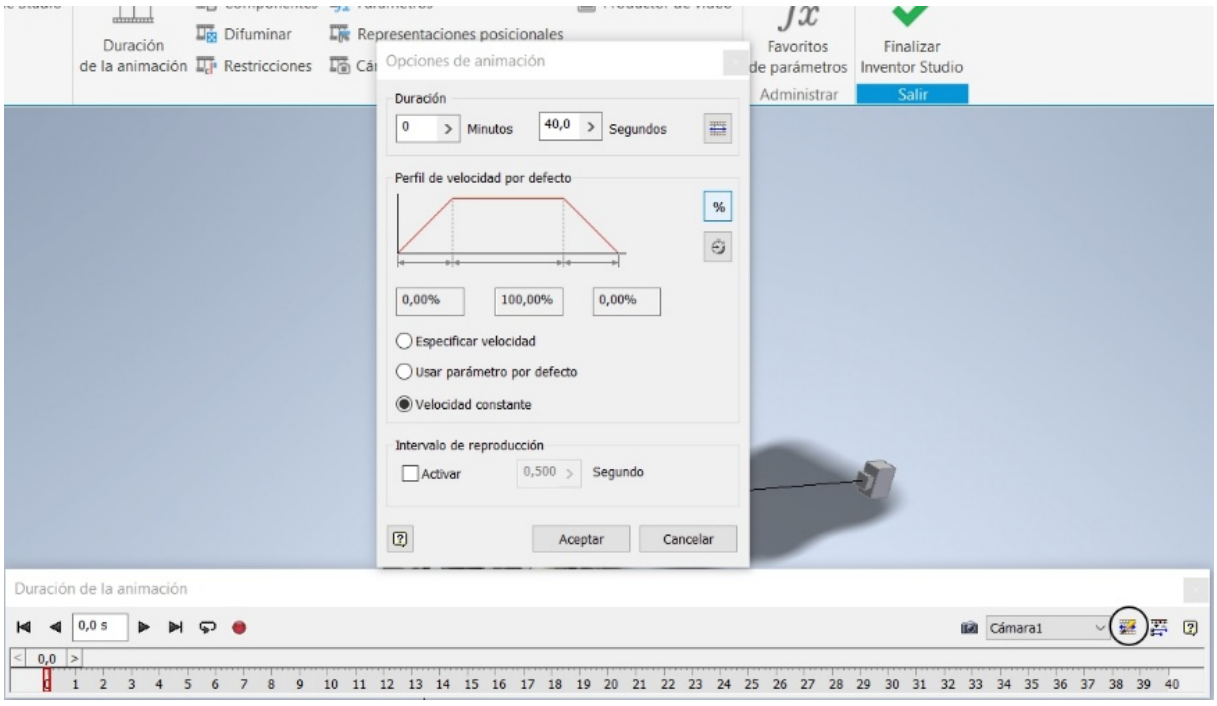


Ilustración 103. Duración de la animación.

El siguiente paso es definir la cámara, para ello, en el árbol de operaciones, se pulsa con el botón derecho sobre cámaras, y en el menú desplegable, crear cámara según vista, apareciendo una cámara en el árbol. Si se pulsa con el botón derecho

sobre ella, y en el menú desplegable, se clica sobre editar, aparece una ventana (Ilustración 104). Se puede definir la perspectiva, el objetivo, distancia, vincular una vista, desplazar la cámara en el espacio, etc.

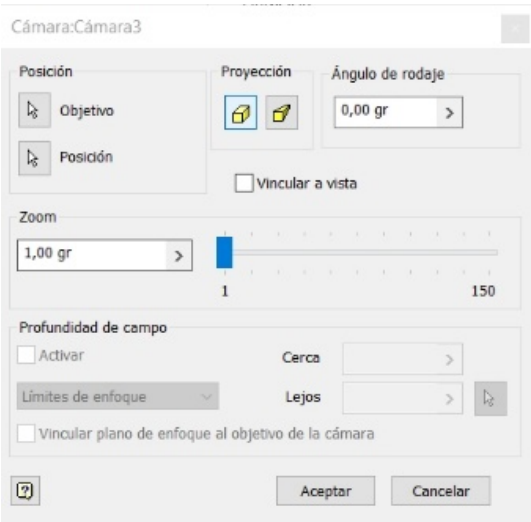


Ilustración 104. Editar cámara.

Una vez se ha creado la cámara, se puede animar ésta. El proceso de animación de una cámara consiste en desplazar la misma por el espacio. Para ello, en la ventana de duración de la animación, expandiendo el editor de acciones, se clica con el botón derecho del ratón sobre la cámara, y se selecciona Animar cámara (Ilustración 105).

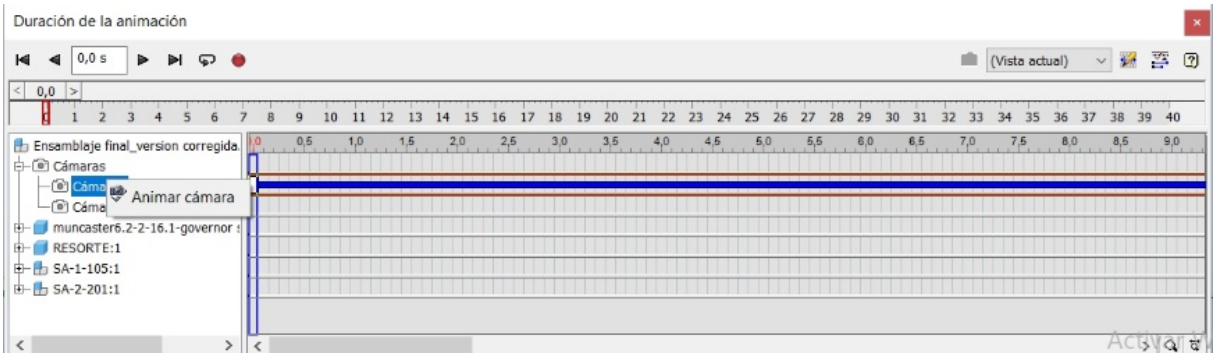


Ilustración 105. Animar cámara.

Al seleccionar Animar cámara, se abre una ventana con varias opciones (Ilustración 106). En el caso de estudio, se utilizará plataforma giratoria, y se podrá desplazar la cámara mediante una rotación alrededor de un eje. Además, se puede establecer el perfil de velocidades en la ventana Aceleración.

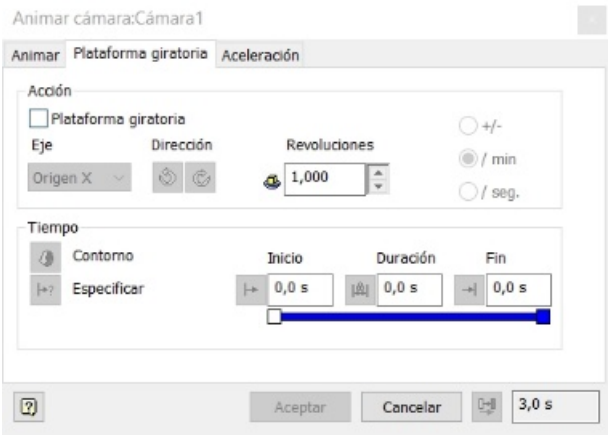


Ilustración 106. Menú animar cámara.

El siguiente paso, es animar componentes. Para ello, previamente se debe crear una restricción, y se animará dicha restricción (en el apartado 3.3, se detallarán las restricciones animadas para cada invención). Para animarlas, desde el árbol de operaciones, en ensamblaje, se busca la restricción que se desea animar, y con el botón derecho del ratón sobre la restricción, en el menú desplegable, se selecciona animar, apareciendo una ventana (Ilustración 107).

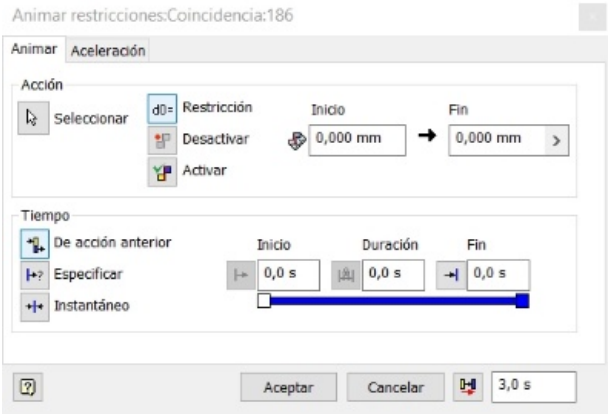


Ilustración 107. Animar restricción.

En esta ventana, se puede definir el valor inicial y final de la restricción, el inicio y fin de la misma, así como el perfil de velocidad en la ventana de aceleración.

También se pueden difuminar sólidos. Para ello, se clica sobre Difuminar en la barra de herramientas, abriéndose una ventana (Ilustración 108). En ella se

seleccionan los sólidos que se difuminarán, el valor inicial y final de la transparencia de los mismos, así como el perfil de velocidades y la duración de la animación.

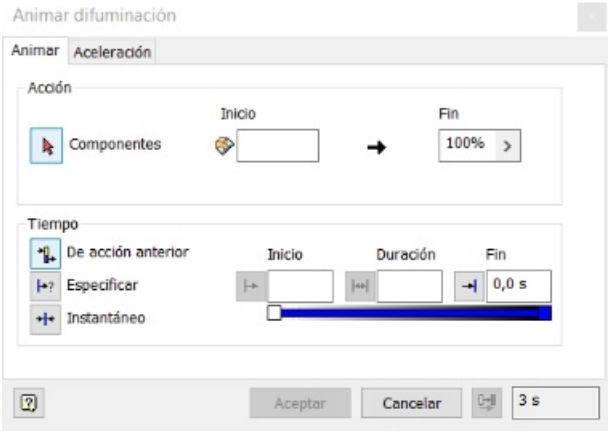


Ilustración 108. Difuminar sólidos.

Todas estas acciones de animación creadas, aparecerán en el editor de acciones, en la ventana de Duración de la animación (Ilustración 109).

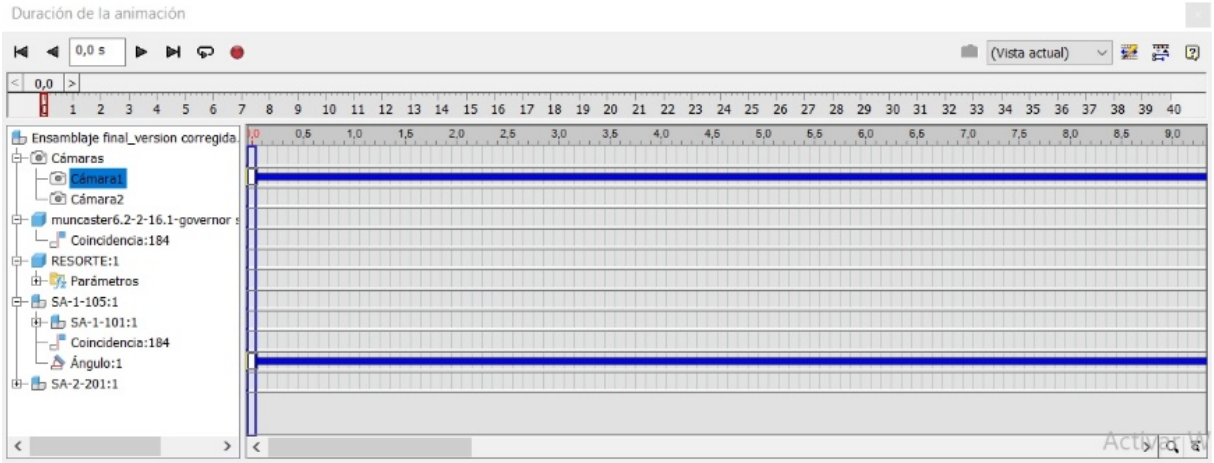


Ilustración 109. Editor de acciones.

El último paso es renderizar la animación. En la barra de herramientas, se pincha sobre Renderizar la animación, y se abrirá una ventana, compuesta de tres secciones (Ilustraciones 110 a 112).

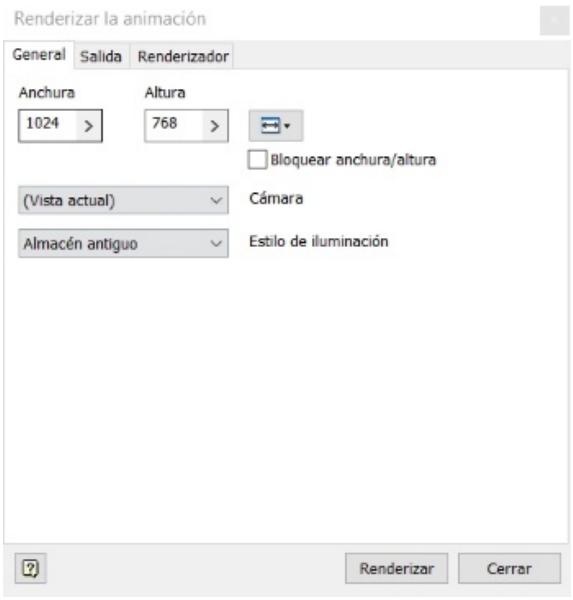


Ilustración 110. Renderizar animación (General).

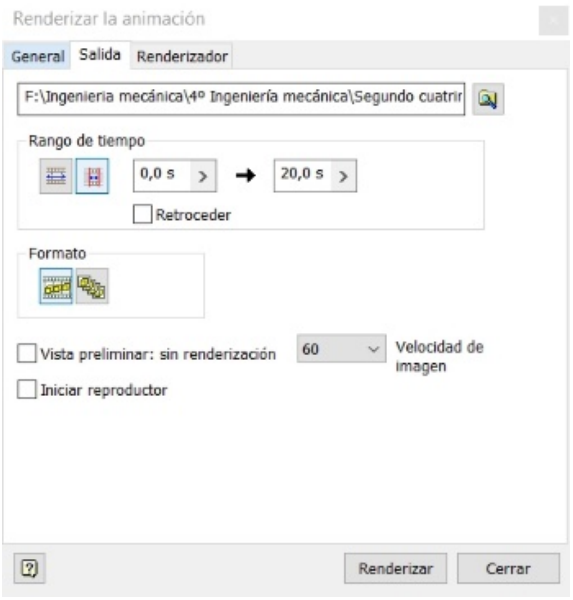


Ilustración 111. Renderizar animación (Salida).

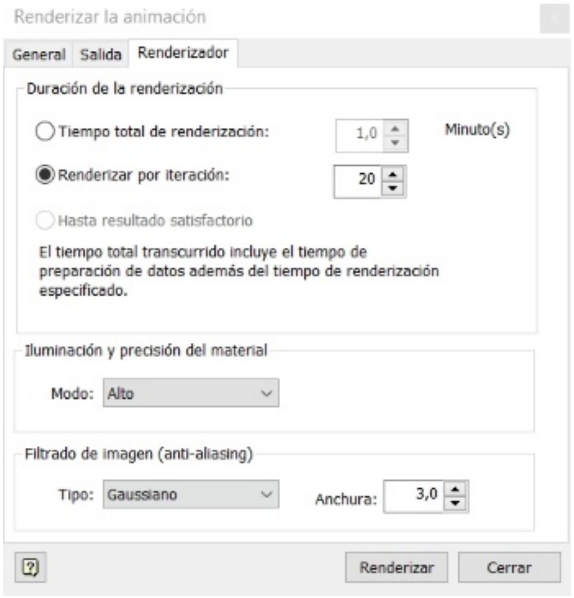


Ilustración 112. Renderizar animación (Renderizador).

En la primera de ellas (general), se define la anchura y altura del video, el fondo, y la cámara que se desea renderizar. En la ventana de salida, se define la carpeta de destino del vídeo, la duración de la animación y la velocidad de imagen (fps). Por último, se definen las iteraciones. A mayor número de iteraciones, mayor tiempo de renderización.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los siguientes apartados se expondrán los resultados obtenidos para cada uno de los bloques del TFG, siendo estos el modelado tridimensional y documentación gráfica (CAD), ingeniería asistida por ordenador (CAE) y, por último, recreación virtual. Todo esto se expondrá para ambas invenciones.

3.1. INGENIERÍA GRÁFICA: MODELADO TRIDIMENSIONAL Y DOCUMENTACIÓN GRÁFICA

A partir de los planos obtenidos en las referencias web [7] y [8], se ha podido obtener con detalle las dimensiones de cada pieza, así como su disposición en el conjunto, para que se pueda obtener un ensamblaje funcional y representativo del modelo real. De esta manera, se ha modelado cada pieza usando el software CAD Autodesk Inventor Professional 2023 y, posteriormente, se han establecido las restricciones geométricas correspondientes entre los elementos que componen el conjunto para obtener un modelo virtual representativo del modelo real.

Durante el desarrollo de dicho apartado, se han encontrado diversos problemas que se expondrán en los siguientes apartados, así como la metodología adoptada para solucionarlos, puesto que de no resolverse, se obtendrían incompatibilidades geométricas que implicarían un mal funcionamiento de las máquinas de vapor.

Los apartados se organizarán de la siguiente manera: En primer lugar, se describirá el modelado tridimensional de cada elemento; en segundo lugar, el proceso de ensamblaje de los sólidos y, por último, una descripción del funcionamiento de la máquina, mencionando a todos los componentes de la misma para una mejor comprensión del funcionamiento y del movimiento relativo entre componentes.

3.1.1. Invención 1: Motor marino vertical compuesto de dos cilindros

3.1.1.1. Descripción del modelado tridimensional

3.1.1.1.1. Marca 4. Bancada

Esta pieza es la placa base que será el bloque donde descanse el motor. Para diseñar esta pieza, se creará un rectángulo, cuyos vértices serán suprimidos por unos redondeos. Para determinar el radio de redondeo, se puede observar que el centro del radio está a unos 7 mm del lado externo, coincidiendo éste con la pared interna del hueco rectangular.

Seguidamente, a través de un barrido de corte, para hacer el perfil externo de la pieza, se crean para ello dos bocetos, uno que contenga el perfil de corte, y otro la curva guía por la cual se realizará el barrido.

Se realiza una extrusión y un corte para la parte superior. Finalmente, se realizan los taladros para obtener los agujeros roscados, utilizando la función agujero y definiendo las distintas posiciones, así como métricas. El resultado final se muestra en la Ilustración 113.

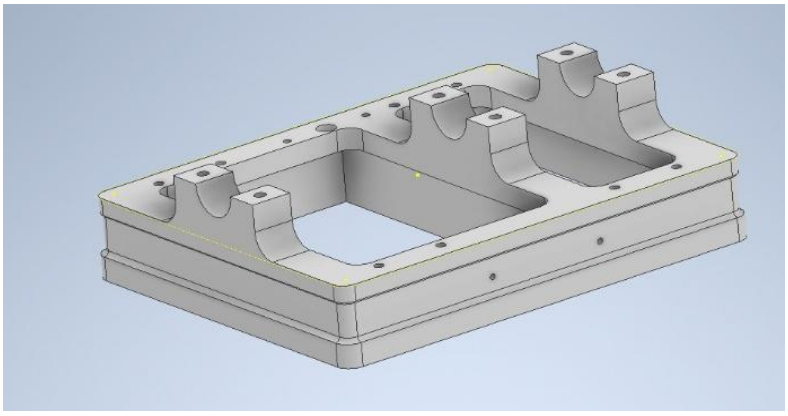


Ilustración 113. Bancada.

3.1.1.1.2. Marca 104. Cojinete de bancada

Esta es una pieza de revolución, por lo que se creará el perfil de revolución en primer lugar. El croquis resultante se muestra a continuación (Ilustración 114).

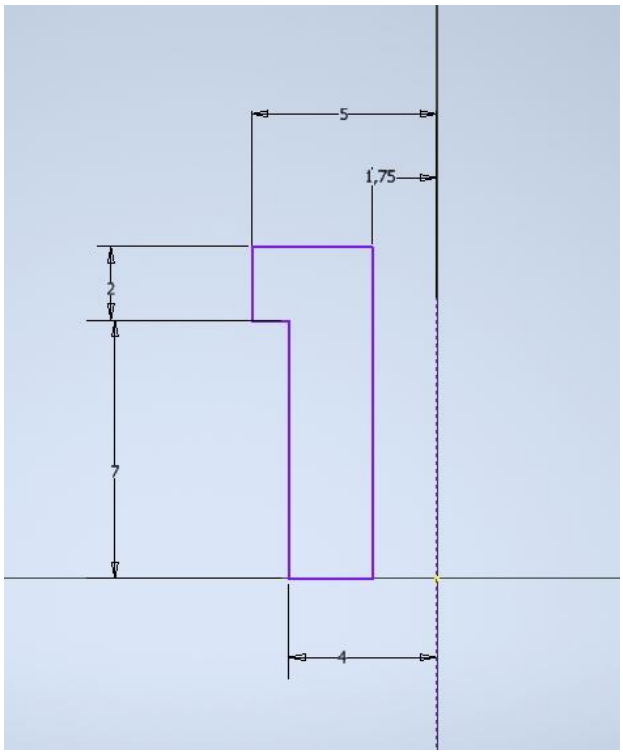


Ilustración 114. Croquis de revolución.

Seguidamente, a través de la operación revolución en el modelo 3D, seleccionando el perfil anterior y el eje de revolución, se obtiene el modelo de la pieza (Ilustración 115).

Ilustración 115. Cojinete de bancada.

3.1.1.1.3. Marca 66. Tapa del cojinete del cigüeñal

En esta pieza se apoya el cojinete (Ilustración 116). Para modelarla, simplemente se realiza una extrusión de un rectángulo con una semicircunferencia, y

posteriormente, los agujeros necesarios que se realizan a través de la operación agujero.

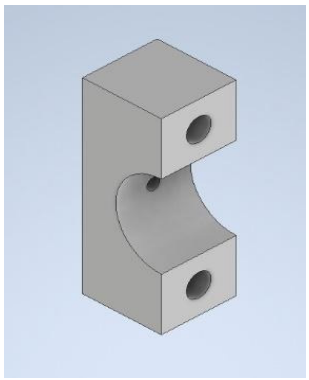


Ilustración 116. Tapa del cojinete del cigüeñal.

3.1.1.1.4. Marca 70. Cojinete del cigüeñal

Esta pieza es el cojinete principal. Para modelarla, se procede de forma análoga a la pieza anterior, croquizando el perfil de revolución y a través de la operación revolución, seleccionando el boceto y el eje (Ilustración 117).

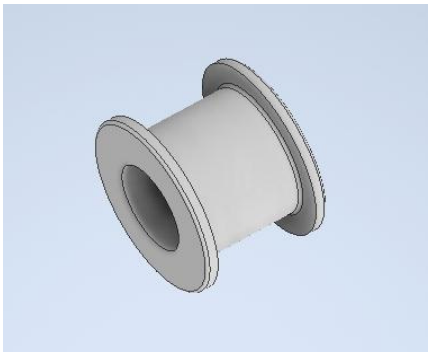


Ilustración 117. Cojinete del cigüeñal.

3.1.1.1.5. Marca 6. Columna de soporte

En primer lugar, se croquiza la parte de menor espesor, y sobre ella, el resto de elementos, ya que sobre este croquis se podrá acotar con mayor facilidad el resto de elementos.

Para croquizar los nervios, en el plano XY, se proyecta la geometría externa, evitando volver a dibujar el contorno exterior. Seguidamente, con la operación desfase (Ilustración 118), se realiza el contorno interior, ya que es paralelo al interno y separado unos 3 mm (Ilustración 119).

Ilustración 118. Operación desfase.

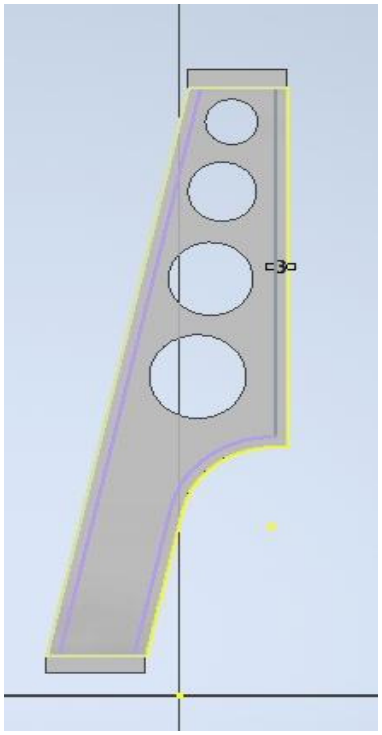


Ilustración 119. Croquis de la operación de desfase.

Seguidamente, se realizan los redondeos que unen los nervios laterales, con la parte superior e inferior, siendo estos para evitar que exista una arista viva y que no se cree un concentrador de tensiones de radio infinito. La operación utilizada es empalme de cara (Ilustración 120), en la ventana de Modelo 3D. Seleccionando las dos caras a redondear, y el radio de redondeo, se realiza esta parte de la pieza. Es muy importante desactivar la función de incluir caras tangentes, ya que no se realizaría el empalme con el radio especificado.

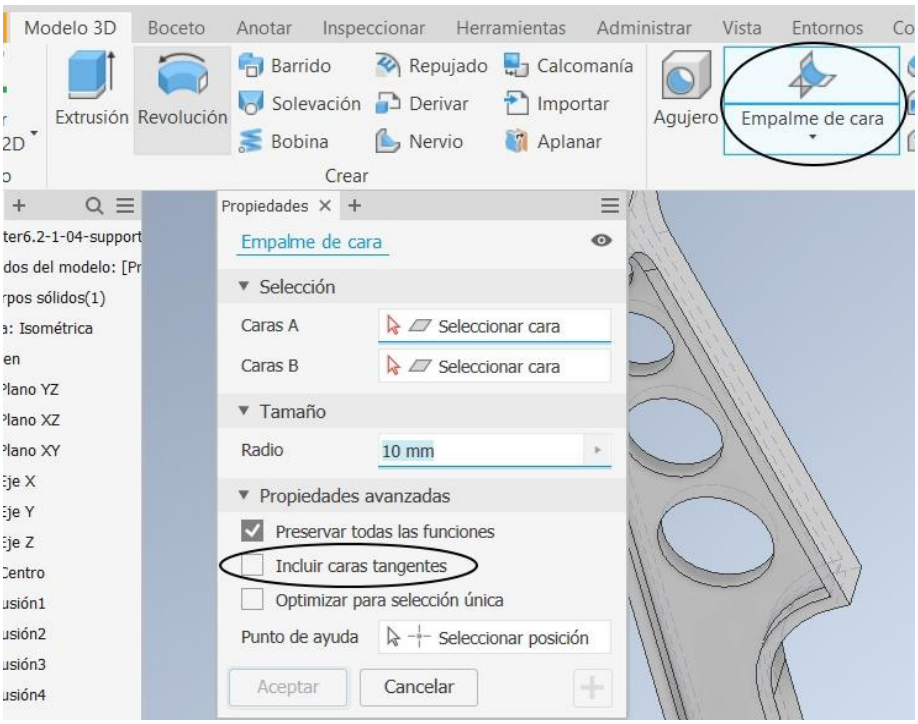


Ilustración 120. Operación empalme de cara.

Realizando ahora todos los agujeros roscados y orificios, con la operación de agujero de Modelo 3D, se obtiene el modelado final de la pieza (Ilustración 121).

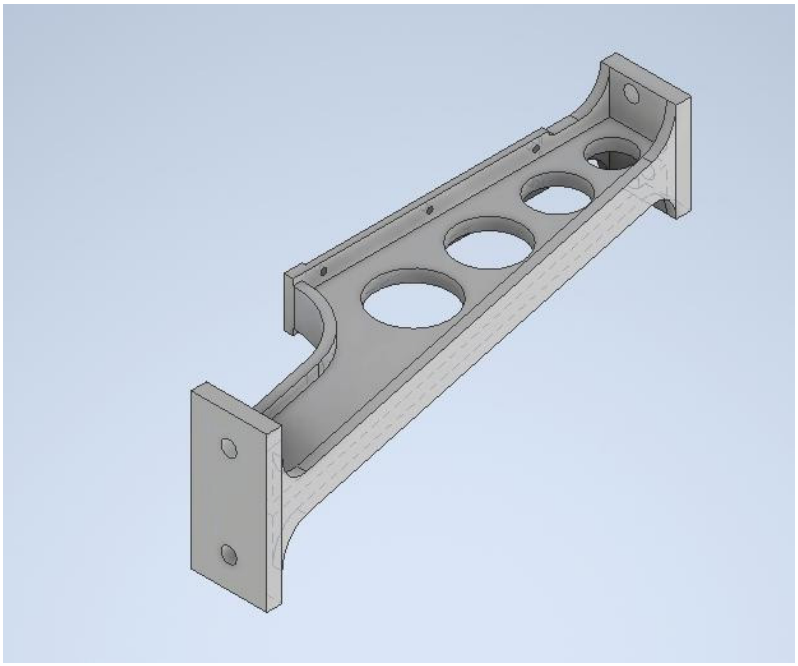


Ilustración 121. Columna de soporte.

3.1.1.1.6. Marca 18. Placa de deslizamiento de la cruceta del pistón

Se trata de una placa que va apoyada en la columna de soporte (Ilustración 122). Su modelado es sencillo. Sólo hay que destacar que hay que seleccionar la opción de avellanado al realizar la operación de agujero, así como introducir las cotas necesarias para definir por completo el agujero.

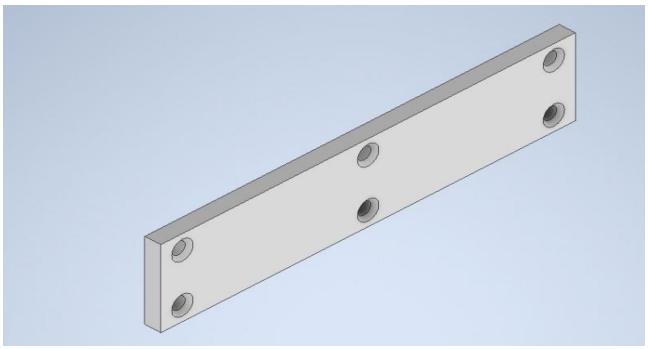


Ilustración 122. Placa de deslizamiento de la cruceta del pistón.

3.1.1.1.7. Marca 25. Plataforma inferior de los cilindros

Su modelado es bastante sencillo, sin presentar ninguna complejidad ni el uso de ninguna operación distinta a las anteriores. A través de extrusiones y de agujeros, se modeliza por completo la plataforma.

Cabe destacar, que muchos de los orificios siguen un patrón, y que para poder posicionarlos, se sitúa uno de ellos, utilizando la operación de patrón circular en boceto, y situando de esta manera los puntos sobre los que se realizan los taladros que siguen dicho patrón, que son de igual diámetro y/o métrica. Para ello, se sitúa el primer punto, se clica sobre la operación, y se selecciona la geometría a repetir y el eje de giro. Finalmente, se introduce el número de entidades a repetir, y el ángulo de barrido (en este caso, 6 entidades a lo largo de una revolución, es decir, 360º) (Ilustración 123).

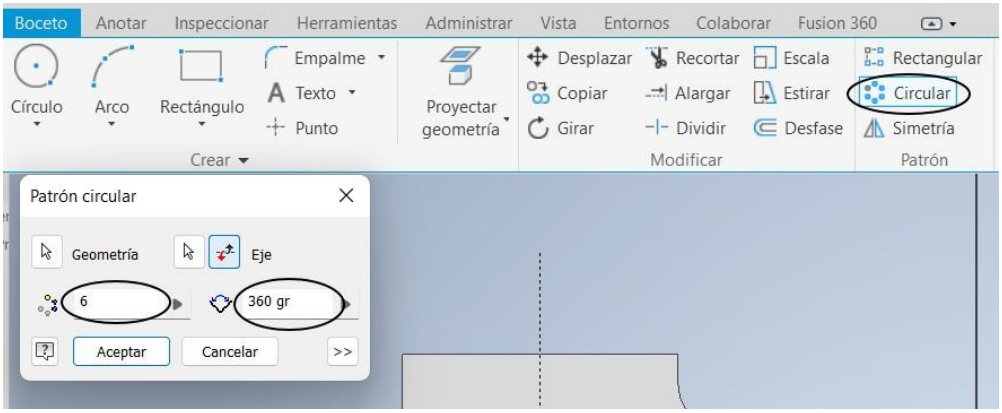


Ilustración 123. Operación matriz circular.

El modelado final del sólido se muestra en la siguiente imagen (Ilustración 124).

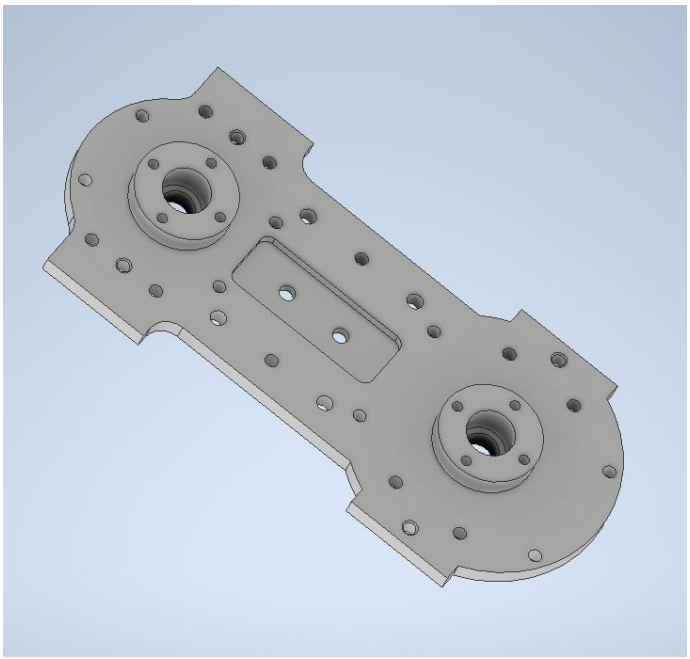


Ilustración 124. Plataforma inferior de los cilindros.

3.1.1.1.8. Marca 74. Cojinete de deslizamiento del vástago del pistón

Se modela de igual manera a los anteriores cojinetes, a través de una extrusión de revolución (Ilustración 125).

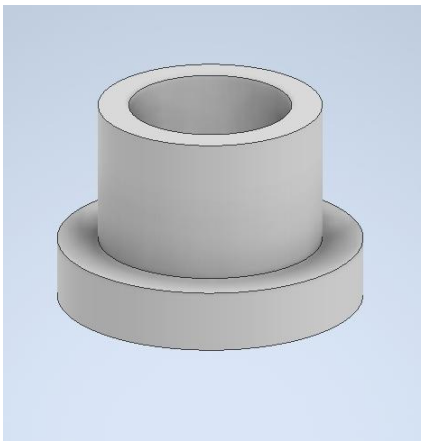


Ilustración 125. Cojinete de deslizamiento del vástago del pistón.

3.1.1.1.9. Marca 73. Sello del vástago del pistón

El modelo final, tras una extrusión de una corona circular, se muestra en la Ilustración 126.

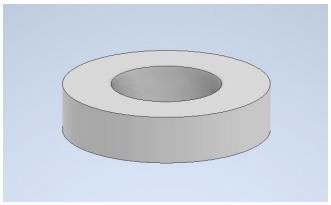


Ilustración 126. Sello del vástago del pistón.

3.1.1.1.10. Marca 72. Casquillo del vástago del pistón

Su modelado no requiere ninguna operación en especial. Se muestra el modelo final (Ilustración 127).

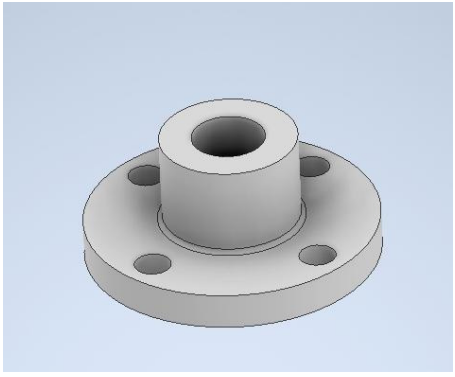


Ilustración 127. Casquillo del vástago del pistón.

3.1.1.1.11. Marca 90. Soporte guía de la válvula

Esta pieza es algo más compleja (Ilustración 128), pero su modelado no requiere el uso de ninguna operación nueva, simplemente extrusiones, agujeros, empalme de cara, redondeo de arista, etc.

El procedimiento seguido ha sido el siguiente: en primer lugar, se boceta la placa plana más grande, con los 6 agujeros ya hechos en el croquis, y seguidamente, la placa superior. Todo ello en el plano de planta (XZ). Para los brazos, se croquiza en el plano YZ y se extruye equitativamente en ambos sentidos perpendiculares a dicho plano. En el mismo plano, dos rectángulos, el que va en la parte inferior de los brazos, y debajo de la placa. Se extruye, y se realizan los diferente redondeos de aristas con el radio indicado en los planos. Finalmente, los orificios restantes (roscados y no), con el uso de la operación de agujero.

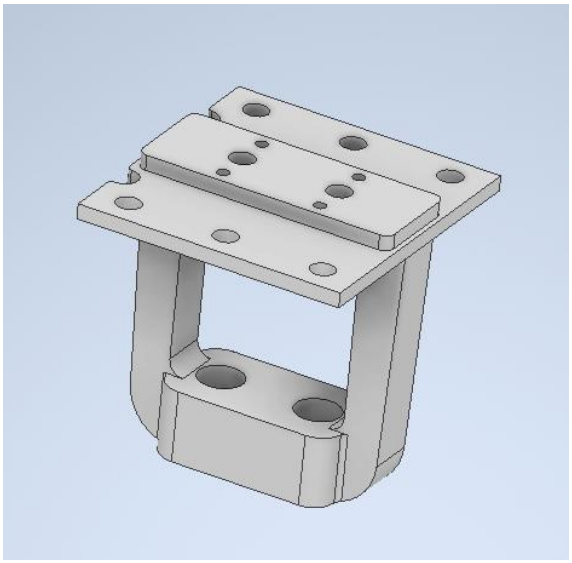


Ilustración 128. Soporte guía de la válvula.

3.1.1.1.12. Marca 86. Sello de la varilla de la válvula

Con una extrusión de una corona circular, se obtiene el modelo (Ilustración 129).

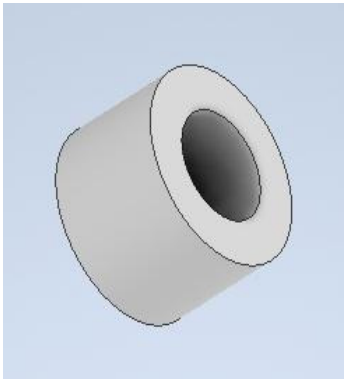


Ilustración 129. Sello de la varilla de la válvula.

3.1.1.1.13. Marca 88. Casquillo de la varilla de la válvula

La pieza se muestra en la Ilustración 130.

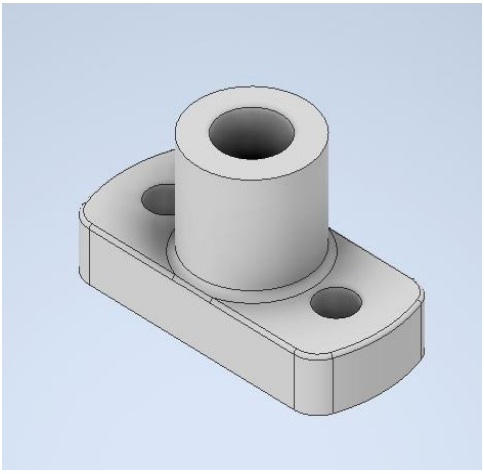


Ilustración 130. Casquillo de la varilla de la válvula.

3.1.1.1.14. Marca 20. Cilindro del pistón de alta presión

Esta pieza es el cilindro de alta presión. Para su modelado se seguirán los siguientes pasos:

1. En primer lugar, se croquiza el perfil de revolución (Ilustración 131) del cilindro con un mayor diámetro. Una vez croquizado, se realiza una extrusión de revolución.

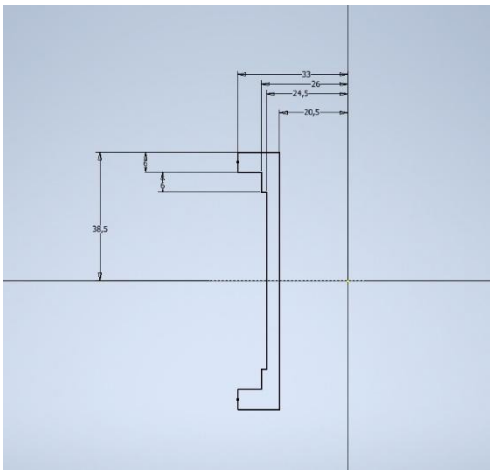


Ilustración 131. Perfil de revolución.

2. En la cara inferior del cilindro, se realiza el siguiente croquis (Ilustración 132) y se extruye una altura de 77 mm (el total de la pieza).

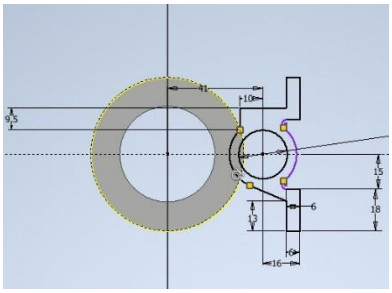


Ilustración 132. Croquis.

3. Se realiza el croquis de las placas inferior y superior, y se extruyen un espesor de 6 mm.
4. Se realizan cortes en dichas placas, para la zona del cilindro de menor diámetro (Ilustración 133).

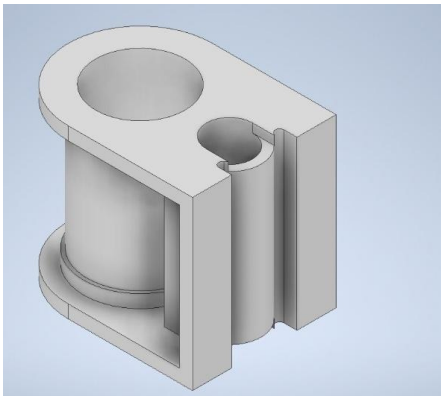


Ilustración 133. Cortes.

5. Croquizando dos rectángulos, y extruyendo, se desplaza la operación de corte de los orificios hacia abajo, para de esta manera, modelar la parte que une a los cilindros, y conservar así los orificios internos. Al desplazar la operación hacia abajo, no hay que volver a cortar.
6. Se realizan los dos agujeros internos, que van desde una cámara de presión a la otra. Para realizarlos, se dibujan dos líneas de construcción, que serán la trayectoria que siguen los orificios. Finalmente, se dibujan los círculos para realizar un barrido, y obtener de esta manera dichos orificios. Con realizar uno de los orificios, utilizando la operación de simetría (Ilustración 134) de operaciones en modelado 3D, escogiendo la operación y el plano de simetría, se taladra el agujero inferior, sin necesidad de realizar de nuevo otros dos croquis más, uno para la curva y otro para el perfil.

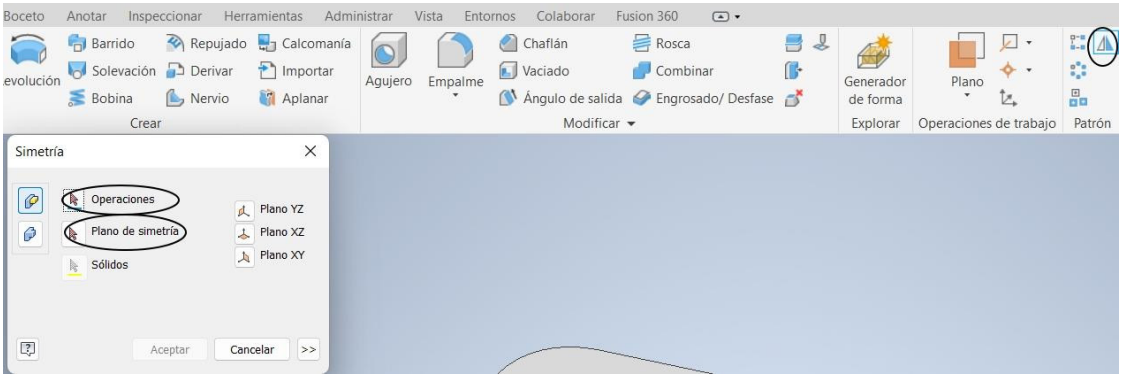


Ilustración 134. Operación de simetría.

7. Por último, se dibuja la elipse que va en el lateral del cilindro de menor diámetro, y se realizan todos los agujeros y orificios roscados. Para el trazado de los puntos donde irán los taladros, se puede agilizar el proceso usando matriz circular y rectangular, para lo cual, se sitúa el primer punto y se seleccionan dos direcciones, así como el número de instancias y la equidistancia (Ilustración 135).

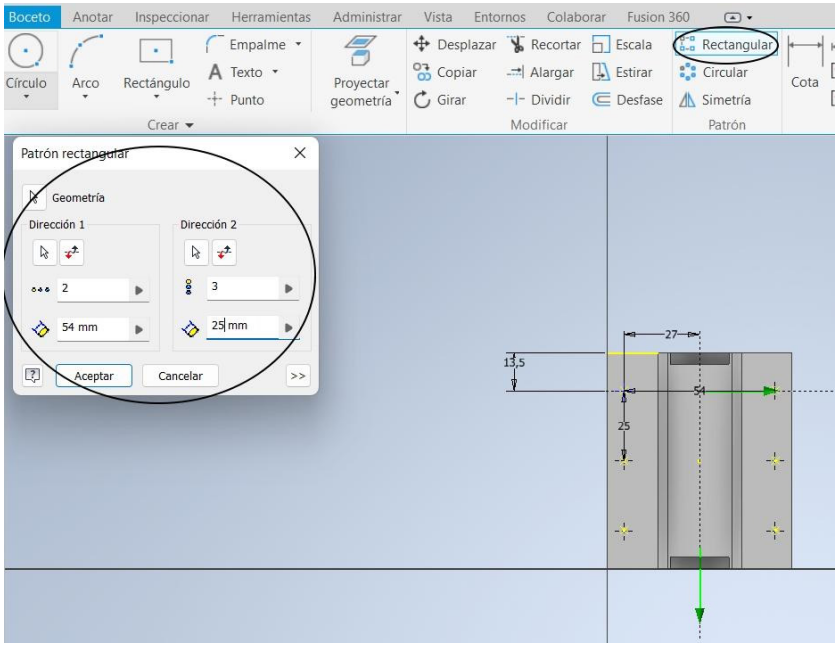


Ilustración 135. Patrón rectangular.

El resultado final se muestra en la siguiente imagen (Ilustración 136).

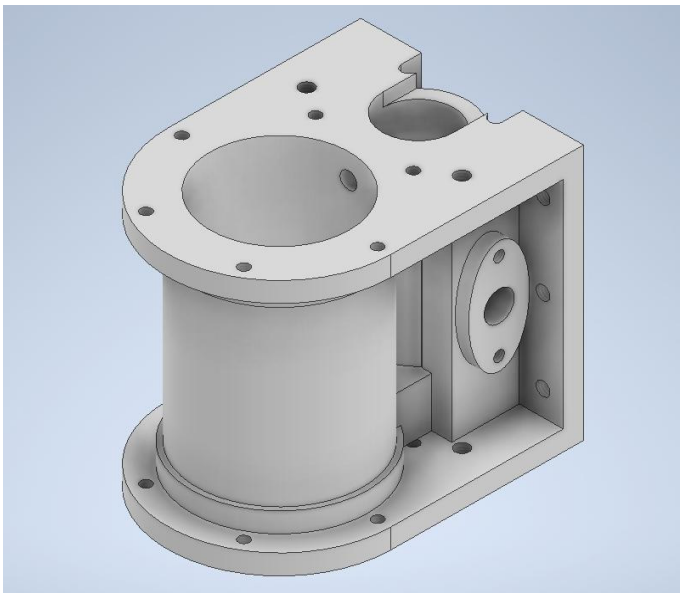


Ilustración 136. Cilindro del pistón de alta presión.

3.1.1.1.15. Marca 84. Camisa del cilindro de alta presión

Esta pieza va en el interior de la cámara del pistón de alta presión. Para el modelado, se realiza un cilindro hueco y seguidamente, una extrusión de corte barrido, de forma análoga a la pieza anterior (Ilustración 137).

Ilustración 137. Camisa del cilindro de alta presión.

3.1.1.1.16. Marca 85. Camisa de la admisión y escape del cilindro de alta presión

Para el modelado, dado que es una pieza de revolución alrededor de un eje, se croquiza el perfil de revolución. Tras ello, se hace un corte de una semicircunferencia de 4 mm.

Para esta pieza, se crean planos auxiliares que ayudan a situar con precisión las líneas de barrido así como el perfil circular. A través de la operación de plano paralelo a través de un punto, se selecciona el punto que va a estar contenido en el plano y, seguidamente, el plano al que será paralelo. De esta manera, se obtiene el modelo (Ilustración 138).

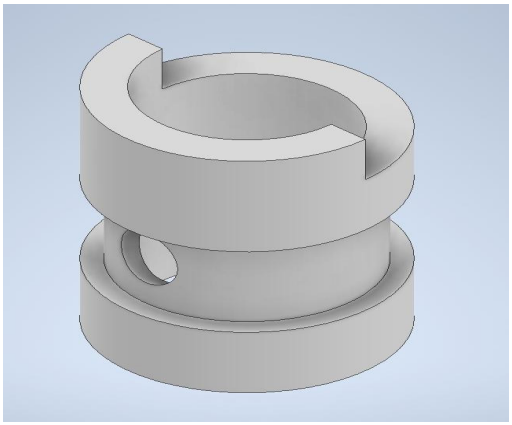


Ilustración 138. Camisa de la admisión y escape del cilindro de alta presión.

3.1.1.1.17. Marca 24. Cilindro del pistón de baja presión

Para el modelado, se procede de igual manera que para el cilindro del pistón de alta presión (marca 20). El resultado final del modelado se puede ver con claridad en la Ilustración 139.

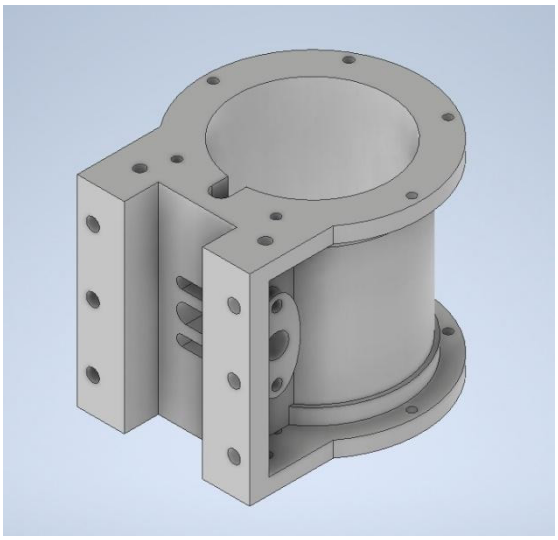


Ilustración 139. Cilindro del pistón de baja presión.

3.1.1.1.18. Marca 76. Camisa del cilindro de baja presión

Para modelarla, primero se crea el cilindro, y luego se realiza un corte, para obtener las ranuras inferior y superior (Ilustración 140).

Ilustración 140. Camisa del cilindro de baja presión.

3.1.1.1.19. Marca 79. Placa de deslizamiento de la admisión y escape del cilindro de baja presión

Se boceta un rectángulo con las tres ranuras y se extruye (Ilustración 141).

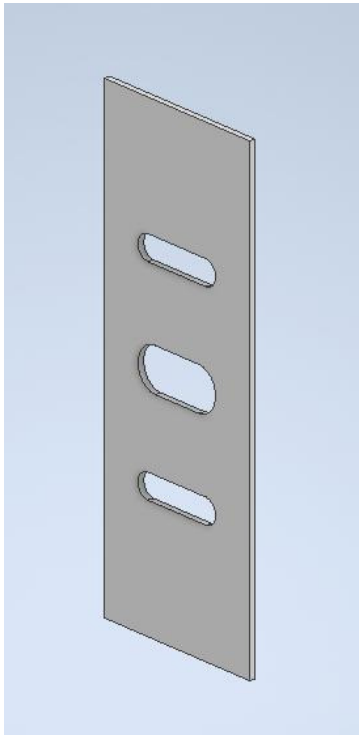


Ilustración 141. Placa de deslizamiento de la admisión y escape del cilindro de baja presión.

3.1.1.1.20. Marca 21. Plataforma superior de los cilindros

El procedimiento seguido para modelar dicha pieza es sencillo (Ilustración 142). Se croquiza y extruye la placa plana y, seguidamente, se realizan los agujeros.

Para terminar, se realizan dos esferas. Ambas se pueden obtener a través de una extrusión de revolución de una semicircunferencia.

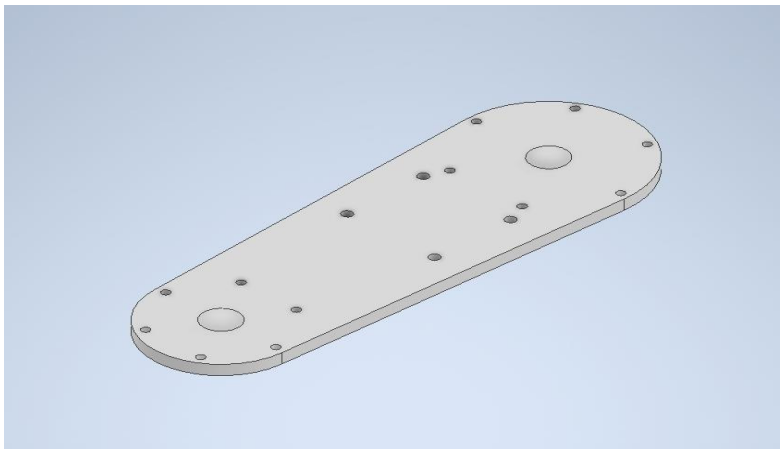


Ilustración 142. Plataforma superior de los cilindros.

3.1.1.1.21. Marca 39. Soporte de montaje del regulador

Para modelarla, se crea una extrusión del perfil, y seguidamente, se realizan todos los redondeos necesarios, así como orificios (Ilustración 143).

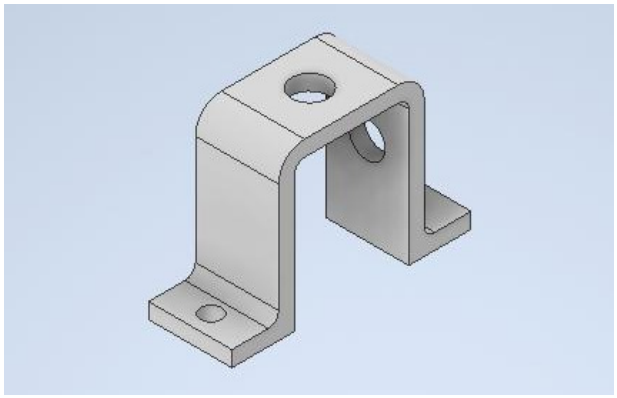


Ilustración 143. Soporte de montaje del regulador.

3.1.1.1.22. Marca 40. Soporte de montaje de la base del regulador

Para esta pieza, se realiza en primer lugar una extrusión de un cilindro, en cuya parte inferior hay un cambio de sección a una de un diámetro menor, que se obtiene a través de otra extrusión de una circunferencia. A continuación, se extruye el perfil siguiente (Ilustración 144), para hacer un nuevo cambio de sección en la parte superior del cilindro y la extrusión de un cilindro en el extremo del brazo.

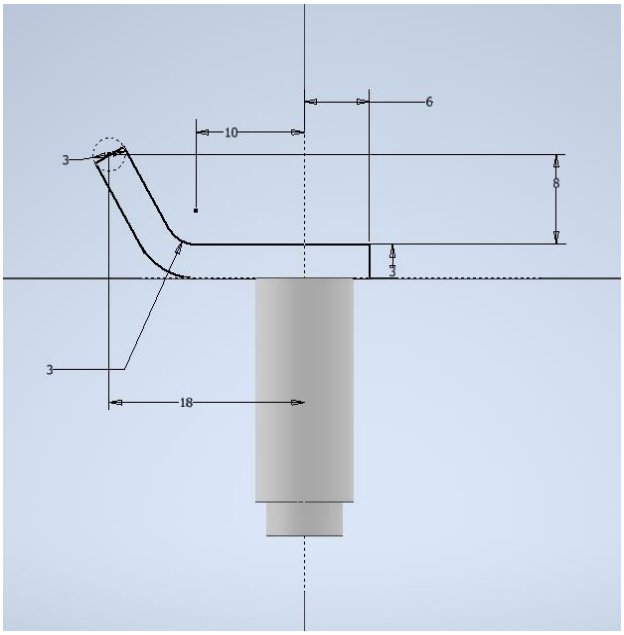


Ilustración 144. Croquis.

Y el resultado final se muestra en la Ilustración 145.

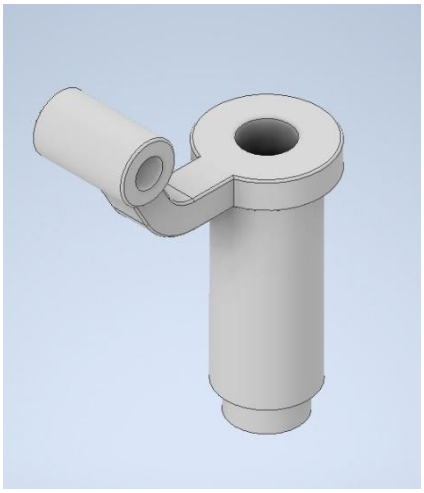


Ilustración 145. Soporte de montaje de la base del regulador.

3.1.1.1.23. Marca 32. Tubo fijador de la polea de transmisión

Se croquiza de manera análoga a la pieza anterior. En primer lugar, extrusión de un círculo, a continuación, otra extrusión de un círculo de menor radio y, seguidamente, un agujero pasante en el eje de revolución del cilindro. Para terminar, se realiza un redondeo en la arista superior del cilindro para que no haya una arista viva. En la Ilustración 146 se visualiza el modelo 3D.

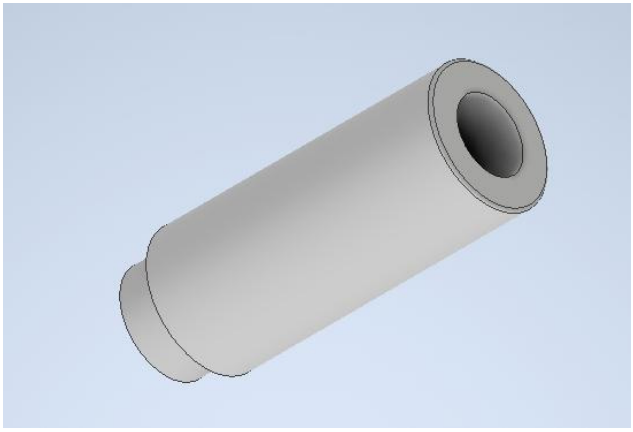


Ilustración 146. Tubo fijador de la polea de transmisión.

3.1.1.1.24. Marca 56. Carcasa de la válvula de mariposa

Modelar esta pieza es ligeramente más complicada que las anteriores. Para ello, se croquiza un círculo en el plano XY, y seguidamente se extruye en dirección perpendicular al plano, pero en ambos sentidos, y siendo la extrusión en uno de esos

sentidos mayor a la del otro, para que el origen de coordenadas del sistema de referencia cartesiano, coincida con el eje longitudinal del cilindro perpendicular a éste. En la Ilustración 147, se muestra el cilindro inicial, y los croquis que posteriormente serán extruidos la magnitud indicada por los planos, y en la dirección y sentido apropiados.

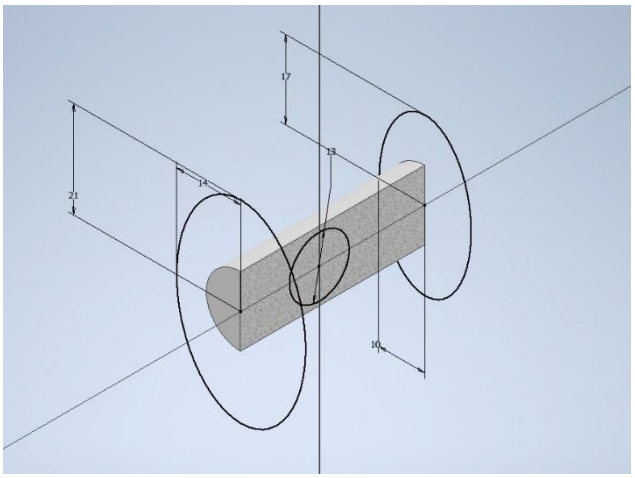


Ilustración 147. Croquis.

Ahora, se croquiza y extruye otra elipse en el cilindro perpendicular. Para terminar, se realizan todos los agujeros y redondeos necesarios, obteniéndose así el modelo final (Ilustración 148).

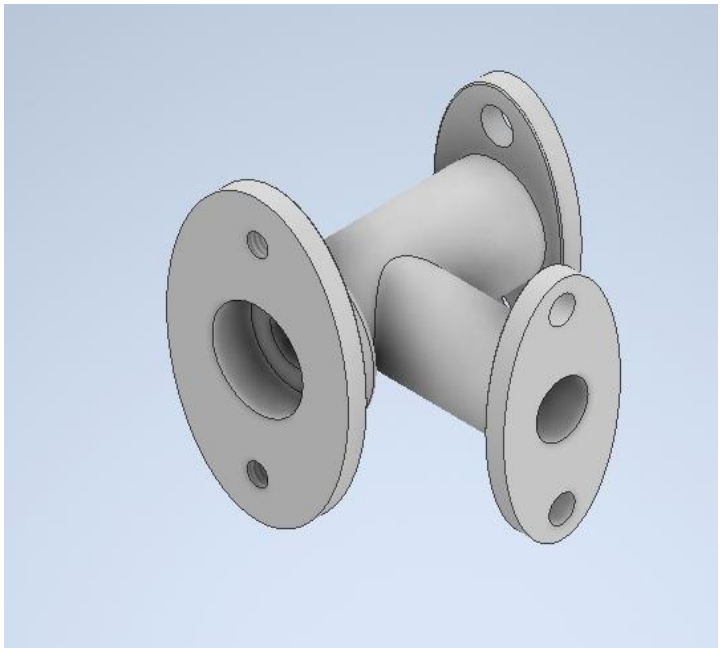


Ilustración 148. Carcasa de la válvula de mariposa.

3.1.1.1.25. Marca 54. Cubierta de la carcasa de la válvula de mariposa

En primer lugar, se crea la elipse y se extruye. A continuación, se extruye la parte cilíndrica que se sitúa en la parte inferior de la placa con forma de elipse. Posteriormente, se realiza la extrusión de un rectángulo, del cual se obtiene el plano de la marca 52, que es la que iría colocada junto a ésta para poder obtener las medidas necesarias que faltan en el plano de la pieza. Además, con ayuda de paralelas y perpendiculares en el plano, se obtienen las medidas exactas. Ahora, se croquiza el brazo de la pieza en la cara lateral del rectángulo, como se observa en la Ilustración 149. Con una simetría de operaciones, se obtiene el otro brazo. Para terminar, se realizan redondeos y agujeros indicados en el plano, obteniéndose el modelo final (Ilustración 150).

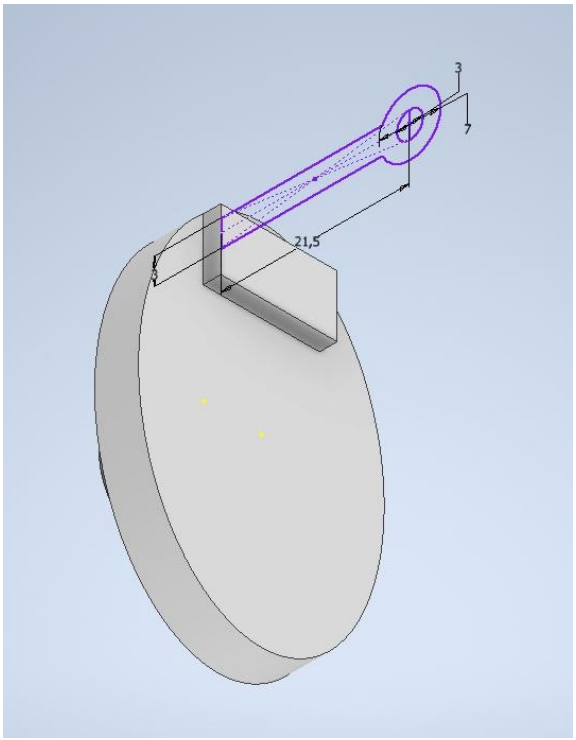


Ilustración 149. Croquis.

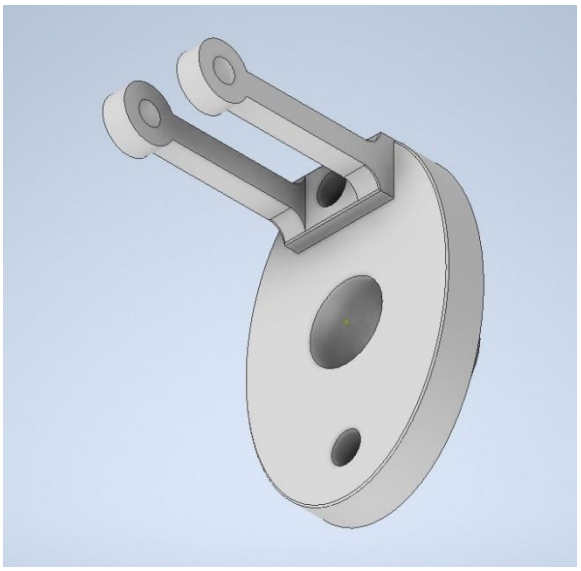


Ilustración 150. Cubierta de la carcasa de la válvula de mariposa.

3.1.1.1.26. Marca 99. Sello de la válvula de mariposa

Es una arandela y se modela fácilmente. La pieza se muestra en la Ilustración 151.

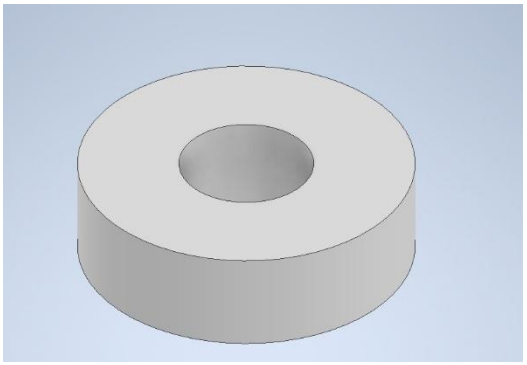


Ilustración 151. Sello de la válvula de mariposa.

3.1.1.1.27. Marca 47. Casquillo de la válvula de mariposa

Se crea una placa con forma de elipse a partir de una extrusión para modelar un cilindro en una de sus caras. Para terminar, se practican los agujeros indicados.

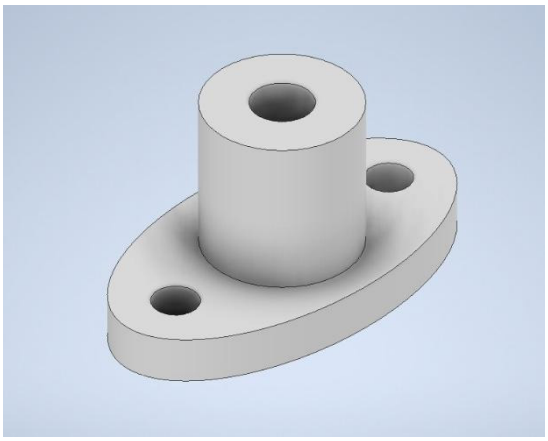


Ilustración 152. Casquillo de la válvula de mariposa.

3.1.1.1.28. Marca 8. Placa del nombre

Primero se modela la placa a través de extrusiones y redondeos. Seguidamente, se escribe sobre ella. Para ello, primero se dibuja una línea de construcción y se sitúa de la manera deseada. A continuación, seleccionando el comando texto de geometría y se clica sobre la línea previamente dibujada, que será sobre la que se escriba el texto. Se elige la altura de la letra deseada, así como el tipo de escritura, y la situación del texto sobre la línea, centrada para este caso (Ilustración 153).

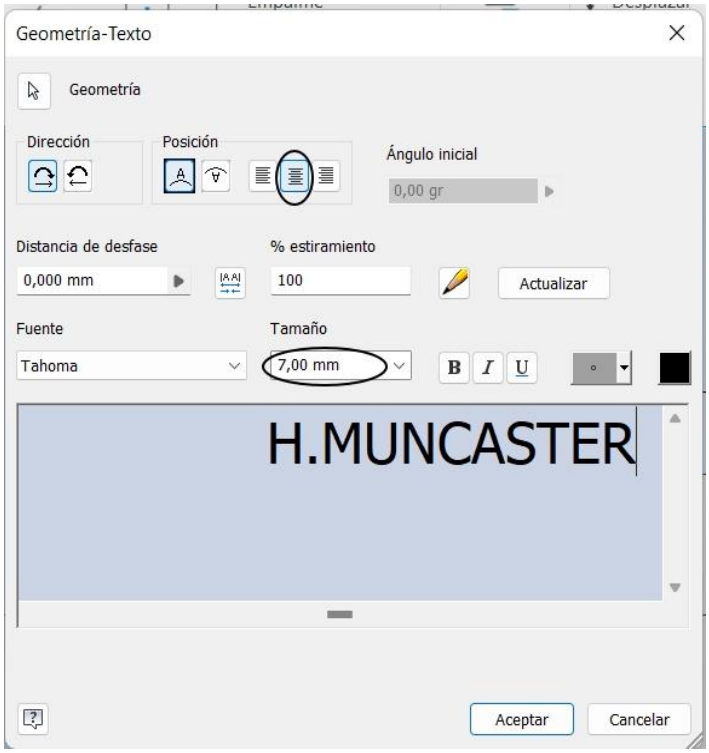


Ilustración 153. Geometría del texto.

Para terminar, se dibuja el contorno exterior de la placa, y con un desfase, se obtiene el borde. Se realiza una operación de corte para los taladros, dando lugar a la pieza (Ilustración 154).

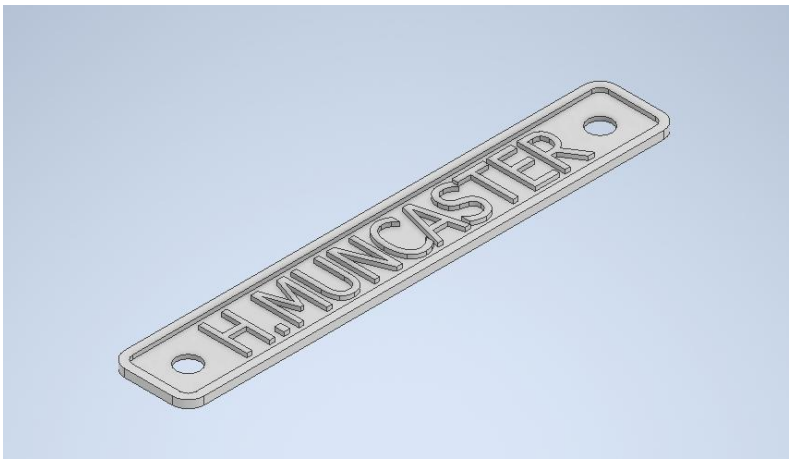


Ilustración 154. Placa del nombre.

3.1.1.1.29. Marca 3. Eje de apoyo 1 del cigüeñal

La pieza se obtiene con operaciones de extrusión y corte (Ilustración 155).

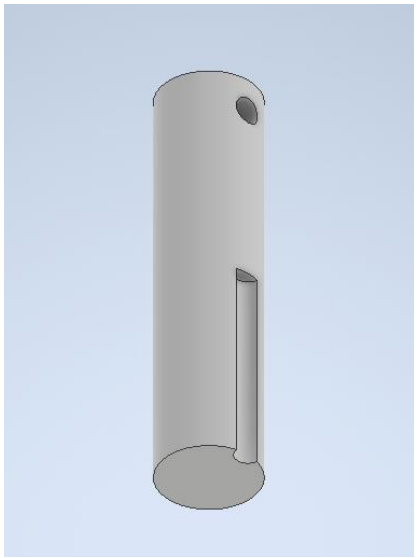


Ilustración 155. Eje de apoyo 1 del cigüeñal.

3.1.1.1.30. Marca 14. Codo de biela

En la siguiente imagen (Ilustración 156) se muestra el modelo 3D del sólido.

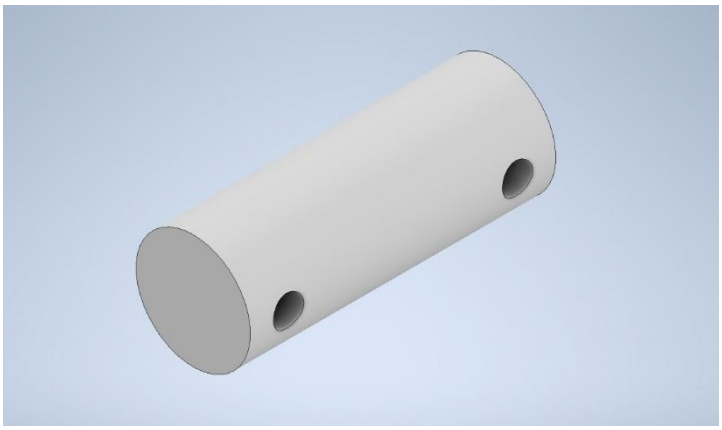


Ilustración 156. Codo de biela.

3.1.1.1.31. Marca 69. Muñón principal

A través de la extrusión de un cilindro, y dos agujeros, se obtiene el modelo (Ilustración 157).

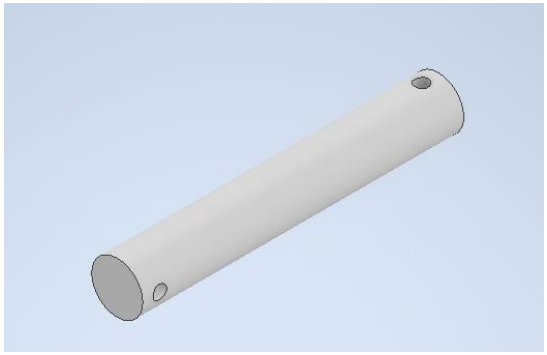


Ilustración 157. Muñón principal.

3.1.1.1.32. Marca 67. Eje de apoyo 2 del cigüeñal

Sólido obtenido a partir de una extrusión de una circunferencia y un agujero (Ilustración 158).

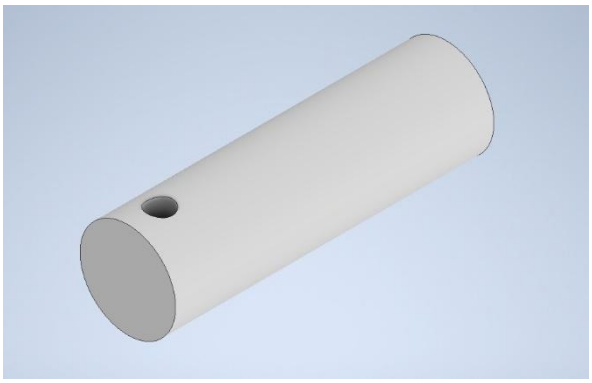


Ilustración 158. Eje de apoyo 2 del cigüeñal.

3.1.1.1.33. Marca 11. Biela

Se realiza el croquis del alzado y se realiza una extrusión del mismo. Posteriormente, se realizan los dos agujeros, y el redondeado de las aristas del contorno exterior, dando lugar al sólido (Ilustración 159).

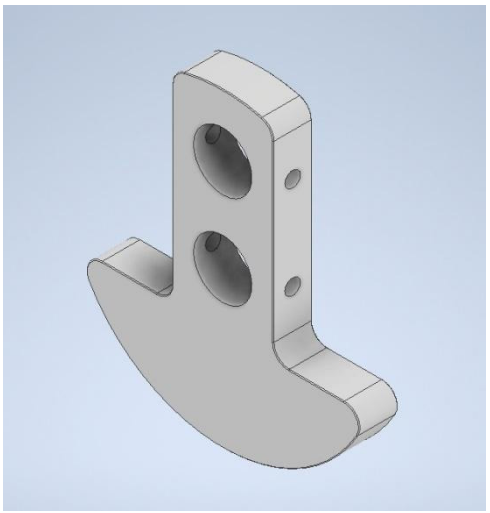


Ilustración 159. Biela.

3.1.1.1.34. Marca 1. Volante de inercia

Mediante el uso de matriz circular y extrusión, se modela fácilmente la pieza (Ilustración 160).

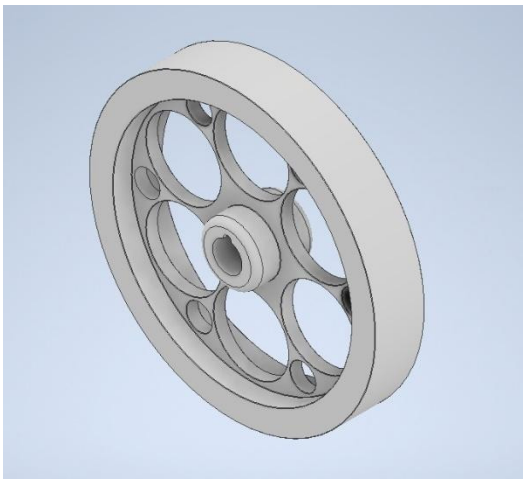


Ilustración 160. Volante de inercia.

3.1.1.1.35. Marcas 2 y 12. Bulones 1 y 2 del cigüeñal

Son piezas exactamente iguales (cilindros) (Ilustración 161), pero con diferentes medidas. La manera de modelarlas es muy sencilla, se croquiza una circunferencia con el diámetro requerido para realizar una extrusión.

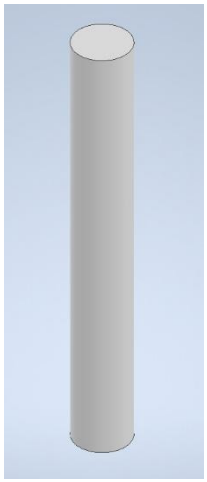


Ilustración 161. Bulones 1 y 2 del cigüeñal.

3.1.1.1.36. Marca 94. Roldana excéntrica

Se modela por partes, primero una de las caras lateras, a través de circunferencias y, apoyándose en las nuevas caras generadas por las extrusiones, se croquiza la continuación de la polea, para obtener los tres tramos de los que está compuesta. Finalmente, se realizan los agujeros (Ilustración 162).

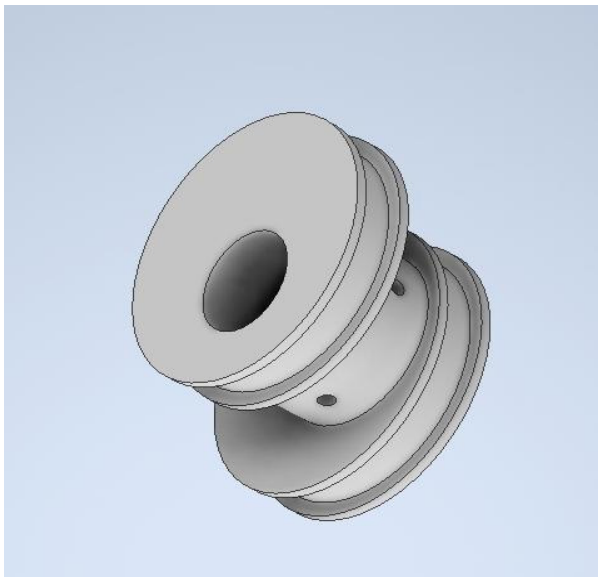


Ilustración 162. Roldana excéntrica.

3.1.1.1.37. Marca 82. Émbolo del pistón de alta presión

Fácil modelado mediante extrusión de circunferencias (Ilustración 163).

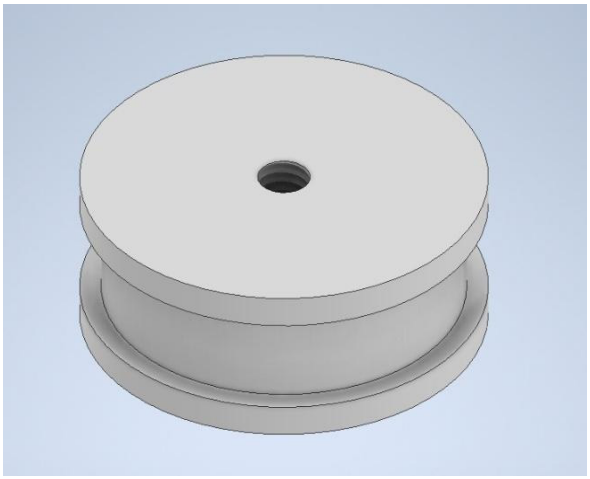


Ilustración 163. Émbolo del pistón de alta presión.

3.1.1.1.38. Marca 83. Segmento del pistón de alta presión

Se trata de un ajuste de material sintético para asegurar el vacío en el interior de la cámara del cilindro (Ilustración 164).

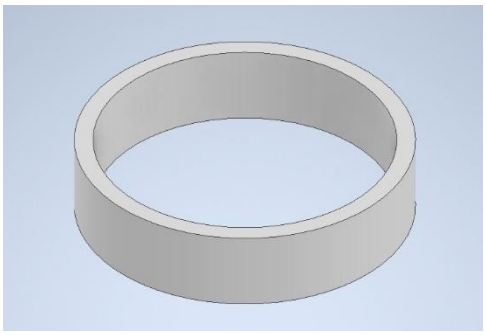


Ilustración 164. Segmento del pistón de alta presión.

3.1.1.1.39. Marca 75. Vástago del pistón

Es una varilla que atraviesa el resto de componentes, para unirlos y formar el pistón junto a la cruceta. El modelado es sencillo, extruyendo circunferencias. Tan sólo hay que introducir el uso de un nuevo comando, Rosca. En primer lugar, se modela la pieza y, a continuación, se crea el roscado (macho).

Para crear el filete del tornillo, se selecciona el comando rosca de la barra de operaciones en la ventana Modelo 3D (Ilustración 165).

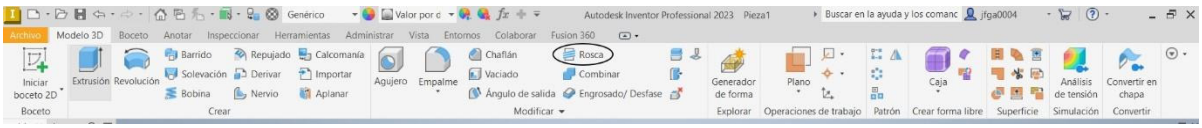


Ilustración 165. Operación Rosca.

Ahora se abrirá un menú, en el que se pide seleccionar la cara sobre la que se debe realizar el roscado, así como el tipo de rosca. Se acepta para confirmar la operación (Ilustración 166).

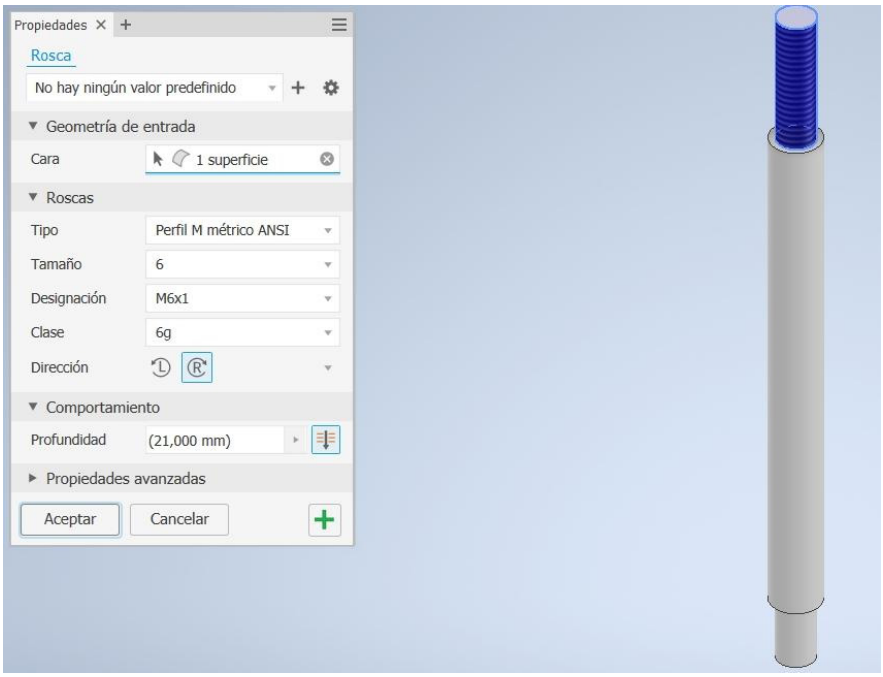


Ilustración 166. Creación del roscado.

Se realiza lo mismo en la parte inferior, obteniéndose así la pieza (Ilustración 167). También se pueden seleccionar ambas caras en una misma operación.

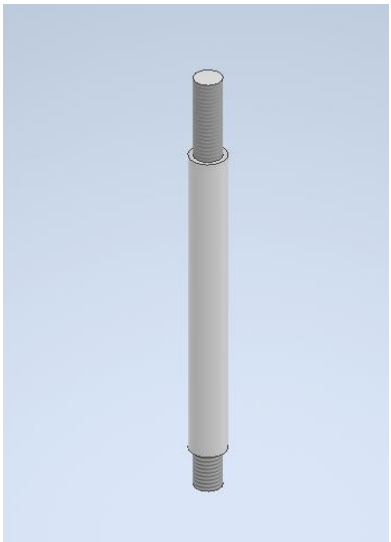


Ilustración 167. Vástago del pistón.

3.1.1.1.40. Marca 27. Cruceta del pistón

Se extruye una de las vistas (planta) y, posteriormente, se realizan los orificios y agujeros roscados.

Para la siguiente cota, se debe mirar en el plano de la pieza con la marca 18, ya que según el plano de ensamblaje, se observa que el espesor de dicha pieza coincide con la distancia marcada en el croquis siguiente (Ilustración 168), puesto que estas piezas están en contacto y desliza una sobre la otra.

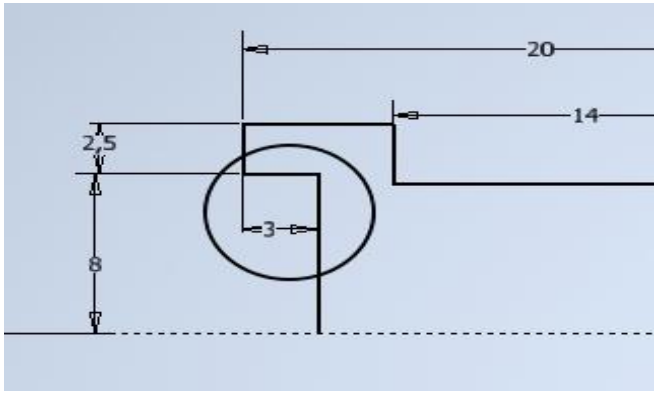


Ilustración 168. Croquis.

Como curiosidad, se expone a continuación el plano de trabajo (Ilustración 169) creado a través de una arista (perpendicular a ella) y un punto, para crear un corte en la dirección de la arista.

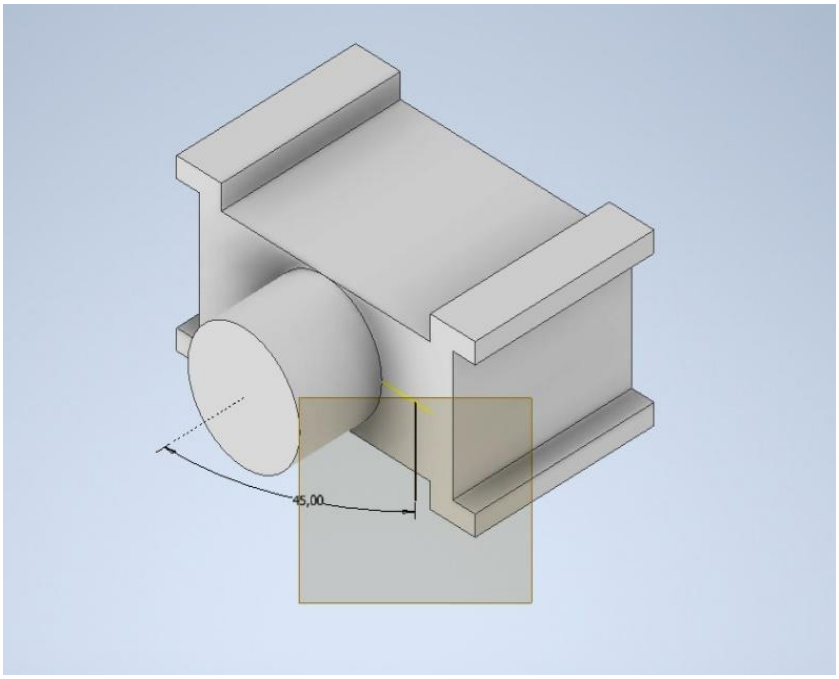


Ilustración 169. Plano de trabajo.

La pieza final es la siguiente (Ilustración 170):

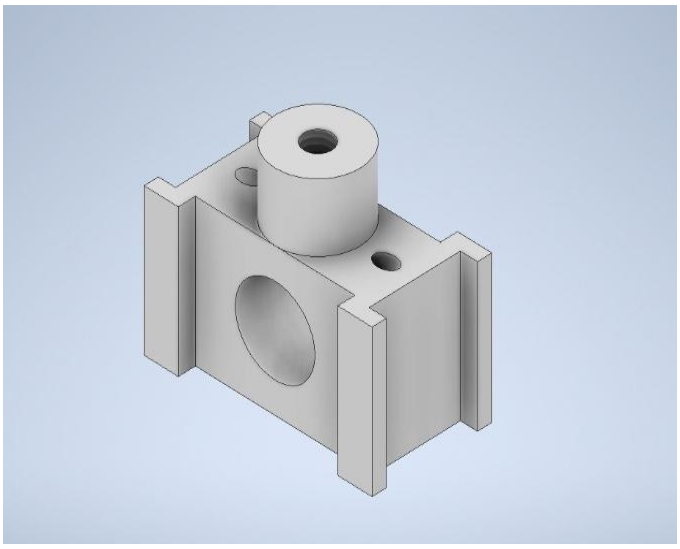


Ilustración 170. Cruceta del pistón.

3.1.1.1.41. Marca 93. Cojinete de la cruceta del pistón

Se modela a través de la extrusión de una corona circular. A través de dos planos auxiliares, se realiza el croquis del orificio y se realiza un corte barrido. Finalmente, se realiza simetría de esta última operación para obtener el segundo taladro, y obtener el sólido (Ilustración 171).

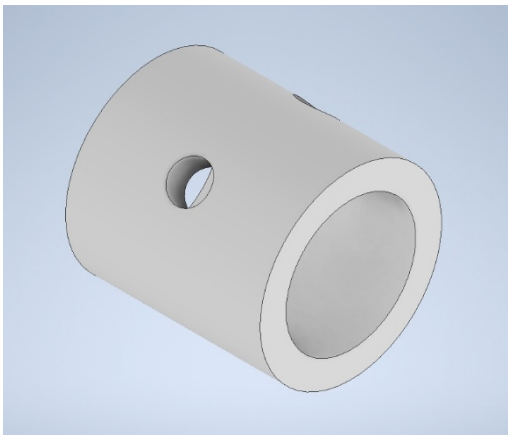


Ilustración 171. Cojinete de la cruceta del pistón.

3.1.1.1.42. Marca 28. Pasador de la biela del pistón

Es de fácil modelado, ya que se trata de una pieza de revolución a lo largo del eje axial de la pieza.

El resultado final se muestra en la Ilustración 172.

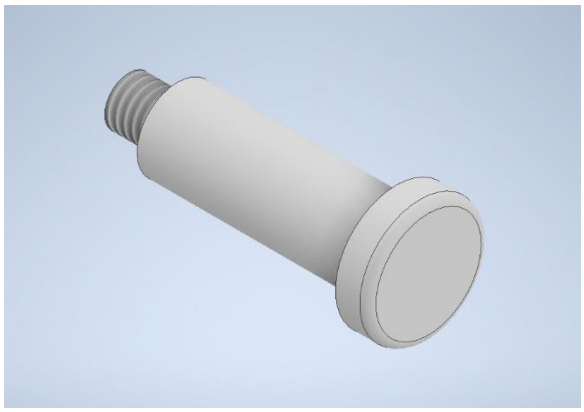


Ilustración 172. Pasador de la biela del pistón.

3.1.1.1.43. Marcas 15 y 29. Sombrero y cuerpo de la biela del pistón

Se modela sencillamente a través de los comandos de extrusión y agujero, además de tener que crear un plano de trabajo perpendicular a una línea que pase por un punto, para poder realizar los agujeros que siguen una línea diagonal.

El resultado del modelado se muestra en la Ilustración 173.

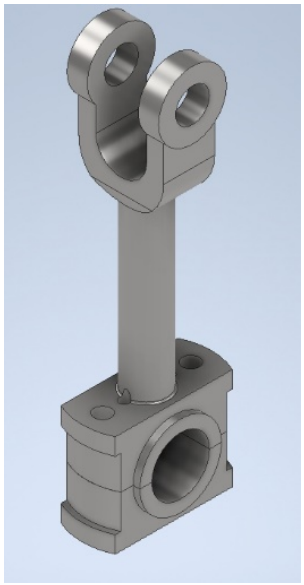


Ilustración 173. Sombrero y cuerpo de la biela del pistón.

3.1.1.1.44. Marca 71. Cojinete de la biela del pistón

Se extruye un anillo, para obtener el cilindro y, seguidamente, se croquiza una línea y un círculo, para realizar el barrido. Finalmente, se crea una simetría de esta última operación para obtener los dos taladros.

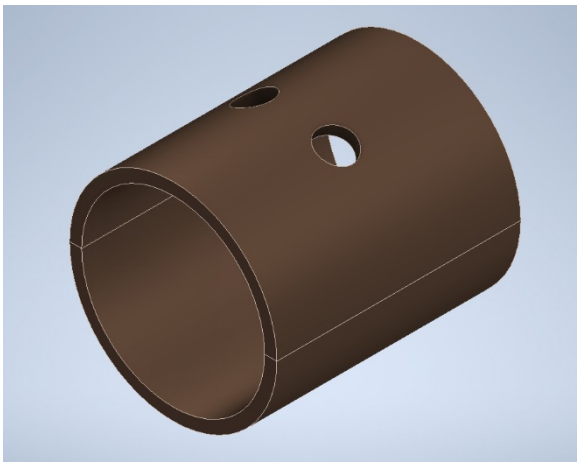


Ilustración 174. Cojinete de la biela del pistón.

3.1.1.1.45. Marca 78. Émbolo del pistón de baja presión

Se modela de igual manera que el émbolo del pistón de alta presión, pero introduciendo diferentes cotas. La pieza modelada se muestra en la Ilustración 175.

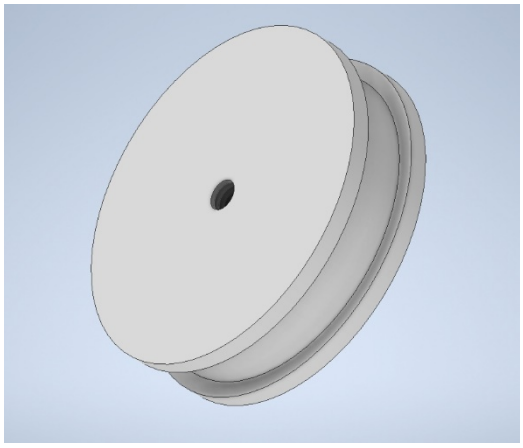


Ilustración 175. Émbolo del pistón de baja presión.

3.1.1.1.46. Marca 77. Segmento del pistón de baja presión

Se modela de igual manera que el segmento del pistón de alta presión, extruyendo una corona circular, pero con diferentes medidas. El resultado final del modelado se muestra en la siguiente imagen (Ilustración 176).

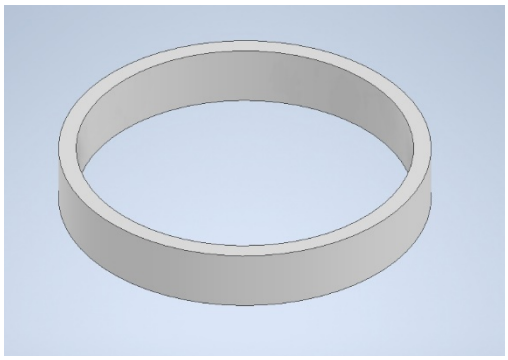


Ilustración 176. Segmento del pistón de baja presión.

3.1.1.1.47. Marca 80. Válvula de corredera de baja presión

Para modelarla, se realiza una extrusión del perfil lateral, y seguidamente un corte rectangular con los agujeros correspondientes. El resultado final es el mostrado en la Ilustración 177.

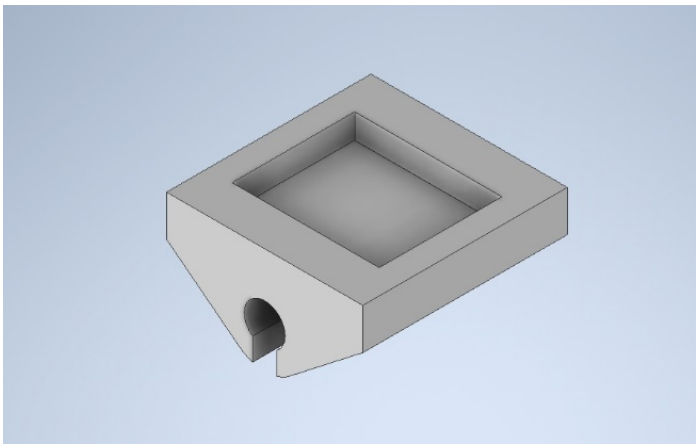


Ilustración 177. Válvula de corredera de baja presión.

3.1.1.1.48. Marca 89. Husillo de la válvula de corredera de baja presión

Fácil modelado, al tratarse de una pieza de revolución (Ilustración 178), a excepción de un tramo, al que se le recortará una parte para obtener la forma requerida. Además, hay que realizar un roscado con la operación 'Rosca', anteriormente explicada.

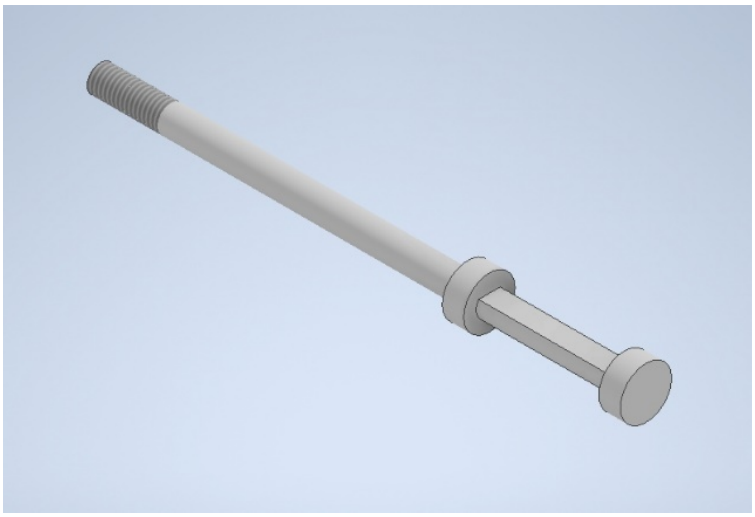


Ilustración 178. Husillo de la válvula de corredera de baja presión.

3.1.1.1.49. Marca 91. Extremo del husillo de la válvula de corredera

Se modela de manera parecida a la pieza anterior. Primero se realiza una extrusión de revolución y, seguidamente, un corte en la zona donde no existe simetría de revolución. Para finalizar, se hace un agujero roscado (Ilustración 179).

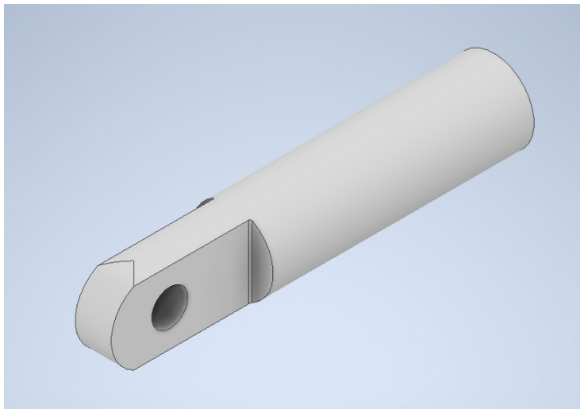


Ilustración 179. Extremo del husillo de la válvula de corredera.

3.1.1.1.50. Marca 92. Pasador de la biela de la válvula de corredera

Es una pieza de revolución alrededor de su eje axial, y un roscado en uno de los extremos. Por tanto, se puede modelar a través de revolución y, finalmente, con la operación 'Rosca', realizando el roscado con la medida métrica correspondiente, obteniéndose así el modelo final del sólido (Ilustración 180).

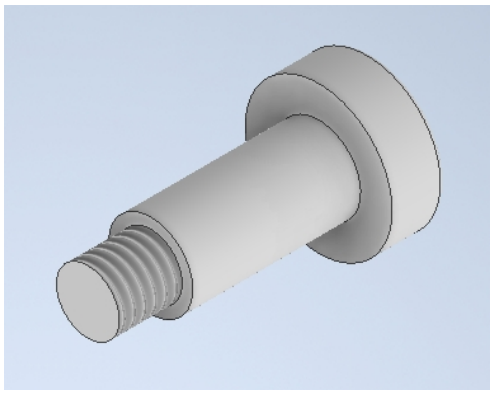


Ilustración 180. Pasador de la biela de la válvula de corredera.

3.1.1.1.51. Marca 16. Cuerpo de biela de la válvula de corredera

Pieza (Ilustración 181) de fácil modelado a través de extrusiones y cortes necesarios, además de varios redondeos a través del comando 'Empalme'.

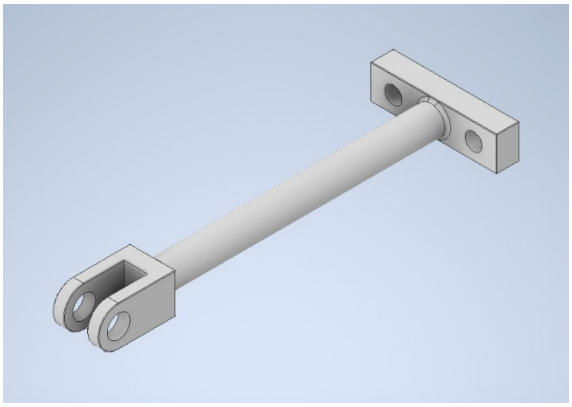


Ilustración 181. Cuerpo de biela de la válvula de corredera.

3.1.1.1.52. Marcas 9 y 10. Partes inferior y superior del sombrero de la biela de la válvula de corredera

Si se croquiza la vista frontal y, posteriormente se extruye, se obtiene la pieza (aparte se realizan todos los agujeros necesarios con el comando 'Agujero').

Como curiosidad, dado que esta pieza se divide en dos mitades, se utilizará para ello el comando 'Dividir'. Se clica sobre el mismo, y aparece una ventana emergente (Ilustración 182). En ella, se pide seleccionar una herramienta, en este caso será el plano YZ, así como las caras a dividir. Como se desea dividir todo el sólido, se selecciona la opción 'Todas las caras'. De esta manera, se obtiene la división del mismo.

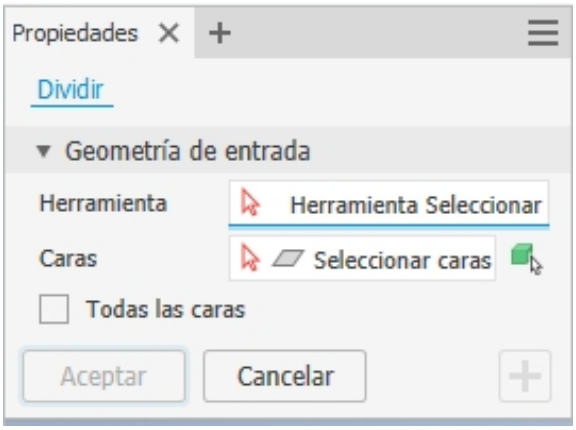


Ilustración 182. Comando Dividir.

Finalmente y tras realizar agujeros y roscados necesarios, se obtiene la pieza (Ilustración 183).

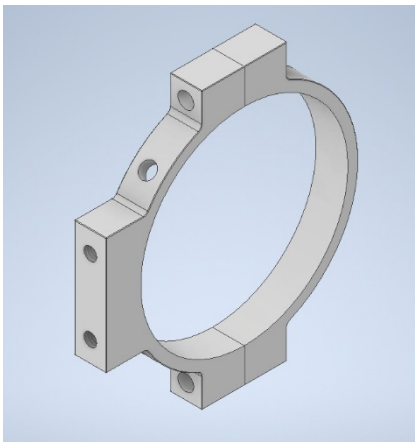


Ilustración 183.Partes inferior y superior del sombrero de la biela de la válvula de corredera.

3.1.1.1.53. Marca 96. Cojinete de la biela de la válvula de corredera

Se realiza la extrusión de un cilindro. Posteriormente, se crea un plano auxiliar a través de una recta y un punto, para que sea perpendicular a la recta, siendo por tanto, dicha recta, su vector normal y formando 45º con el plano de planta. En dicho plano auxiliar, se croquiza una circunferencia, coincidente con el punto anterior, y se realiza un corte barrido para obtener el agujero (Ilustración 184). Finalmente, se realiza una simetría de la operación anterior para hacer el otro agujero, dando lugar al modelo (Ilustración 185).

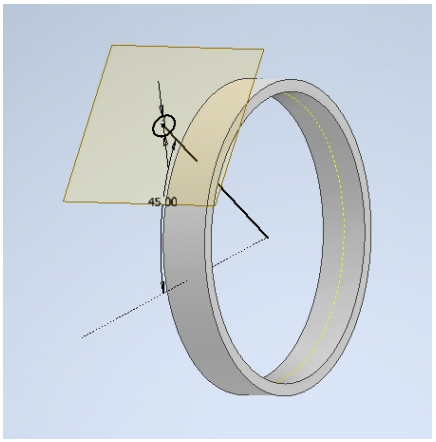


Ilustración 184. Operación de corte barrido.

Ilustración 185. Cojinete de la biela de la válvula de corredera.

3.1.1.1.54. Marca 81. Husillo de la válvula de corredera de alta presión

A través de la revolución de un croquis alrededor de un eje, un roscado y un redondeo, se obtiene dicha pieza (Ilustración 186).

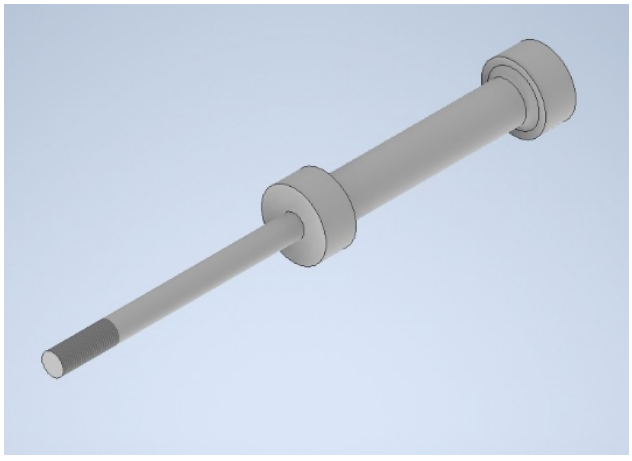


Ilustración 186. Husillo de la válvula de corredera de alta presión.

3.1.1.1.55. Marca 48. Válvula de mariposa

Modelado bastante fácil a través de las operaciones de extrusión, empalme, revolución y agujero. El resultado final (Ilustración 187) se muestra a continuación.

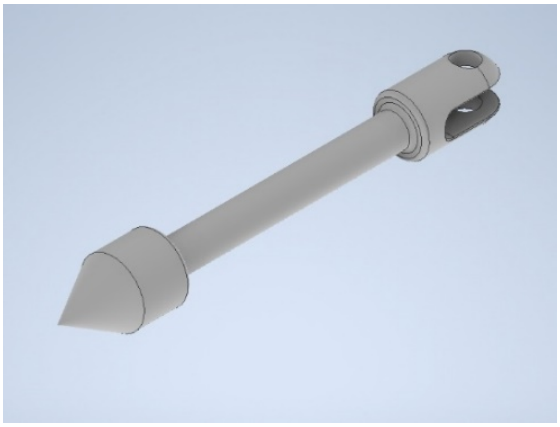


Ilustración 187. Válvula de mariposa.

3.1.1.1.56. Marca 49. Pasador de la válvula de mariposa

Con la extrusión de una circunferencia, se obtiene el modelado de la pieza (Ilustración 188).

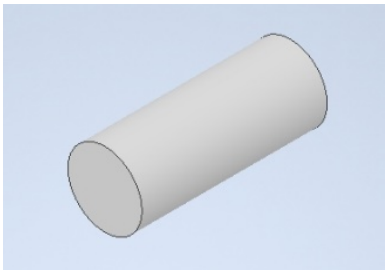


Ilustración 188. Pasador de la válvula de mariposa.

3.1.1.1.57. Marca 52. Manivela de la válvula de mariposa

Se trata de la manivela de la válvula del regulador (Ilustración 189), o también llamada válvula de mariposa. Al igual que muchas piezas, su modelado no requiere el uso de ninguna operación especial, y el modelo 3D se puede obtener con operaciones de extrusión, agujero y empalmes.

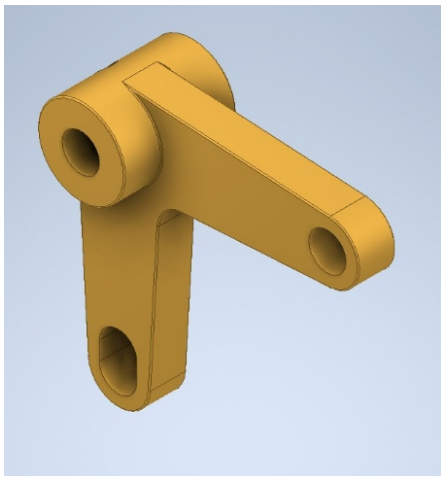


Ilustración 189. Manivela de la válvula de mariposa.

3.1.1.1.58. Marca 53. Pasador de la manivela de la válvula de mariposa

Al igual que el resto de pasadores, se obtiene extruyendo una circunferencia (Ilustración 190).

Ilustración 190. Pasador de la manivela de la válvula de mariposa.

3.1.1.1.59. Marca 95. Polea de control de velocidad del cigüeñal

Se modela con la revolución de un boceto y con las operaciones agujero y empalme (Ilustración 191).

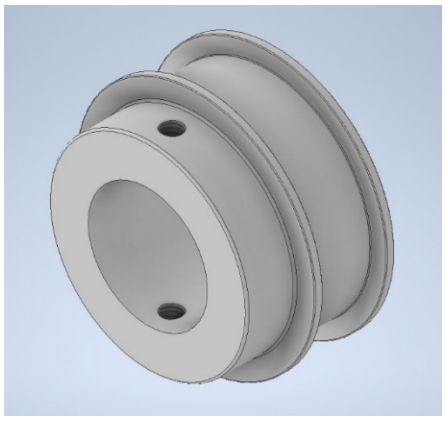


Ilustración 191. Polea de control de velocidad del cigüeñal.

3.1.1.1.60. Marcas 34 y 37. Husillo de accionamiento y accionado del regulador (1 y 2)

Este tipo de piezas se puede introducir directamente en el ensamblaje, a través de la operación Engranaje biselado, en el módulo de diseño, introduciendo los parámetros adecuados en la ventana emergente que aparece al clicar sobre dicha operación. Estos parámetros son el número de dientes y el módulo. Tras introducir el engranaje, se abre su archivo y se modifica, para crear un orificio en el mismo, así como un cuello con un orificio pasante para su posterior acople en el eje usando un pasador. El engranaje se muestra en la siguiente imagen (Ilustración 192).

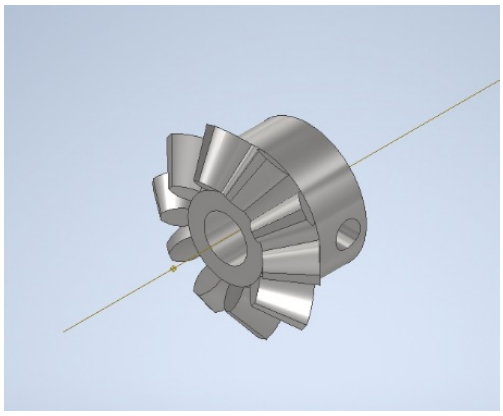


Ilustración 192. Husillo de accionamiento y accionado del regulador (1 y 2).

3.1.1.1.61. Marca 102. Eje de transmisión del regulador

Es un eje, por lo que con una revolución y los correspondientes agujeros, se obtiene el modelo 3D de la pieza (Ilustración 193).

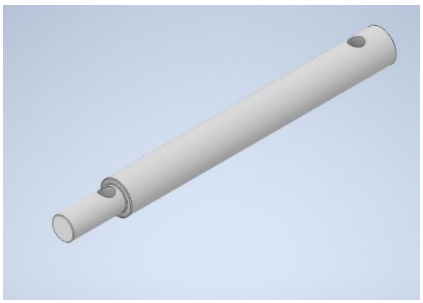


Ilustración 193. Eje de transmisión del regulador.

3.1.1.1.62. Marca 30. Polea del regulador

Modelado a través de revolución, usando como eje de giro el eje longitudinal de la pieza (Ilustración 194). Para finalizar, se realiza un agujero.

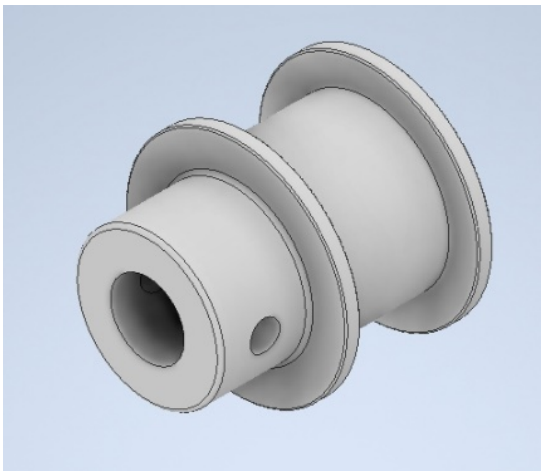


Ilustración 194. Polea del regulador.

3.1.1.1.63. Marcas 106 y 33. Bulones 1 y 2

Estos bulones sirven para acoplar al eje de transmisión del regulador el engranaje y la polea. Se modelan a través de la extrusión de una circunferencia, al igual que en el resto de bulones (Ilustración 161).

3.1.1.1.64. Marca 105. Eje del regulador

Es un eje (Ilustración 195) que será modelado por una extrusión de revolución y agujeros.

Ilustración 195. Eje del regulador.

3.1.1.1.65. Marca 45. Fijador superior de brazos del regulador

Se modela a través de operaciones de revolución, corte y agujero. De esta manera, se consigue el modelado de la pieza (Ilustración 196).

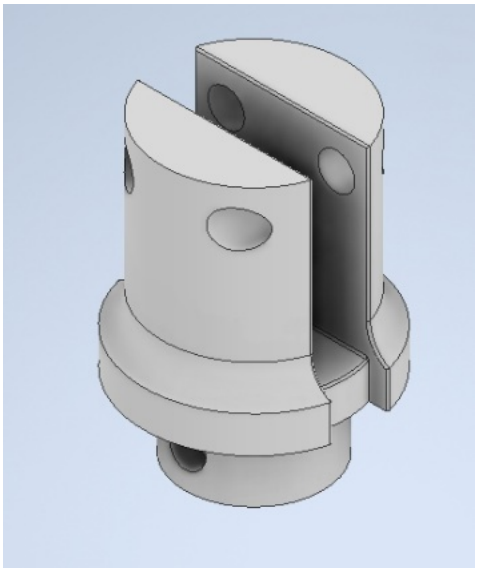


Ilustración 196. Fijador superior de brazos del regulador.

3.1.1.1.66. Marca 98. Bulón del fijador

Se extruye un cilindro y, sobre él, se realiza un corte de los extremos. Para ello, se usa una circunferencia con el diámetro adecuado, y se corta la parte del sólido que queda por fuera de la circunferencia. Así pues, se obtiene el sólido (Ilustración 197).

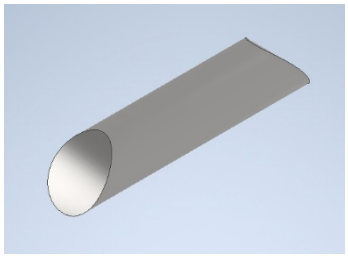


Ilustración 197. Bulón del fijador.

3.1.1.1.67. Marca 35. Apoyo del eje del regulador

Es una simple pieza de revolución con un agujero (Ilustración 198).

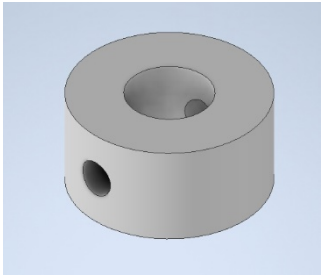


Ilustración 198. Apoyo del eje del regulador.

3.1.1.1.68. Marca 31. Correa de transmisión del regulador

Se croquiza el contorno exterior de la correa y, seguidamente, se crea el contorno interior a través del desfase del contorno exterior, para posteriormente extruir y obtener el sólido (Ilustración 199).

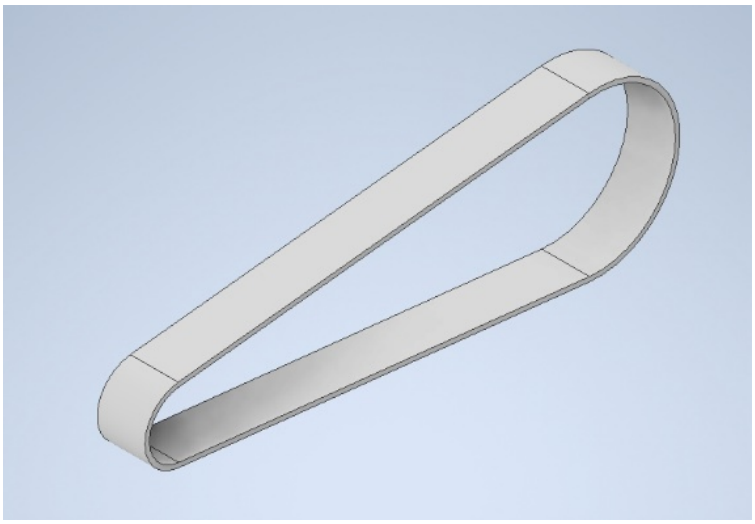


Ilustración 199. Correa de transmisión del regulador.

3.1.1.1.69. Marca 64. Carcasa deslizante del regulador

En primer lugar, se modelará la parte que es de revolución de la pieza. Posteriormente, se realizarán las correspondientes extrusiones, así como agujeros, para obtener de esta manera la pieza (Ilustración 200). Además, se realizan diversos empalmes en aristas y caras.

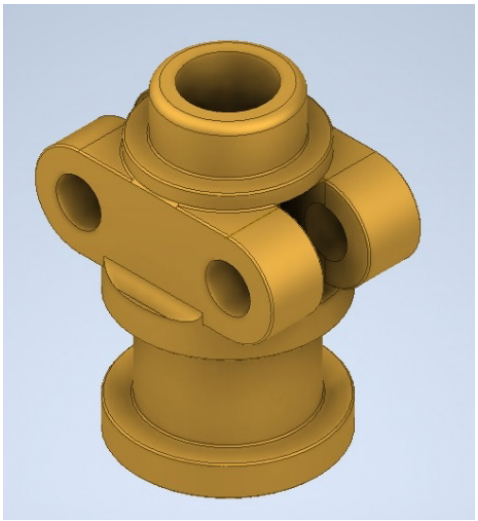


Ilustración 200. Carcasa deslizante del regulador.

3.1.1.1.70. Marca 60. Resorte del regulador

Para modelar el resorte, se hará uso del comando 'Bobina' (Ilustración 201), que aparece en la interfaz gráfica de 'Modelo 3D'. Previamente, se deberá hacer un boceto con una circunferencia y un eje, que serán los correspondientes a la sección del muelle y al eje de revolución del mismo. Posteriormente, se finaliza el boceto y se clica sobre la operación de Bobina. Aparecerá la ventana emergente (Ilustración 202), en la cual se debe indicar el perfil y eje de revolución. Para modelar el muelle, se puede introducir el paso y revolución, altura y paso, revolución y altura o espiral. Para el caso descrito, se introducirán los valores de revolución y altura del resorte. El resultado final es el mostrado en la Ilustración 203.

Ilustración 201. Operación bobina.

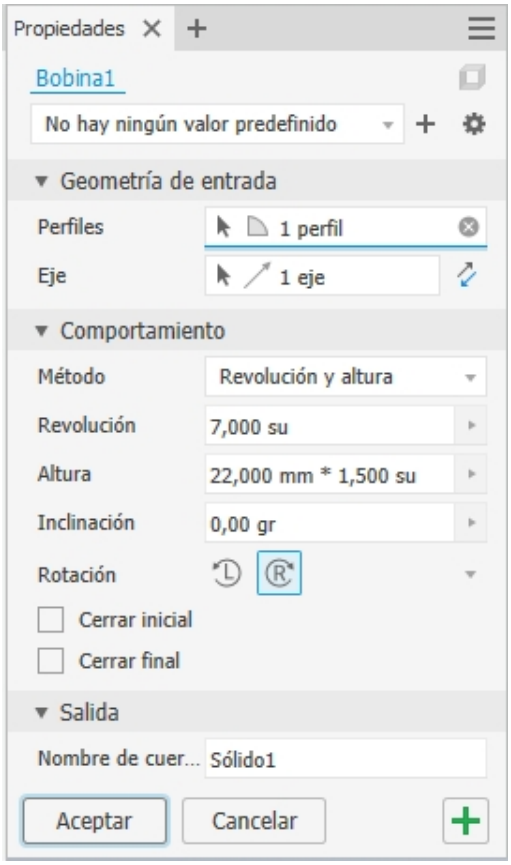


Ilustración 202. Parámetros de la bobina.

Ilustración 203. Resorte del regulador.

3.1.1.1.71. Marca 62. Brazo inferior

Su modelado es bastante simple, ya que sólo requiere la extrusión de un boceto (Ilustración 204).

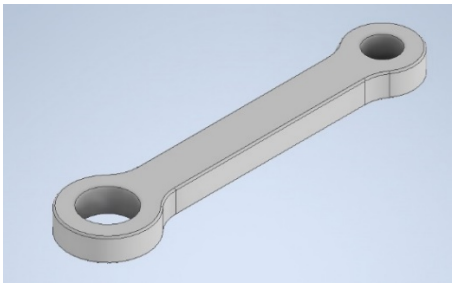


Ilustración 204. Brazo inferior.

3.1.1.1.72. Marca 44. Brazo superior

Se modela de igual manera que la pieza anterior pero con distintas medidas (Ilustración 205).

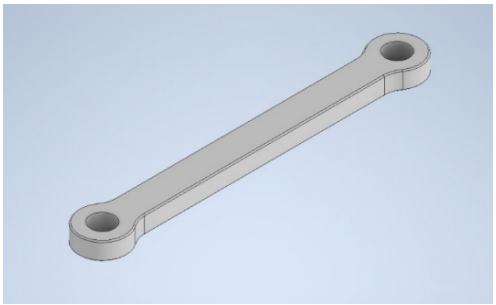


Ilustración 205. Brazo superior.

3.1.1.1.73. Marca 61. Peso centrífugo del regulador

Se obtiene a través de la extrusión de una circunferencia, sobre la cual se realizará un agujero. Finalmente, se realiza un redondeo de los bordes (Ilustración 206).

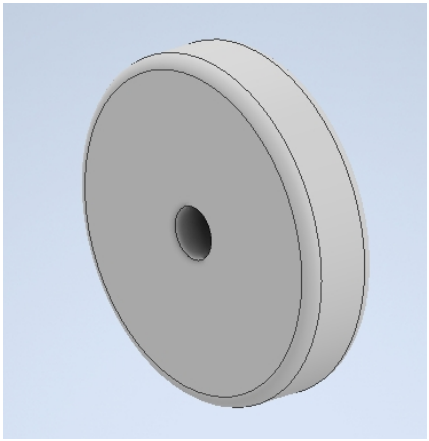


Ilustración 206. Peso centrífugo del regulador.

3.1.1.1.74. Marca 42. Yugo y manivela del regulador

Se modela a través de extrusiones, agujeros y empalmes, no requiriendo de ningún comando particular (Ilustración 207).

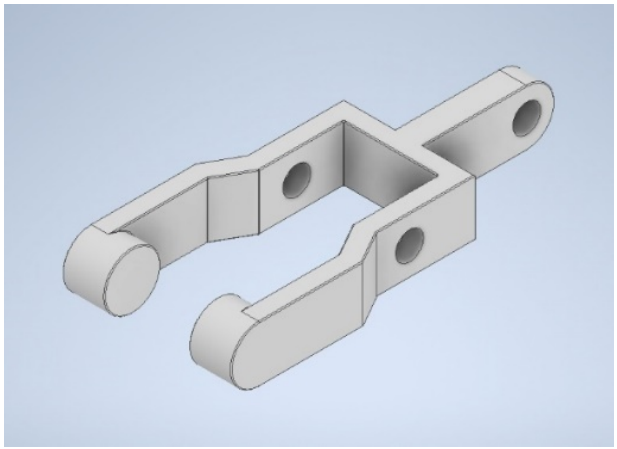


Ilustración 207. Yugo y manivela del regulador.

3.1.1.1.75. Marca 46. Varilla de control del regulador

Para su modelado se realiza un barrido de una circunferencia a lo largo de una línea, que coincide con el eje longitudinal de la varilla. Seguidamente, se realizan los roscados en los extremos, obteniéndose así el modelo 3D (Ilustración 208).

Ilustración 208. Varilla de control del regulador.

3.1.1.1.76. Marca 50. Extremo de la varilla de control del regulador

Se modela a través de una extrusión de revolución, un corte, un agujero y un agujero roscado (Ilustración 209).

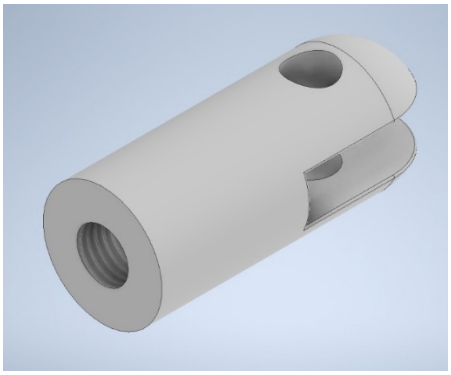


Ilustración 209. Extremo de la varilla de control del regulador.

3.1.1.1.77. Bulones

Anteriormente, se ha incluido la descripción del modelado de algunos bulones que componen el ensamblaje. Dado que, el modelado y la perspectiva isométrica es la misma para todos ellos a excepción de las dimensiones de los mismos, se ha excluido la descripción del modelado y la perspectiva de muchos de los bulones.

3.1.1.1.78. Elementos de fijación

La tornillería y tuercas, es decir, los elementos de fijación, no son necesarios de modelar, dado que ya vienen modelados en la librería del programa. Para ello, se

debe cargar la librería. El primer paso, es ir a la ventana inicial del programa (Ilustración 210), y clicar sobre los tres puntos de la derecha de 'Default' para acceder a la configuración. Una vez se haya pulsado sobre 'Configuración', aparecerá una ventana (Ilustración 211). En ella, se coloca el puntero sobre la opción 'Usar biblioteca de estilos = Solo lectura', se pulsa botón derecho del ratón y se selecciona opción de Lectura/escritura. Finalmente, se debe introducir la ubicación de la librería; para ello, situarse en 'Bibliotecas', botón derecho del ratón y se elige la opción 'Añadir ruta'. La ruta de la librería es la siguiente: C:\Users\Public\Documents\Autodesk\Inventor 2023\Biblioteca (viene por defecto al instalar el programa, si no se cambia la dirección del directorio del mismo, en cuyo caso, el instalador deberá conocer la ubicación de los archivos de programa de Autodesk Inventor Professional, y en el interior de dicha carpeta, seguir la ubicación siguiente: Inventor 2023\Biblioteca).

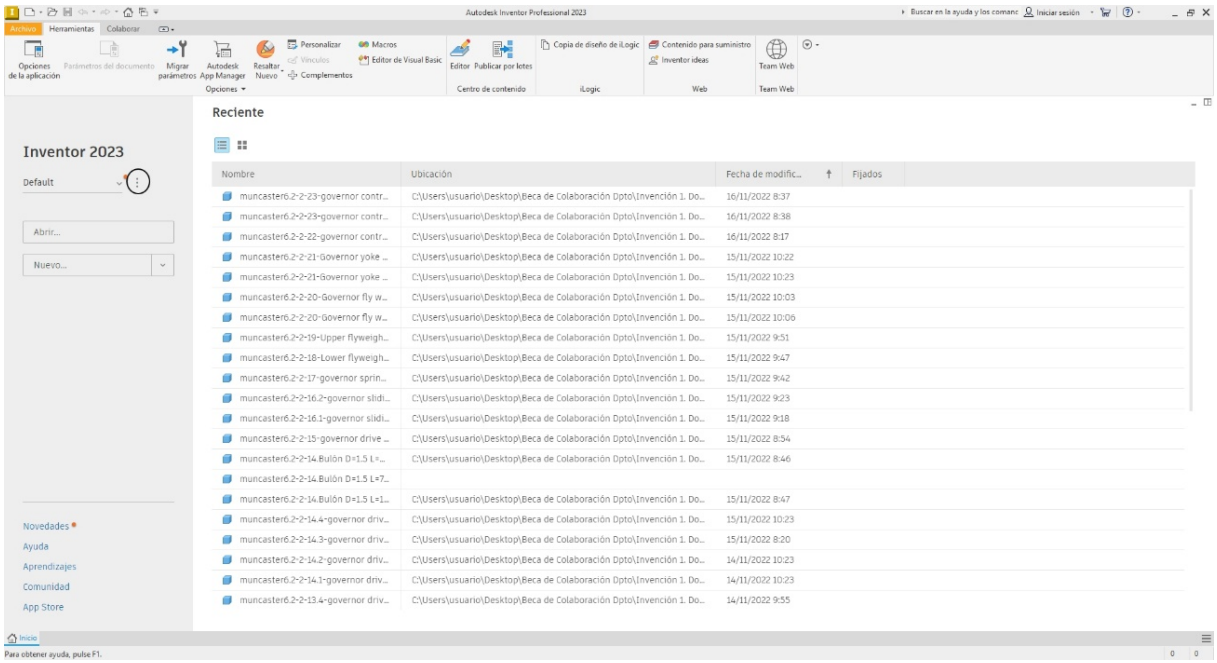


Ilustración 210.Ventana inicial de Autodesk Inventor.

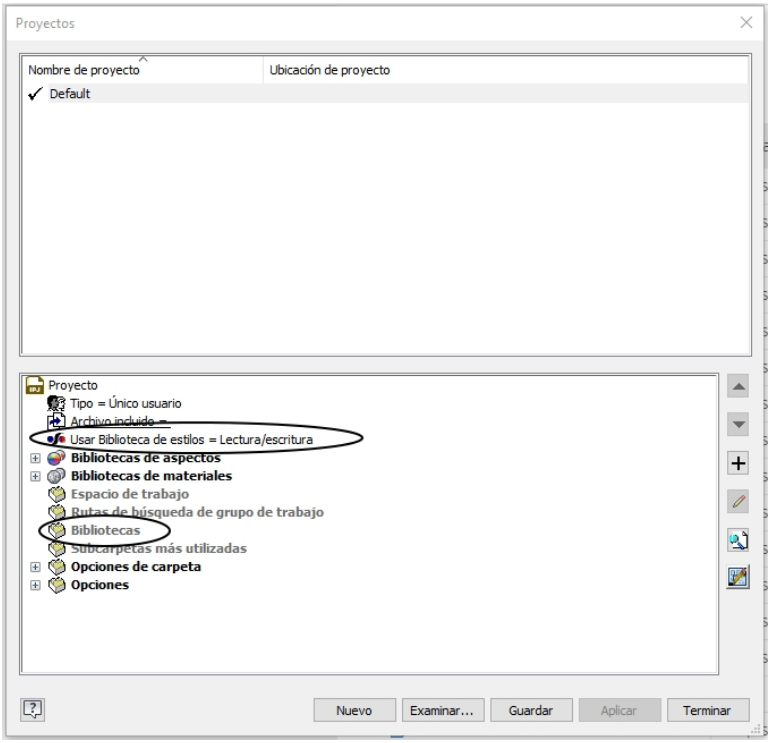


Ilustración 211. Ventana de configuración.

3.1.1.2. Descripción del ensamblaje

En primer lugar, hay que realizar varios subensamblajes, para de esta manera simplificar el ensamblaje global y que el acople entre elementos se realice de una manera más sencilla.

A continuación, se irá mostrando cada subensamblaje, así como el proceso seguido y las operaciones utilizadas de una manera breve. De dichos subensamblajes, no se han realizado planos, dado que, sólo se han creado para simplificar el proceso, y un plano para cada subensamblaje no aportaría más información de la que ya aportan los planos de conjunto.

En primer lugar, se debe adjudicar un material a cada pieza modelada, para los posteriores apartados (en especial, para el apartado 3.2.), además, de que cambiará la apariencia de las piezas y quedará un ensamblaje más visual.

Se clicará en 'Herramientas', en la barra de navegación. Seguidamente, en la interfaz gráfica de este módulo (Ilustración 212), se seleccionará la opción material, para asignar material a la pieza.

Ilustración 212. Barra de herramientas del módulo Herramientas.

Aparecerá una ventana (Ilustración 213), con una lista de materiales de la biblioteca de Inventor Professional. Se seleccionará el material recomendada por el autor de los planos (Julius de Waal) para cada pieza, aunque posteriormente para el análisis se asignarán los materiales siguiendo un criterio que será la aplicación de un material propio para la época en la que se diseñó dicha máquina accionada por vapor de agua.

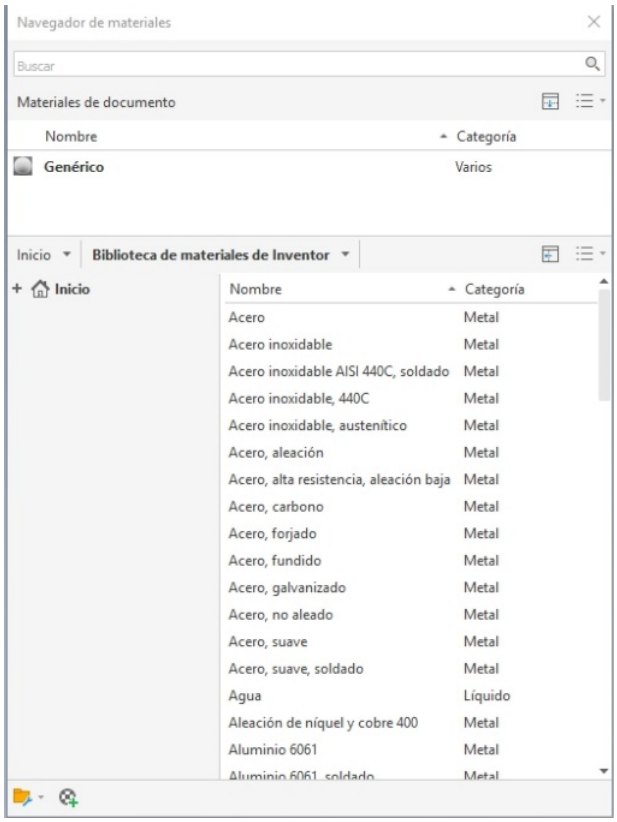


Ilustración 213. Biblioteca de materiales.

Al aplicar material a la pieza, ésta cambiará de aspecto, además de las propiedades mecánicas del material elegido, para un posterior análisis tensional.

3.1.1.2.1. Subensamblaje 1

Para ensamblar estas piezas (Ilustración 214) sólo hay que aplicar una restricción: insertar con un desfase de -2 mm. El subensamblaje está formado por la bancada (marca 4) y el cojinete de bancada (marca 104).

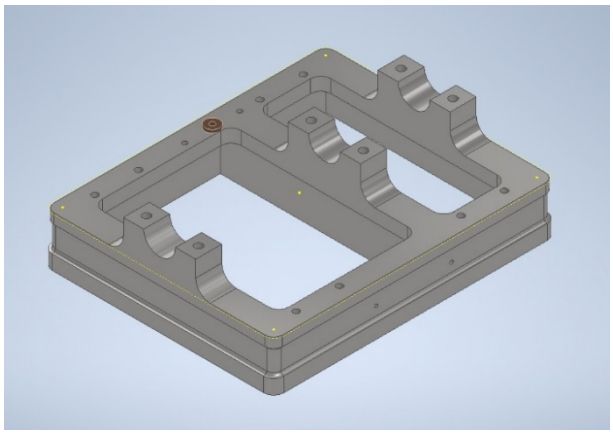


Ilustración 214. Subensamblaje 1.

3.1.1.2.2. Subensamblaje 2

Se ha aplicado restricción de coincidencia, para las dos caras planas y para uno de los ejes de los agujeros y, además, una de ángulo para hacer colineales ambos elementos. El resultado final (Ilustración 215) se muestra en la imagen inferior. Está formado por la columna de soporte y por la placa de deslizamiento de la cruceta del pistón (marcas 6 y 18).

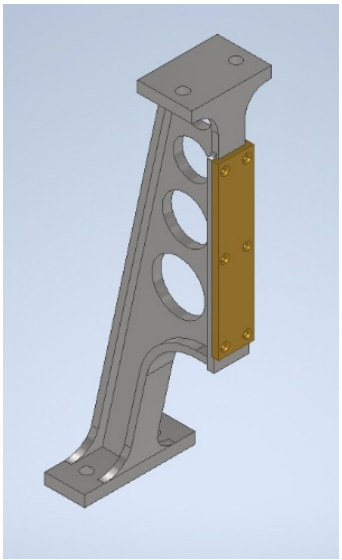


Ilustración 215. Subensamblaje 2.

3.1.1.2.3. Subensamblaje 3

El subensamblaje (Ilustración 216) se consigue mediante restricciones de coincidencia en ejes y caras. Está formado por el soporte de montaje del regulador (marca 39), el soporte de montaje de la base del regulador (marca 40) y el tubo fijador de la polea de transmisión (marca 32).

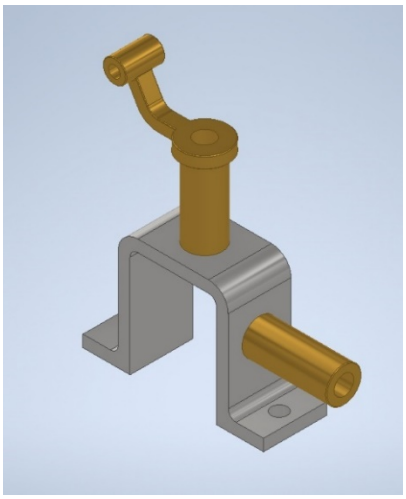


Ilustración 216. Subensamblaje 3.

3.1.1.2.4. Subensamblaje 4

En este subensamblaje (Ilustración 217), se aplican restricciones de coincidencia en caras y ejes. Además, se incluye una restricción de ángulo para establecer perpendicularidad entre dos aristas. Está compuesto por el cilindro del pistón de alta presión y sus respectivas camisas, tanto del cilindro como de la admisión y escape (marcas 24, 84 y 85).

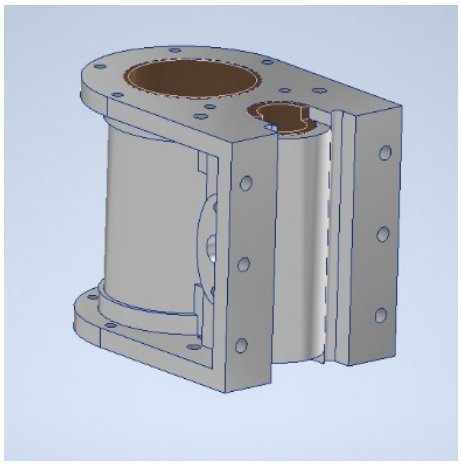


Ilustración 217. Subensamblaje 4.

3.1.1.2.5. Subensamblaje 5

Se ensambla de manera similar al anterior, a través de restricciones de coincidencia, ya sea en ejes, superficies o aristas (Ilustración 218). Está formado por el cilindro del pistón de baja presión y su respectiva camisa (marcas 20 y 76) y la placa de deslizamiento de la admisión y escape del cilindro de baja presión (marca 79).

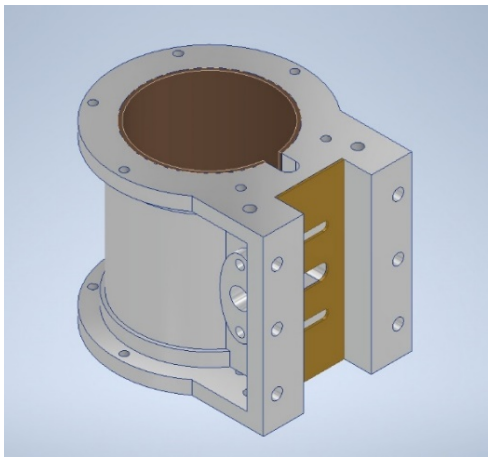


Ilustración 218. Subensamblaje 5.

3.1.1.2.6. Subensamblaje 6

Se aplican restricciones de coincidencia entre ejes y caras. El resultado final (Ilustración 219) se muestra a continuación. Está formado por la cubierta de la carcasa de la válvula de mariposa (marca 54), el casquillo de la válvula de mariposa (marca 47) y el sello de la válvula de mariposa (marca 99).

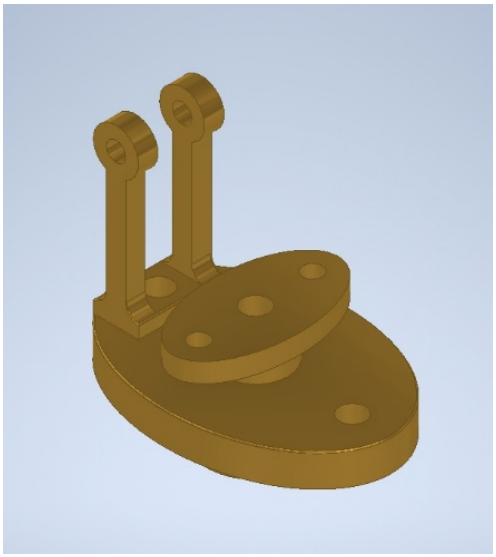


Ilustración 219. Subensamblaje 6.

3.1.1.2.7. Subensamblaje 7

Para este subensamblaje hay que incorporar elementos de fijación. Para ello, se clica sobre la opción insertar en la interfaz gráfica de 'Ensamblar', y posteriormente sobre 'Insertar desde el Centro de contenido' (Ilustración 220).

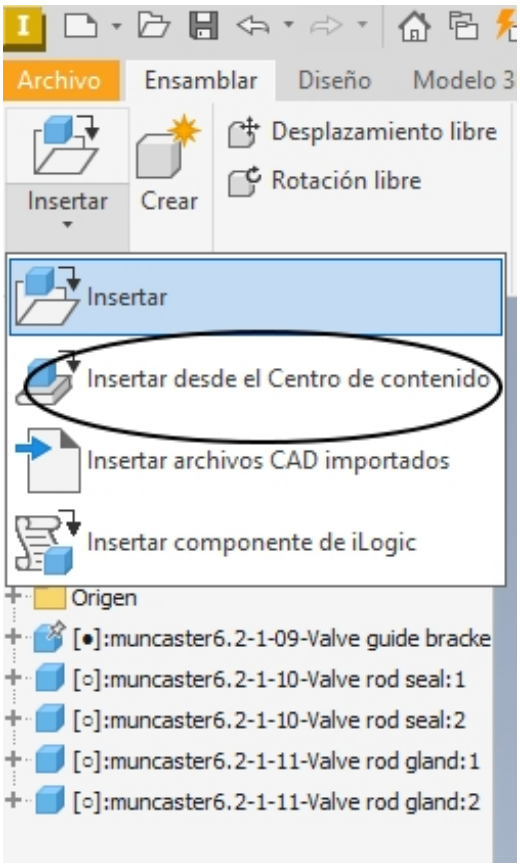


Ilustración 220. Introducir elementos de fijación.

Una vez dentro, aparece una ventana (Ilustración 221). En ella aparecen todos los elementos disponibles en el margen izquierdo de la misma. Para el caso actual, se deberá seleccionar fijaciones.

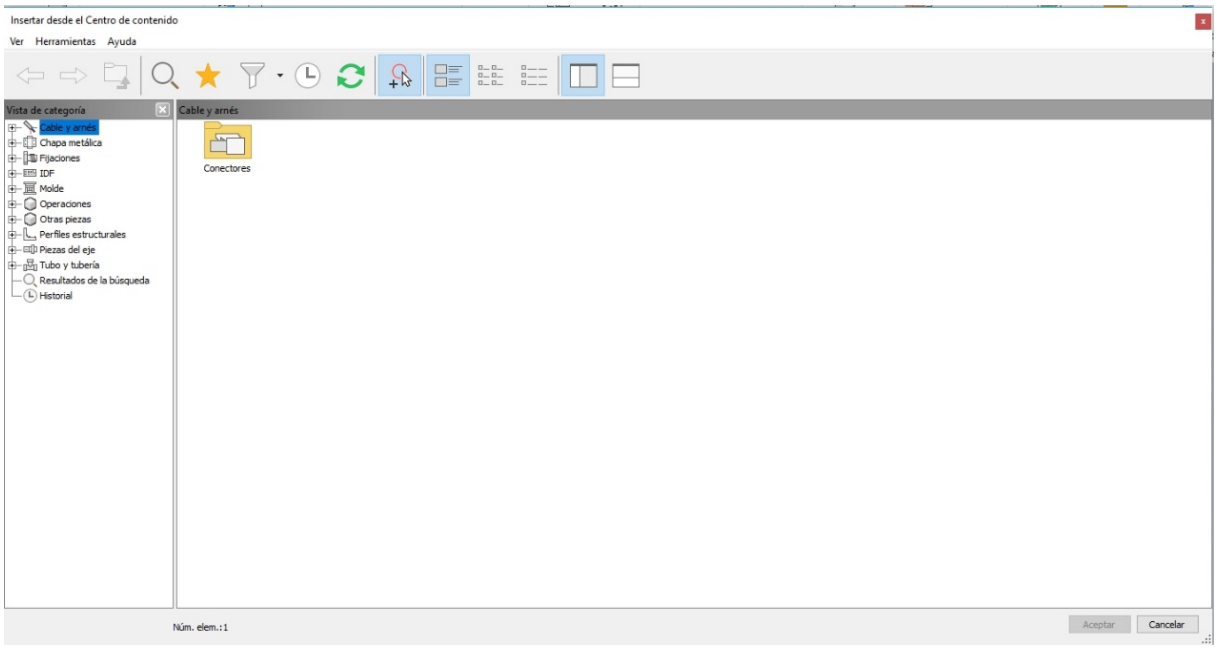


Ilustración 221. Centro de contenido.

En fijaciones, aparecen las opciones de arandelas, pasadores, pernos, remaches y tuercas. Se clica sobre la opción 'Pernos'. Volverá a aparecer un listado de los elementos disponibles, se selecciona 'Cabeza de boquilla', ya que es el necesario en este subensamblaje. Ahora, una vez seleccionada esta última opción, aparece un listado con todos los pernos de cabeza de boquilla, que no son más que aquellos de cabeza circular. Es conveniente elegir aquel que tenga norma ISO, para asegurar una estandarización internacional y una mayor intercambiabilidad en las piezas. Se ha elegido el Tornillo ISO 4762. Tras elegir este tornillo, se puede situar en el ensamblaje y, a continuación aparecerá una ventana (Ilustración 222), en la que aparecen todas las medidas estandarizadas para este tornillo, es decir, toda la gama de productos pertenecientes a este grupo.

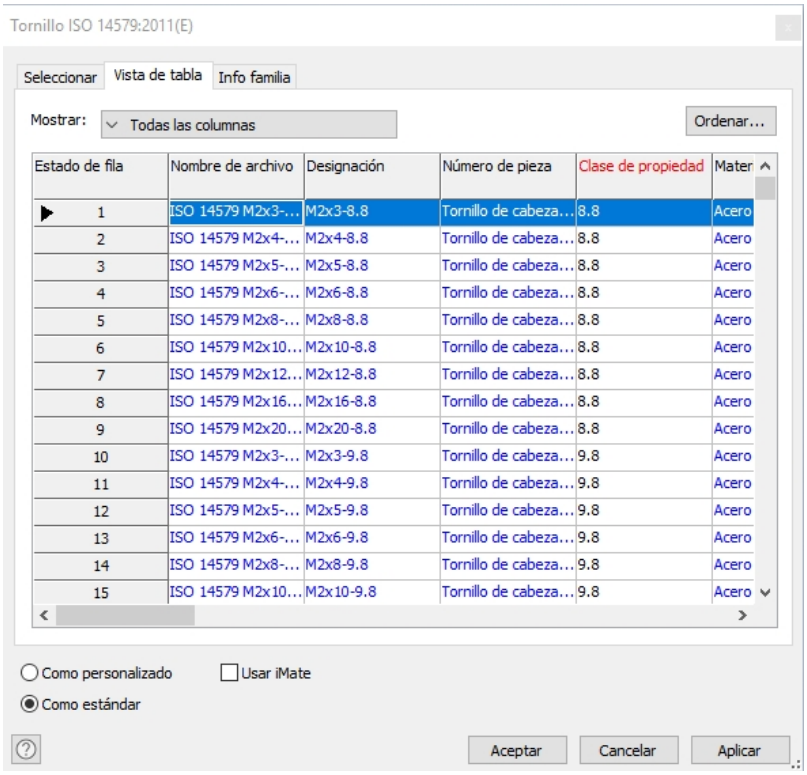


Ilustración 222. Listado de pernos estandarizados.

Hay que tener especial cuidado en elegir la misma métrica para tornillo y agujero roscado. La longitud se indica en los planos del autor, aunque en las vistas de los ensamblajes en dichos planos, no aparece qué tornillo es. Por lo tanto, se deberá determinar la longitud necesaria para fijar todas las piezas que une el tornillo, y el diámetro nominal para el agujero por el que pasa. Una vez se determina la longitud, se puede buscar en el listado de tornillería de los planos, y ver cuál es exactamente. Por ejemplo, para este caso, hay 6 tornillos de métrica 5, ya que es el agujero por el que pasa y une tres piezas, dos de espesor de 6 mm y una de 3 mm, lo que hace un total de 15 mm. En la lista de materiales de los planos aparece 'M5x15 A-K cyl head screw', que sería el tornillo que iría en dicho lugar. El único inconveniente es que la norma ISO tiene de 16 mm de longitud del vástago, y por lo tanto, se selecciona éste último.

El resultado final (Ilustración 223) de este subensamblaje se muestra a continuación. Está formado por los casquillos y sellos de las varillas de las válvulas de corredera (marcas 86 y 88), así como del soporte guía de la válvula (marca 90).

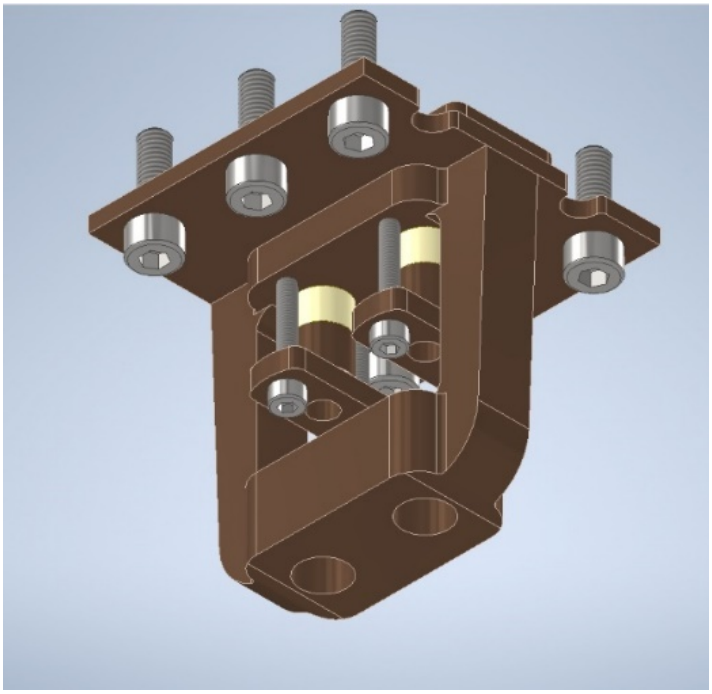


Ilustración 223. Subensamblaje 7.

3.1.1.2.8. Subensamblaje 8

Tras establecer todas las restricciones necesarias, se obtiene el subensamblaje (Ilustraciones 224 y 225). Como se puede apreciar, está formado por las cámaras de los cilindros, con sus respectivas camisas, placas de deslizamiento de las válvulas, tapas superior e inferior de los cilindros, carcasa de la válvula de mariposa (formada a su vez por el sello, casquillo, y el resto de componentes que la forman), y por los elementos de fijación necesarios para fijar los componentes entre sí ya que no existe movimiento relativo entre los componentes que forman este subensamblaje.

Este subensamblaje se obtiene a través de la unión de ensamblajes anteriores, siendo estos los subensamblajes números 4, 5, 6 y 7, así como las plataformas superior e inferior de los cilindros (marcas 21 y 25), así como de los correspondientes elementos de fijación, para unir los elementos.

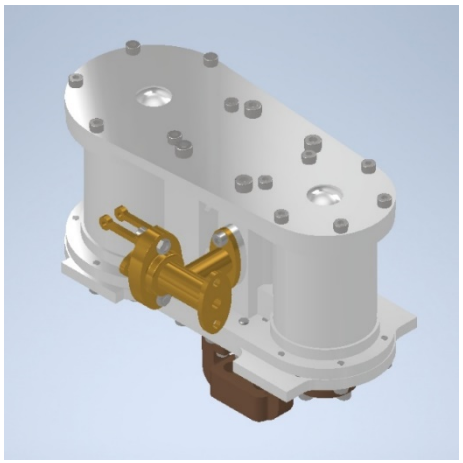


Ilustración 224. Perspectiva isométrica 1 del subensamblaje 8.

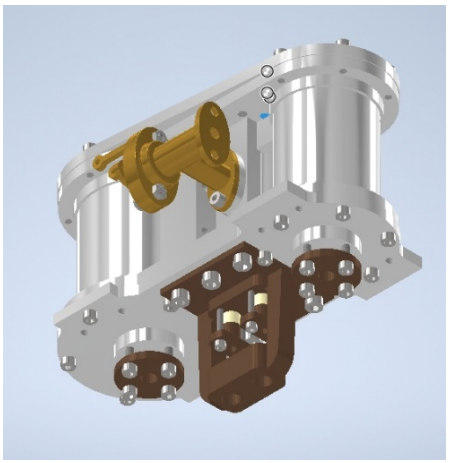


Ilustración 225. Perspectiva isométrica 2 del subensamblaje 8.

3.1.1.2.9. Subensamblaje 9

Las restricciones aplicadas son de coincidencia, ya sea en ejes, aristas o superficies. El resultado final (Ilustraciones 226 y 227) es el mostrado a continuación.

Como se puede apreciar, este subensamblaje se forma a través de la aplicación de las correspondientes restricciones entre subensamblajes anteriores y otros elementos. Estos subensamblajes son: 1, 2, 3 y 8. Los sólidos insertados son el cojinete del cigüeñal (marca 70), la tapa del cojinete del cigüeñal (marca 66), así como elementos de fijación necesarios.

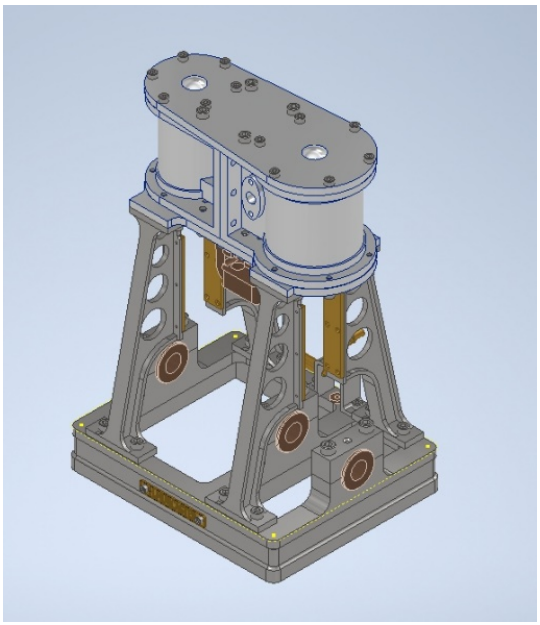


Ilustración 226. Perspectiva isométrica 1 del subensamblaje 9.

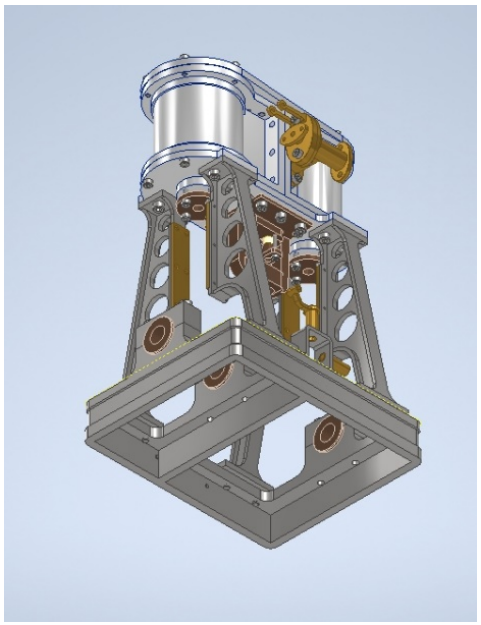


Ilustración 227. Perspectiva isométrica 2 del subensamblaje 9.

3.1.1.2.10. Subensamblaje 10

Se introducen las restricciones necesarias. El resultado final (Ilustración 228) se muestra en la figura de abajo. Está formado por el vástago y cruceta del pistón (marcas 75 y 27) y el cojinete de la biela del pistón (marca 71). Además, también se insertan el émbolo del pistón de alta presión, y su respectivo segmento (marcas 82 y 83).

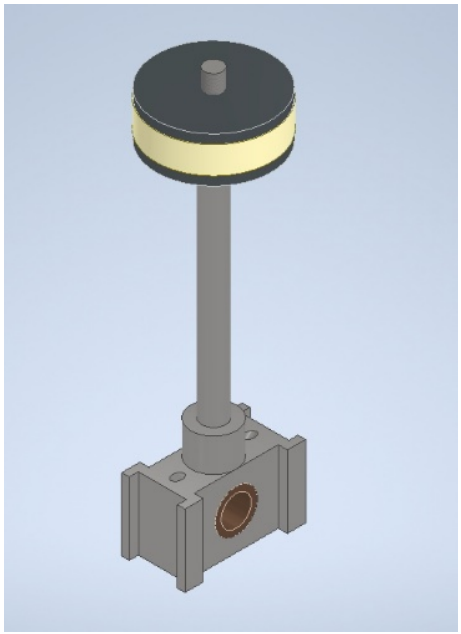


Ilustración 228. Subensamblaje 10.

3.1.1.2.11. Subensamblaje 11

El sub-ensamble resultante (Ilustración 229) se muestra a continuación, tras haber establecido las restricciones necesarias, reduciendo los grados de libertad de cada componente. Está formado por la biela del pistón, su pasador y su cojinete (marcas 15, 28, 29 y 93).

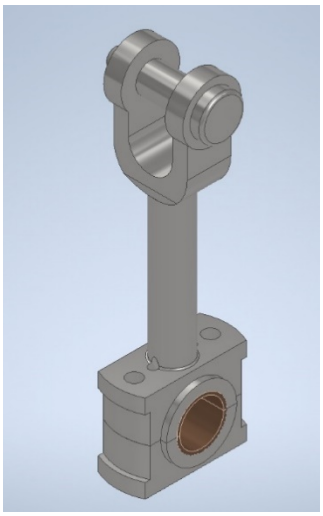


Ilustración 229. Subensamblaje 11.

3.1.1.2.12. Subensamblaje 12

El resultado final (Ilustración 230), tras aplicar las restricciones de coincidencia de ejes y caras, para obtener una posición relativa adecuada entre elementos, se muestra en la imagen inferior. Está formado por el émbolo y segmento del pistón de baja presión, vástago y cruceta del pistón, y su correspondiente cojinete (marcas 27, 71, 75, 77 y 78).

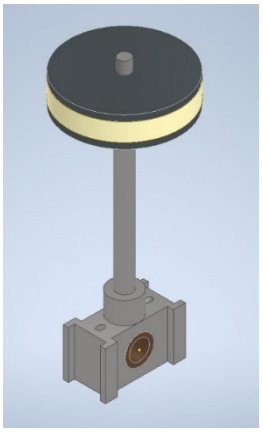


Ilustración 230. Subensamblaje 12.

3.1.1.2.13. Subensamblaje 13

El resultado final (Ilustración 231) se muestra a continuación. Este subconjunto está formado por la válvula de corredera de baja presión (marca 80), por el husillo de la válvula de corredera de baja presión (marca 89) y el extremo del husillo (marca 91).

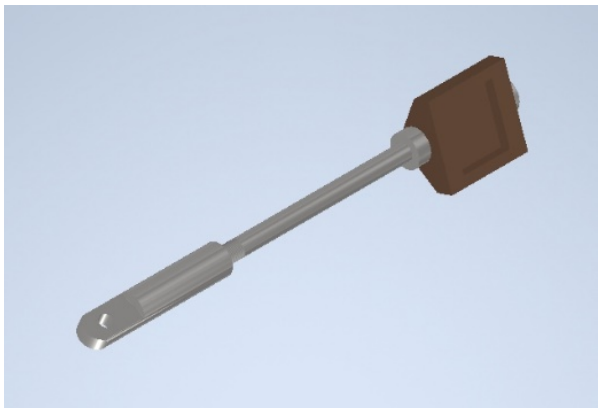


Ilustración 231. Subensamblaje 13.

3.1.1.2.14. Subensamblaje 14

El resultado final (Ilustración 232) se muestra a continuación. Está formado por el pasador de la biela de la válvula de corredera (marca 92), por el cojinete de la biela de la válvula de corredera (marca 96), partes inferior y superior del sombrero de la biela de la válvula de corredera (marcas 9 y 10), así como del cuerpo de la biela (marca 16).

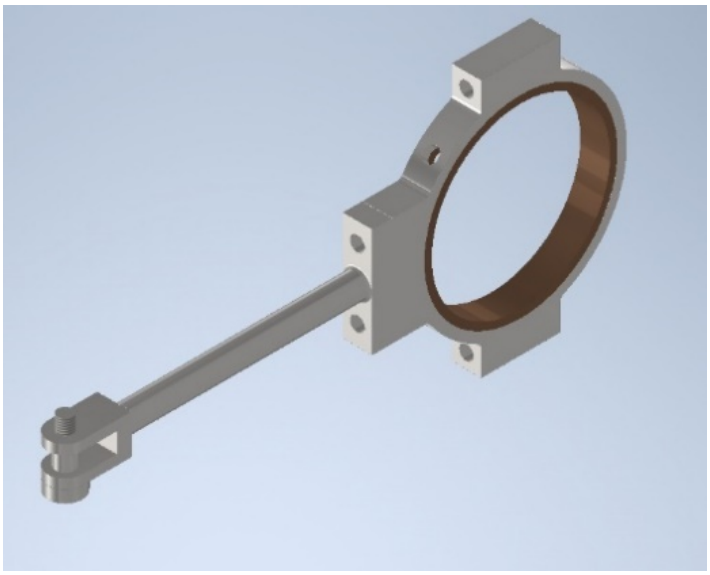


Ilustración 232. Subensamblaje 14.

3.1.1.2.15. Subensamblaje 15

El resultado final (Ilustración 233) se muestra a continuación. Está compuesto por el husillo de la válvula de corredera de alta presión (marca 81), así como el extremo de la varilla (marca 91).

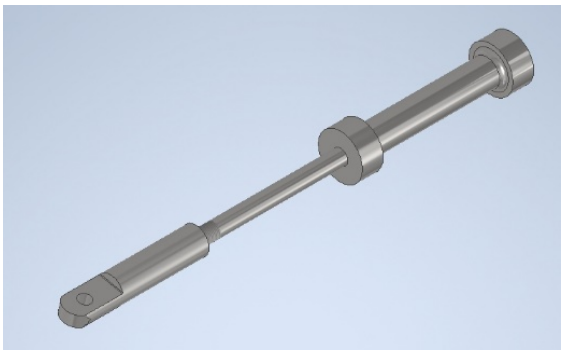


Ilustración 233. Subensamblaje 15.

3.1.1.2.16. Subensamblaje 16

El subensamblaje obtenido tras la aplicación de las restricciones, se muestra a continuación (Ilustración 234). Está formado por el eje de apoyo 1 del cigüeñal (marca 3) y el bulón 1 y 2 del cigüeñal (marcas 2 y 12).

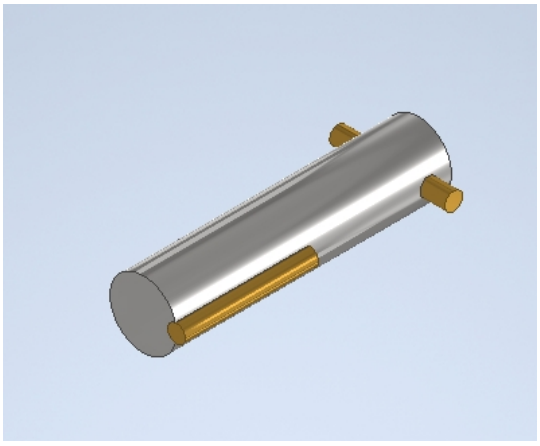


Ilustración 234. Subensamblaje 16.

3.1.1.2.17. Subensamblaje 17

A continuación, tras aplicar las restricciones de coincidencia de ejes y de superficies, se obtiene el subensamblaje (Ilustración 235). Está formado por el codo de biela (marca 14) y el bulón 2 del cigüeñal (marca 12).

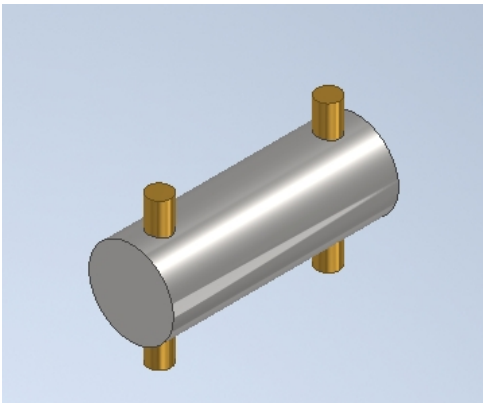


Ilustración 235. Subensamblaje 17.

3.1.1.2.18. Subensamblaje 18

El resultado se muestra en la siguiente imagen (Ilustración 236). Se compone del bulón 2 del cigüeñal (marca 12) y del muñón principal (marca 69).

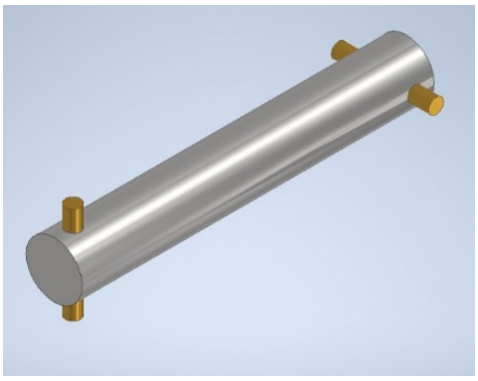


Ilustración 236. Subensamblaje 18.

3.1.1.2.19. Subensamblaje 19

Se representa el subensamblaje obtenido (Ilustración 237). Es el eje de apoyo 2 del cigüeñal (marca 67), y el bulón 2 del cigüeñal (marca 12).

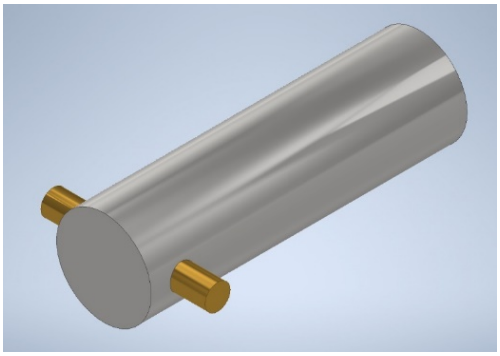


Ilustración 237. Subensamblaje 19.

3.1.1.2.20. Subensamblaje 20

Este ensamblaje contiene la válvula de mariposa (marca 48) y el pasador de la misma (marca 49) (Ilustración 238).

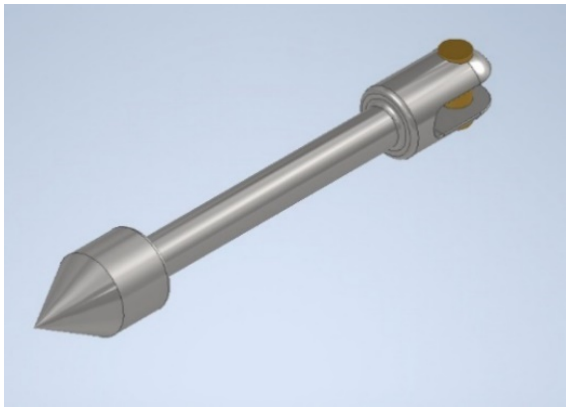


Ilustración 238. Subensamblaje 20.

3.1.1.2.21. Subensamblaje 21

Está formado por la manivela de la válvula de mariposa (marca 52) y el pasador de la misma (marca 53) (Ilustración 239).

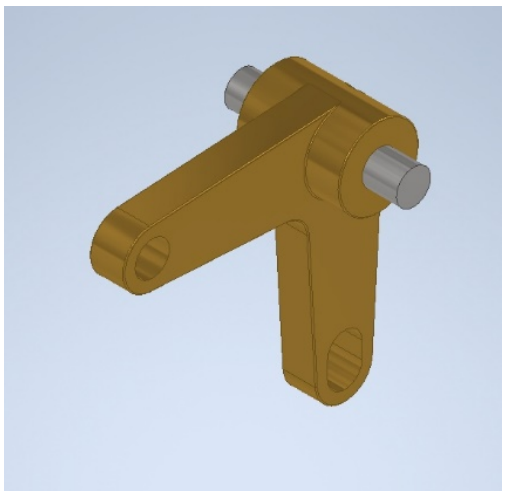


Ilustración 239. Subensamblaje 21.

3.1.1.22. Subensamblaje 22

El subensamblaje (Ilustración 240) se muestra a continuación. Consta del eje horizontal del regulador de velocidad, con sus componentes acoplados con los bulones (marcas 33 y 106), siendo estos el engranaje cónico (marca 37) y la polea del regulador (marca 30).

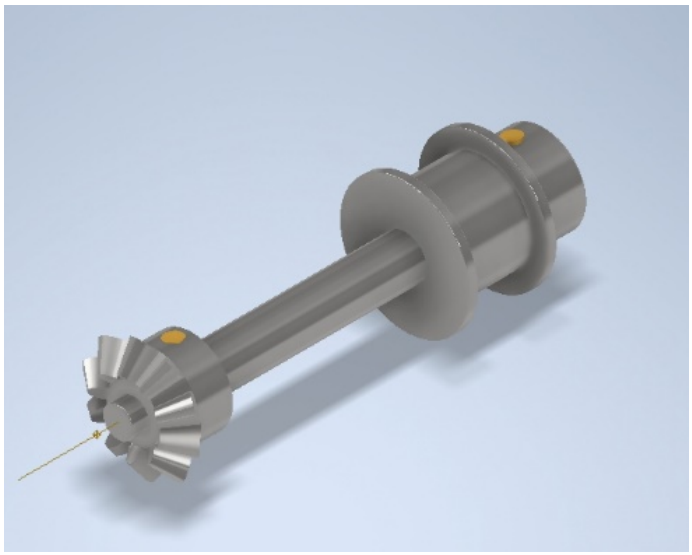


Ilustración 240. Subensamblaje 22.

3.1.1.2.23. Subensamblaje 23

Consta del eje vertical del regulador junto al resto de componentes (Ilustración 241). Está formado por el fijador superior de los brazos del regulador (marca 45), el apoyo del eje del regulador (marca 35), el husillo accionado del regulador 2 (marca 37), y los correspondientes bulones (marcas 36, 38 y 98) para fijar los elementos al eje del regulador (marca 105).

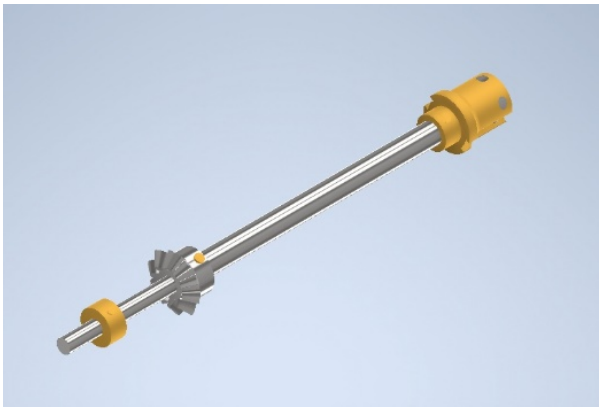


Ilustración 241. Subensamblaje 23.

3.1.1.2.24. Subensamblaje 24

Está compuesto por la carcasa deslizante del regulador (marca 64) y dos bulones (marca 63) para posteriormente ensamblar los brazos inferiores del regulador. El subconjunto se muestra en la siguiente imagen (Ilustración 242).

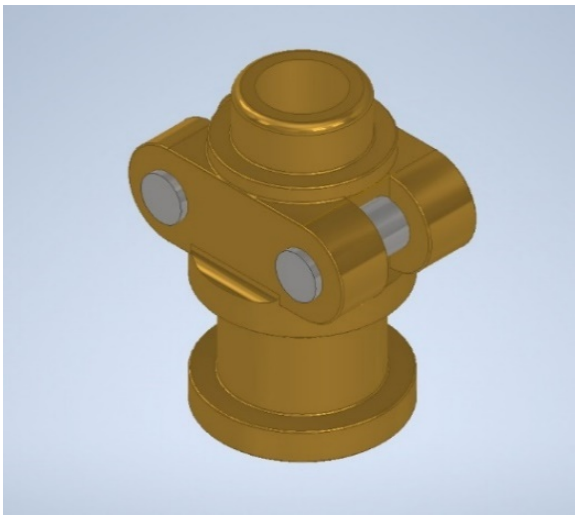


Ilustración 242. Subensamblaje 24.

3.1.1.2.25. Subensamblaje 25

Se compone de dos pesos centrífugos del regulador (marca 61), y un bulón (marca 43), donde posteriormente se unirán y pivotarán los brazos superior e inferior del regulador. El resultado final se muestra a continuación (Ilustración 243).

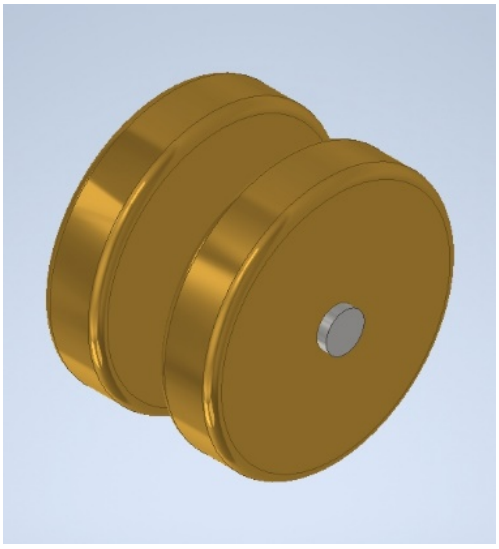


Ilustración 243. Subensamblaje 25.

3.1.1.2.26. Subensamblaje 26

Se trata del yugo y manivela del regulador (marca 42), y el bulón (marca 41) desde el que pivotará. El subconjunto obtenido se muestra a continuación (Ilustración 244).

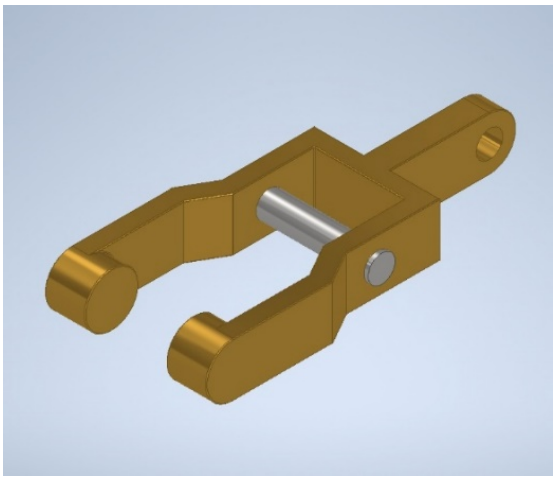


Ilustración 244. Subensamblaje 26.

3.1.1.2.27. Subensamblaje 27

Está formado por el extremo de la varilla de control del regulador (marca 50) y el bulón que lo unirá a la varilla (marca 51) (Ilustración 245).

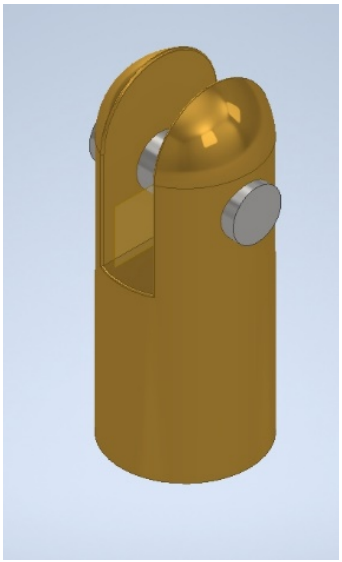


Ilustración 245. Subensamblaje 26.

3.1.1.2.28. Subensamblaje 28

Este subensamblaje está formado por subconjuntos anteriores, siendo estos los números 16, 17, 18 y 19. Además, se insertan el volante de inercia (marca 1), la biela (marca 11), la roldana excéntrica (marca 94) y la polea de control de velocidad del cigüeñal (marca 95). El resultado final (Ilustración 246), tras aplicar todas las

restricciones, se muestra a continuación. Se incluyen 6 pernos de cabeza perdida ISO 4029, M3x5.

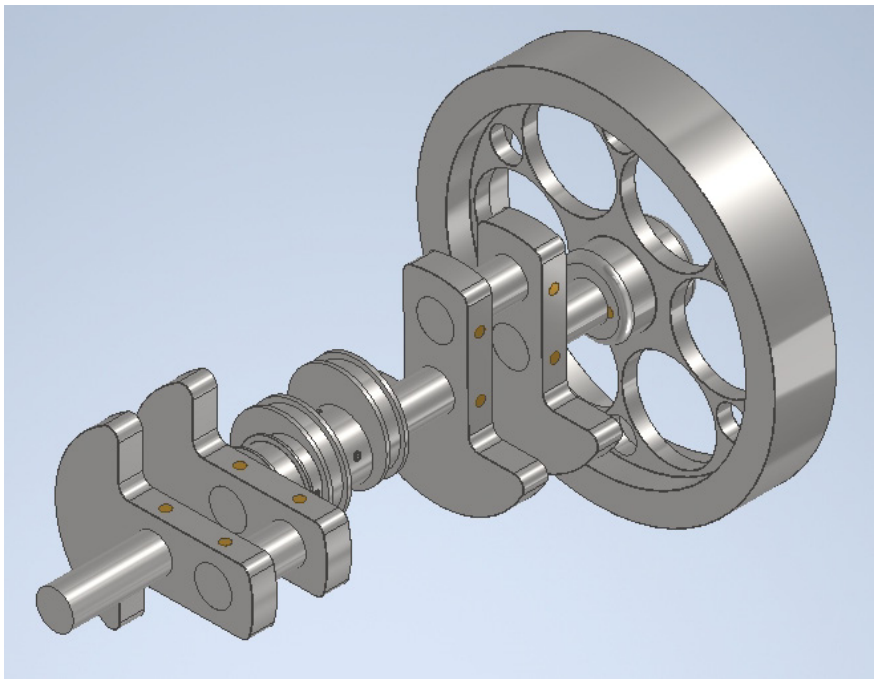


Ilustración 246. Subensamblaje 28.

3.1.1.2.29. Subensamblaje 29

Se muestra en la siguiente imagen (Ilustración 247). Está formada por el subconjunto 26, y la varilla de control del regulador (marca 46).

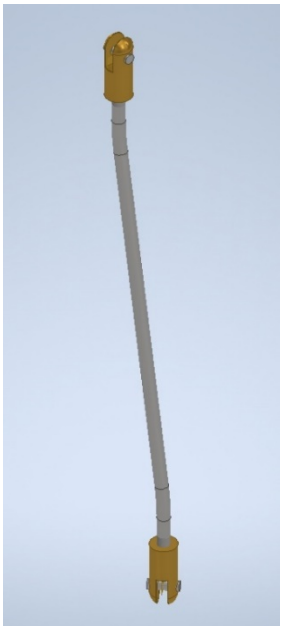


Ilustración 247. Subensamblaje 29.

3.1.1.2.30. Ensamblaje final

Una vez se tienen los diferentes subensamblajes, anteriormente citados, se pueden insertar y acoplar entre ellos, junto al resto de elementos que no forman parte de ninguno de los subensamblajes anteriores, estableciendo las restricciones de posición adecuadas, siendo las más utilizadas, las de coincidencia de ejes, aristas y superficies, así como de nivelación de superficies.

Dado que la correa de transmisión ha sido modelada como objeto sólido, es decir, como archivo con extensión .ipt, al insertarla en el ensamblaje final, ésta se comporta como un sólido, por lo que no podrá deformarse elásticamente y transmitir el movimiento desde el cigüeñal al eje del regulador. Inventor Professional permite introducir diferentes tipos de correa, pero requiere el uso de correas con dimensiones distintas a las que el autor de los planos utiliza. Para solventar este problema, se ajusta la correa a la posición adecuada, siendo ésta la que se muestra en la imagen inferior (Ilustraciones 248 y 249), donde se tiene una perspectiva isométrica del conjunto final. Una vez se fija la correa de transmisión, el siguiente paso es establecer dos restricciones de movimiento para que se transmitan el movimiento desde el cigüeñal, hasta el eje horizontal del regulador, y del eje horizontal al vertical, consiguiendo así una transmisión completa del movimiento, sin necesidad de tener que insertar una correa de geometrías diferentes, usando el módulo de diseño de correas trapezoidales de Inventor Professional. La restricción es de movimiento, de tipo rotación. Seleccionando el eje del cigüeñal y, posteriormente el eje horizontal de regulador, se transmitirá el movimiento. Se procede de igual manera para transmitir el movimiento desde el eje horizontal al vertical.

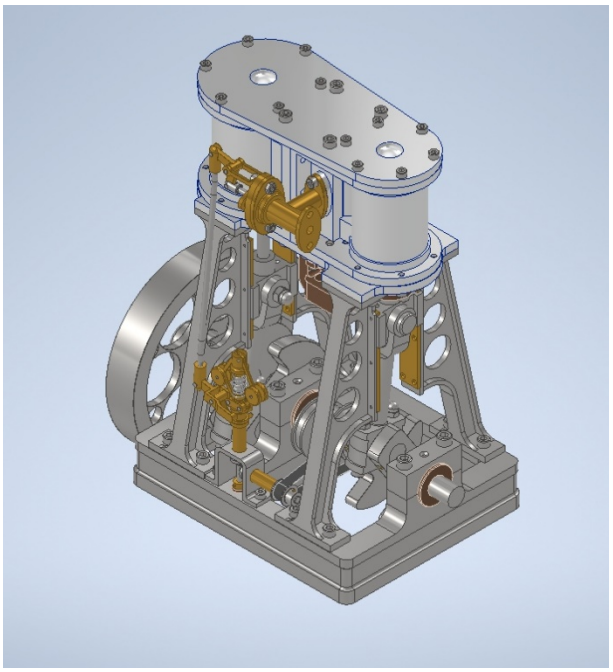


Ilustración 248. Perspectiva isométrica del conjunto (1).

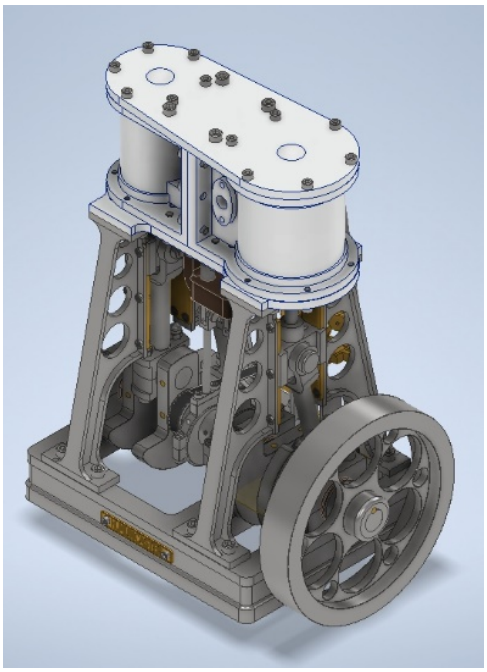


Ilustración 249. Perspectiva isométrica del conjunto (2)

3.1.1.3. Documentación gráfica

Este apartado consiste en el desarrollo de cada uno de los planos de las piezas que componen la invención, con sus respectivas cotas, de manera que queden totalmente definidas.

En primer lugar, se desarrollan planos de conjunto, con la lista de materiales de los elementos que componen la invención, así como las marcas asociadas a los distintos sólidos. Posteriormente, se obtienen los planos de cada pieza.

A pesar de que los planos se exponen en los anexos del proyecto, dado que en el siguiente apartado se va a explicar el funcionamiento de la máquina de vapor, se introducirán imágenes de los conjuntos, así como la lista de materiales, para tener una mejor conceptualización del funcionamiento de la máquina de vapor. En las siguientes imágenes (Ilustraciones 250 a 253), se representan diferentes vistas del conjunto, y las tablas de materiales (tablas 1 a 4) correspondientes a cada vista.

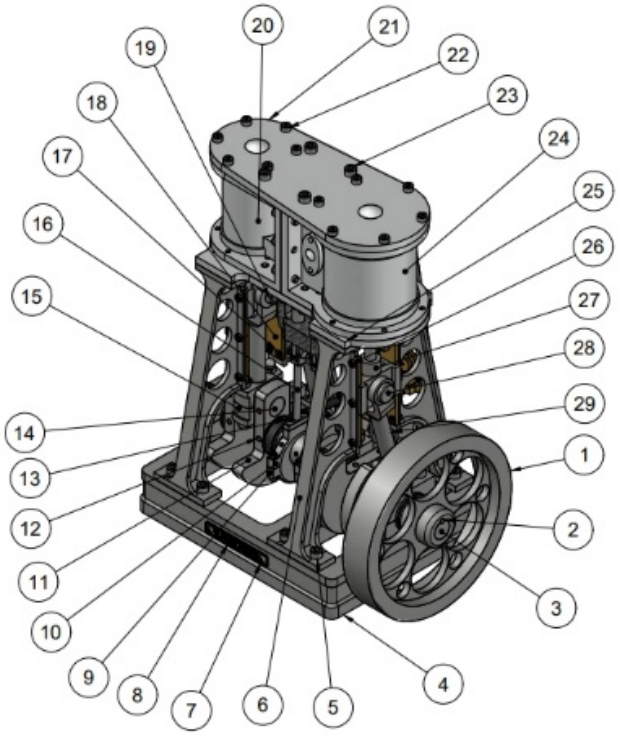


Ilustración 250. Perspectiva isométrica (marcas 1 a 29).

29	2	Cuerpo de biela del pistón	-	Acero al carbono
28	2	Pasador de biela del pistón	-	Acero al carbono
27	2	Cruceta del pistón	-	Acero al carbono
26	30	Tuerca 2	ISO 4032 - M3	Acero inoxidable
25	1	Plataforma inferior de los cilindros	-	Aluminio 6061
24	1	Cilindro del pistón de baja presión	-	Aluminio 6061
23	6	Perno 4	ISO 4762 - M5 x 12	Acero inoxidable
22	28	Perno 3	ISO 4762 - M4 x 12	Acero inoxidable
21	1	Plataforma superior de los cilindros	-	Aluminio 6061
20	1	Cilindro del pistón de alta presión	-	Aluminio 6061
19	4	Tuerca 3	ISO 4032 - M6	Acero inoxidable
18	4	Placa de deslizamiento de la cruceta del pistón	-	Latón
17	24	Perno avellanado 2	ISO 10642 - M3 x 8	Acero
16	2	Cuerpo de biela de la válvula corredera	-	Acero al carbono
15	2	Sombrero de biela del pistón	-	Acero al carbono
14	2	Codo de biela	-	Acero al carbono
13	6	Perno 10	ISO 4762 - M3 x 10	Acero inoxidable
12	8	Bulón 2 del cigüeñal	-	Latón
11	4	Biela	-	Acero al carbono
10	2	Parte superior del sombrero de la biela de la válvula corredera	-	Acero al carbono
9	2	Parte inferior del sombrero de la biela de la válvula corredera	-	Acero al carbono
8	1	Placa del nombre	-	Latón
7	2	Perno 8	ISO 4762 - M3 x 6	Acero inoxidable
6	4	Columna de soporte	-	Acero al carbono
5	18	Perno 2	ISO 4762 - M5 x 16	Acero inoxidable
4	1	Bancada	-	Acero al carbono
3	1	Eje de apoyo 1 del cigüeñal	-	Acero al carbono
2	1	Bulón 1 del cigüeñal	-	Latón
1	1	Volante de inercia	-	Acero al carbono
Marca	**Cantidad**	**Denominación**	**Estandarización**	**Material**

Tabla 1. Lista de materiales (marcas 1 a 29).

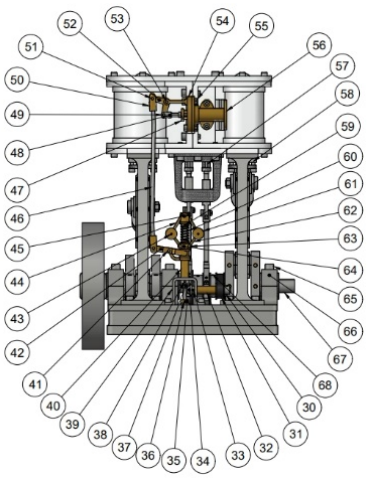


Ilustración 251. Vista lateral (marcas 30 a 68).

68	6	Tornillo sin cabeza	ISO 4029 - M3 x 5	Acero inoxidable
67	1	Eje de apoyo 2 del cigüeñal	-	Acero al carbono
66	3	Tapa del cojinete del cigüeñal	-	Acero al carbono
65	6	Perno 9	ISO 4762 - M6 x 30	Acero inoxidable
64	1	Carcasa deslizante del regulador	-	Latón
63	2	Bulón de la carcasa deslizante del regulador	-	Acero al carbono
62	2	Brazo inferior	-	Latón
61	4	Peso centrífugo del regulador	-	Latón
60	1	Resorte del regulador	-	Acero inoxidable
59	1	Bulón 5	-	Latón
58	8	Perno 7	ISO 4762 - M5 x 10	Acero inox
57	8	Perno 1	ISO 4762 - M3 x 20	Acero inoxidable
56	1	Carcasa de la válvula de mariposa	-	Latón
55	2	Tuerca 1	ISO 4032 - M4	Acero inoxidable
54	1	Cubierta de la carcasa de la válvula de mariposa	-	Latón
53	1	Pasador de la manivela de la válvula de mariposa	-	Acero al carbono
52	1	Manivela de la válvula de mariposa	-	Latón
51	2	Bulón del extremo de la varilla de control del regulador	-	Acero al carbono
50	2	Extremo de la varilla de control del regulador	-	Latón
49	1	Pasador de la válvula de mariposa	-	Latón
48	1	Válvula de la mariposa	-	Acero inoxidable
47	1	Casquillo de la válvula de mariposa	-	Latón
46	1	Varilla de control del regulador	-	Acero al carbono
45	1	Fijador superior de brazos del regulador	-	Latón
44	2	Brazo superior	-	Latón
43	2	Bulón del peso centrífugo del regulador	-	Acero al carbono
42	1	Yugo y manivela del regulador	-	Latón
41	1	Bulón del yugo y manivela del regulador	-	Acero al carbono
40	1	Soporte de montaje de la base del regulador	-	Latón
39	1	Soporte de montaje del regulador	-	Acero al carbono
38	1	Bulón 4	-	Latón
37	1	Husillo accionado del regulador 2	-	Acero al carbono
36	1	Bulón 3		Latón
35	1	Apoyo del eje del regulador	-	Latón
34	1	Husillo de accionamiento del regulador 1	-	Acero al carbono
33	1	Bulón 2	-	Latón
32	1	Tubo fijador de la polea de transmisión	-	Latón
31	1	Correa de transmisión del regulador	-	Caucho
30	1	Polea del regulador	-	Acero al carbono
Marca	**Cantidad**	**Denominación**	**Estandarización**	**Material**

Tabla 2. Lista de materiales (marcas 30 a 68).

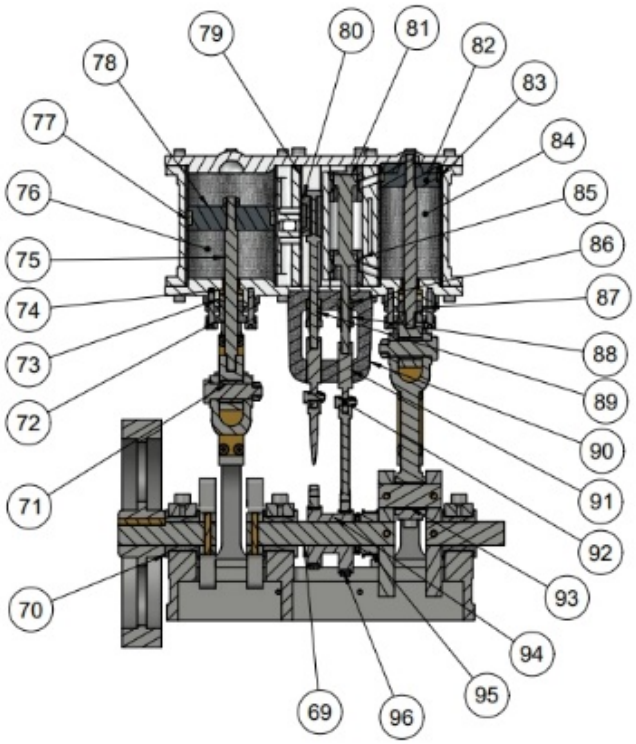


Ilustración 252. Vista seccionada (marcas 69 a 96).

96	2	Cojinete de biela de la válvula corredera	-	Bronce fundido
95	1	Polea de control de velocidad del cigüeñal	-	Acero al carbono
94	1	Roldana excéntrica	-	Acero al carbono
93	2	Cojinete de la cruceta del pistón	-	Bronce fundido
92	2	Pasador de biela de válvula corredera	-	Acero al carbono
91	2	Extremo del husillo de la válvula de corredera	-	Acero al carbono
90	1	Soporte guía de la válvula	-	Bronce fundido
89	1	Husillo de la válvula de corredera de baja presión	-	Acero inoxidable
88	2	Casquillo de la varilla de la válvula	-	Bronce fundido
87	8	Perno 5	ISO 4762 - M4 x 20	Acero inoxidable
86	2	Sello de la varilla de la válvula	-	Nilón
85	2	Camisa de la admisión y escape del cilindro de alta presión	-	Bronce fundido
84	1	Camisa del cilindro de alta presión		Bronce fundido
83	1	Segmento del pistón de alta presión	-	Nilón
82	1	Émbolo del pistón de alta presión	-	Bronce fundido
81	1	Husillo de la válvula de corredera de alta presión	-	Acero inoxidable
80	1	Válvula de corredera de baja presión	-	Bronce fundido
79	1	Placa de deslizamiento de la admisión y escape del cilindro de baja presión	-	Latón
78	1	Émbolo del pistón de baja presión	-	Bronce fundido
77	1	Segmento del pistón de baja presión	-	Nilón
76	1	Camisa del cilindro de baja presión	-	Bronce fundido
75	2	Vástago del pistón	-	Acero inoxidable
74	2	Cojinete de deslizamiento del vástago del pistón	-	Bronce fundido
73	2	Sello del vástago del pistón	-	Nilón
72	2	Casquillo del vástago del pistón	-	Bronce fundido
71	2	Cojinete de biela del pistón	-	Bronce fundido
70	3	Cojinete del cigüeñal	-	Bronce fundido
69	1	Muñón principal	-	Acero al carbono
Marca	**Cantidad**	**Denominación**	**Estandarización**	**Material**

Tabla 3. Lista de materiales (marcas 69 a 96).

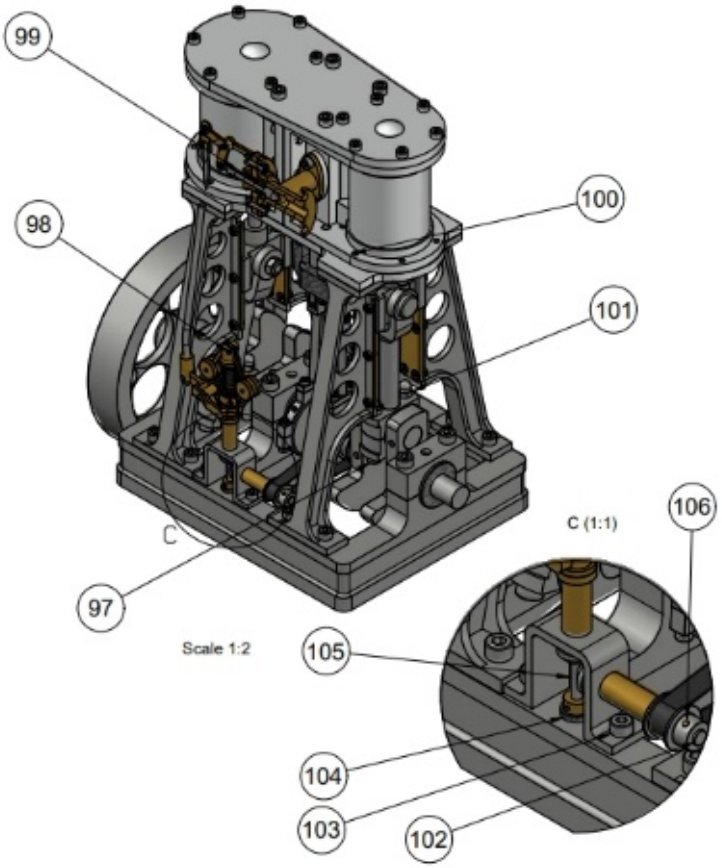


Ilustración 253. Vista isométrica con sección parcial y vista de detalle (marcas 97 a 106).

106	1	Bulón 1	-	Latón
105	1	Eje del regulador	-	Acero al carbono
104	1	Cojinete de la bancada	-	Bronce fundido
103	2	Perno 6	ISO 4762 - M4 x 16	Acero inoxidable
102	1	Eje de transmisión del regulador	-	Acero al carbono
101	4	Tuerca de tapa	DIN 1587 - M5	Acero inoxidable
100	4	Perno avellanado 1	ISO 10642 - M4 x12	Acero
99	1	Sello de la válvula de mariposa	-	Nilón
98	2	Bulón del fijador	-	Acero al carbono
97	4	Perno 11	ISO 4762 - M5 x 35	Acero inoxidable
Marca	**Cantidad**	**Denominación**	**Estandarización**	**Material**

Tabla 4. Lista de materiales (marcas 97 a 106).

Además, se ha desarrollado una vista frontal de un subconjunto (Ilustración 254), el regulador de velocidad, con las marcas de los componentes más destacables del mismo, junto a la tabla de materiales (Tabla 5), para, posteriormente, en la descripción del funcionamiento, comprender mejor el funcionamiento del mismo y los elementos que lo componen.

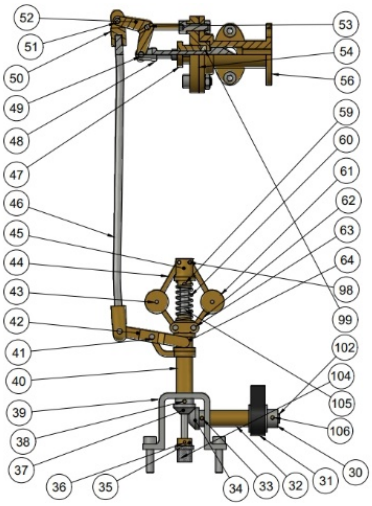


Ilustración 254. Vista frontal del regulador de velocidad.

106	1	Bulón 1	-	Latón
105	1	Eje del regulador	-	Acero al carbono
104	1	Cojinete de la bancada	-	Bronce
102	1	Eje de transmisión del regulador	-	Acero al carbono
99	1	Sello de la válvula de mariposa	-	Nylon
98	2	Bulón del fijador	-	Acero al carbono
64	1	Carcasa deslizante del regulador	-	Latón
63	2	Bulón de la carcasa deslizante del regulador	-	Acero al carbono
62	2	Brazo inferior	-	Latón
61	4	Peso centrífugo del regulador	-	Latón
60	1	Resorte del regulador	-	Acero inoxidable
59	1	Bulón 5	-	Acero inoxidable
56	1	Carcasa de la válvula de mariposa	-	Latón
54	1	Cubierta de la carcasa de la válvula de mariposa	-	Latón
53	1	Pasador de la manivela de la válvula de mariposa	-	Acero al carbono
52	1	Manivela de la válvula de mariposa	-	Latón
51	2	Bulón del extremo de la varilla de control del regulador	-	Acero al carbono
50	2	Extremo de la varilla de control del regulador	-	Latón
49	1	Pasador de la válvula de mariposa	-	Latón
48	1	Válvula de la mariposa	-	Acero inoxidable
47	1	Casquillo de la válvula de mariposa	-	Latón
46	1	Varilla de control del regulador	-	Acero al carbono
45	1	Fijador superior de brazos del regulador	-	Latón
44	2	Brazo superior	-	Latón
43	2	Bulón del peso centrífugo del regulador	-	Acero al carbono
42	1	Yugo y manivela del regulador	-	Latón
41	1	Bulón del yugo y manivela del regulador	-	Acero al carbono
40	1	Soporte de montaje de la base del regulador	-	Latón
39	1	Soporte de montaje del regulador	-	Acero al carbono
38	1	Bulón 4	-	Latón
37	1	Husillo accionado del regulador 2	-	Acero al carbono
36	1	Bulón 3	-	Latón
35	1	Apoyo del eje del regulador	-	Latón
34	1	Husillo de accionamiento del regulador 1	-	Acero al carbono
33	1	Bulón 2	-	Latón
32	1	Tubo fijador de la polea de transmisión	-	Latón
31	1	Correa de transmisión del regulador	-	Caucho
30	1	Polea del regulador	-	Acero al carbono
Marca	**Cantidad**	**Denominación**	**Estandarización**	**Material**

Tabla 5. Lista de materiales del subconjunto del regulador de velocidad.

A continuación, se muestran dos perspectivas estalladas del conjunto (Ilustraciones 255 y 256).

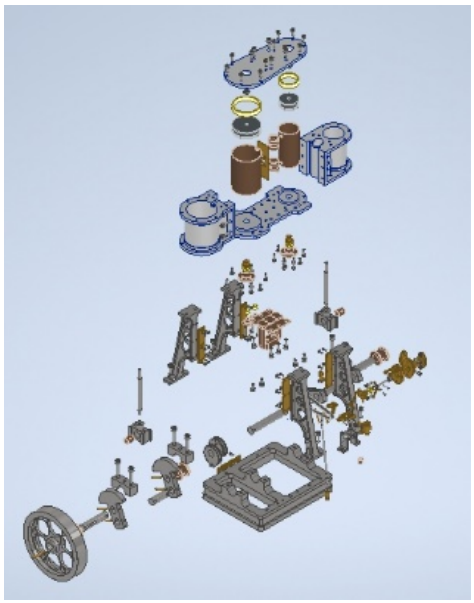


Ilustración 255. Perspectiva estallada (1).

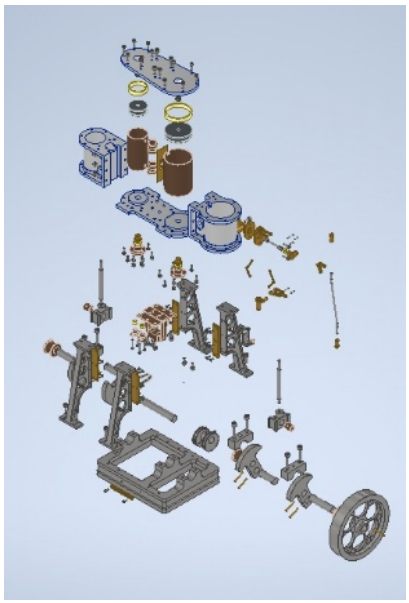


Ilustración 256. Perspectiva estallada (2).

3.1.1.4. Descripción del funcionamiento

La complejidad de la invención, se debe al elevado número de elementos, lo que ha dado lugar a que el proceso para el modelado, ensamblaje y obtención de la documentación gráfica, haya sido un proceso largo y tedioso.

Por otro lado, para poder realizar una aproximación al funcionamiento de la invención se han mostrado en el apartado 3.1.1.3. cuatro vistas de conjunto del ensamblaje final (Ilustraciones 250 a 253), que comprenden a todos los elementos de la misma, así como las tablas de lista de materiales (tablas 1 a 4). Además, se ha mostrado una quinta vista de uno de los subconjuntos (Ilustración 254), junto a la tabla de materiales (Tabla 5), del regulador de velocidad, con la finalidad de visualizar de una manera más clara los elementos que componen dicho subconjunto, que ha sido considerado como un sub-ensamble digno de destacar de esta invención, por la función que desempeña.

La Ilustración 250 muestra una perspectiva isométrica general de la invención (elementos 1 a 29), la Ilustración 251 muestra una vista frontal (elementos 30 a 68),

la Ilustración 252 muestra una vista seccionada del ensamblaje por un plano central (elementos 69 a 96), y la Ilustración 253 muestra una perspectiva general del conjunto seccionada por un plano, así como una vista de detalle (elementos 97 a 106).

Asimismo, en cada tabla se incluye información del elemento (Marca), el número de piezas iguales a dicho elementos en el conjunto (Cantidad), la denominación (Denominación), la norma (Estandarización) de aquellas piezas estandarizadas, y el material asignado a cada elemento (Material).

Así pues, el ensamblaje está constituido por 106 elementos diferentes, entre los que se incluyen elementos de unión entre las piezas, como pernos, pernos avellanados, pasadores y bulones o tuercas, entre otros.

A continuación, se describirá con todo detalle, el posible funcionamiento de la invención basándose en los planos de conjunto del ensamblaje final.

El primer elemento de la máquina es la bancada (4), ya que será el elemento sobre el que se ensamblarán el resto. En la misma se incluye una placa con el nombre del inventor (8), H. Muncaster, unida por dos pernos (7). El cilindro de alta presión (20) y el cilindro de baja presión (24), se unen entre sí mediante dos tipos de pernos (5 y 23) y, a su vez, mediante dos placas, una superior (21) y una inferior (25), gracias a pernos de cabeza hexagonal (22 y 23) y a pernos avellanados (100), que permitirán el acoplamiento de las columnas de soporte (6), mediante pernos (58). De esta forma, el subensamblaje resultante se fijará a la bancada mediante pernos (5).

Por otro lado, para proteger las paredes de los cilindros contra la fricción del movimiento alternativo de los pistones, se disponen dos camisas, una para el cilindro de alta presión (84), y otra para el cilindro de baja presión (76).

Asimismo, puesto que en la zona de admisión y escape de ambos cilindros hay una válvula con movimiento alternativo, también se insertan en dichas cavidades, dos camisas para la admisión y escape del cilindro de alta presión (85), y una placa para la admisión y escape del cilindro de baja presión (79).

Además, en el interior de cada cilindro existen dos pistones de doble efecto (dado que el vapor de agua entra y sale por ambas caras del émbolo). El pistón de alta presión está compuesto por un émbolo (82), por un segmento (83), un vástago (75) y una tuerca (19) al final del mismo, para unir émbolo y segmento al vástago. Por su parte, el pistón de baja presión está formado por un émbolo (78), un segmento (77), y un vástago y tuerca iguales que las usadas para el pistón de alta presión. Asimismo, ambos pistones cuentan con una cruceta (27), que posee un cojinete (93) para proteger la cruceta de la fricción, estableciendo así una junta cinemática con un grado de libertad (el giro).

Para transformar el movimiento alternativo en un movimiento circular y/o rotativo, se emplea un eslabonamiento de biela-manivela, transfiriéndose así un momento torsor al eje del cigüeñal. El cuerpo de biela (29), se une al sombrero de biela (15), mediante dos pernos (97) y una tuerca de tapa (101). La conexión biela-vástago del pistón se realiza a través de un pasador (28) y una tuerca (19). Finalmente, en el acoplamiento biela-manivela, existe un cojinete de fricción (71) que permite el giro relativo entre ambos eslabones.

La cruceta del pistón también presenta un movimiento lineal, que es guiado con las columnas de soporte de los cilindros, existiendo fricción entre las superficies en contacto de las columnas y la cruceta del pistón. Por ello, para proteger contra el desgaste por fricción, se acoplan unas placas de latón (18) a la columna usando pernos avellanados (17) y tuercas (26).

La entrada del vapor se regula mediante dos válvulas de corredera, y gracias a su movimiento alternativo, permitirán que el vapor de agua entre por la cara superior o inferior del émbolo del pistón. Dichas válvulas de corredera, ya sean tanto para la admisión y escape del cilindro de alta presión o de baja presión, poseen una serie de elementos comunes, como el extremo del husillo de la válvula de corredera (91), y la biela de las mismas, que se compone de un cuerpo (16), la parte superior del sombrero de la biela de la válvula de corredera (10), y una parte (9), unidas ambas partes entre sí por dos pernos (57), y dos tuercas (26). Asimismo, el cuerpo de la biela de la válvula

de corredera se une al sombrero de la misma mediante el uso de dos pernos (13). En el sombrero de la biela, existe un cojinete de fricción (96), formado por dos partes iguales, al igual que el sombrero de la biela.

La válvula del cilindro de alta presión posee un husillo (81), y la válvula del cilindro de baja presión se compone de una válvula de corredera (80) y un husillo o vástago (89). La conexión husillo-biela se realiza gracias a un pasador (92) y una tuerca (26).

Dichas válvulas de corredera entran a las cámaras de admisión y escape a través de una guía (90), que se une a la plataforma inferior de los cilindros, mediante seis pernos (5). Dicho soporte presenta varias juntas que sellan correctamente el interior de las cámaras para que no haya fugas de vapor y, por lo tanto, no haya pérdidas de presión por las zonas de deslizamiento del vástago de las válvulas sobre el cilindro. Dichas juntas están compuestas de un sello (86) y un casquillo (88), que fija el sello para que no se mueva de la posición establecida en el ensamblaje. El casquillo se une a la guía de las válvulas mediante dos pernos (57).

Al igual que en el orificio de deslizamiento de las varillas de las válvulas, existen unas piezas que sellan el interior de las cámaras para evitar la salida de vapor y pérdidas de presión, que disminuirían considerablemente el rendimiento del motor. Además, en los orificios de la plataforma inferior de los cilindros para el deslizamiento del vástago de los pistones, se colocan unos elementos que sellan las cámaras de los cilindros. Estas piezas son cojinetes de deslizamiento (74), un sello (73) y un casquillo (72), que fijan los elementos citados anteriormente a la plataforma inferior, gracias a cuatro pernos (87).

El movimiento alternativo se convierte en un movimiento circular a través del sistema biela-manivela como se ha comentado anteriormente, siendo dicho movimiento circular el que corresponde al eje del cigüeñal. Éste está formado por cuatro codos de biela (11), que se unen a pares mediante codos de biela (14). Entre ambos pares de bielas se encuentra el muñón principal (69), sobre el que irán acoplados una roldana excéntrica (94), con la que se transmite el movimiento a las

válvulas de corredera, y una polea (95) que controlará la velocidad angular del cigüeñal a través de una correa (31), que enlaza el cigüeñal y la válvula de mariposa de control de velocidad.

Por otro lado, el eje presenta tres apoyos: dos de ellos se realizan mediante dos tramos del eje (3 y 67), cuya función es dar apoyo al cigüeñal. En uno de estos dos apoyos (3), se acopla el volante de inercia (1), y los diferentes elementos del eje se unen entre sí mediante bulones (12). Sin embargo, el volante de inercia se acopla al eje de soporte del cigüeñal (3) mediante un bulón a presión (2), entre dos muescas, una en el volante de inercia y otra en el eje. Asimismo, la polea de control de velocidad y la roldana excéntrica se unen al eje mediante tornillos de cabeza perdida (68).

Por su parte, el cigüeñal gira respecto a la bancada gracias a unos cojinetes (70), siendo fijados por unas tapas (66) a la misma, gracias al uso de pernos (65).

Mención aparte merece, uno de los elementos más complejos de esta máquina de vapor como es el sistema de control de velocidad o regulador de velocidad centrífugo. En la Ilustración 254 se muestra un plano del subensamblaje que constituye dicho regulador de velocidad, con indicación de los componentes que lo forman a excepción de elementos de fijación como pernos y tuercas, a fin de conseguir mayor claridad (Tabla 5).

Asimismo, dado que se trata de una máquina estacionaria, las condiciones de entrada de vapor en las cámaras de los cilindros son siempre las mismas, es decir, igual velocidad, temperatura y presión de vapor a la entrada y salida de la máquina. Por tanto, la única variable desconocida y que sí depende del tiempo, será la sección transversal de entrada del vapor, ya que ésta podrá variar en el tiempo, modificando de esta manera el caudal del vapor. Así pues, se consigue regular la velocidad angular del eje del cigüeñal, dado que, si el caudal de entrada es menor, se emplearía más tiempo en llenar las cámaras de los cilindros y, por lo tanto, en producir el movimiento lineal de los émbolos del pistón.

Una vez explicado el funcionamiento del control de velocidad, se procede a explicar todos y cada uno de los elementos que lo componen. En primer lugar, se transmite un movimiento circular desde el eje del cigüeñal, hacia un eje (102) a través de una polea (30) acoplada al mismo gracias a un bulón (106), siendo el movimiento transmitido a través de la correa de transmisión. Dicho eje está cubierto por un tubo de latón (32), que fijará el eje de transmisión del regulador a un soporte (39), montado sobre la bancada por dos pernos (103), sobre el que irá situado el regulador de velocidad. En el extremo del eje, existe un husillo accionador (34) unido por un bulón de latón (33). Dicho husillo transmite el movimiento desde el eje horizontal (plano paralelo a la bancada) al eje vertical (105) de la válvula de mariposa, a través de un husillo accionado por el otro husillo accionado (37), y unido al eje por un bulón (38). Dado que este eje gira, se encuentra introducido en un cojinete principal (104), que a su vez está alojado en un orificio de la bancada. El extremo del eje se introduce en dicho cojinete y, a la misma vez, se apoya sobre éste con una pieza con forma de anillo, que actúa como apoyo del eje del regulador (35), y unido al eje por un bulón (36). En la parte superior del soporte (39) hay una pieza de latón, que actúa como base de soporte de montaje del regulador (40). Dispone de un brazo, sobre el que pivotará un yugo/manivela (42) a través de un bulón (41), desplazando verticalmente con dicho movimiento, una carcasa deslizante (64) que estaba inicialmente apoyada en la base de soporte de montaje del regulador, y que actuará sobre un muelle de compresión (60). Dicho muelle es comprimido por la carcasa y, a su vez, por el fijador superior de los brazos del regulador (45), que tiene un movimiento lineal en la misma dirección, pero en sentido opuesto a la carcasa deslizante, acoplándose dicho fijador al eje por un bulón de latón (59). Para conseguir que el fijador tenga un movimiento opuesto a la carcasa, se unen carcasa y fijador superior del eje mediante un mecanismo de tres eslabones (uno de ellos de longitud variable, o resorte de compresión). Estos eslabones son: un brazo inferior (62), y un brazo superior (44), unidos entre sí por dos pesos centrífugos (61) y un bulón (43). Asimismo, estos brazos se unen a la carcasa deslizante por un bulón (63), y al fijador superior por otro bulón (98). Así pues, si el eje del cigüeñal gira a una velocidad angular mayor de lo deseado, los contrapesos generarán por el movimiento circular, una fuerza centrífuga debido a

la aceleración angular del cigüeñal. Esta fuerza centrífuga hará que el radio de la trayectoria circular que describen, sea mayor, comprimiendo así el resorte, y desplazando la carcasa deslizante del regulador, moviendo la varilla de control de velocidad, la cual, a su vez, a través del yugo y manivela del regulador, moverá la válvula de mariposa y modificará así la sección de entrada de vapor al cilindro de alta presión, modificando así el caudal de entrada, y regulando la velocidad del cigüeñal.

El proceso de regulación del caudal, se produce de la siguiente manera. El caudal entra a la máquina de vapor a través de la carcasa de la válvula de mariposa (56), que está fijada al cilindro de alta presión por dos pernos (22). En el interior de la misma, se encuentra la válvula de mariposa (48), que será la que aumente o reduzca el caudal de vapor, modificando el área de paso. Para conseguir el vacío en el interior de la carcasa, y que no haya pérdidas de presión y de vapor en la zona de deslizamiento de la válvula, se acopla a la carcasa una cubierta (54), mediante dos pernos (22) y dos tuercas (55). Ésta cubierta se compone de un sello de la válvula (99) y un casquillo (47), fijado a la cubierta por dos pernos (13). Asimismo, a esta cubierta se acopla una manivela (52), mediante un pasador (53). Dicha manivela pivota respecto del punto de unión con la cubierta, de manera que en su parte inferior se une la válvula por otro bulón (49) y, en el otro extremo, se une al extremo de la varilla de control del regulador (50) gracias a un pasador (51). Por lo tanto, esta manivela de la válvula de mariposa se comporta como un eslabón ternario, que se une al yugo (42) gracias a una varilla (46). Así pues, el movimiento de la varilla empuja la válvula de mariposa hacia dentro, reduciéndose el área de entrada del flujo y, por lo tanto, el caudal.

Como se ha explicado con anterioridad, no se disponen de todas las medidas requeridas en los planos utilizados para obtener un modelado fidedigno, por lo que se han aplicado criterios lógicos para estimar dichas medidas como, por ejemplo, el redondeo de aristas para evitar la aparición de aristas vivas y concentradores de tensión. Asimismo, Henry Muncaster deja a criterio del fabricante las posiciones máximas y mínimas del émbolo del pistón, de forma que, será el mismo fabricante el que establecerá dichos límites. En este modelado, se han elegido unos máximos y

mínimos coherentes para que el émbolo no colisione con la placa superior o inferior de los cilindros, evitando así un desgaste de materiales por impacto, ya que esto reduciría notablemente la vida útil de la máquina. Finalmente, de cara a un futuro análisis estático (distribución de tensiones), la situación más desfavorable de la máquina de vapor se encuentra cuando la posición del émbolo es la más baja, es decir, cuando se encuentra en el punto muerto inferior, y si no se ha dimensionado correctamente el vástago del pistón para que las posiciones máximas y mínimas del émbolo sean las correctas, se produciría un solapamiento de elementos lo que impediría realizar una correcta simulación por el método de elementos finitos.

Por último, para finalizar con este apartado, se debe responder a la cuestión planteada con anterioridad, y es, la determinación de la longitud adecuada del vástago del pistón, ya que, en los planos de la invención [3], el autor indica la longitud del vástago del pistón, como el resultado de una cantidad menos una corrección (MAX/MIN). Dado que no se tiene ningún tipo de información de la máquina, sino tan sólo los planos de la referencia web [3], se desconoce a qué se refiere el autor con esa corrección aplicada. Por tanto, aplicando teoría de mecanismos, y con la ayuda de la herramienta Medir de Autodesk Inventor Professional 2023, se ha podido determinar la longitud correcta del vástago del pistón, y de las válvulas de corredera, que, curiosamente, se aplica la misma corrección en la longitud que en los vástagos de los pistones. De esta manera, se ha conseguido corregir la longitud de los vástagos, y así, se obtiene un funcionamiento correcto de la máquina, evitando que los émbolos de los pistones, o las válvulas, choquen con las tapas de los cilindros (inferior y superior), consiguiendo no solo un correcto funcionamiento y movimiento de los elementos, sino evitando así errores por solape de materiales en el método de los elementos finitos, para estimar el estado tensional bajo carga estática de primer ciclo, para ciertas condiciones de operación.

3.1.2. Invención 2: Motor de un solo cilindro tipo 'Saltamontes'

Al igual que en la invención anterior, se procederá a explicar el modelado de las piezas que componen la máquina, el ensamblaje, la documentación gráfica, así como el funcionamiento de la máquina.

3.1.2.1. Descripción del modelado tridimensional

Se procederá a explicar brevemente el proceso seguido para modelar cada una de las piezas que forman el conjunto de la máquina. Puesto que hay muchas piezas que han podido ser estandarizadas (ya que se modelan siguiendo las mismas operaciones pero variando las medidas), se explicará el modelado sólo para una de ellas, y se indicarán las piezas que son modeladas siguiendo ese mismo procedimiento.

3.1.2.1.1. Marca 7. Lateral de bancada

Esta pieza (Ilustración 257) se obtiene extruyendo un croquis que contenga la proyección horizontal de la pieza y, posteriormente, sobre dicho sólido, se realizan los agujeros pertinentes.

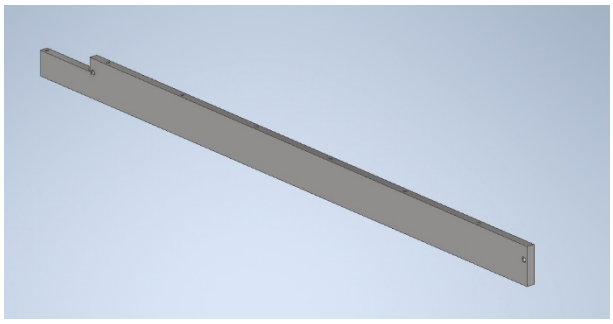


Ilustración 257. Lateral de bancada.

3.1.2.1.2. Marca 124. Placa transversal de la bancada

Se extruye el croquis de un rectángulo y se realizan todos los agujeros (roscados y no) para dar lugar al modelo 3D final (Ilustración 258).

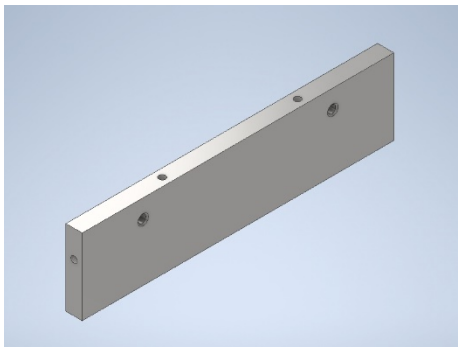


Ilustración 258. Placa transversal de bancada.

3.1.2.1.3. Marca 156. Placa transversal 2 de la bancada

Se obtiene de igual manera que la pieza anterior (Ilustración 259).

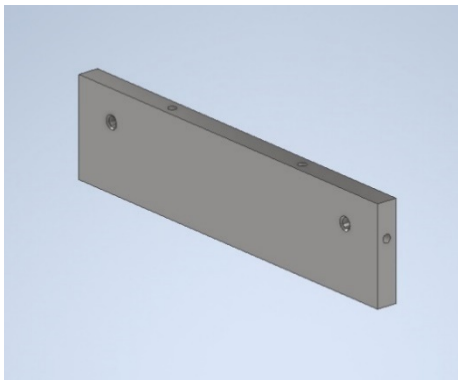


Ilustración 259. Placa transversal 2 de la bancada.

3.1.2.1.4. Marca 23. Placa superior 1 de la bancada

En primer lugar, se extruye un rectángulo. Sobre el sólido obtenido, se croquizan dos rectángulos con los vértices redondeados, y un anillo circular en el centro del sólido. Seguidamente, se extruyen los croquis anteriormente realizados y se realizan todos los agujeros, dando lugar al modelo final (Ilustración 260).

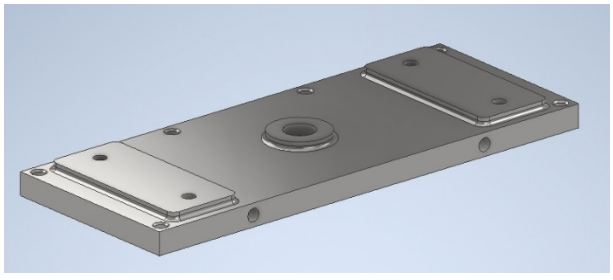


Ilustración 260. Placa superior 1 de la bancada.

3.1.2.1.5. Marca 8. Placa superior 2 de la bancada

Al igual que en la pieza anterior, se van extruyendo croquis, y realizando empalmes y agujeros, hasta llegar a la pieza final (Ilustración 261).

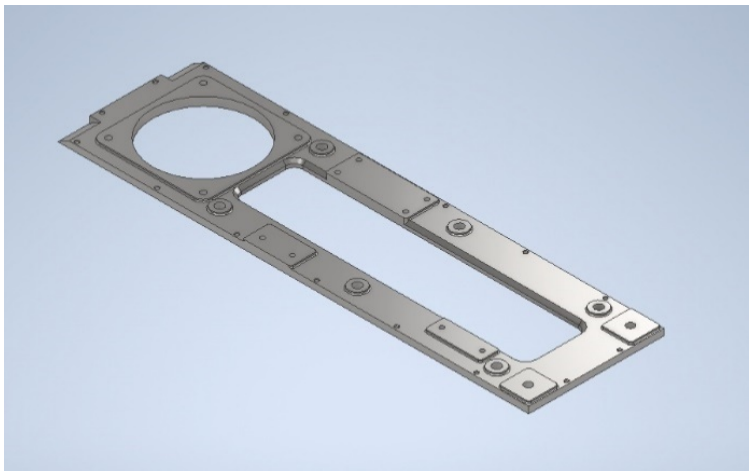


Ilustración 261. Placa superior 2 de la bancada.

3.1.2.1.6. Marca 16. Marco fijador de partes de la bancada

Esta pieza se obtiene extruyendo el recinto cerrado formado por dos rectángulos (Ilustración 262).

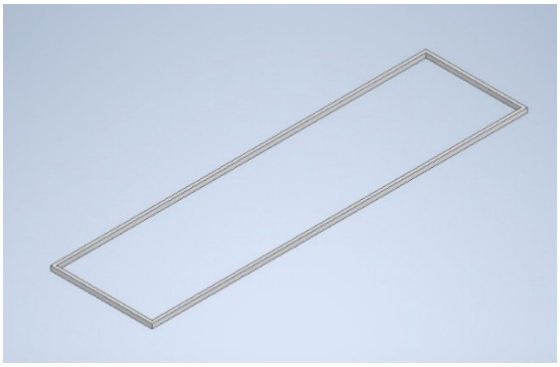


Ilustración 262. Marco fijador de partes de la bancada.

3.1.2.1.7. Marca 22. Placa trasera de la bancada

Se obtiene de igual manera que el resto de partes de la bancada, extruyendo un rectángulo y realizando los agujeros necesarios (Ilustración 263).

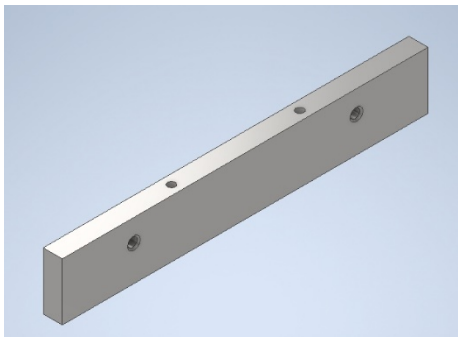


Ilustración 263. Placa trasera de la bancada.

3.1.2.1.8. Marca 75. Parte inferior del soporte del cojinete del cigüeñal

En primer lugar, se croquiza la base del soporte, que se obtiene con la extrusión de un rectángulo con los vértices redondeados. Seguidamente, se realiza el croquis de un rectángulo con dos circunferencias en la cara del anterior rectángulo, y se extruye. Para finalizar, se realizan los cortes necesarios, dando lugar al sólido de la imagen (Ilustración 264).

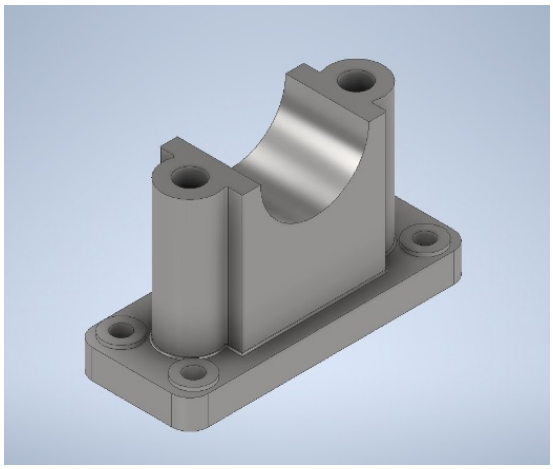


Ilustración 264. Parte inferior del soporte del cojinete del cigüeñal.

3.1.2.1.9. Marca 114. Parte superior del soporte del cojinete del cigüeñal

Se extruye la mitad de una corona circular, así como dos círculos debidamente colocados. Para finalizar, se realizan agujeros (Ilustración 265).

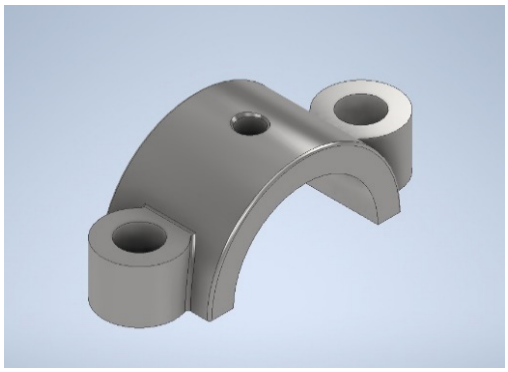


Ilustración 265. Parte superior del soporte del cojinete del cigüeñal.

3.1.2.1.10. Marca 118. Cojinete del cigüeñal

Se obtiene a través de la extrusión de revolución de un contorno cerrado, alrededor del eje longitudinal de la pieza. Finalmente, se realiza un agujero, dando lugar al sólido de la imagen (Ilustración 266).

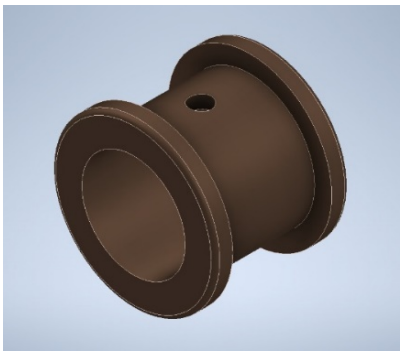


Ilustración 266. Cojinete del cigüeñal.

3.1.2.1.11. Marca 4. Apoyo inferior de la columna de soporte

Al igual que la pieza anterior, se puede obtener a través de la revolución del perfil y, posteriormente, se realiza el agujero roscado, obteniendo así la pieza (Ilustración 267).

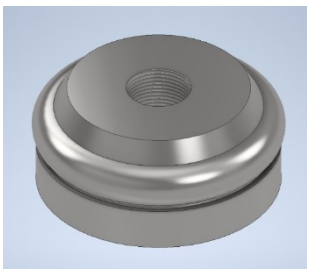


Ilustración 267. Apoyo inferior de la columna de soporte.

3.1.2.1.12. Ejes roscados

Para modelar este tipo de pieza (Ilustración 268), se extruye un cilindro y se realiza el roscado con la métrica adecuada por todo el cilindro. Los sólidos así modelados han sido los ejes roscados inferior y superior de la columna de soporte (marcas 148 y 153).

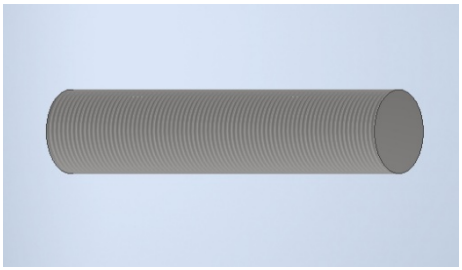


Ilustración 268. Ejes roscados.

3.1.2.1.13. Marca 62. Apoyo superior de la columna de soporte

La pieza de la imagen (Ilustración 269) se ha modelado a través de una extrusión de revolución.

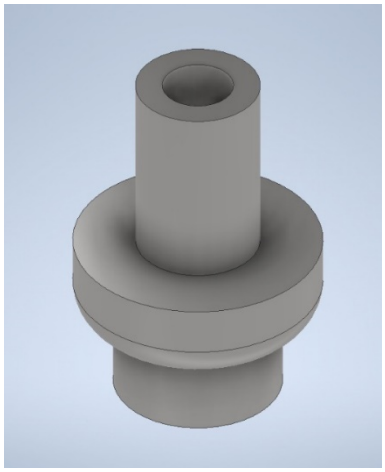


Ilustración 269. Apoyo superior de la columna de soporte.

3.1.2.1.14. Marca 1. Columna de soporte

El sólido de la Ilustración 270, se obtiene sencillamente a través de una extrusión de revolución, siendo el eje de la operación el longitudinal de la pieza.

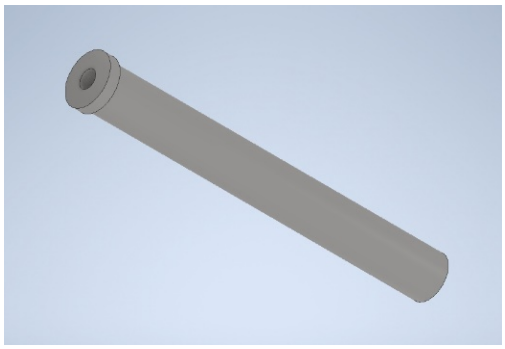


Ilustración 270. Columna de soporte.

3.1.2.1.15. Marca 14. Soporte del cojinete del engranaje del regulador

En primer lugar, se croquizan y extruyen las partes inferior y lateral. Seguidamente, se extruyen dos cilindros y se realizan agujeros en su interior para alojar cojinetes posteriormente. Finalmente, se realizan los agujeros necesarios, obteniendo así el modelo (Ilustración 271).

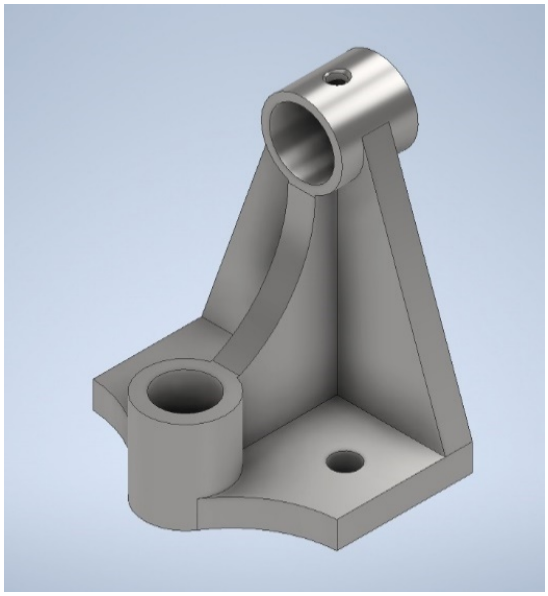


Ilustración 271. Soporte del cojinete del engranaje del regulador.

3.1.2.1.16. Cojinetes con agujero para lubricación

Dado que hay muchas piezas que se modelan de la misma manera (Ilustración 272), a diferencia de las dimensiones, se explica el procedimiento de modelado, así como las piezas que se modelan de esta manera.

En primer lugar, se extruye una corona circular y, finalmente, se realiza un agujero. Las piezas modeladas de esta manera son las marcas 68, 115, 143, 144, 145, 163 y 164.

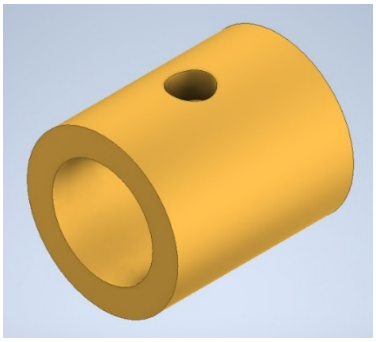


Ilustración 272. Cojinetes con agujero para lubricación.

3.1.2.1.17. Cojinetes cilíndricos huecos y sellos

Se extruye una corona circular (Ilustración 273). Las piezas modeladas de esta manera son las marcas 177, 130, 135, 138, 149, 152, 154 y 161.

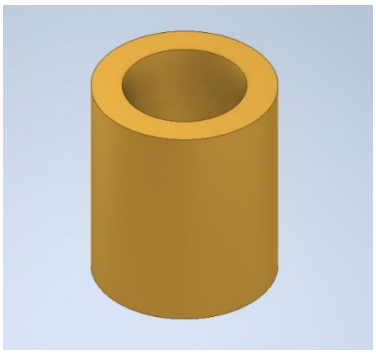


Ilustración 273. Cojinetes cilíndricos huecos y sellos.

3.1.2.1.18. Marca 19. Cilindro y soporte inferior del cilindro

Se extruye en primer lugar el cuadrado que sería la base del cilindro. En segundo lugar, se extruyen los cilindros de las esquinas, y seguidamente el cilindro. Se realizan los agujeros necesarios, así como los cortes rectangulares del cilindro para la entrada y salida de vapor por ambos lados del émbolo del pistón. Para terminar, se realizan los nervios, extruyendo en un plano medio que contenga su perfil y, realizando simetrías, para evitar realizar cuatro croquis y cuatro operaciones iguales. La pieza se muestra en la Ilustración 274.

Ilustración 274. Cilindro y soporte inferior del cilindro.

3.1.2.1.19. Marca 119. Camisa del cilindro

Se extruye una corona circular, y, se realiza un corte para obtener los rectángulos que se observan en la imagen (Ilustración 275).

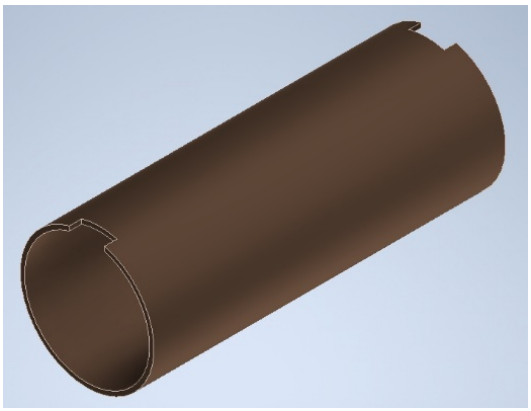


Ilustración 275. Camisa del cilindro.

3.1.2.1.20. Marca 18. Anillos del cilindro

Se croquiza la sección transversal del sólido, y se extruye un ángulo determinado por un barrido a lo largo de una trayectoria circular, dando lugar al sólido de la imagen (Ilustración 276).

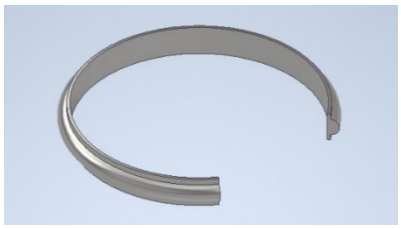


Ilustración 276. Anillos del cilindro.

3.1.2.1.21. Marca 122. Base del cilindro

Se extruyen dos círculos de diferentes diámetros, realizándose los agujeros y agujeros roscados pertinentes (Ilustración 277).

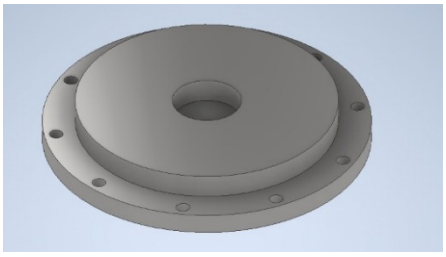


Ilustración 277. Base del cilindro.

3.1.2.1.22. Marca 136. Soporte superior del cilindro

Para poder modelar esta pieza (Ilustración 278), es necesario crear un plano auxiliar paralelo a un plano de referencia (plano perpendicular al plano que contiene la corona circular), y desfasado una distancia determinada, para poder croquizar los salientes rectangulares donde posteriormente se acoplarán otros elementos. En primer lugar, se croquiza la corona circular y seguidamente se crea el plano, se croquiza el rectángulo y se extruye. Se crea una simetría de esta última operación, y, para terminar con el modelado de la pieza, se realizan todos los agujeros.

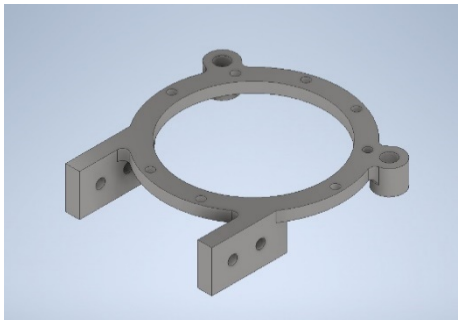


Ilustración 278. Soporte superior del cilindro.

3.1.2.1.23. Marca 95. Tapa superior del cilindro

Esta pieza (Ilustración 279) se puede obtener fácilmente a través de una extrusión de revolución y, por último, se crea una matriz circular de los puntos de los agujeros (siendo estos puntos el centro del orificio) y se realizan los agujeros con el comando Agujero.

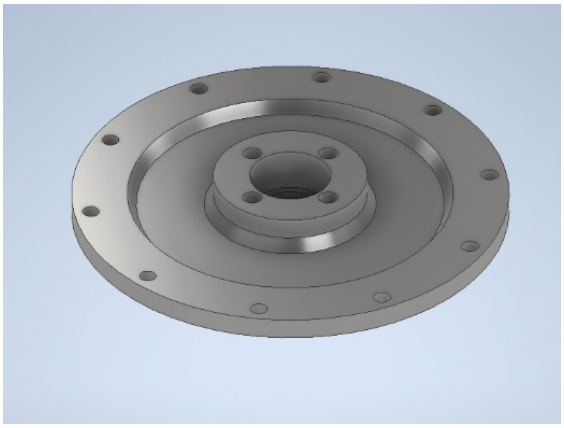


Ilustración 279. Tapa superior del cilindro.

3.1.2.1.24. Marca 137. Cojinete de fricción del vástago del pistón

La pieza de la imagen (Ilustración 280), se obtiene con una extrusión de revolución, usando como eje de revolución el eje longitudinal de la pieza.

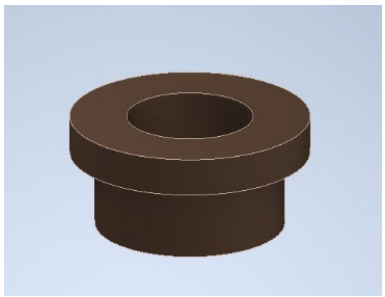


Ilustración 280. Cojinete de fricción del vástago del pistón.

3.1.2.1.25. Marca 96. Casquillo del vástago del pistón

Se obtiene procediendo de igual manera que la pieza anterior, con la diferencia de que tiene cuatro agujeros en una de sus caras. Se sitúan los centros de los orificios usando el comando matriz circular y, a través de la operación Agujero, se realizan dichos orificios (Ilustración 281).

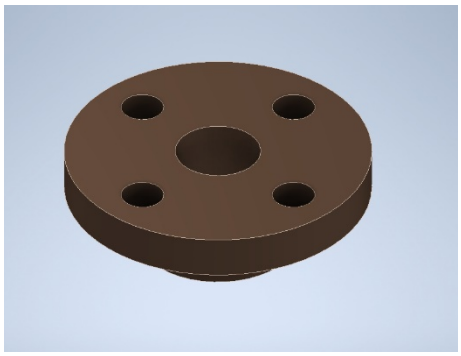


Ilustración 281. Casquillo del vástago del pistón.

3.1.2.1.26. Marca 133. Bloque de puerto del cilindro

El modelado de esta pieza, es algo más complejo que las anteriores. En primer lugar, se extruirá un rectángulo. Seguidamente, en la cara inferior (una de las dos de menor área), se realiza una extrusión de corte de un arco circular. Tras esta última operación, se extruye el rectángulo de la placa superior, donde se realizarán posteriormente los taladros, y donde se acoplará el cofre de válvulas mediante elementos de unión (pernos) (Ilustración 282). A continuación, se extruye un cilindro, que salga lateralmente. En la cara superior de este cilindro, se extruye un círculo que servirá de placa de unión para la tubería de salida del vapor tras su expansión.

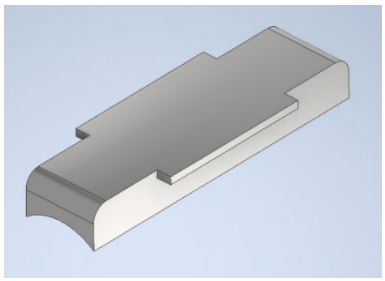


Ilustración 282. Primeras operaciones de la pieza.

Seguidamente se realizan los cortes del orificio de salida del vapor tras su expansión, de los rectángulos por donde entrará el vapor, así como del rectángulo de la parte inferior pero se extruirá una magnitud determinada. Finalmente, se realizan los redondeos y taladros (Ilustraciones 283 y 284).

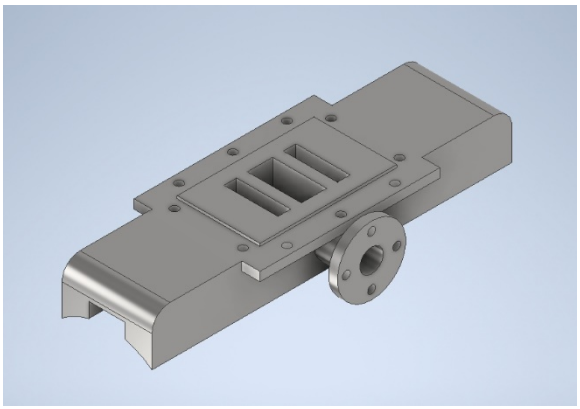


Ilustración 283. Bloque de puerto del cilindro (1).

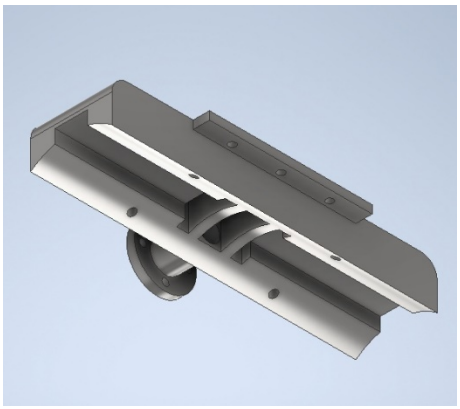


Ilustración 284. Bloque de puerto del cilindro (2).

3.1.2.1.27. Marca 120. Placa de deslizamiento de la válvula de corredera

Se realiza el croquis de un rectángulo y, en su interior, se croquizan los tres rectángulos que se pueden observar en la Ilustración 285. Se extruye el contorno cerrado y se obtiene el modelo 3D.

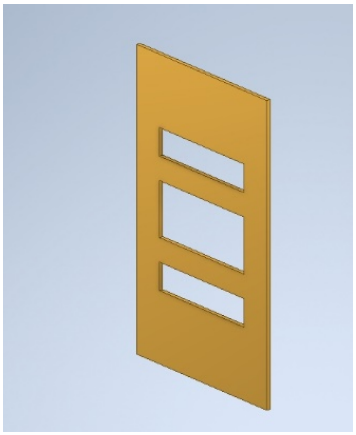


Ilustración 285. Placa de deslizamiento de la válvula de corredera.

3.1.2.1.28. Marca 36. Bloque del cofre de válvulas de corredera

Para esta pieza (Ilustración 286), se realiza en primer lugar, la extrusión del contorno cerrado por los dos rectángulos y, seguidamente, el croquis de la parte inferior y superior, siendo éstas la entrada de vapor y el orificio por donde irá introducido el vástago del pistón junto al sello y casquillo del mismo. Posteriormente, se realiza una matriz rectangular con la posición de los orificios roscados y, se realizan dichos agujeros con la operación Agujero. Finalmente, se realiza el mismo procedimiento para los agujeros roscados inferiores.

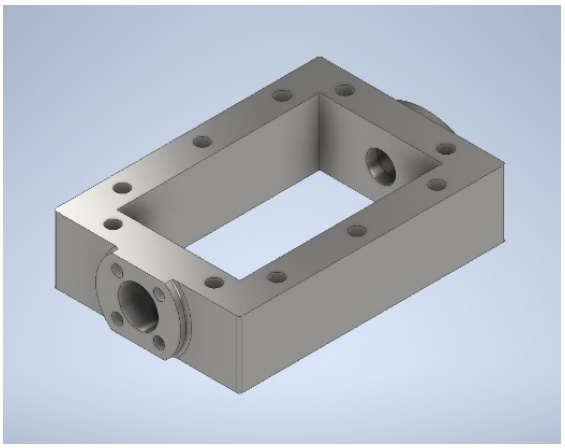


Ilustración 286. Bloque del cofre de válvulas de corredera.

3.1.2.1.29. Marca 34. Tapa del bloque del cofre de válvulas

Se extruyen dos rectángulos, de diferentes dimensiones y a distintas alturas. Se redondean sus esquinas y, finalmente, se realizan los agujeros. Esto da lugar al modelo final (Ilustración 287).

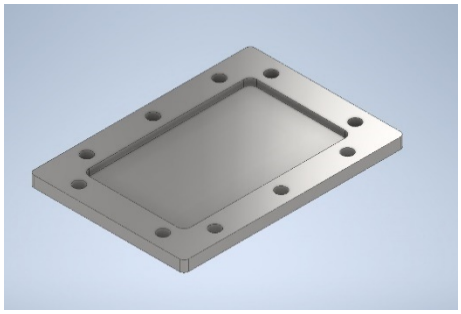


Ilustración 287. Tapa del bloque del cofre de válvulas.

3.1.2.1.30. Marca 129. Cojinete de fricción del cofre de válvulas

Se obtiene a través de una extrusión de revolución (Ilustración 288).

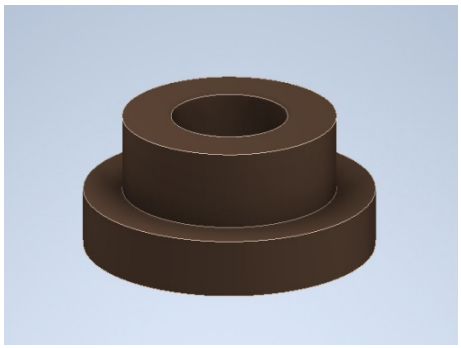


Ilustración 288. Cojinete de fricción del cofre de válvulas.

3.1.2.1.31. Marca 37. Casquillo de la varilla de la válvula

Se extruye una corona circular. Seguidamente, sobre una de sus caras, se croquiza una elipse con los dos orificios correspondientes y se extruye (Ilustración 289).

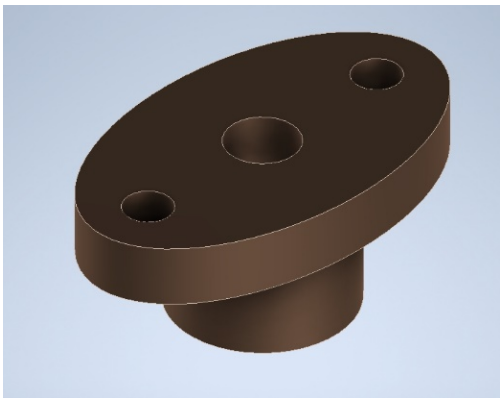


Ilustración 289. Casquillo de la varilla de la válvula.

3.1.2.1.32. Placas de unión de la carcasa de entrada de vapor

Se debe croquizar en primer lugar una circunferencia y, sobre ella inscribir un rectángulo. Se recortan las aristas necesarias, para tener tan sólo dos aristas del rectángulo y dos arcos circulares. En el interior de la geometría obtenida, se croquiza una circunferencia (la circunferencia central de la imagen inferior), y con una matriz rectangular, se sitúa la primera circunferencia y se crean las otras 3. Se extruye el contorno cerrado y se obtiene así el modelo 3D (Ilustración 290).

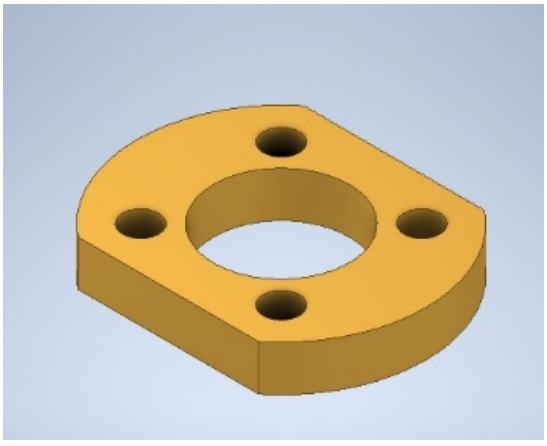


Ilustración 290. Placas de unión de la carcasa de entrada de vapor.

3.1.2.1.33. Marca 27. Tubo con codo

Se obtiene a través de un barrido. Se croquiza en uno de los planos de referencia la línea directriz. En uno de los extremos de la directriz, se croquiza la corona circular y se realiza el barrido, obteniendo así el sólido de la figura (Ilustración 291).

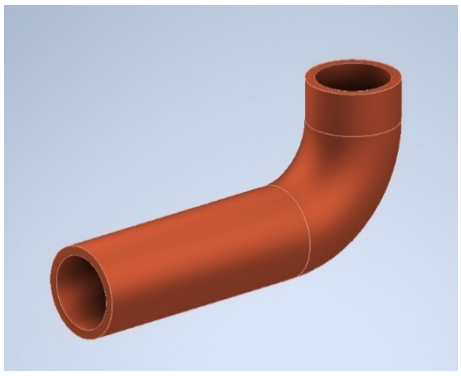


Ilustración 291. Tubo con codo.

3.1.2.1.34. Marca 29. Tubo de entrada de vapor

Se extruye una corona circular y se obtiene el modelo 3D de la imagen (Ilustración 292).

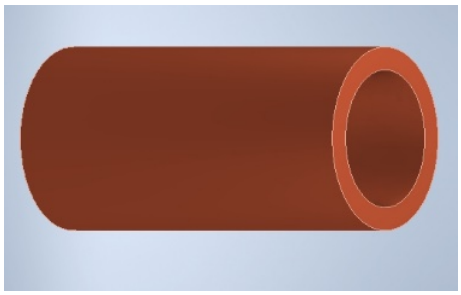


Ilustración 292. Tubo de entrada de vapor.

3.1.2.1.35. Marca 31. Carcasa del regulador del vapor de entrada

En primer lugar, se extruye el rectángulo con dos de sus lados eliminados y sustituidos por arcos circulares. Esta geometría se obtiene siguiendo el mismo procedimiento que el seguido para la placa de unión de la carcasa de entrada de vapor. Seguidamente, se extruye un cilindro en una de las dos caras planas laterales del sólido obtenido tras la primera extrusión. Se realiza el roscado en el cilindro y los

agujeros restantes: el central, que es un simple orificio, y los otros cuatro agujeros roscados (Ilustración 293).

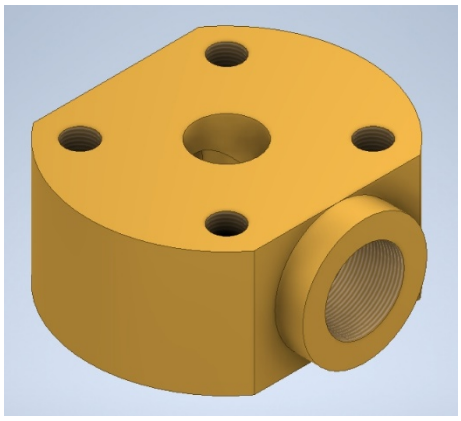


Ilustración 293. Carcasa del regulador del vapor de entrada.

3.1.2.1.36. Marca 26. Casquillo del regulador de vapor de entrada

Se extruye un hexágono y un cilindro. Se realiza el roscado y, por último, el agujero pasante (Ilustración 294).

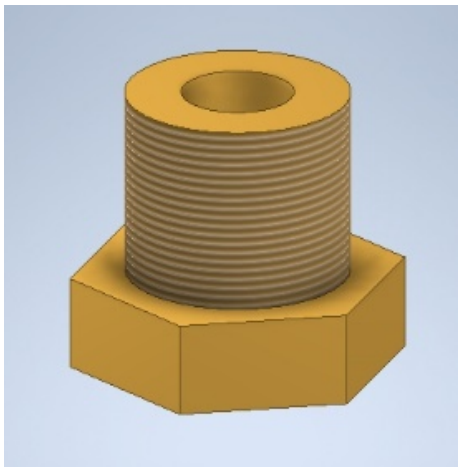


Ilustración 294. Casquillo del regulador de vapor de entrada.

3.1.2.1.37. Marca 20. Soporte del cojinete del tirante excéntrico

En primer lugar, se extruye la placa inferior, y seguidamente, la corona circular. Para terminar, se croquizan y extruyen los nervios, y se realizan los agujeros y redondeos necesarios para obtener el modelo 3D de la imagen (Ilustración 295).

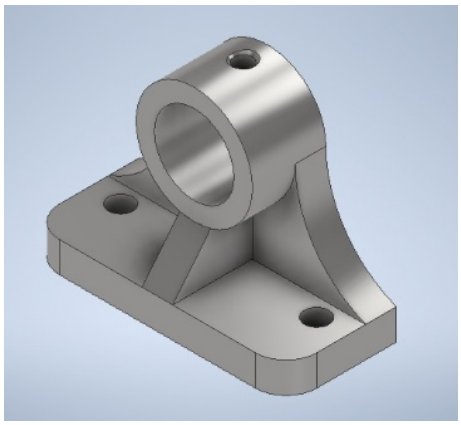


Ilustración 295. Soporte del cojinete del tirante excéntrico.

3.1.2.1.38. Marca 51. Viga derecha

Se extruye el perfil lateral, y en uno de sus extremos, se extruye una corona circular, realizándose una simetría de dicha corona circular. Finalmente, se realizan los agujeros necesarios (Ilustración 296).

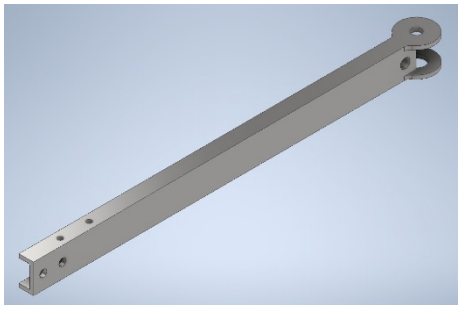


Ilustración 296. Viga derecha.

3.1.2.1.39. Marca 61. Viga izquierda

Se modela de igual manera que la viga derecha, con la única diferencia, de que, contiene dos agujeros más en la cara lateral (Ilustración 297).

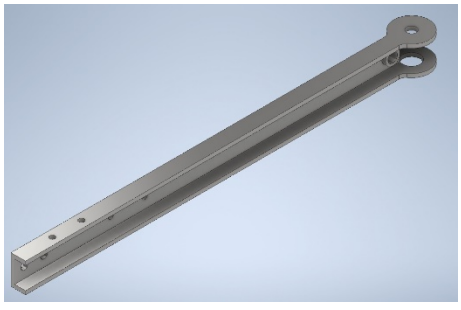


Ilustración 297. Viga izquierda.

3.1.2.1.40. Marca 42. Viga fija superior 1

Se modela a través de una revolución (Ilustración 298). Del sólido obtenido, en el extremo derecho se extruye una corona circular y, en el otro extremo, se realiza el roscado. Posteriormente, se redondean las aristas.

Ilustración 298. Viga fija superior 1.

3.1.2.1.41. Marca 141. Bloque de montaje de la viga superior 2

Se extruye la vista frontal de la figura (Ilustración 299). Posteriormente, se realizan los dos agujeros de la planta y, finalmente, se redondean las esquinas del hexaedro.

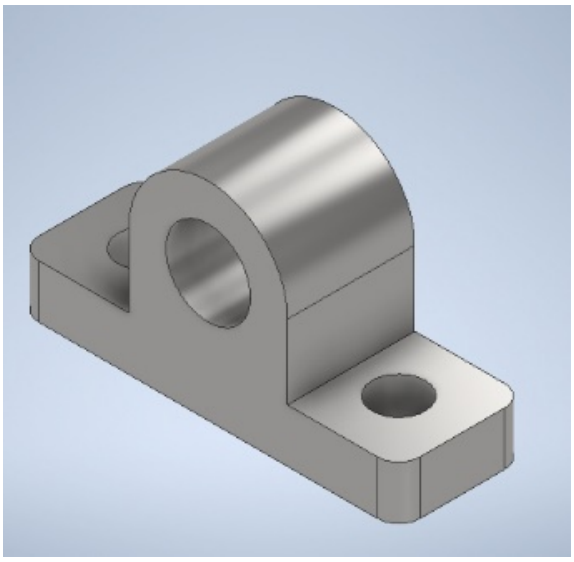


Ilustración 299. Bloque de montaje de la viga superior 2.

3.1.2.1.42. Ejes y varillas con extremos roscados

Para todas estas piezas (marcas 58, 66, 100, 139 y 151), se extruye un cilindro, y seguidamente, en una de sus bases, se extruye otro cilindro de menor diámetro y se realiza un roscado en este último. Para terminar, se realiza una simetría de las dos últimas operaciones, y se obtiene el sólido de la imagen (Ilustración 300).

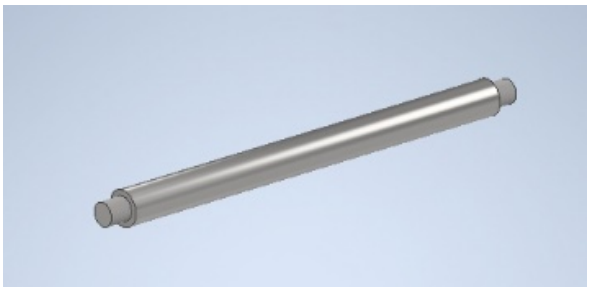


Ilustración 300. Ejes y varillas con extremos roscados.

3.1.2.1.43. Marca 98. Viga fija superior 2

Para poder obtener el modelado final de esta pieza (Ilustración 301), en primer lugar, se extruye un cilindro. En uno de sus extremos, en la posición adecuada, se extruye una corona circular con el centro de la misma coincidente con el eje longitudinal del cilindro, y se realiza la extrusión de dicha corona desde un plano medio. Finalmente, se repite lo mismo para el otro extremo. No se realiza simetría dado que la profundidad de la extrusión no es la misma en ambos extremos.

Ilustración 301. Viga fija superior 2.

3.1.2.1.44. Marca 86. Soporte del cojinete superior del regulador

En primer lugar, se croquiza la placa horizontal y se extruye. Posteriormente, la placa lateral. En la posición adecuada de la placa horizontal, se croquiza una circunferencia y se extruye. Posteriormente, se realiza un corte de una circunferencia en el anterior cilindro obtenido. Para obtener el brazo superior, se debe crear un plano que contenga el plano medio del nervio, y se extruye el croquis de la imagen (desde plano medio) (Ilustración 302). Seguidamente, se realiza una extrusión de corte para conseguir el orificio del cilindro del extremo del brazo, y para terminar, en el plano auxiliar anteriormente usado, se croquiza el nervio y se extruye (Ilustración 303).

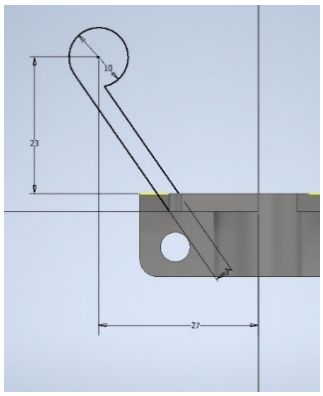


Ilustración 302. Croquis del brazo.

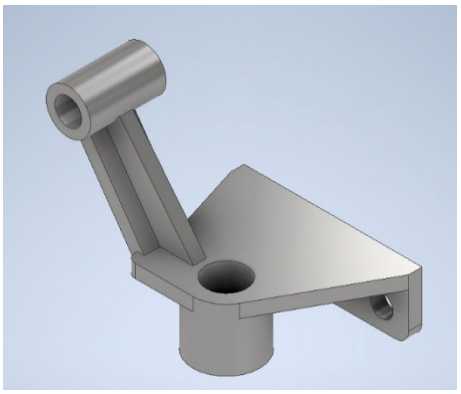


Ilustración 303. Soporte del cojinete superior del regulador.

3.1.2.1.45. Marca 5. Carcasa de la bomba

En primer lugar, se realiza un croquis del alzado de la pieza (Ilustración 304). Seguidamente, se extruye y se realiza en la planta de la pieza un croquis para extruir un cilindro y, en su cara superior, croquizar una elipse con dos orificios en sus extremos para posteriormente, extruirlo. Se realizan los orificios de la parte superior de la pieza. Después, en el lateral, se extruye un cilindro y se realiza el corte de una circunferencia, croquizándose la placa inferior y se extruye. Para terminar, utilizando los comandos Agujero y Rosca, se realizan los agujeros restantes así como el roscado de los dos orificios de la planta, donde posteriormente se enroscaran los tornillos de retención de las válvulas de bola.

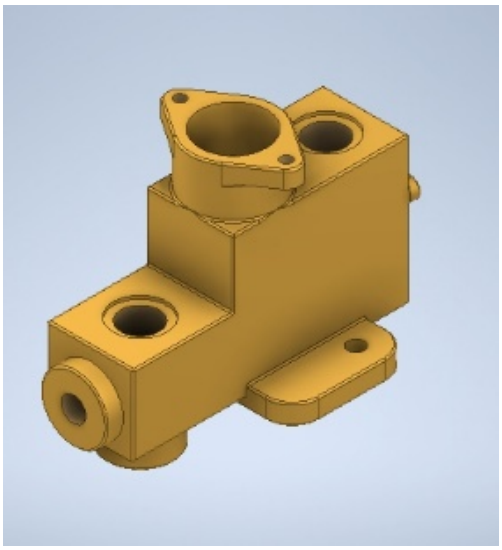


Ilustración 304. Carcasa de la bomba.

3.1.2.1.46. Marca 157. Válvula de bola de la bomba

Se realiza una extrusión de revolución de una semicircunferencia (Ilustración 305).

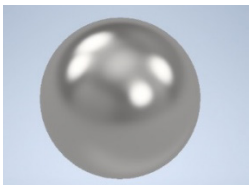


Ilustración 305. Válvula de bola de la bomba.

3.1.2.1.47. Marca 3. Tornillo de retención de la válvula de bola

Se extruyen dos cilindros y se realiza la rosca en el de mayor longitud. Para terminar, se extruye el rectángulo de la parte superior de la pieza, y un cilindro en la cara opuesta de la pieza, de menor diámetro y longitud a los dos primeros modelados (Ilustración 306).

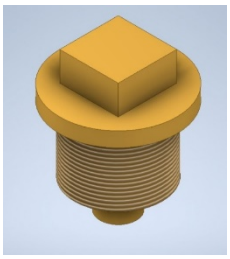


Ilustración 306. Tornillo de retención de la válvula de bola.

3.1.2.1.48. Marca 2. Casquillo del pistón de la bomba

Se extruye un cilindro, y en una de sus caras, se debe extruir una elipse con dos orificios. Para terminar, se realiza el corte de una circunferencia, que sea pasante por toda la pieza (Ilustración 307).

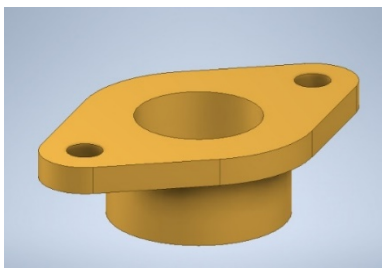


Ilustración 307. Casquillo del pistón de la bomba.

3.1.2.1.49. Marca 77. Eje del cigüeñal

Se extruye un cilindro y se realizan dos cortes de dos circunferencias, una pasante y otra, hasta una determinada profundidad (Ilustración 308).

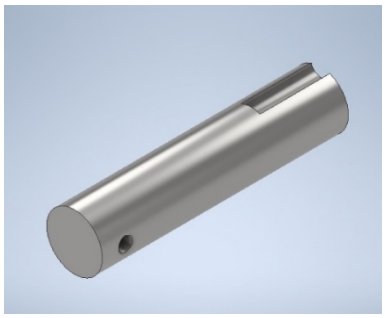


Ilustración 308. Eje del cigüeñal.

3.1.2.1.50. Pasadores y bulones

Para modelar este tipo de piezas, se realiza un croquis de una circunferencia de un determinado diámetro. Posteriormente, se extruye una determinada magnitud (Ilustración 309). Las piezas de las marcas 10, 13, 70, 81, 91, 93, 110, 116, 142, 169 y 175, se modelan de esta manera.

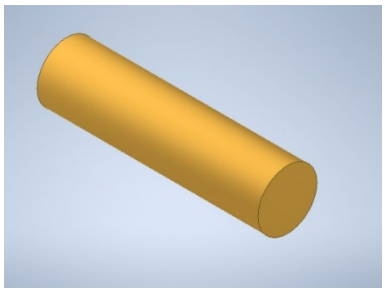


Ilustración 309. Pasadores y bulones.

3.1.2.1.51. Marca 78. Biela

Se croquizan dos circunferencias separadas una cierta distancia y se dibuja una línea tangente a ambas circunferencias, realizándose una simetría de dicha línea. Se recortan las aristas necesarias para tener sólo el perímetro exterior de la geometría obtenida, y se dibujan dos circunferencias concéntricas para obtener el orificio central. Se extruye el contorno cerrado obtenido, y seguidamente, se extruyen dos coronas circulares, realizándose un orificio pasante (Ilustración 310).

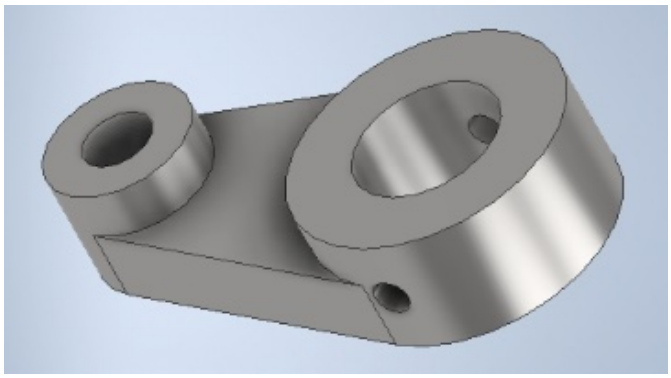


Ilustración 310. Biela.

3.1.2.1.52. Marca 174. Codo de biela

Se extruyen 3 cilindros de diferentes diámetros y longitudes. En uno de ellos, se realiza un roscado y, en otro, un agujero roscado, obteniendo así el modelo final de la pieza (Ilustración 311).

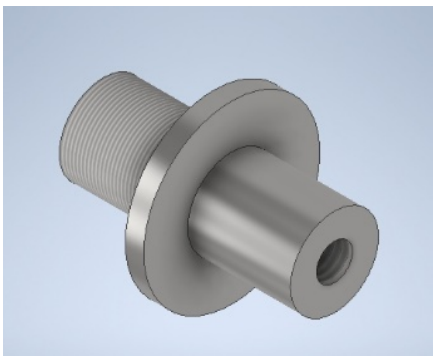


Ilustración 311. Codo de biela.

3.1.2.1.53. Marca 176. Tope del codo de biela

Se extruye una corona circular con las dimensiones adecuadas y se obtiene la pieza (Ilustración 312).

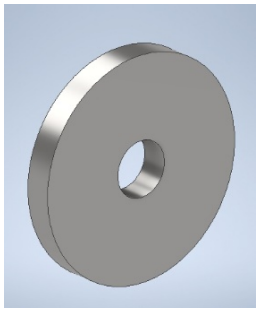


Ilustración 312. Tope del codo de biela.

3.1.2.1.54. Marca 177. Conector biela-manivela del regulador

Se extruye un cilindro. Se realiza un corte de una circunferencia cuyo centro está en el perímetro de una de las bases del cilindro anterior. Se realiza un agujero roscado pasante en el eje longitudinal de la pieza (Ilustración 313).

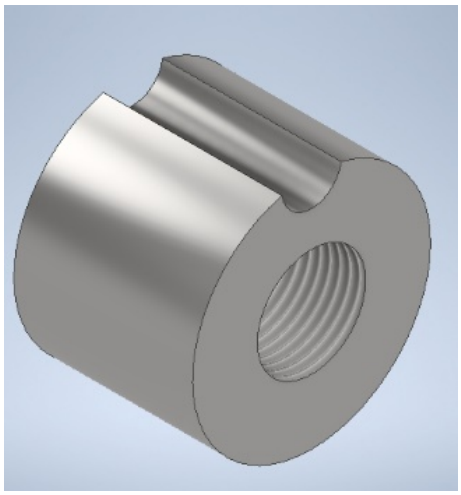


Ilustración 313. Conector biela-manivela del regulador.

3.1.2.1.55. Marca 167. Roldana excéntrica

Se comienza extruyendo una corona circular. Una vez extruida, se realiza un croquis (Ilustración 314) y se extruye. Se extruye una corona circular nuevamente, de mayor diámetro a las anteriores, y se realiza simetría de esta última operación. Finalmente, se realizan cuatro agujeros roscados (Ilustración 315).

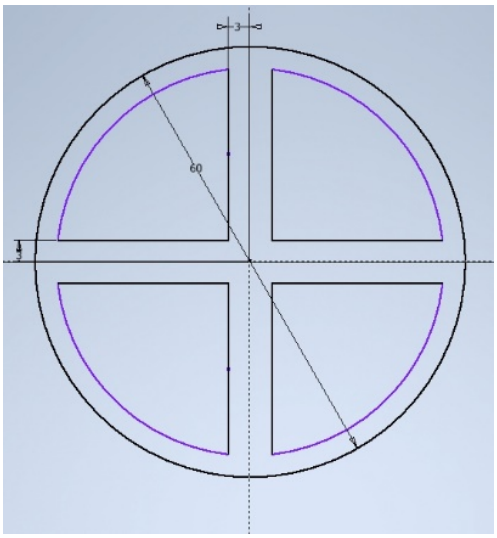


Ilustración 314. Croquis.

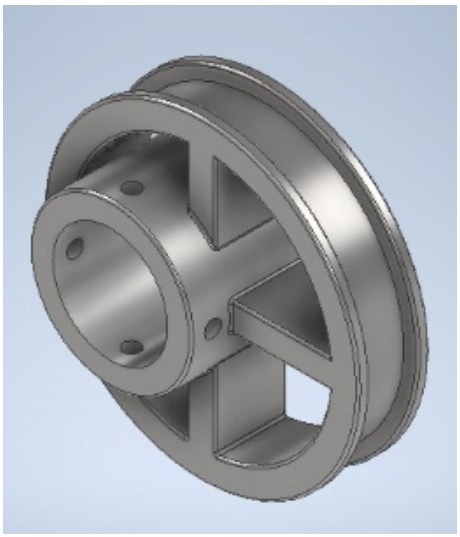


Ilustración 315. Roldana excéntrica.

3.1.2.1.56. Marca 33. Volante de inercia

Se realiza un croquis similar al mostrado con anterioridad (Ilustración 316) y se extruye. Asimismo, se extruyen las diferentes coronas circulares que hay en la pieza. En el centro de la pieza, se extruye un cilindro y se realiza en el mismo el corte de una circunferencia, y de otra, cuyo centro está en el perímetro de la circunferencia cuyo centro coincide con el centro de la pieza. Seguidamente, se realizan los redondeos necesarios (Ilustración 316).

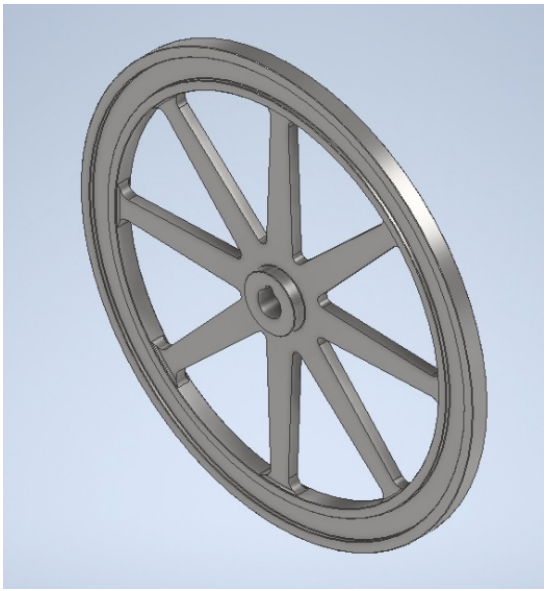


Ilustración 316. Volante de inercia.

3.1.2.1.57. Marca 134. Émbolo del pistón

Se obtiene a través de una extrusión de revolución y, para finalizar con el modelado de la pieza (Ilustración 317), se realiza un corte de una circunferencia hasta una profundidad determinada. Para terminar, se realiza un agujero roscado en el eje longitudinal de la pieza.

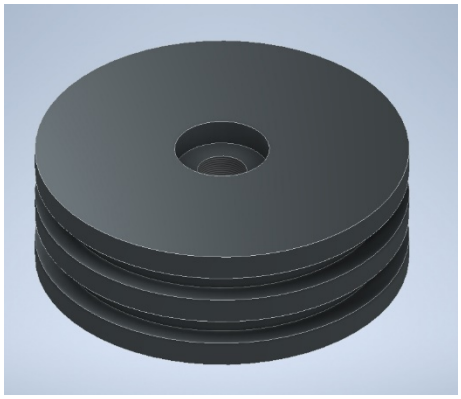


Ilustración 317. Émbolo del pistón.

3.1.2.1.58. Marca 131. Segmento del pistón

Se croquizan dos circunferencias en planos perpendiculares y mediante la operación de barrido, se obtiene la pieza de la imagen (Ilustración 318).

Ilustración 318. Segmento del pistón.

3.1.2.1.59. Marca 43. Vástago del pistón

Se puede obtener por una extrusión de revolución y, seguidamente, se realiza en el extremo derecho de la Ilustración 319, un corte de un rectángulo. Finalmente, en el extremo opuesto, se realiza un roscado.

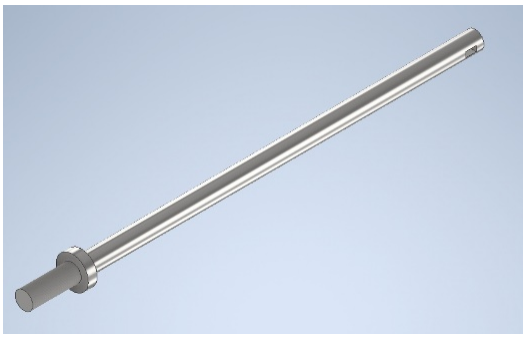


Ilustración 319. Vástago del pistón.

3.1.2.1.60. Marca 45. Pasador rectangular 1 del vástago del pistón

Se extruye un rectángulo (Ilustración 320).

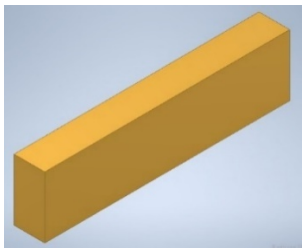


Ilustración 320. Pasador rectangular 1 del vástago del pistón.

3.1.2.1.61. Marca 44. Tapa del vástago del pistón

Se extruyen dos cilindros y seguidamente se extruye el croquis de la figura (Ilustración 321). Luego, se realizan redondeos y se corta la pieza mediante dos croquis de dos rectángulos. Finalmente, se realiza el orificio de la parte inferior de la pieza (Ilustración 322).

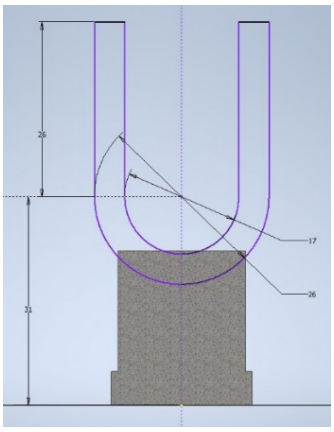


Ilustración 321. Croquis

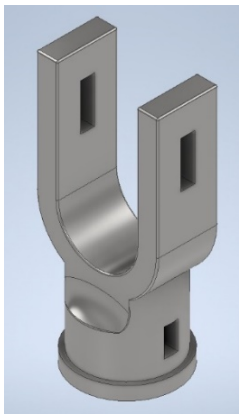


Ilustración 322. Tapa del vástago del pistón

3.1.2.1.62. Marca 103. Cojinete de la tapa del vástago del pistón

Se realiza un croquis del alzado de la pieza y se extruye. Seguidamente, se realiza un croquis de la parte central de la pieza y se vuelve a extruir, de forma que, ya tan sólo quedaría realizar una simetría de la primera operación y los agujeros avellanados superiores. Para terminar, se divide la pieza en dos partes con el comando Dividir (Ilustración 323).

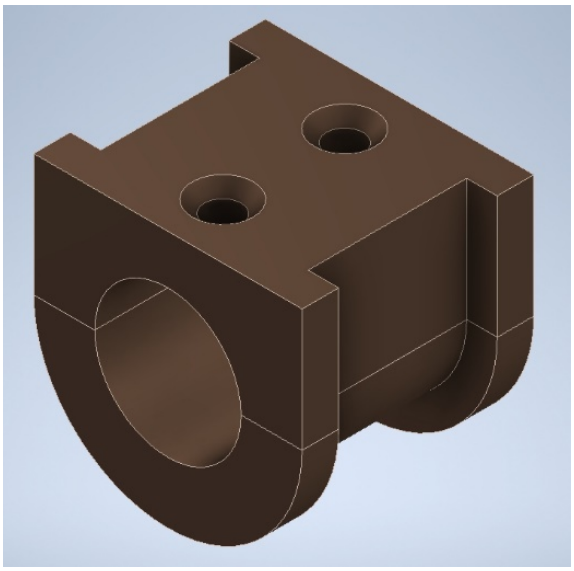


Ilustración 323. Cojinete de la tapa del vástago del pistón.

3.1.2.1.63. Marca 102. Pasador 1 de ajuste a presión del cojinete

Se extruye el alzado de la pieza (Ilustración 324).

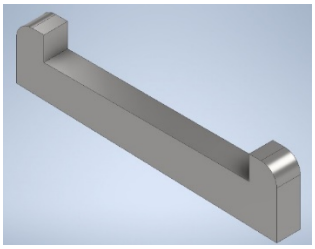


Ilustración 324. Pasador 1 de ajuste a presión del cojinete.

3.1.2.1.64. Marca 101. Pasador 2 de ajuste a presión del cojinete

Se extruye el alzado de la pieza (Ilustración 325), al igual que la pieza anterior.

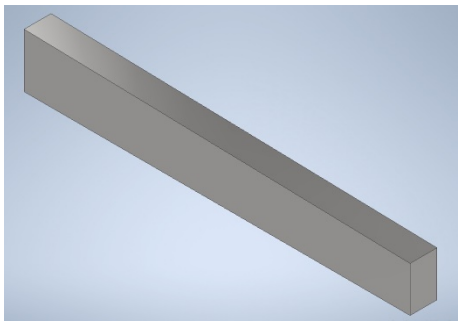


Ilustración 325. Pasador 2 de ajuste a presión del cojinete.

3.1.2.1.65. Marca 52. Barra de balance (balancín)

Se realiza un croquis del contorno exterior de la pieza y se extruye. Luego, con la operación Desfase, y proyectar geometría, se obtiene un contorno cerrado del perímetro exterior, y se extruye igualmente. Finalmente, se extruyen los cilindros necesarios (5 cilindros) y se realizan los agujeros necesarios (Ilustración 326).

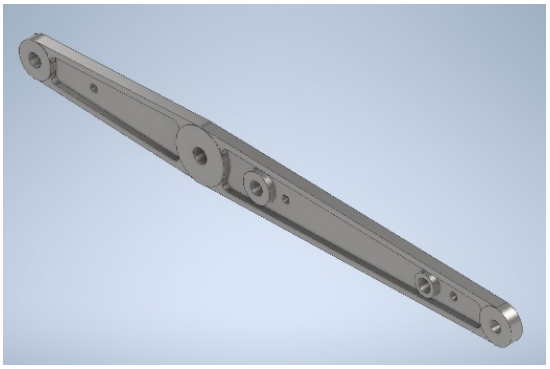


Ilustración 326. Barra de balance (balancín).

3.1.2.1.66. Marca 140. Barra transversal de acople del pistón

Se obtiene a través de una extrusión de revolución (Ilustración 327).

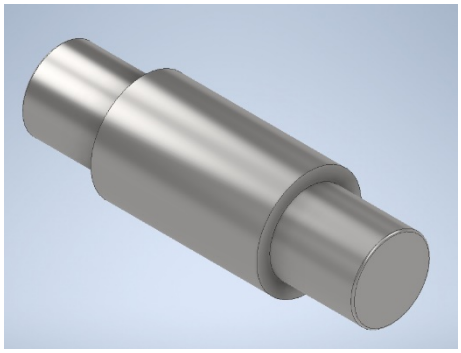


Ilustración 327. Barra transversal de acople del pistón.

3.1.2.1.67. Marca 112. Barra transversal de unión de barras de balance

Se extruye un cilindro y se realiza un agujero roscado en su eje longitudinal (Ilustración 328).

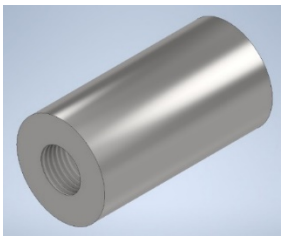


Ilustración 328. Barra transversal de unión de barras de balance.

3.1.2.1.68. Marca 108. Barra transversal de acople de biela

Se croquiza un perfil y un eje de revolución. A través de la operación Revolución, se obtiene la pieza (Ilustración 329).

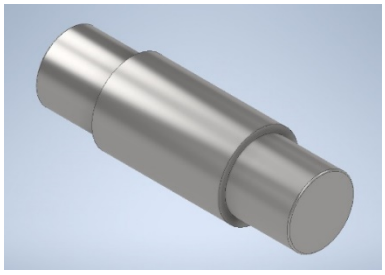


Ilustración 329. Barra transversal de acople de biela.

3.1.2.1.69. Marca 109. Barra transversal de acople de barra de media estancia

Se realiza una revolución y se realiza una rosca en los extremos (Ilustración 330).

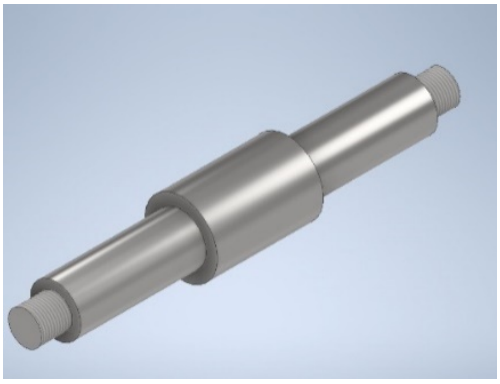


Ilustración 330. Barra transversal de acople de barra de media estancia.

3.1.2.1.70. Marca 54. Barra transversal de acople de la biela de la bomba

Al igual que en las últimas piezas, se realiza una revolución y un roscado en el extremo izquierdo de la pieza de la figura (Ilustración 331).

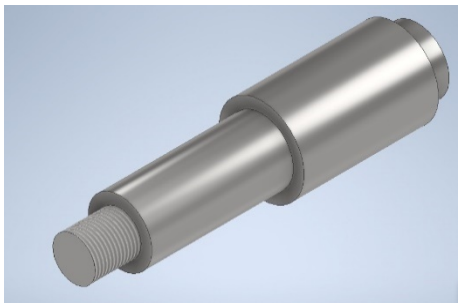


Ilustración 331. Barra transversal de acople de la biela de la bomba.

3.1.2.1.71. Marca 55. Barra transversal de acople de barra de estancia extrema

Se realiza una revolución y un roscado de los extremos (Ilustración 332).

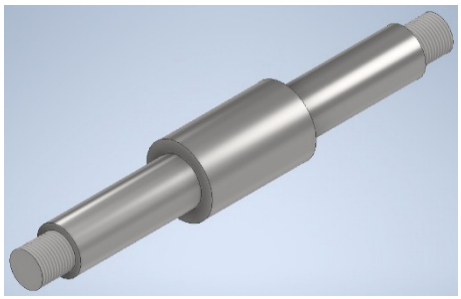


Ilustración 332. Barra transversal de acople de barra de estancia extrema.

3.1.2.1.72. Marcas 73 y 74. Cabeza y cuerpo de biela

En primer lugar, se realiza el croquis de la cabeza de la biela y se extruye dicho croquis. Se realizan los agujeros pasantes para posteriormente, unir cabeza y cuerpo (aunque en el modelo 3D están piezas vayan juntas, y luego se dividan en cabeza y cuerpo con el comando Dividir, en la realidad van separadas y es necesario unirlas por pernos). Finalmente, se realiza un perfil de revolución del cuerpo de la biela, y en el extremo izquierdo de la pieza de la imagen (Ilustración 333), se realiza un corte de un rectángulo.

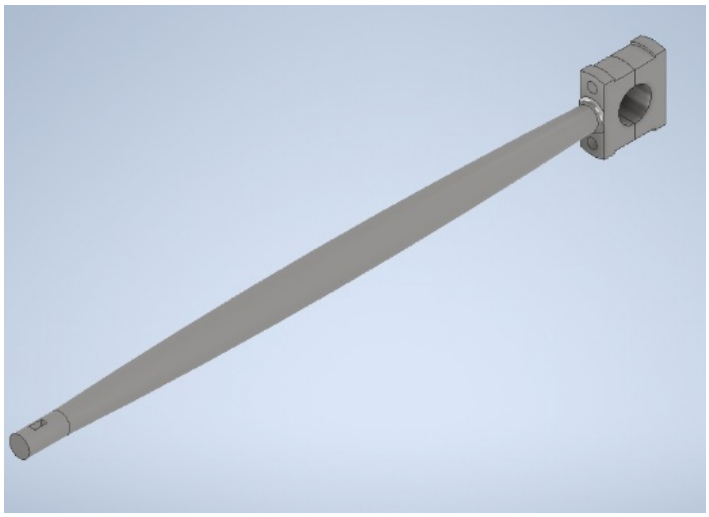


Ilustración 333. Cabeza y cuerpo de biela.

3.1.2.1.73. Marca 173. Pasador rectangular del vástago del pistón 2

Se extruye un rectángulo (Ilustración 334).

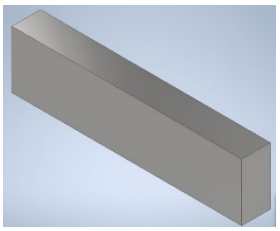


Ilustración 334. Pasador rectangular del vástago del pistón 2.

3.1.2.1.74. Marca 158. Cojinete de biela

Se obtiene directamente a través de una revolución (Ilustración 335).

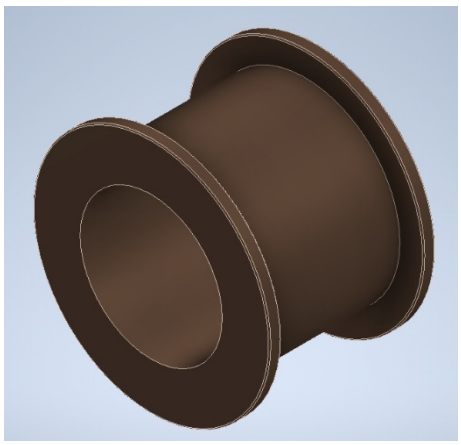


Ilustración 335. Cojinete de biela.

3.1.2.1.75. Marca 105. Tapa de biela

Esta pieza se modela de igual manera que la tapa del vástago del pistón (marca 44), pero con diferentes medidas (Ilustración 336).

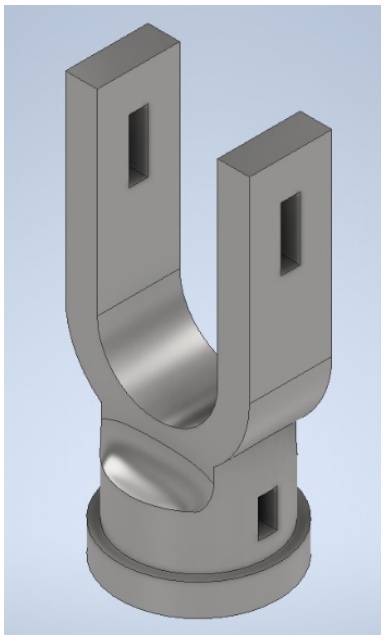


Ilustración 336. Tapa de biela.

3.1.2.1.76. Marca 106. Cojinete de la tapa de biela

Se obtiene el modelo 3D (Ilustración 337), de igual manera que el cojinete de la tapa del vástago del pistón (marca 103), pero con diferentes medidas.

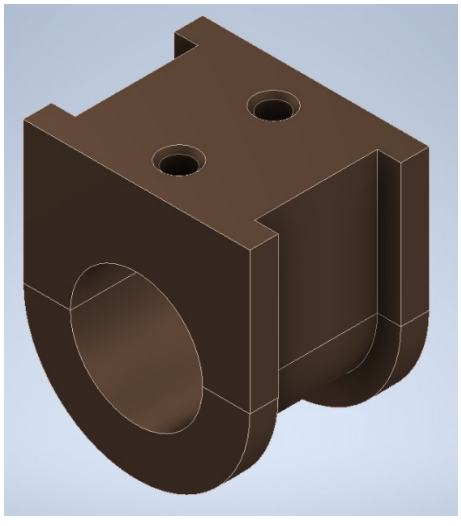


Ilustración 337. Cojinete de la tapa de biela.

3.1.2.1.77. Marca 104. Pasador 1 de ajuste a presión del cojinete de la tapa de biela

Se extruye un alzado como el de la pieza (Ilustración 338).

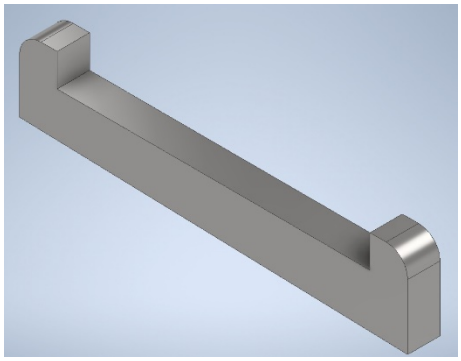


Ilustración 338. Pasador 1 de ajuste a presión del cojinete de la tapa de biela.

3.1.2.1.78. Marca 107. Pasador 2 de ajuste a presión del cojinete de la tapa de biela

Al igual que en la pieza anterior, se extruye el alzado de la pieza (Ilustración 339).

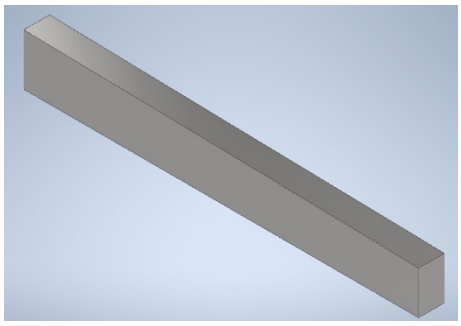


Ilustración 339. Pasador 2 de ajuste a presión del cojinete de la tapa de biela.

3.1.2.1.79. Marca 99. Cabeza de barra estabilizadora móvil de media estancia.

Se extruye un cilindro, y posteriormente otro, cuyo eje longitudinal sea perpendicular al obtenido en primer lugar. Luego se realiza el corte de una circunferencia en el cilindro de mayor diámetro y seguidamente, un agujero roscado en el otro cilindro. Finalmente, con la operación Agujero, se realiza un agujero avellanado para la lubricación (Ilustración 340).

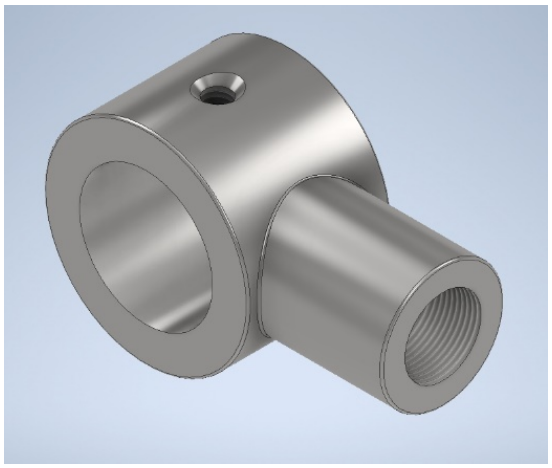


Ilustración 340. Cabeza de barra estabilizadora móvil de media estancia.

3.1.2.1.80. Cabezas de la barra estabilizadora móvil de fin de estancia

Se modela de igual manera que la pieza anterior (marca 99), pero el orifico del agujero avellanado se realiza en otra posición (Ilustración 341).

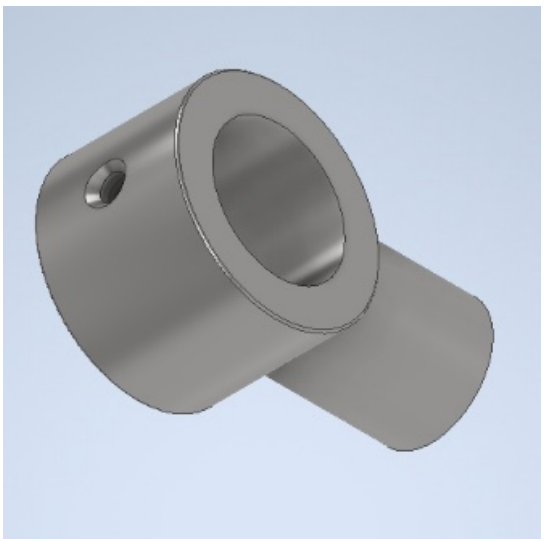


Ilustración 341. Cabezas de la barra estabilizadora móvil de fin de estancia.

3.1.2.1.81. Marca 64. Pistón de la bomba

Se extruye un cilindro, y en el extremo del mismo, se realiza un croquis de un rectángulo y dos circunferencias concéntricas en uno de sus extremos. Posteriormente, se recortan las aristas determinadas para obtener un contorno cerrado y se extruye dicho perfil (Ilustración 342).

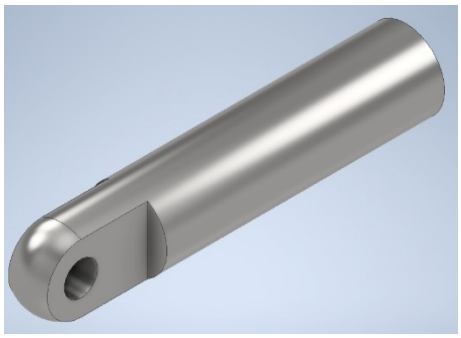


Ilustración 342. Pistón de la bomba.

3.1.2.1.82. Marca 53. Biela del pistón de la bomba

Para modelar la pieza de la Ilustración 343, se extruye una circunferencia. En uno de sus extremos se realiza un roscado y, en el extremo opuesto, se extruye una corona circular. Finalmente, se realizan los redondeos necesarios, en este caso, en la arista de unión del cilindro y de la corona circular.

Ilustración 343. Biela del pistón de la bomba.

3.1.2.1.83. Marca 150. Cabeza de la biela del pistón de la bomba

En primer lugar, se extruye un cuadrado. Seguidamente, se redondean tres de sus caras, uniéndolas y haciendo desaparecer una de ellas. Seguidamente, se realiza el corte de un rectángulo, de manera que deje a cada lado la misma parte de sólido. Finalmente, se realiza el orificio lateral por donde se insertará el pasador y el agujero roscado (Ilustración 344).

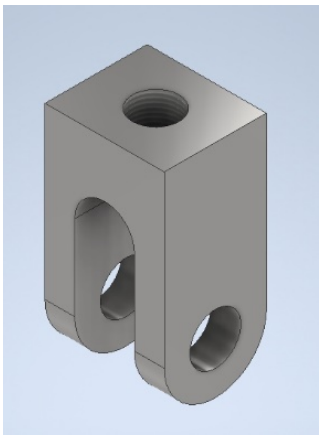


Ilustración 344. Cabeza de la biela del pistón de la bomba.

3.1.2.1.84. Marca 79. Manivela del regulador

Se extruye una circunferencia y una corona circular en su extremo. Seguidamente, en el orificio de la corona, se croquiza una circunferencia cuyo centro esté contenido en el en la circunferencia del orificio, y se realiza un corte pasante. Para finalizar, se realiza un redondeo en la arista de unión cilindro-corona circular (Ilustración 345).

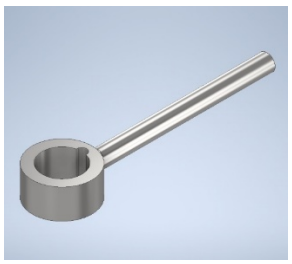


Ilustración 345. Manivela del regulador.

3.1.2.1.85. Marca 80. Eje impulsado por el regulador

Se extruye una circunferencia y se realizan tres orificios, con posición y diámetros concretos, dando lugar al sólido de la imagen (Ilustración 346).

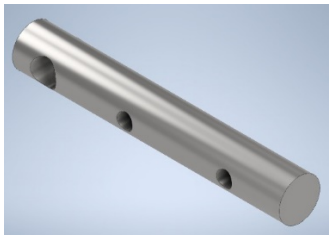


Ilustración 346. Eje impulsado por el regulador.

3.1.2.1.86. Marca 82. Tope del eje impulsado por el regulador

Se extruye una corona circular y se realiza un orificio pasante (Ilustración 347).

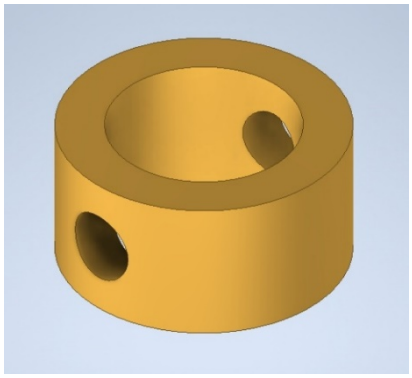


Ilustración 347. Tope del eje impulsado por el regulador.

3.1.2.1.87. Marca 11. Engranaje impulsado por el regulador

Al igual que en los engranajes de la invención 1, utilizando el módulo Diseño, se pueden insertar engranajes cónicos, con un determinado módulo, diámetro primitivo y número de dientes. Tras insertarlo, se abre el archivo del engranaje y se pueden realizar modificaciones. En este caso, se extruye un cilindro en la cara plana del engranaje y, un orificio pasante en el centro del cilindro. Seguidamente, se realiza otro orificio pasante, cuya dirección de corte sea perpendicular al eje longitudinal del cilindro, de manera que posteriormente, se introduzca un pasador por el orificio y el engranaje quede acoplado al eje (Ilustración 348).

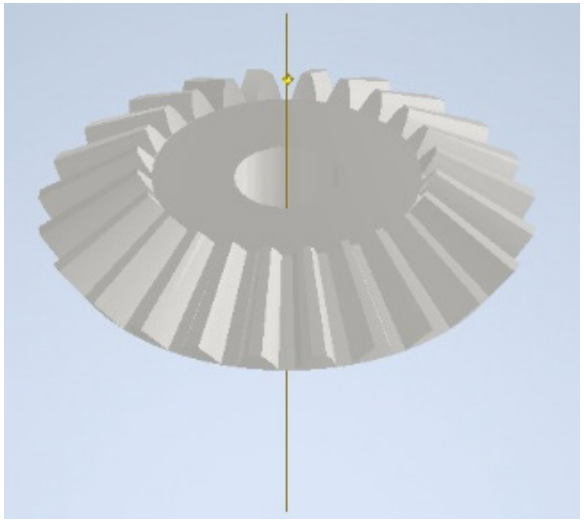


Ilustración 348. Engranaje impulsado por el regulador.

3.1.2.1.88. Marca 50. Tope superior del husillo vertical del regulador

Se extruye una ranura con dos orificios y seguidamente, una circunferencia. Para terminar, se realizan los orificios necesarios (uno pasante en la dirección longitudinal del cilindro, y otro perpendicular a dicha dirección, para poder insertar un pasador) (Ilustración 349).

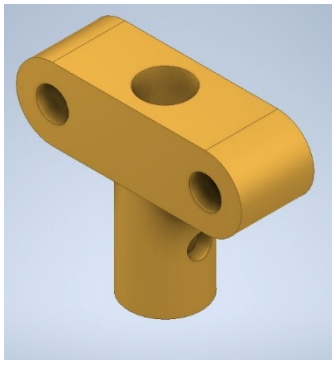


Ilustración 349. Tope superior del husillo vertical del regulador.

3.1.2.1.89. Marca 12. Tope del husillo vertical del regulador

Se modela de igual manera que la marca 82. Se extruye una corona circular y se realiza un orificio pasante (Ilustración 350).

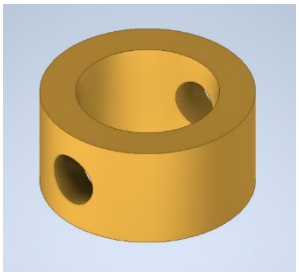


Ilustración 350. Tope del husillo vertical del regulador.

3.1.2.1.90. Marca 9. Engranaje del husillo vertical del regulador

Se inserta al igual que el engranaje impulsado (marca 11), indicando módulo, número de dientes y diámetro primitivo. Seguidamente, se abre el archivo y se edita de igual manera que el anterior engranaje, pero con diferentes medidas. Es de vital importancia recordar que dos ejes que irán engranados, deben tener el mismo módulo (Ilustración 351).

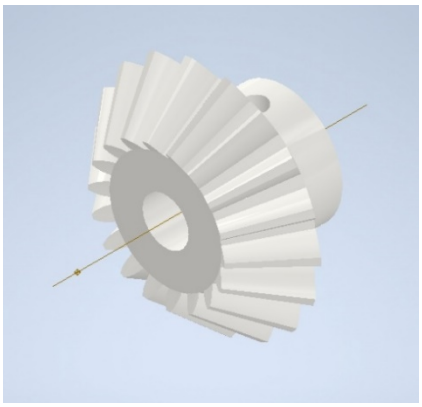


Ilustración 351. Engranaje del husillo vertical del regulador.

3.1.2.1.91. Marca 65. Eje del husillo vertical del regulador

Se extruye un rectángulo y se realizan diversos orificios (Ilustración 352).

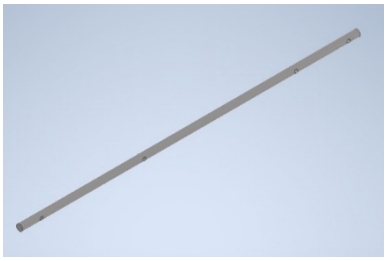


Ilustración 352. Eje del husillo vertical del regulador.

3.1.2.1.92. Marca 46. Collar deslizante del regulador

En primer lugar, se extruye una ranura con dos orificios. Seguidamente, por una revolución, se extruye el cilindro con los dos anillos. Para finalizar, se realiza una extrusión de corte en las ranuras, de un rectángulo, de forma que divida la ranura en dos partes iguales. Finalmente, se realizan tanto el orificio longitudinal como los redondeos de aristas (Ilustración 353).

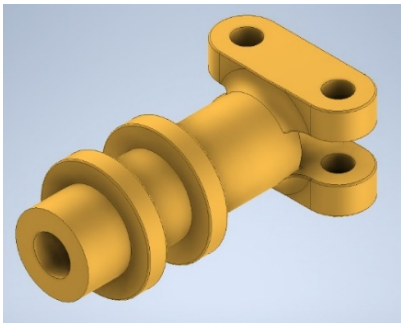


Ilustración 353. Collar deslizante del regulador.

3.1.2.1.93. Bulones con taladros

Se extruye un cilindro y se realiza un orificio. El otro se puede obtener por simetría de operaciones (Ilustración 354). Las piezas de marcas 48 y 146 se modelan de esta manera.

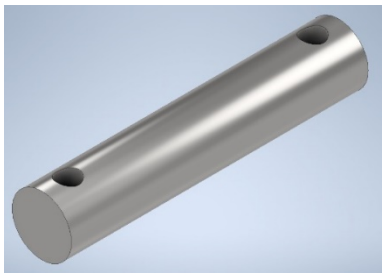


Ilustración 354. Bulones con taladros.

3.1.2.1.94. Marca 49. Brazo inferior del regulador

Se extruye un rectángulo para obtener un hexaedro y posteriormente, se extruyen dos coronas circulares, una en cada extremo del hexaedro. No se puede realizar una simetría de las mismas, ya que se extruyen hasta una profundidad distinta. Para terminar, se redondean aristas para evitar las aristas vivas (Ilustración 355).

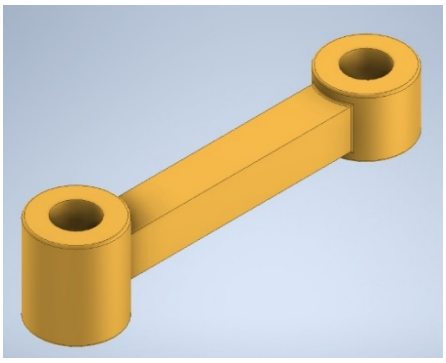


Ilustración 355. Brazo inferior del regulador.

3.1.2.1.95. Marca 47. Brazo superior del regulador

Se extruye el alzado de la pieza de la imagen y seguidamente, dos cilindros en la parte inferior (lateral izquierdo) con diferentes diámetros y longitudes. En el de menor diámetro y mayor longitud, se realiza un roscado. Asimismo, en la planta del sólido, se recorta un rectángulo, para dividir esa parte de la pieza en dos partes iguales. Para finalizar, se realizan dos orificios diferentes (Ilustración 356).

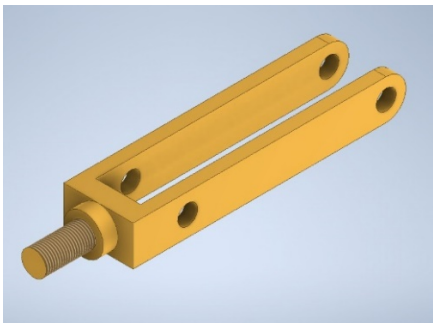


Ilustración 356. Brazo superior del regulador.

3.1.2.1.96. Marca 57. Contrapeso del brazo superior del regulador

Se realiza una extrusión de revolución de una semicircunferencia y posteriormente, un agujero roscado (Ilustración 357).

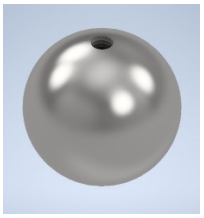


Ilustración 357. Contrapeso del brazo superior del regulador.

3.1.2.1.97. Marca 88. Yugo de control del regulador

Se extruye el croquis del alzado de la pieza (Ilustración 358). Posteriormente, se realizan cortes de tres rectángulos, uno en el centro, y los otros dos a cada lado, para obtener la forma de la pieza. Finalmente, se extruye un cilindro en uno de los brazos, y con simetría, se obtiene el del otro lado (Ilustración 359).

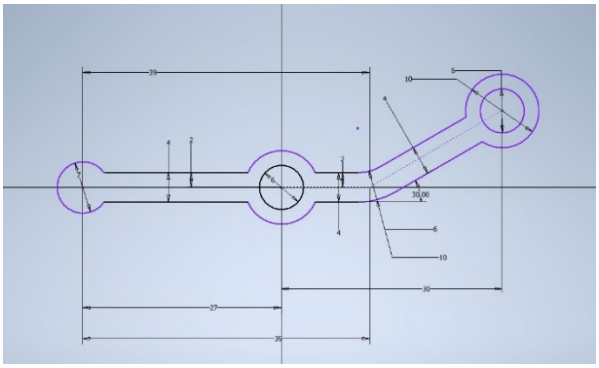


Ilustración 358. Croquis.

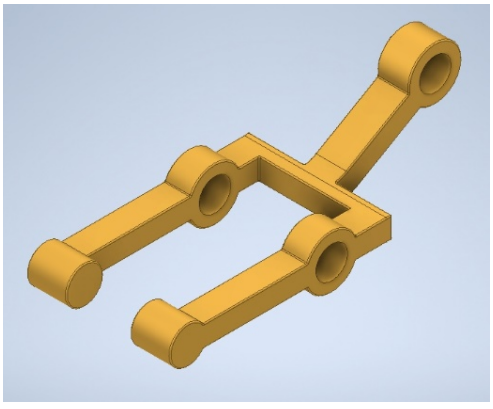


Ilustración 359. Yugo de control del regulador

3.1.2.1.98. Bulones y ejes con un extremo roscado

Se extruyen dos cilindros. En el de menor diámetro y longitud, se realiza el roscado (Ilustración 360). Las piezas de marcas 92, 126 y 159, se modelan así.

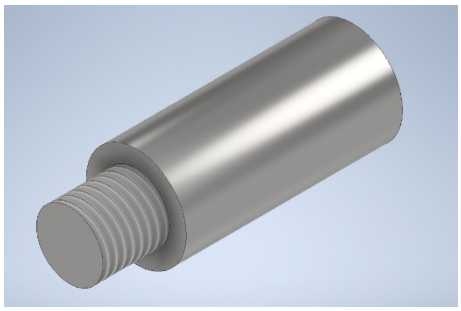


Ilustración 360. Bulones y ejes con un extremo roscado.

3.1.2.1.99. Marca 25. Válvula de control de suministro de vapor

Se extruyen dos circunferencias concéntricas. En la de mayor diámetro, se realiza un orificio pasante, cuya dirección de corte es perpendicular al eje longitudinal del cilindro (Ilustración 361).

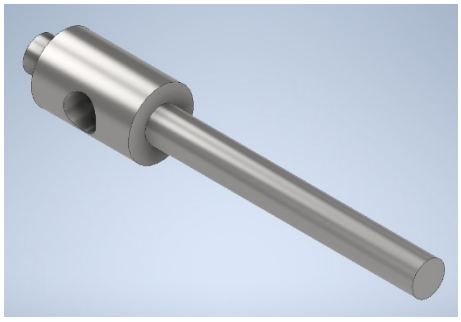


Ilustración 361. Válvula de control de suministro de vapor.

3.1.2.1.100. Marca 24. Manivela de la válvula de control de suministro de vapor

Se realiza un croquis de dos circunferencias, y se unen mediante rectas tangentes a ambas. Se recorta la parte de la circunferencia que queda dentro, para obtener así un único recinto cerrado. Seguidamente, se dibujan dos circunferencias concéntricas, y se extruye el croquis resultante. Se proyecta la geometría del orificio y circunferencia de mayor diámetro, y se vuelve a extruir. Para finalizar, se realiza el orificio (Ilustración 362).

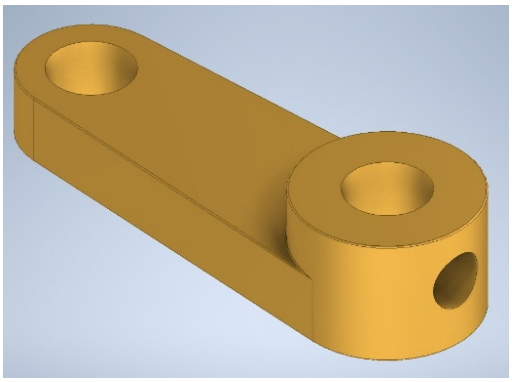


Ilustración 362. Manivela de la válvula de control de suministro de vapor.

3.1.2.1.101. Barras con acoples en extremo sin entrada de lubricante

Las marcas 38 y 90 se modelan de esta forma. Se extruye una circunferencia y en una de las bases del cilindro, una corona circular. Se realiza simetría de esta última operación, y se obtiene el modelo 3D de la pieza (Ilustración 363).

Ilustración 363. Barras con acoples en extremo sin entrada de lubricante.

3.1.2.1.102. Marcas 171 y 165. Partes superior e inferior de la cabeza de correa excéntrica

Se realiza un croquis del alzado de la pieza de la imagen (Ilustración 364). Posteriormente, se realizan orificios, orificios roscados y redondeos. Asimismo, se debe crear un plano auxiliar perpendicular a una recta para poder realizar el orificio, cuya dirección de corte forma 45º con la dirección horizontal. Finalmente, se divide la pieza en dos mitades.

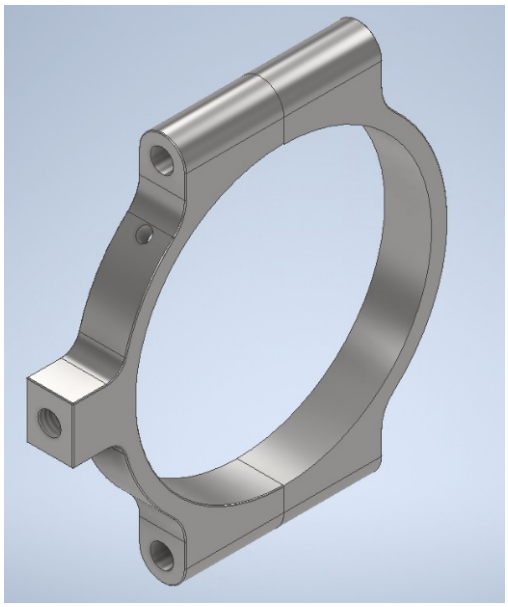


Ilustración 364. Partes superior e inferior de la cabeza de correa excéntrica.

3.1.2.1.103. Marcas 168 y 170. Partes inferior y superior del casquillo de correa excéntrica

Se extruye una corona circular. Se crea un plano auxiliar, de igual manera que para la pieza anterior (marcas 171 y 165), y se realiza un corte barrido. Mediante simetría, se obtiene el otro orificio y se obtiene el modelo de la figura (Ilustración 365).

Ilustración 365. Partes inferior y superior del casquillo de correa excéntrica.

3.1.2.1.104. Marca 84. Biela de la correa excéntrica

Se extruye un cilindro, y en un extremo se realiza un roscado, y en el otro, se extruye una corona circular. Se realiza un redondeo de la arista de unión cilindro-corona, y se realiza el agujero avellanado a través de la operación Agujero (Ilustración 366).

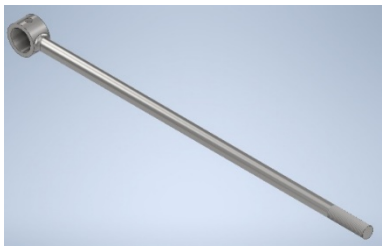


Ilustración 366. Biela de la correa excéntrica.

3.1.2.1.105. Marca 125. Eje 1 del eje basculante de la varilla de la válvula

Se extruye un cilindro. Posteriormente, en una de sus bases, se extruye otro cilindro y se realiza un roscado en la cara de este último. Para terminar, se hace simetría de estas dos últimas operaciones, y dos orificios pasantes, dando así lugar a la pieza de la imagen (Ilustración 367).

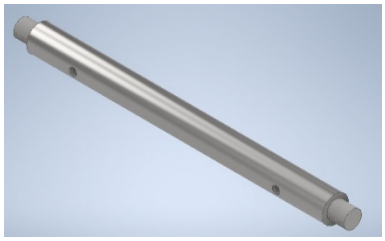


Ilustración 367. Eje 1 del eje basculante de la varilla de la válvula.

3.1.2.1.106. Marca 127. Balancín 1 de la varilla de la válvula

Se realiza un croquis del alzado de la pieza y se extruye. Luego, se extruyen tres coronas circulares, y finalmente, se realiza un agujero roscado en el orificio superior y otro en el inferior (Ilustración 368).

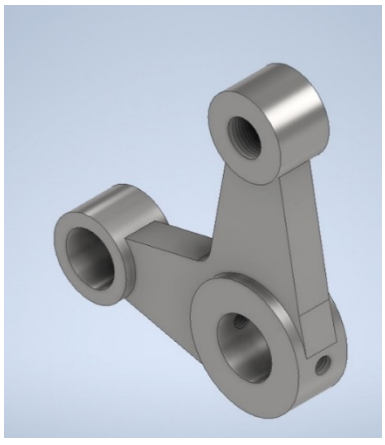


Ilustración 368. Balancín 1 de la varilla de la válvula.

3.1.2.1.107. Marca 32. Eje 3 del eje basculante de la varilla de la válvula

Se extruyen diversos cilindros y se realizan dos roscados (Ilustración 369).

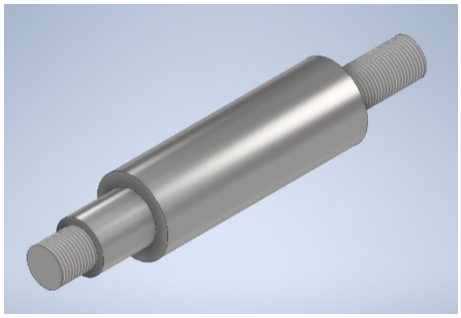


Ilustración 369. Eje 3 del eje basculante de la varilla de la válvula.

3.1.2.1.108. Marca 160. Balancín 2 de la varilla de la válvula

Se croquizan dos circunferencias y se unen mediante rectas tangentes. Se recorta la parte interna de ambas circunferencias y se dibujan otras dos concéntricas (que serán los orificios). Se extruye el contorno cerrado y seguidamente, se proyecta la geometría en un nuevo croquis, de las coronas circulares, y se extruyen. Finalmente, se realiza un agujero roscado en la dirección perpendicular al eje longitudinal del orificio de mayor diámetro (Ilustración 370).

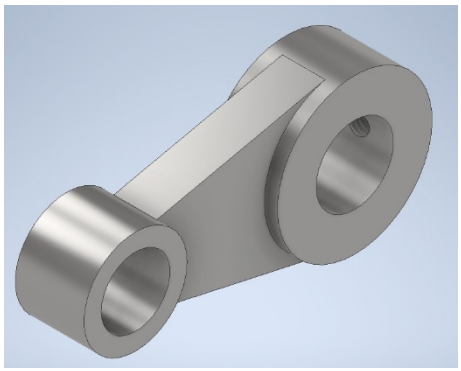


Ilustración 370. Balancín 2 de la varilla de la válvula.

3.1.2.1.109. Marca 121. Válvula de corredera

Se extruye un cubo y se realiza el corte de un cuadrado para realizar el vaciado. Posteriormente se extruyen dos rectángulos con el mismo centro, para obtener así la pared de la válvula. Finalmente, se extruye un cilindro y se realiza un agujero roscado así como los respectivos redondeos de aristas (Ilustración 371).

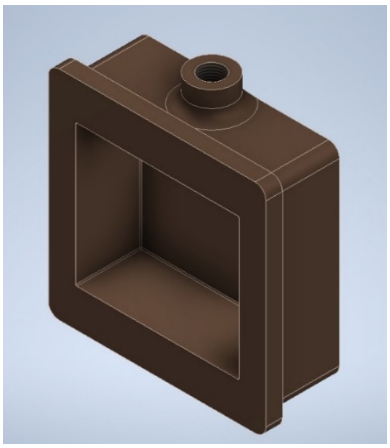


Ilustración 371. Válvula de corredera.

3.1.2.1.110. Marca 39. Varilla de la válvula de corredera

Se extruyen dos cilindros y se realizan dos roscados (Ilustración 372).

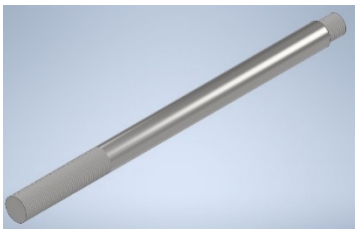


Ilustración 372. Varilla de la válvula de corredera.

3.1.2.1.111. Marca 40. Barra superior de la varilla de la válvula de corredera

Se extruye un cuadrado. Posteriormente, dos cilindros en una de las bases del prisma y se rosca la superficie del cilindro de menor diámetro. Asimismo, se realizar una simetría de estas últimas operaciones, y seguidamente, el agujero pasante. Finalmente, el redondeo de aristas (Ilustración 373).

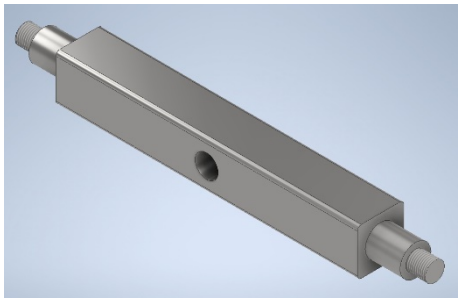


Ilustración 373. Barra superior de la varilla de la válvula de corredera.

3.1.2.1.112. Elementos de fijación

Este tipo de elementos, los cuales son pernos, tuercas, arandelas, …, dado que están normalizados, y están contenidos en la biblioteca de Inventor, no se requiere realizar el modelado 3D de cada uno de ellos, sino que, se introducirán directamente en el ensamblaje utilizando las restricciones geométricas adecuadas para poder fijarlos en una posición determinada.

3.1.2.2. Descripción del ensamblaje

Al igual que en la invención número 1, se procederá a explicar en primer lugar los diferentes subensambles que se han creado, para, de esta manera, simplificar el proceso de ensamblaje, ya que, al haber un número tan elevado de componentes, se requiere de la aplicación de multitud de restricciones, para poder conseguir un correcto posicionamiento de los elementos del conjunto, para de esta manera, obtener un funcionamiento correcto de la invención y lo más fidedigna posible al modelo real.

Por tanto, se procederá a explicar cada uno de los subensamblajes, detallando sobre todo, los elementos que lo contienen, y de una forma breve, cómo se han ensamblado los mismos. Esto último se hará de manera breve dado que, en casi todos los subconjuntos, se utilizan las mismas restricciones, que son en la gran mayoría de nivelación entre superficies o de coincidencia.

Finalmente, se explicará el ensamblaje final, así como se mostrarán diferentes perspectivas del mismo.

3.1.2.2.1. Subensamblaje 1

Este subensamblaje está formado por las marcas 7, 8, 16, 22, 23, 72,124 y 156. Se han utilizado restricciones de coincidencia y nivelación de superficies y ejes. Además, se insertan números elementos de fijación para unir las partes de la bancada, así como para unir la placa del nombre a la misma (Ilustración 374).

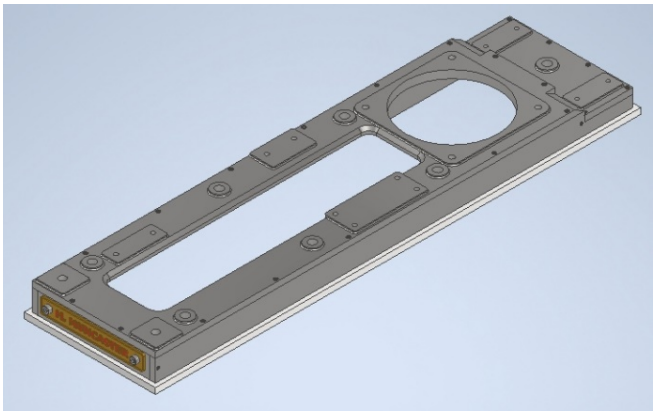


Ilustración 374. Subensamblaje 1.

3.1.2.2.2. Subensamblaje 2

Está formado por las piezas de marcas 75, 114 y 118, dando así lugar el subconjunto de la figura (Ilustración 375). Se aplican restricciones de coincidencia de superficies.

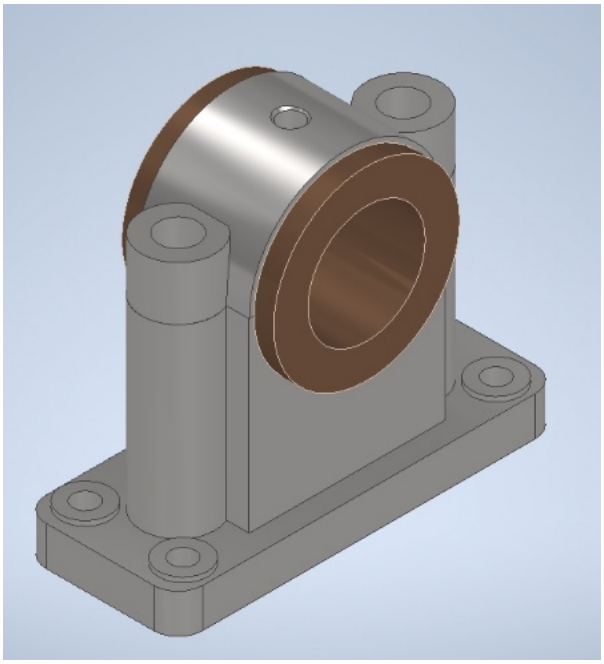


Ilustración 375. Subensamblaje 2.

3.1.2.2.3. Subensamblaje 3

Las piezas de marcas 1, 4, 62, 148 y 153 dan lugar al subensamblaje de la figura (Ilustración 376). Se utilizan restricciones de coincidencia de ejes y superficies.

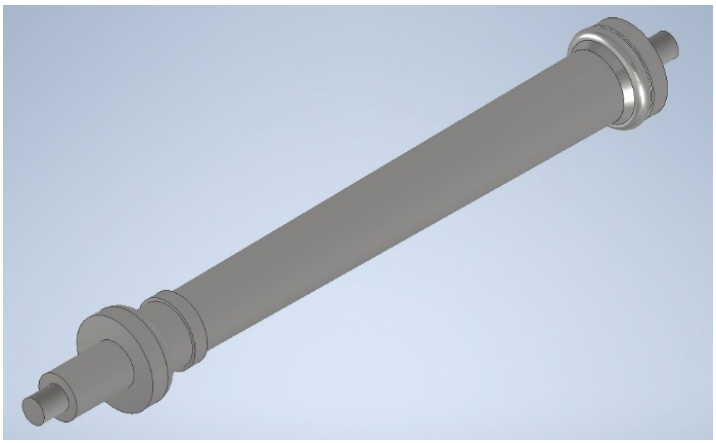


Ilustración 376. Subensamblaje 3.

3.1.2.2.4. Subensamblaje 4

Este subensamblaje (Ilustración 377) está formado por las piezas de marcas 4, 115 y 117. Mediante restricciones geométricas de coincidencia de ejes, así como de nivelación de superficies, se consigue dar una posición correcta a cada elemento.

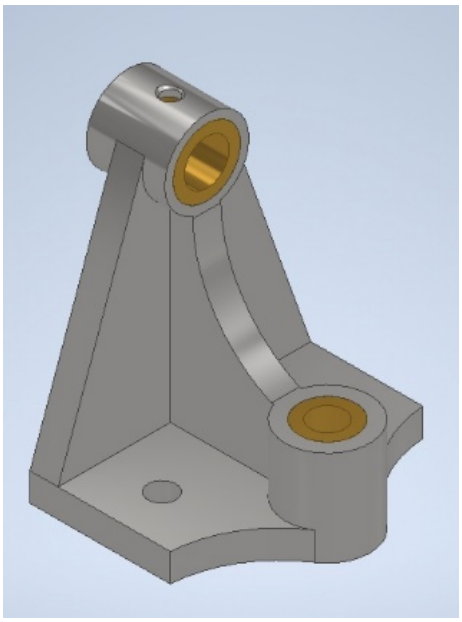


Ilustración 377. Subensamblaje 4.

3.1.2.2.5. Subensamblaje 5

Este subconjunto está formado por las piezas de marcas 18, 19, 119, 122 y 136. Estableciendo restricciones de coincidencia de superficies, ejes, y de nivelación de superficies, se obtiene el subconjunto de la imagen (Ilustración 378).

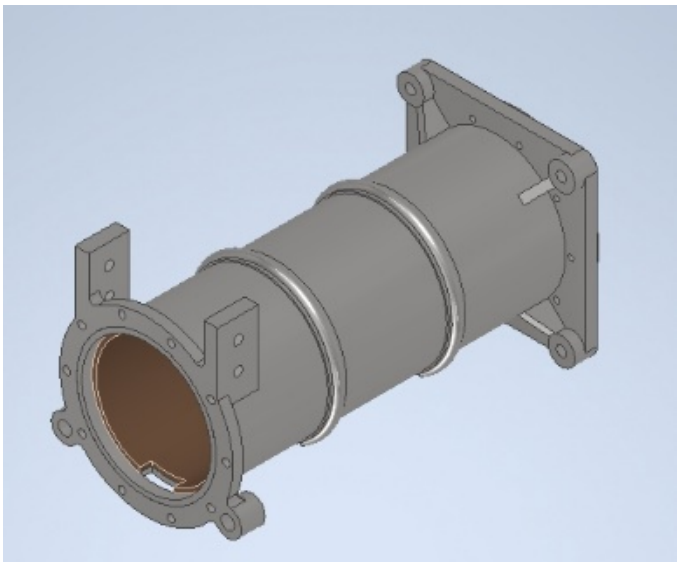


Ilustración 378. Subensamblaje 5.

3.1.2.2.6. Subensamblaje 6

Está compuesto por las marcas 95, 96, 137 y 138. Aplicando coincidencia de superficies, así como nivelación de las mismas, y coincidencia de ejes, se obtiene el subensamblaje de la figura (Ilustración 379).

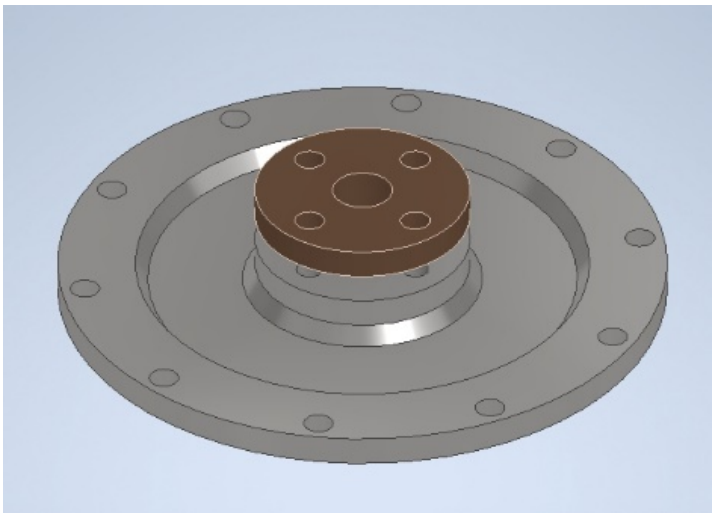


Ilustración 379. Subensamblaje 6.

3.1.2.2.7. Subensamblaje 7

El subconjunto (Ilustración 380), está compuesto de las marcas 120 y 133. Se han aplicado restricciones de coincidencia de superficies y de aristas para colocar ambas piezas en la posición mostrada.

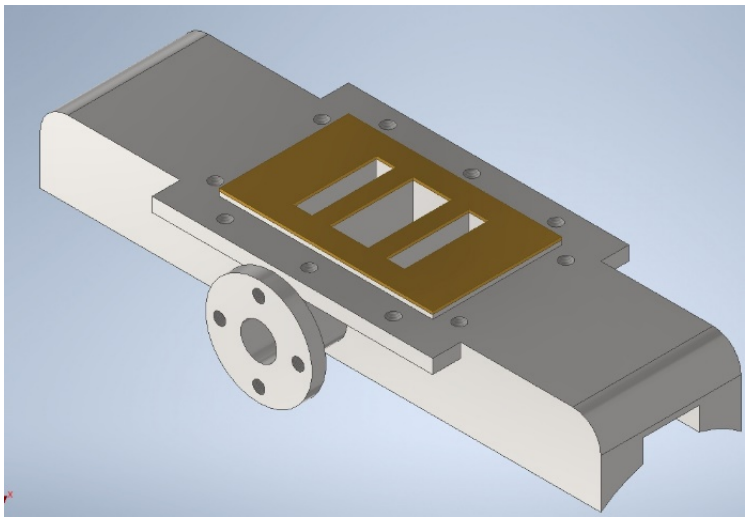


Ilustración 380. Subensamblaje 7.

3.1.2.2.8. Subensamblaje 8

Está formado por las marcas 34, 36, 129 y 130. Para poder situar cada pieza en el lugar adecuado y reducir los grados de libertad del subconjunto, se aplican restricciones de coincidencia de superficies y ejes (Ilustración 381).

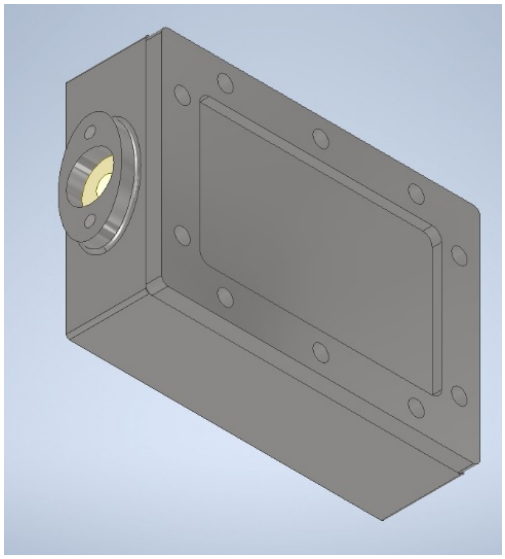


Ilustración 381. Subensamblaje 8.

3.1.2.2.9. Subensamblaje 9

Este subconjunto (Ilustración 382) está formado por las marcas 26, 27, 28, 29, 30, 31, 123 y 161. Se deben aplicar coincidencia de superficies y ejes, así como nivelación de superficies.

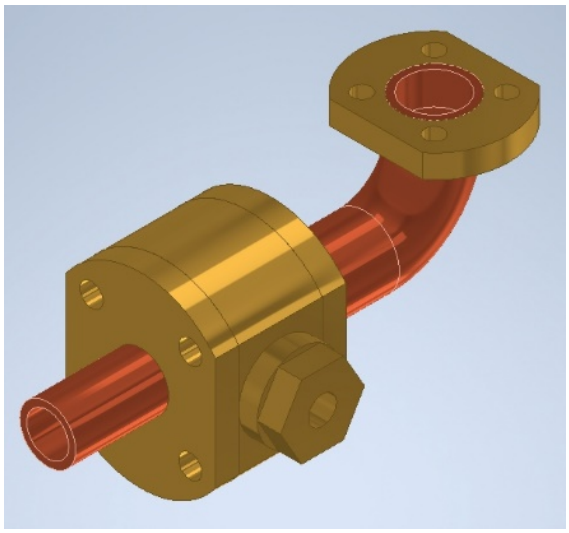


Ilustración 382. Subensamblaje 9.

3.1.2.2.10. Subensamblaje 10

Este subconjunto (Ilustración 383) está formado por las marcas 20 y 163. Se utiliza una coincidencia de ejes, y una nivelación de superficies, para introducir el cojinete en el orificio del soporte.

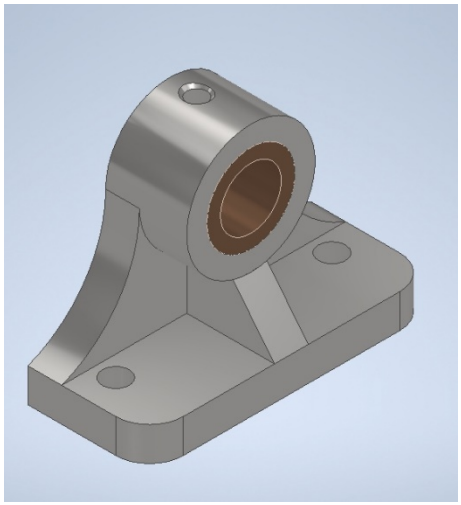


Ilustración 383. Subensamblaje 10.

3.1.2.2.11. Subensamblaje 11

El subconjunto de la figura (Ilustración 384) está formado por las marcas 86 y 149. Para introducir el cojinete en la posición mostrada, se aplican dos restricciones, una de coincidencia de ejes, siendo estos los longitudinales de los cilindros, así como de nivelación de superficies.

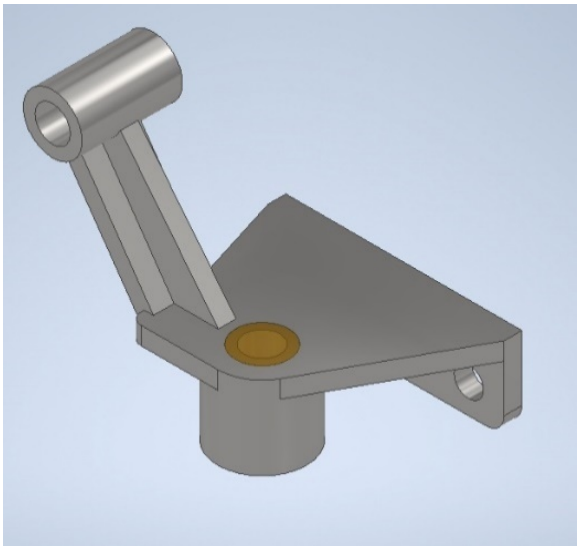


Ilustración 384. Subensamblaje 11.

3.1.2.2.12. Subensamblaje 12

El subensamblaje mostrado en la imagen (Ilustración 385), está compuesto por las piezas de marcas 5, 152 y 154. Se han aplicado coincidencia de superficies y ejes.

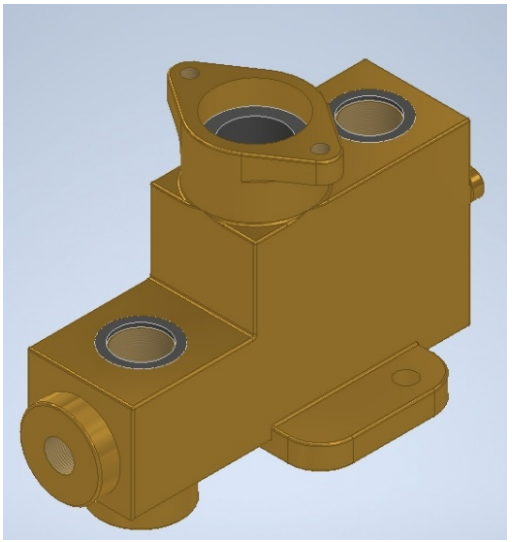


Ilustración 385. Subensamblaje 12.

3.1.2.2.13. Subensamblaje 13

Lo componen las marcas 70, 77, 78, 169, 174, 175, 176 y 177. Se han aplicado restricciones geométricas de coincidencia de ejes y superficies, así como de nivelación de superficies, para reducir el número de grados de libertad del subensamblaje y situar cada pieza correctamente (Ilustración 386).

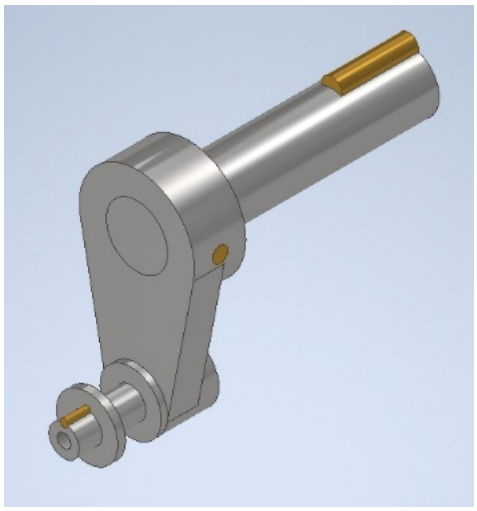


Ilustración 386. Subensamblaje 13.

3.1.2.2.14. Subensamblaje 14

El subensamblaje de la figura (Ilustración 387), se obtiene tras aplicar restricciones de coincidencia de superficies y ejes, así como de nivelación de superficies. En una de las restricciones, se debe aplicar un desfase, siendo esta la coincidencia de la cara del pasador rectangular, con el eje longitudinal del vástago del pistón. Aplicando de esta manera el desfase, se obtiene una colocación correcta del pasador. Las piezas de marcas 43, 45, 131 y 134, son las que forman este subensamblaje.

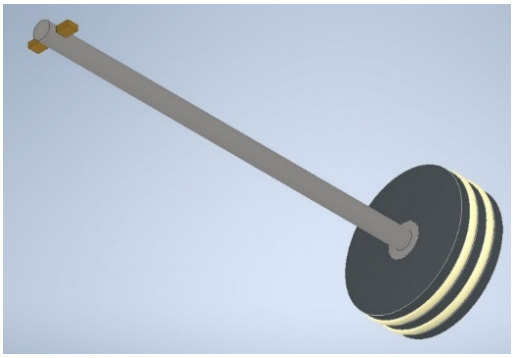


Ilustración 387. Subensamblaje 14.

3.1.2.2.15. Subensamblaje 15

El subensamblaje de la imagen (Ilustración 388) está formado por las marcas 44, 101, 102 y 103. Tras aplicar restricciones geométricas de coincidencia de superficies y de ejes, se obtiene el modelo final.

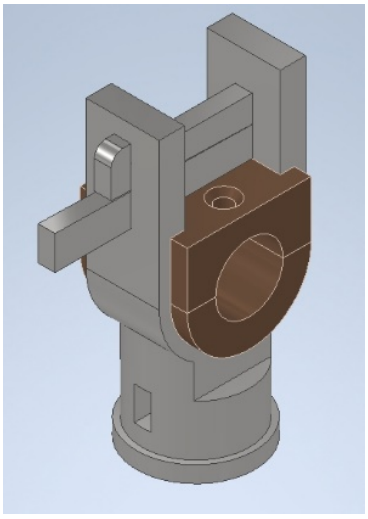


Ilustración 388. Subensamblaje 15.

3.1.2.2.16. Subensamblaje 16

Este subconjunto de la imagen (Ilustración 389) está formado por diversos elementos que tienen las marcas 52, 54, 55, 108, 109, 112 y 140. Tras establecer todas las restricciones geométricas para reducir los grados de libertad del subconjunto, aplicando para ello coincidencia de superficies y ejes, así como nivelación de superficies.

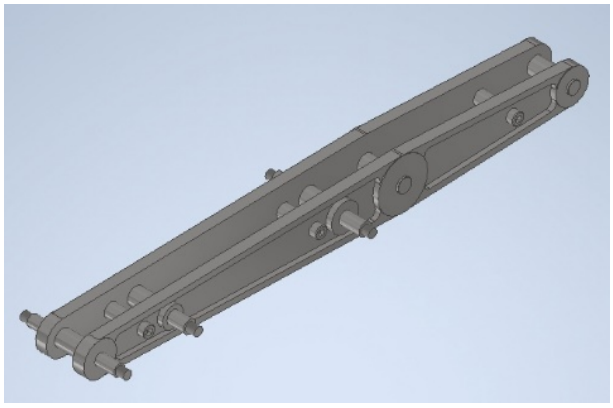


Ilustración 389. Subensamblaje 16.

3.1.2.2.17. Subensamblaje 17

El subconjunto de la figura (Ilustración 390) se compone de las marcas 73, 74, 158 y 173. Se obtiene aplicando restricciones de coincidencia de superficies y ejes, teniendo en cuenta además el desfase que hay que aplicar para colocar correctamente el pasador rectangular.

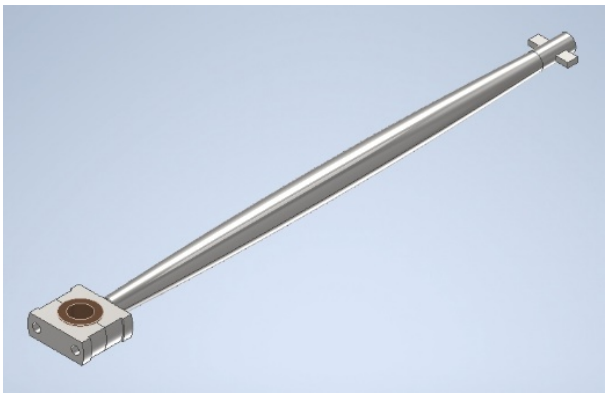


Ilustración 390. Subensamblaje 17.

3.1.2.2.18. Subensamblaje 18

Hay que aplicar las mismas restricciones geométricas que las aplicadas en el subensamblaje número 15. Las marcas 104, 105, 106 y 107 forman el subconjunto de la imagen (Ilustración 391).

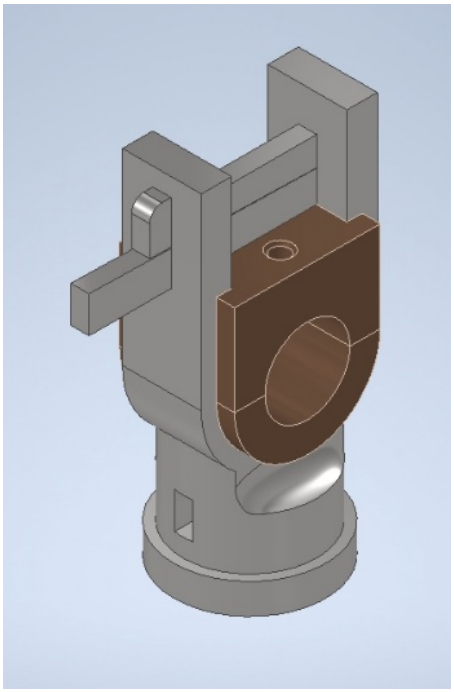


Ilustración 391. Subensamblaje 18.

3.1.2.2.19. Subensamblaje 19

Para poder obtener el subensamblaje de la imagen (Ilustración 392), se deben aplicar restricciones geométricas de tipo coincidencia de ejes y superficies, así como de nivelación. Las marcas 99, 140 y 143 forman dicho subensamblaje.

Ilustración 392. Subensamblaje 19.

3.1.2.2.20. Subensamblaje 20

Se aplican las mismas restricciones que las aplicadas anteriormente, en el subensamblaje 19. Las marcas 56, 66, 67, 68 y 145 dan lugar al subensamblaje de la imagen inferior (Ilustración 393).

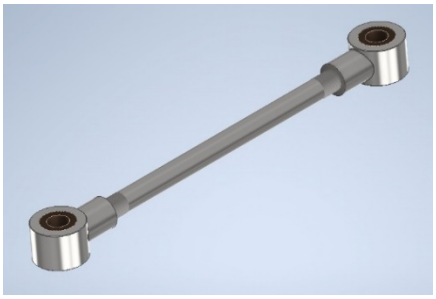


Ilustración 393. Subensamblaje 20.

3.1.2.2.21. Subensamblaje 21

Tan sólo hay que introducir el pasador en el orificio. Para ello, se aplica coincidencia de ejes y de superficies, aplicando un desfase entre la superficie del pasador y el eje longitudinal del pistón de la bomba. Las marcas 64 y 151 forman el subconjunto de la figura (Ilustración 394).

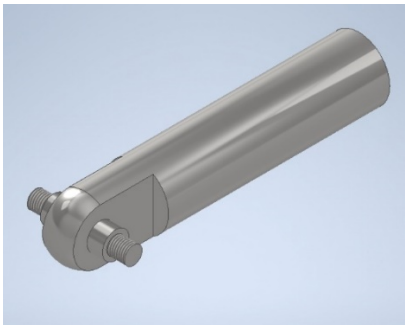


Ilustración 394. Subensamblaje 21.

3.1.2.2.22. Subensamblaje 22

Las marcas 53, 144 y 150 forman el subconjunto de la imagen inferior (Ilustración 395). Se obtiene aplicando las mismas restricciones que las aplicadas anteriormente.

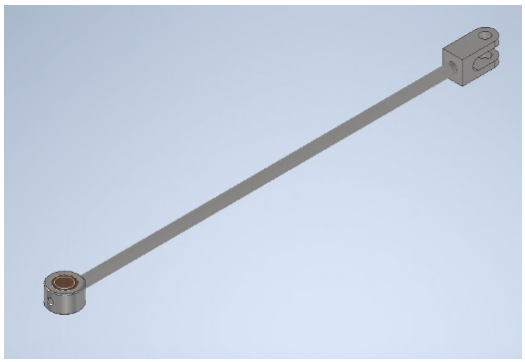


Ilustración 395. Subensamblaje 22.

3.1.2.2.23. Subensamblaje 23

Las marcas 11, 80, 81, 82 y 116 dan lugar al subconjunto de la imagen (Ilustración 396).

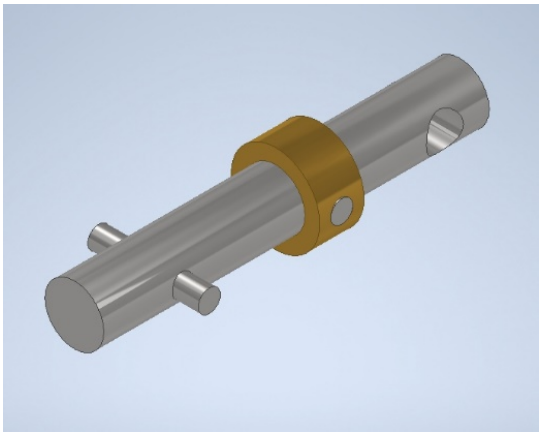


Ilustración 396. Subensamblaje 23.

3.1.2.2.24. Subensamblaje 24

Las marcas 9, 10, 12, 13, 50, 65 y 142 forman el subensamblaje (Ilustración 397). Se aplican restricciones de coincidencia de superficies y ejes, para de esta manera insertar bulones en su posición correcta, fijando así los componentes y reduciendo los grados de libertad.

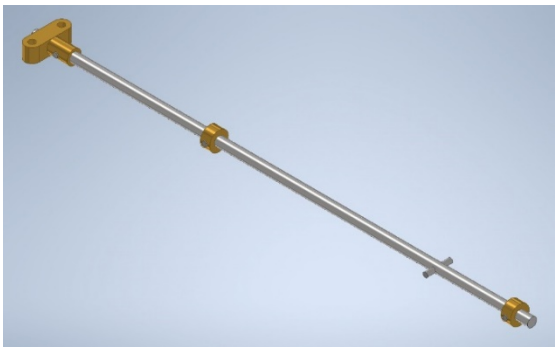


Ilustración 397. Subensamblaje 24.

3.1.2.2.25. Subensamblaje 25

Este subconjunto de la figura (Ilustración 398) está formado por las marcas 46, 48 y 93. Se aplican restricciones de coincidencia de superficies y ejes. Además, se debe tener en cuenta el desfase para el correcto posicionamiento de los pasadores. Otra opción es crear un plano auxiliar que se encuentre entre ambas bases de los pasadores y, posteriormente, aplicar coincidencia de dicho plano auxiliar y el punto medio del eje longitudinal del orificio de inserción. Tras finalizar con la restricción, se elimina la visibilidad del plano auxiliar.

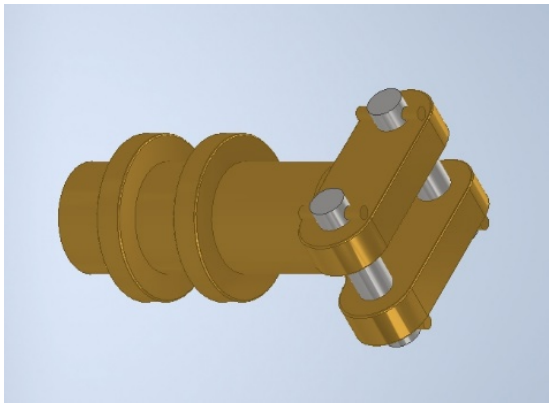


Ilustración 398. Subensamblaje 25.

3.1.2.2.26. Subensamblaje 26

Para poder obtener el subensamblaje de la Ilustración 399, se deben aplicar restricciones de coincidencia de superficies y ejes, teniendo en cuenta el desfase a aplicar para colocar correctamente bulones y pasadores, o creando un plano auxiliar, como se ha explicado con anterioridad. Las marcas 47, 57, 110 y 146 forman el subensamblaje.

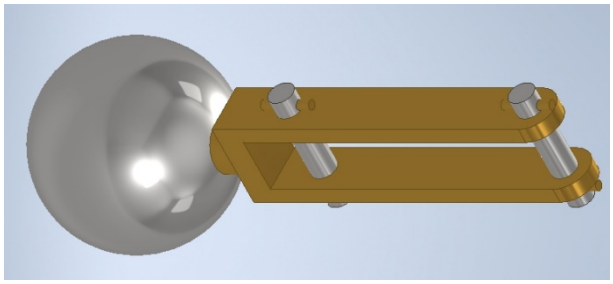


Ilustración 399. Subensamblaje 26.

3.1.2.2.27. Subensamblaje 27

Aplicando las restricciones geométricas apropiadas a los elementos de marcas 88, 91 y 92, se obtiene el subconjunto (Ilustración 400).

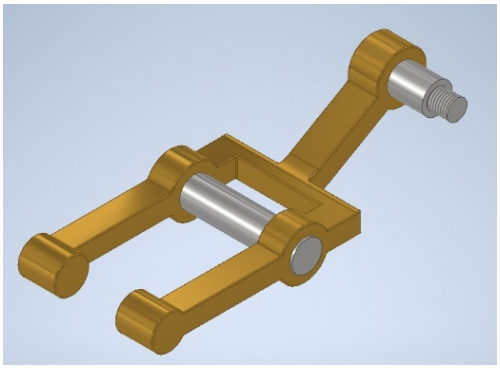


Ilustración 400. Subensamblaje 27.

3.1.2.2.28. Subensamblaje 28

Se aplican las mismas restricciones que las aplicadas con anterioridad. Las marcas 24, 25 y 159, dan lugar al subensamblaje de la imagen (Ilustración 401) tras la aplicación de las restricciones, reduciendo así el número de grados de libertad.

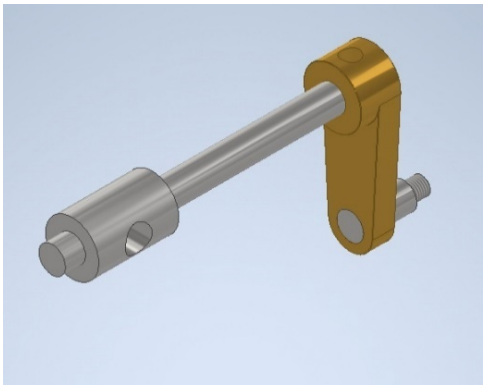


Ilustración 401. Subensamblaje 28.

3.1.2.2.29. Subensamblaje 29

Este subconjunto se obtiene (Ilustración 402), tras aplicar las correctas restricciones a las marcas 84, 164, 165, 168, 170 y 171.

Ilustración 402. Subensamblaje 29.

3.1.2.2.30. Subensamblaje 30

Se aplican restricciones de coincidencia de ejes y nivelación de superficies, para insertar y fijar los componentes en la posición correcta, y reducir el número de grados de libertad, obteniendo el subconjunto final (Ilustración 403). Las marcas que pertenecen al subconjunto son 32, 125, 126, 127 y 160.

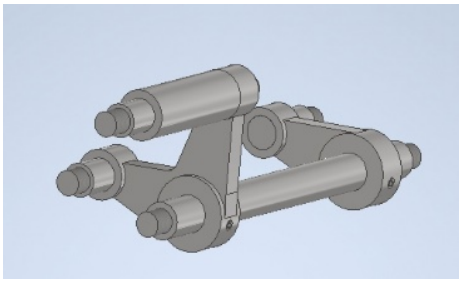


Ilustración 403. Subensamblaje 30.

3.1.2.2.31. Subensamblaje 31

Además de las marcas 39, 40 y 121, se emplean dos tuercas para fijar así la barra superior de la varilla de la válvula de corredera. Las restricciones aplicadas son coincidencia de ejes y superficies, así como una restricción angular, para que la cara de la válvula de corredera que estará posteriormente en contacto con la placa de deslizamiento, sea paralela a la cara plana de la barra superior (Ilustración 404).

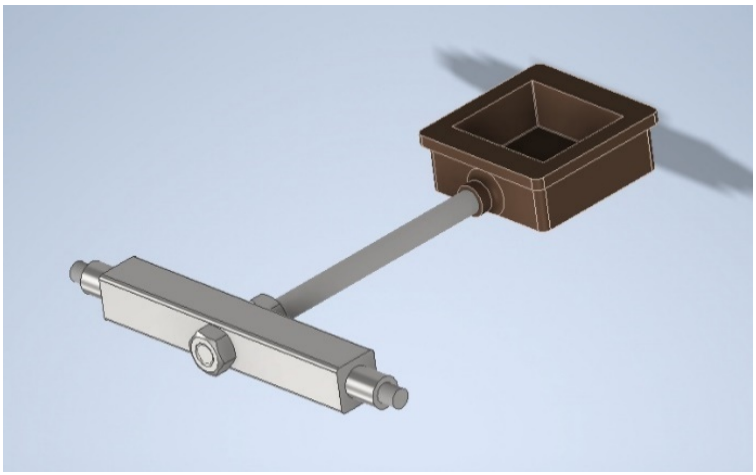


Ilustración 404. Subensamblaje 31.

3.1.2.2.32. Subensamblaje 32

Se utilizan restricciones de tipo coincidencia de ejes y nivelación de superficies a los elementos de marcas 38 y 135, dando lugar al subensamblaje de la figura (Ilustración 405).

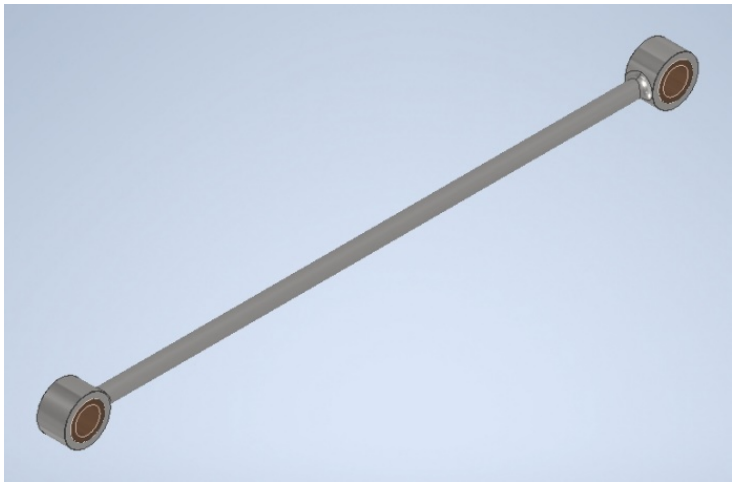


Ilustración 405. Subensamblaje 32.

3.1.2.2.33. Subensamblaje 33

Este subensamblaje está compuesto por los subensamblajes 8 y 9, y la pieza de marca 37, así como del empleo de elementos de fijación (pernos) para la fijación de elementos (Ilustración 406).

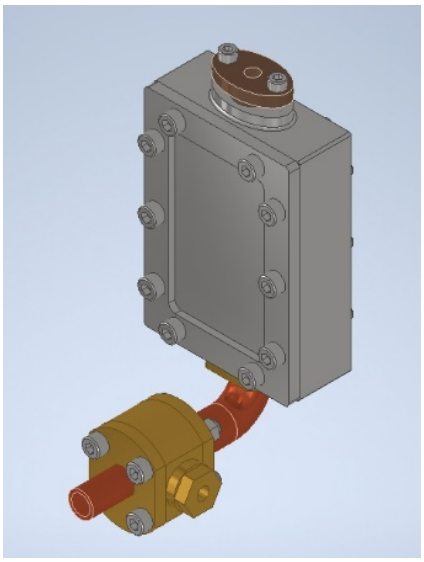


Ilustración 406. Subensamblaje 33.

3.1.2.2.34. Subensamblaje 34

Está formado por los subensamblajes números 33, 5, 6 y 7, así como las piezas de marcas 42 y 139, además de pernos. Estableciendo las correctas restricciones geométricas, se obtiene el subensamblaje de la imagen (Ilustración 407).

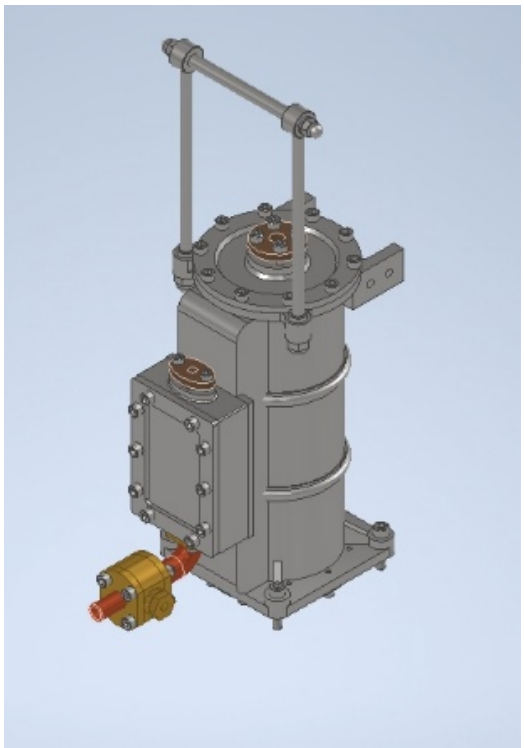


Ilustración 407. Subensamblaje 34.

3.1.2.2.35. Subensamblaje 35

Este subconjunto (Ilustración 408) está formado por el subensamblaje número 12, y los elementos de marcas 2, 3 y 157.

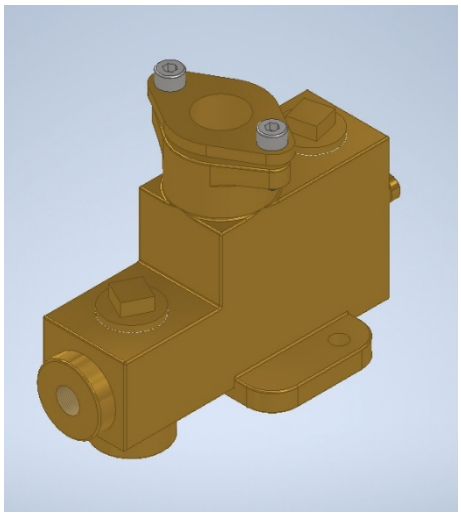


Ilustración 408. Subensamblaje 35.

3.1.2.2.36. Subensamblaje 36

Este subensamblaje (Ilustración 409) está formado por los subensamblajes números 1, 2, 3, 4, 10, 11, 34 y 35, además de las piezas de marcas 51, 58, 61, 98 y 141. Estableciendo as restricciones geométricas adecuadas, se reduce el número de grados de libertad. También se insertan elementos de fijación como tuercas de tapa y pernos, así como elementos separadores (arandelas).

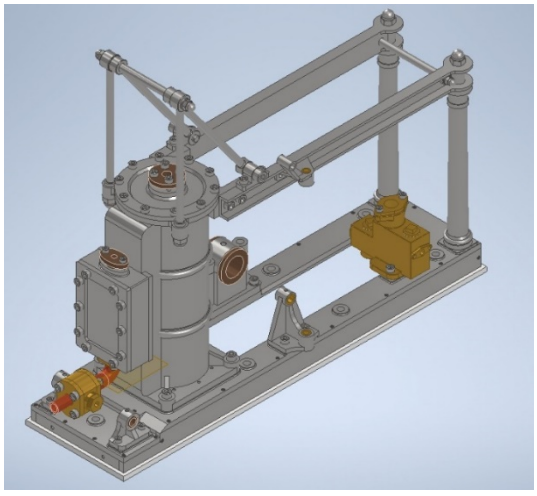


Ilustración 409. Subensamblaje 36.

3.1.2.2.37. Subensamblaje 37

El subconjunto de la imagen inferior (Ilustración 410), está formado por el subensamblaje 13, y las piezas de marcas 33, 79 y 167, además de pernos de cabeza perdida para fijar la roldana excéntrica al eje del cigüeñal.

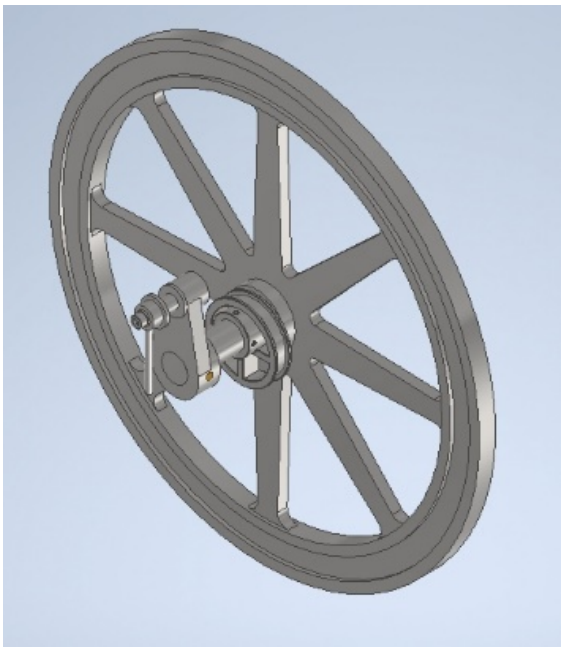


Ilustración 410. Subensamblaje 37.

3.1.2.2.38. Subensamblaje 38

Este subconjunto (Ilustración 411) está formado por los subconjuntos 14 y 15.

Ilustración 411. Subensamblaje 38.

3.1.2.2.39. Subensamblaje 39

Los subensamblajes 16 y 17 forman el subconjunto de la imagen inferior (Ilustración 412).

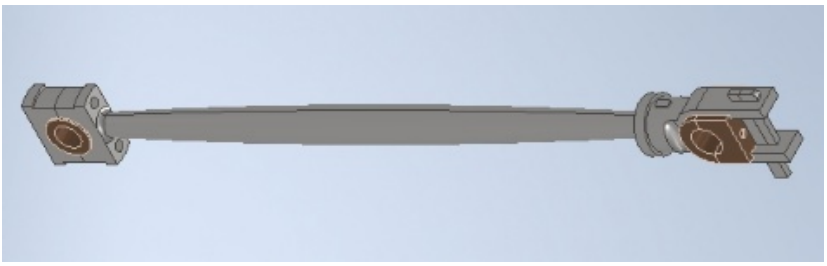


Ilustración 412. Subensamblaje 39.

3.1.2.2.40. Ensamblaje final

Se deben ensamblar entre sí los diferentes subensamblajes creados, así como los elementos restantes, junto con los elementos de fijación necesarios para unir piezas entre sí.

Estableciendo, por tanto, las restricciones geométricas necesarias entre los subconjuntos (1 a 39) y el resto de piezas, se obtiene un modelo 3D de la máquina de vapor. Además, al haber reducido el número de grados de libertad del conjunto, a través de la aplicación de las diferentes restricciones entre los elementos, se obtiene un modelo matemático fidedigno a la realidad, completamente funcional y con los mismos grados de libertad, de manera que, se puede observar fácilmente el movimiento relativo entre los diferentes componentes.

De esta manera, se obtiene el conjunto final, del que se presentan dos perspectivas isométricas (Ilustraciones 413 y 414).

Además, utilizando el módulo de presentación de Inventor Professional, se obtienen dos perspectivas isométricas estalladas (Ilustraciones 415 y 416). Para ver con mejor claridad la vista estallada, se han suprimido las líneas de trayectoria de las piezas, debido al elevado número de componentes, pues existirían demasiadas líneas de trayectoria que dificultarían la visualización de la vista estallada del conjunto.

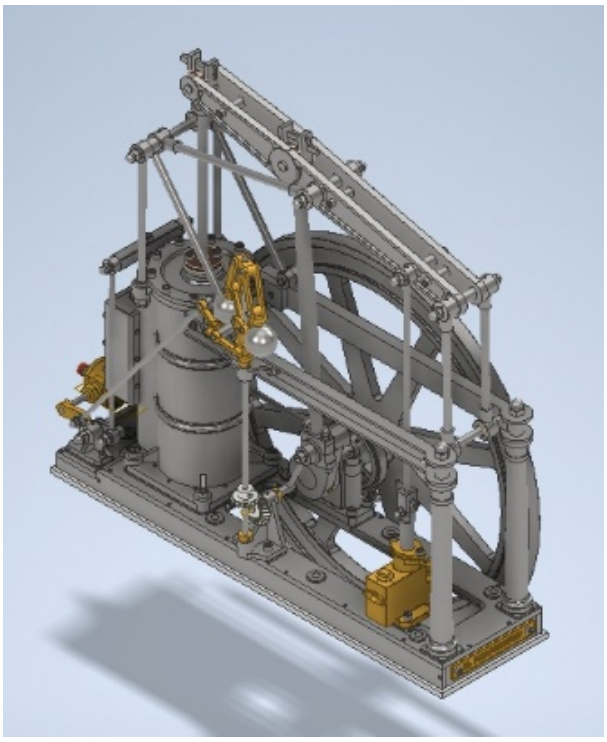


Ilustración 413. Perspectiva isométrica (1).

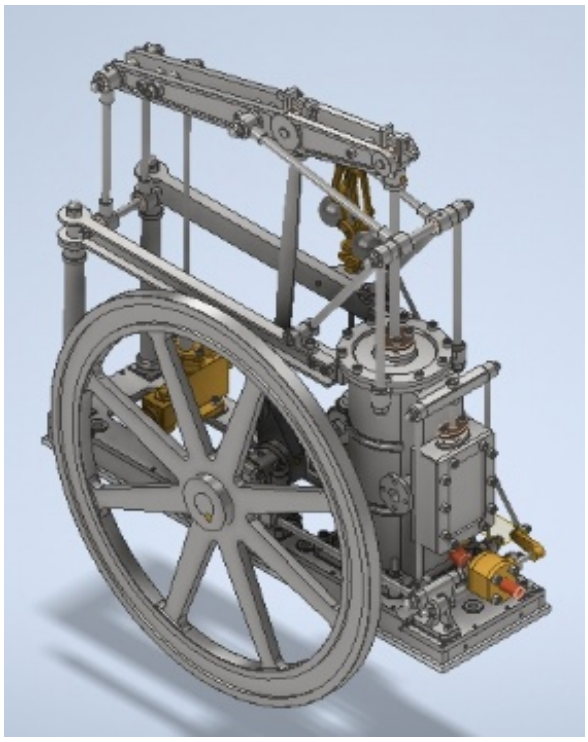


Ilustración 414. Perspectiva isométrica (2).

Ilustración 415. Perspectiva isométrica estallada (1).

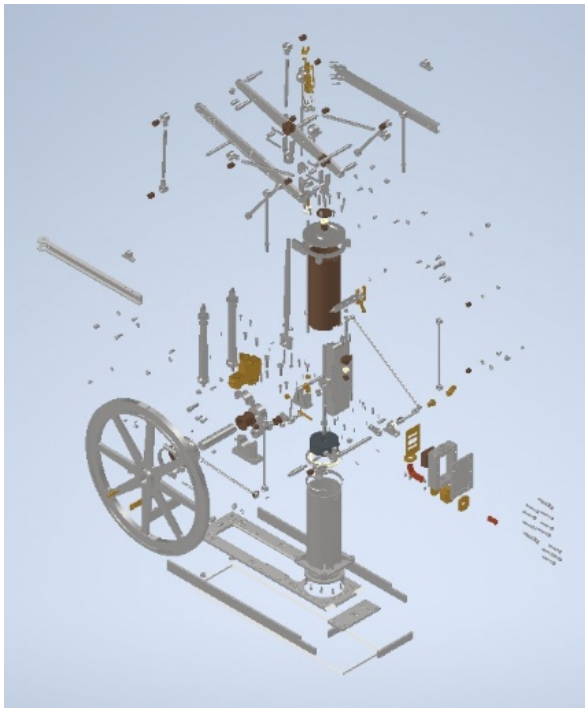


Ilustración 416. Perspectiva isométrica estallada (2).

3.1.2.3. Documentación gráfica

Al igual que en la anterior invención, utilizando el software Autodesk Mechanical, se han desarrollado tanto planos de conjunto con las respectivas marcas y listas de materiales de todas las piezas que forman el conjunto, así como planos de detalle de cada marca del ensamblaje. De esta manera, se consigue tener una documentación gráfica completa de la invención, pudiendo así obtener cualquier pieza gracias a los planos de detalle, que contienen las cotas necesarias para la definición de la misma. Además, los planos de conjunto ofrecen información de la posición relativa de las diferentes piezas, así como la cantidad de las mismas presentes en la máquina, material y norma, en el caso de ser un elemento normalizado.

A pesar de que los planos de conjunto y de detalle de cada una de las piezas, se recogen en el Anexo de planos para esta invención, se mostrarán a continuación diferentes vistas de conjunto con las marcas de las piezas que aparecen en cada vista (Ilustraciones 417 a 420), así como las tablas de materiales (tablas 6 a 9), con información de la marca, nombre de la pieza, número de veces que se repite en el ensamblaje (cantidad), norma aplicada (estandarización) y material del que está fabricada la pieza.

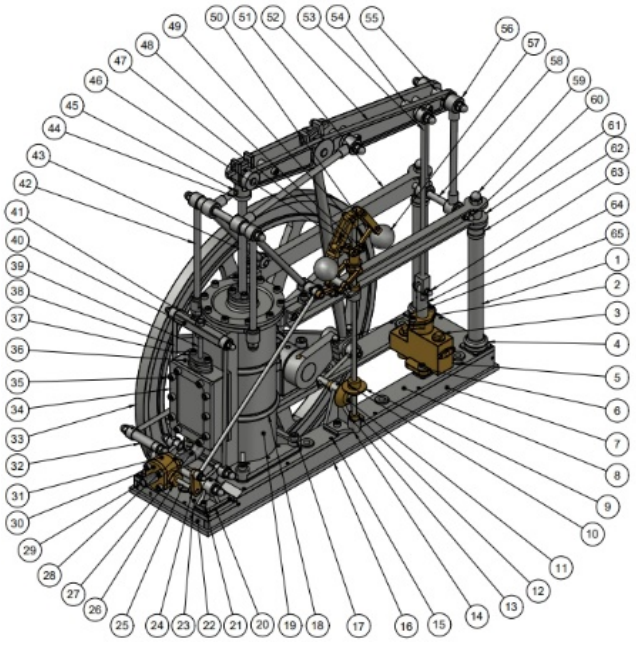


Ilustración 417. Perspectiva isométrica de conjunto (marcas 1 a 65).

65	1	Eje del husillo vertical del regulador	-	Acero al carbono
64	1	Pistón de la bomba	-	Acero al carbono
63	4	Tuerca de tapa 4	DIN 1587 - M4	Acero inoxidable
62	2	Apoyo superior de la columna de soporte	-	Acero al carbono
61	1	Viga izquierda	-	Acero al carbono
60	8	Tuerca de tapa 3	DIN 15887 - M5	Acero inoxidable
59	4	Tuerca de tapa 1	DIN 1587 - M8	Acero inoxidable
58	1	Eje transversal del soporte trasero	-	Acero al carbono
57	2	Contrapeso del brazo superior del regulador	-	Acero al carbono
56	2	Cabeza 1 de barra estabilizadora móvil de estancia final	-	Acero al carbono
55	1	Barra transversal de acople de barras móviles de estancia extrema	-	Acero al carbono
54	1	Barra transversal de acople de la biela de la bomba	-	Acero al carbono
53	1	Biela del pistón de la bomba	-	Acero al carbono
52	2	Viga de balance o equilibrio	-	Acero al carbono
51	1	Viga derecha	-	Acero al carbono
50	1	Tope superior del husillo vertical del regulador	-	Latón
49	2	Brazo inferior del regulador	-	Latón
48	2	Bulón 9	-	Acero al carbono
47	2	Brazo superior del regulador	-	Latón
46	1	Collar deslizante del regulador	-	Latón
45	1	Pasador rectangular del pistón	-	Latón
44	1	Tapa del vástago del pistón	-	Acero al carbono
43	1	Vástago del pistón	-	Acero inoxidable
42	2	Viga superior 1	-	Acero al carbono
41	3	Tuerca 1	ISO 4032 - M6	Acero inoxidable
40	1	Barra superior de la varilla de la válvula de corredera	-	Acero al carbono
39	1	Varilla de la válvula de corredera	-	Acero al carbono
38	2	Biela de la válvula de corredera	-	Acero al carbono
37	1	Casquillo de la varilla de la válvula	-	Bronce
36	1	Bloque del cofre de la válvula de corredera	-	Acero al carbono
35	16	Perno 3	ISO 4762 - M5x35	Acero inoxidable
34	1	Tapa del bloque del cofre de válvulas	-	Acero al carbono
33	1	Volante de inercia	-	Acero al carbono
32	1	Eje 3 del eje basculante de la varilla de válvula	-	Acero al carbono
31	1	Carcasa del regulador de vapor de entrada	-	Latón
30	1	Tapa 2 de la carcasa del regulador de vapor de entrada	-	Latón
29	1	Tubo de entrada de vapor	-	Cobre
28	1	Tapa 1 de la carcasa del regulador de vapor de entrada	-	Latón
27	1	Tubo con codo	-	Cobre
26	1	Casquillo del regulador de vapor de entrada	-	Latón
25	1	Válvula de control de suministro de vapor	-	Acero al carbono
24	1	Manivela de la válvula de control de suministro de vapor	-	Latón
23	1	Placa superior 1 de la bancada	-	Acero al carbono
22	1	Placa trasera de la bancada	-	Acero al carbono
21	20	Perno 7	ISO 4762 - M4x12	Acero inoxidable
20	2	Soporte del cojinete del tirante excéntrico	-	Acero al carbono
19	1	Cilindro y soporte inferior del cilindro	-	Acero al carbono
18	2	Anillos del cilindro	-	Acero al carbono
17	4	Perno 6	ISO 4762 - M6x25	Acero inoxidable
16	1	Marco fijador de partes de la bancada	-	Acero al carbono
15	27	Perno de cabeza perdida 1	ISO 4028 - M3x10	Acero inoxidable
14	1	Soporte del cojinete del engranaje del regulador	-	Acero al carbono
13	2	Bulón 7	-	Acero al carbono
12	2	Tope del husillo vertical del regulador	-	Latón
11	1	Engranaje impulsado por el regulador	-	Latón
10	1	Bulón 8	-	Acero al carbono
9	1	Engranaje del husillo vertical del regulador	-	Latón
8	1	Placa superior 2 de la bancada	-	Acero al carbono
7	2	Lateral de bancada	-	Acero al carbono
6	8	Perno 11	ISO 4762 - M5x16	Acero inoxidable
5	1	Carcasa de la bomba	-	Latón
4	2	Apoyo inferior de la columna de soporte	-	Acero al carbono
3	2	Tornillo de retención de la válvula	-	Latón
2	1	Casquillo del pistón de la bomba	-	Latón
1	2	Columna de soporte	-	Acero al carbono
Marca	**Cantidad**	**Denominación**	**Estandarización**	**Material**

Tabla 6. Lista de materiales (marcas 1 a 65).

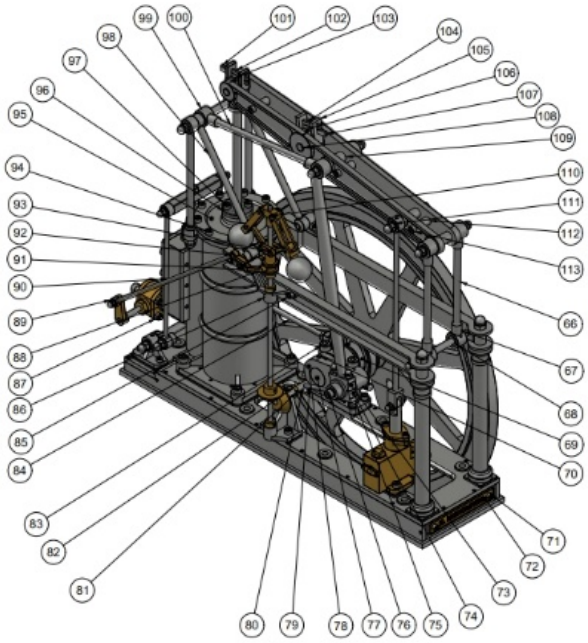


Ilustración 418. Perspectiva isométrica de conjunto (marcas 66 a 113).

113	10	Perno 9	ISO 4762 - M5 x 10	Acero inoxidable
112	3	Barra transversal de unión de barras de balance	-	Acero al carbono
111	15	Arandela 1	ISO 7089 - 6	Acero inoxidable
110	8	Pasador del bulón 10	-	Latón
109	1	Barra transversal de acople de barra de equilibrio móvil de media estancia	-	Acero al carbono
108	1	Barra transversal de acople de biela	-	Acero al carbono
107	1	Pasador 2 de ajuste a presión del cojinete de tapa de biela	-	Acero al carbono
106	1	Cojinete de la tapa de biela	-	Bronce
105	1	Tapa de biela	-	Acero al carbono
104	1	Pasador 1 de ajuste a presión del cojinete de tapa de biela	-	Acero al carbono
103	1	Cojinete de la tapa del vástago del pistón	-	Bronce
102	1	Pasador 1 de ajuste a presión del cojinete	-	Acero al carbono
101	1	Pasador 2 de ajuste a presión del cojinete	-	Acero al carbono
100	2	Barra estabilizadora móvil de media estancia	-	Acero al carbono
99	4	Cabeza de barra estabilizadora móvil de media estancia	-	Acero al carbono
98	2	Viga superior fija 2	-	Acero al carbono
97	4	Perno 5	ISO 4762 - M5 x 20	Acero inoxidable
96	1	Casquillo del vástago del pistón	-	Bronce
95	1	Tapa superior del cilindro	-	Acero al carbono
94	10	Perno 4	ISO 4762 - M5 x 12	Acero inoxidable
93	4	Pasador del bulón 9	-	Latón
92	1	Bulón roscado 1	-	Acero al carbono
91	1	Bulón 11	-	Acero al carbono
90	1	Biela de la válvula de control de suministro de vapor	-	Acero al carbono
89	3	Arandela 2	ISO 7089 - 4	Acero inoxidable
88	1	Yugo de control del regulador	-	Latón
87	4	Tuerca 2	ISO 4032 - M5	Acero inoxidable
86	1	Soporte del cojinete superior del regulador	-	Acero al carbono
85	2	Perno 13	ISO 4762 - M5 x 8	Acero inoxidable
84	1	Biela de la correa excéntrica	-	Acero al carbono
83	4	Perno 10	ISO 4762 - M8 x 25	Acero inoxidable
82	1	Tope del eje impulsador por el regulador	-	Latón
81	1	Bulón 4	-	Acero al carbono
80	1	Eje impulsado por el regulador	-	Acero al carbono
79	1	Manivela del regulador	-	Acero al carbono
78	1	Biela	-	Acero al carbono
77	1	Eje del cigüeñal	-	Acero al carbono
76	5	Perno 8	ISO 4762 - M6 x 12	Acero inoxidable
75	1	Parte inferior del soporte del cojinete del cigüeñal	-	Acero al carbono
74	1	Cabeza de biela	-	Acero al carbono
73	1	Cuerpo de biela	-	Acero al carbono
72	1	Placa del nombre	-	Latón
71	2	Perno 1	ISO 4762 - M4 x 6	Acero inoxidable
70	1	Bulón 3	-	Latón
69	4	Tornillo de cabeza perdida 3	ISO 4027 - M4 x 8	Acero inoxidable
68	2	Cojinete de la cabeza 2 de la bara estabilizadora móvil de fin de estancia	-	Bronce
67	2	Cabeza 2 de la viga de balance de fin de estancia	-	Acero al carbono
66	2	Viga de balance de fin de estancia	-	Acero al carbono
Marca	**Cantidad**	**Denominación**	**Estandarización**	**Material**

Tabla 7. Lista de materiales (marcas 66 a 113).

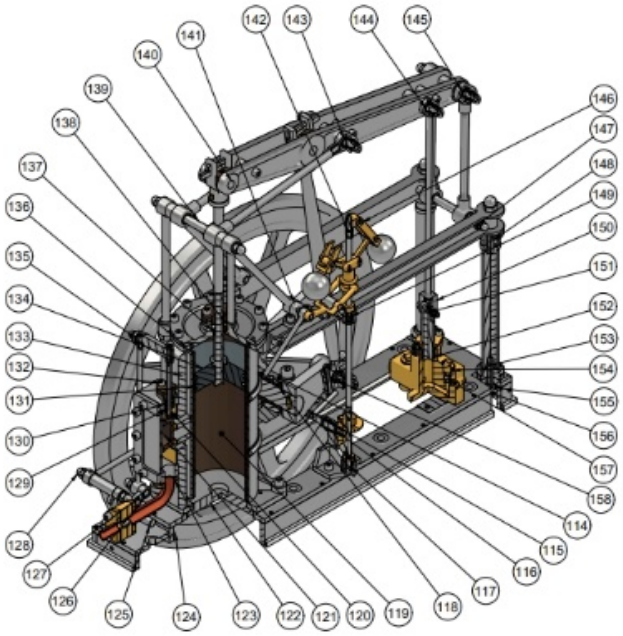


Ilustración 419. Perspectiva isométrica de conjunto con secciones (marcas 114 a 158).

158	1	Cojinete y/o casquillo de biela	-	Bronce
157	2	Válvula de bola de la bomba	-	Acero inoxidable
156	1	Placa transversal 2 de la bancada	-	Acero al carbono
155	2	Tuerca 3	ISO 4032 - M8	Acero inoxidable
154	2	Sello 1	-	Caucho
153	1	Eje roscado inferior de la columna de soporte	-	Acero al carbono
152	1	Sello 2	-	Caucho
151	1	Pasador del pistón de la bomba	-	Acero al carbono
150	1	Cabeza de biela del pistón de la bomba	-	Acero al carbono
149	1	Cojinete superior del regulador	-	Latón
148	1	Eje roscado superior de columna de soporte	-	Acero al carbono
147	4	Arandela 3	ISO 7089 - 5	Acero inoxidable
146	4	Bulón 10	-	Acero al carbono
145	2	Cojinete de la cabeza 1 de la barra estabilizadora móvil de fin de estancia	-	Bronce
144	1	Cojinete de la biela del pistón de la bomba	-	Bronce
143	4	Cojinete de la barra estabilizadora móvil de media estancia	-	Bronce
142	1	Bulón 6	-	Acero al carbono
141	2	Bloque de montaje de la viga fija superior 2	-	Acero al carbono
140	1	Barra transversal de acople del pistón	-	Acero al carbono
139	1	Eje transversal superior 1	-	Acero al carbono
138	1	Sello del vástago del pistón	-	Nylon
137	1	Cojinete de fricción del vástago del pistón	-	Bronce
136	1	Soporte superior del cilindro	-	Acero al carbono
135	4	Cojinete y/o casquillo de la biela de la válvula de corredera	-	Bronce
134	1	Émbolo del pistón	-	Bronce
133	1	Bloque de puerto del cilindro	-	Acero al carbono
132	2	Perno 2	ISO 4762 - M4 x 16	Acero inoxidable
131	2	Segmento del pistón	-	Nylon
130	1	Sello del cofre de válvulas	-	Nylon
129	1	Cojinete de fricción del cofre de válvulas	-	Bronce
128	13	Tuerca de tapa 2	DIN 1587 - M6	Acero inoxidable
127	1	Balancín 1 de la varilla de válvula	-	Acero al carbono
126	1	Eje 2 del eje basculante de la varilla de válvula	-	Acero al carbono
125	1	Eje 1 del eje basculante de la varilla de válvula	-	Acero al carbono
124	1	Placa transversal de la bancada	-	Acero al carbono
123	1	Placa de unión de la carcasa del regulador del vapor de entrada al cofre de válvulas	-	Latón
122	1	Base del cilindro	-	Acero al carbono
121	1	Válvula corredera	-	Bronce
120	1	Placa de deslizamiento de la válvula de corredera	-	Latón
119	1	Camisa del cilindro	-	Bronce
118	1	Cojinete del cigüeñal	-	Bronce
117	1	Cojinete 2 del soporte del engranaje del regulador	-	Latón
116	1	Bulón 5	-	Acero al carbono
115	1	Cojinete 1 del soporte del engranaje del regulador	-	Latón
114	1	Parte superior del soporte del cojinete del cigüeñal	-	Acero al carbono
Marca	**Cantidad**	**Denominación**	**Estandarización**	**Material**

Tabla 8. Lista de materiales (marcas 114 a 158).

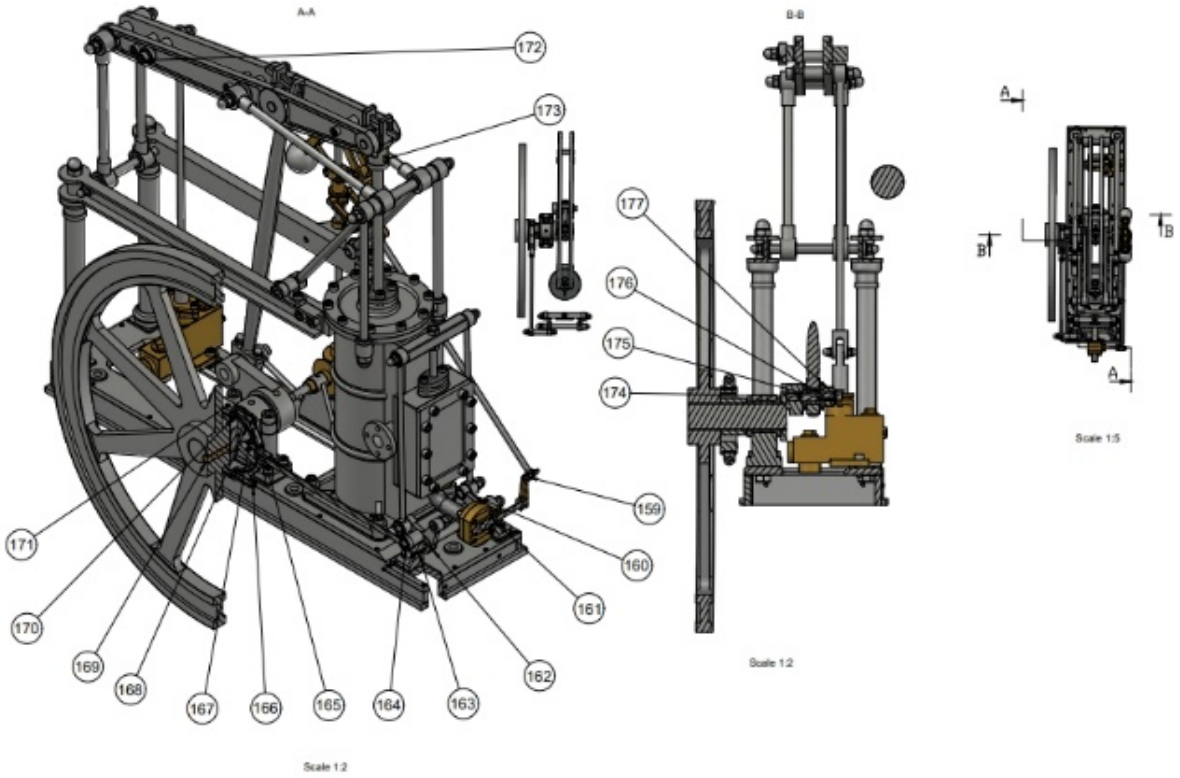


Ilustración 420. Perspectiva isométrica de conjunto y sección parcial (marcas 159 a 177).

177	1	Conector biela-manivela del regulador	-	Acero al carbono
176	1	Tope del codo de biela	-	Acero al carbono
175	1	Bulón 2	-	Latón
174	1	Codo de biela	-	Acero al carbono
173	1	Pasador rectangular del vástago del pistón 2	-	Acero al carbono
172	1	Perno 14	ISO 4762 - M6 x 16	Acero inoxidable
171	1	Parte inferior de la cabeza de la correa excéntrica	-	Acero al carbono
170	1	Casquillo de la correa excéntrica (Parte inferior)	-	Bronce
169	1	Bulón 1	-	Latón
168	1	Casquillo de la correa excéntrica (Parte superior)	-	Bronce
167	1	Roldana excéntrica	-	Acero al carbono
166	2	Perno 12	ISO 4762 - M5 x 50	Acero inoxidable
165	1	Parte superior de la cabeza de la correa excéntrica	-	Acero al carbono
164	1	Cojinete de la cabeza de biela de la correa excéntrica	-	Bronce
163	2	Cojinete del tirante excéntrico	-	Bronce
162	2	Perno de cabeza perdida 2	ISO 4027 - M3 x 12	Acero inoxidable
161	1	Sello de la carcasa	-	Caucho
160	1	Balancín 2 de la varilla de válvula	-	Acero al carbono
159	1	Bulón roscado 2	-	Acero al carbono
Marca	**Cantidad**	**Denominación**	**Estandarización**	**Material**

Tabla 9. Lista de materiales (marcas 159 a 177).

Además, se incluye una perspectiva isométrica con secciones (Ilustración 421) de un subensamblaje digno de mencionar (de cigüeñal y eslabonamiento principal), dado a que es el subconjunto innovador de la invención, junto a la lista de materiales (Tabla 10) de los elementos más importantes de dicho subconjunto.

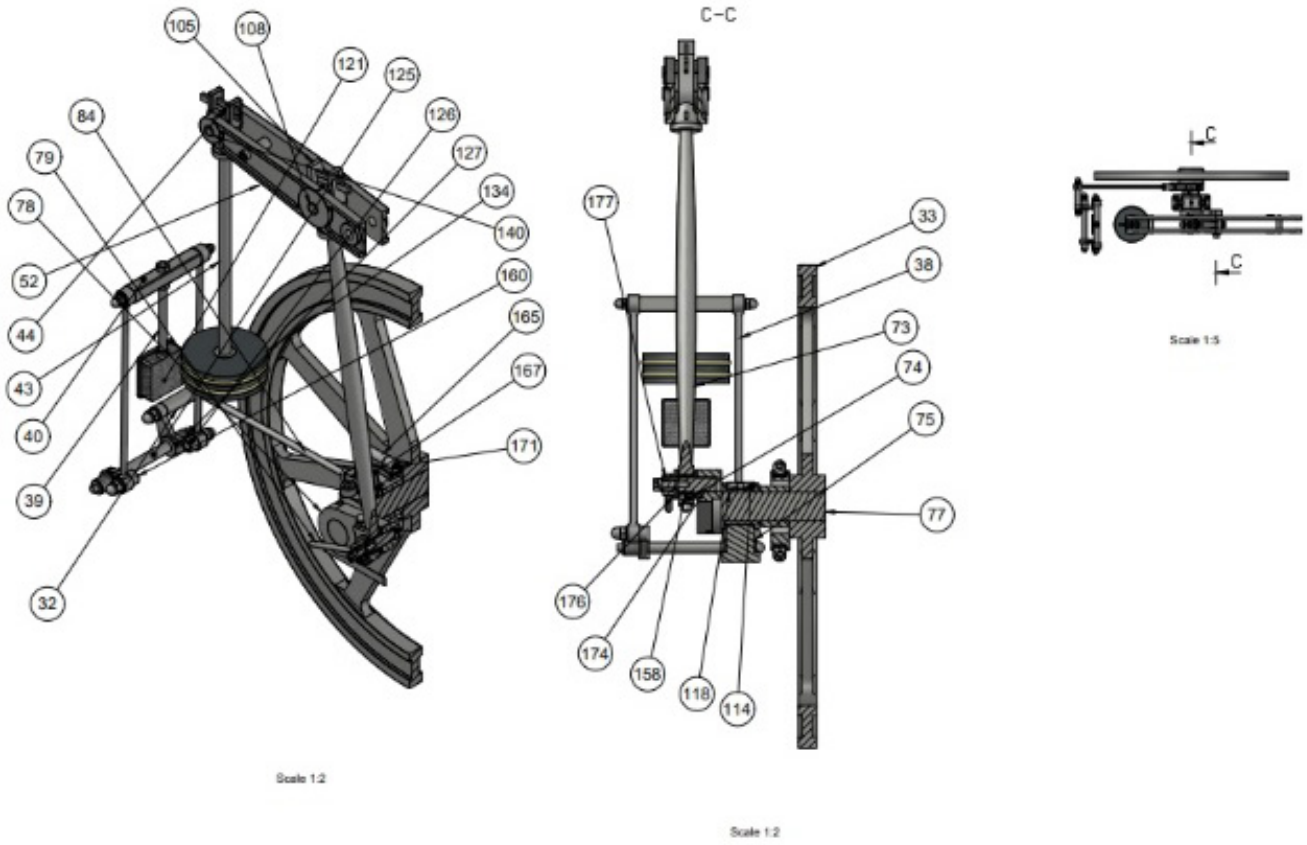


Ilustración 421. Subensamblaje de cigüeñal y eslabonamiento principal.

77	1	Conector biela-manivela del regulador	-	Acero al carbono
176	1	Tope del codo de biela	-	Acero al carbono
174	1	Codo de biela	-	Acero al carbono
171	1	Parte inferior de la cabeza de la correa excéntrica	-	Acero al carbono
167	1	Roldana excéntrica	-	Acero al carbono
165	1	Parte superior de la cabeza de la correa excéntrica	-	Acero al carbono
160	1	Balancín 2 de la varilla de válvula	-	Acero al carbono
158	1	Cojinete y/o casquillo de biela	-	Bronce
140	1	Barra transversal de acople del pistón	-	Acero al carbono
134	1	Segmento del pistón	-	Bronce
127	1	Balancín 1 de la varilla de válvula	-	Acero al carbono
126	1	Eje 2 del eje basculante de la varilla de válvula	-	Acero al carbono
125	1	Eje 1 del eje basculante de la varilla de válvula	-	Acero al carbono
121	1	Válvula corredera	-	Bronce
118	1	Cojinete del cigüeñal	-	Bronce
114	1	Parte superior del soporte del cojinete del cigüeñal	-	Acero al carbono
108	1	Barra transversal de acople de biela	-	Acero al carbono
105	1	Tapa de biela	-	Acero al carbono
84	1	Biela de la correa excéntrica	-	Acero al carbono
79	1	Manivela del regulador	-	Acero al carbono
78	1	Biela	-	Acero al carbono
77	1	Eje del cigüeñal	-	Acero al carbono
75	1	Parte inferior del soporte del cojinete del cigüeñal	-	Acero al carbono
74	1	Cabeza de biela	-	Acero al carbono
73	1	Cuerpo de biela	-	Acero al carbono
52	2	Viga de equilibrio	-	Acero al carbono
44	1	Tapa del vástago del pistón	-	Acero al carbono
43	1	Vástago del pistón	-	Acero al carbono
40	1	Barra superior de la varilla de la válvula de corredera	-	Acero al carbono
39	1	Varilla de la valvula corredera	-	Acero al carbono
38	2	Biela de la válvula de corredera	-	Acero al carbono
33	1	Volante de inercia	-	Acero al carbono
32	1	Eje 3 del eje basculante de la varilla de válvula	-	Acero al carbono
Marca	**Cantidad**	**Denominación**	**Estandarización**	**Material**

Tabla 10. Lista de materiales del subensamblaje de cigüeñal y eslabonamiento principal.

3.1.2.4. Descripción del funcionamiento

La presente invención, que fue incorporada a buques y ferrocarriles, posee una gran complejidad debido a su capacidad para transformar el movimiento alternativo en un movimiento rotativo y a su elevado número de elementos (177), como se aprecia en las imágenes anteriormente expuestas (Ilustraciones 413 y 414). Dado que se va a redactar de una manera breve el funcionamiento de la invención, se apoyará la descripción del funcionamiento en las vistas de conjunto junto a las tablas de listas de materiales expuestas en el apartado 3.1.2.3., para de esta manera, comprender de mejor manera el funcionamiento de la invención, así como una de las principales ventajas que ofrecía. No se dispone de ningún tipo de información acerca del funcionamiento, por tanto, la descripción que se dará a continuación, será una aproximación al mismo. Las imágenes anteriores (Ilustraciones 417 a 421) junto a las listas de materiales (Tablas 6 a 10) servirán de apoyo para la compresión del funcionamiento de la invención.

En primer lugar, se encuentra la bancada que proporciona el apoyo y estabilidad a toda la máquina, estando formada por varias piezas que se unen entre sí mediante tornillos de cabeza perdida (15): una placa delantera (156), una trasera (22), una transversal (124), dos placas superiores, una de mayor tamaño (8), y la de menor tamaño (23) y dos placas laterales (7). Todas estas piezas van encajadas en un marco (16), y en la placa transversal delantera se atornilla con dos pernos (71) la placa con el nombre (72). A continuación, se procederá a la descripción de cada uno de dichos componentes, así como del funcionamiento de los mismos.

En primer lugar, se encuentra el cilindro donde se produce el ciclo termodinámico donde se transforma la energía térmica en mecánica. Dicho cilindro se compone por una base que incluye el cilindro (19), y se une mediante conexión por pernos (17) a la bancada. Además, en el cilindro existen dos anillos (18), que se introducen a presión y fijarán el bloque de puerto del cilindro (133), evitando así su desplazamiento en la dirección acimutal del cilindro.

Asimismo, en la parte superior del cilindro, se coloca el soporte superior del mismo (136), y en la parte inferior, se atornilla una base (122) con pernos (21) para cerrar el cilindro y evitar fugas de vapor.

Al igual que en la parte inferior, existe otra tapa en la parte superior (95), para evitar las fugas de vapor o pérdidas de presión en el interior del cilindro. Dicha tapa va atornillada al soporte superior por pernos (94), existiendo un orificio en el centro de la tapa superior (95) para el vástago del pistón. En dicho orificio se coloca un cojinete de fricción (137), un sello (138) y un casquillo (96) que se atornilla a la tapa superior con pernos (97).

En su interior se halla el pistón formado por un émbolo (134), dos segmentos (131), un vástago (43), y una tapa (44) que se une al vástago mediante un pasador de sección rectangular (45). Este elemento une el vástago a la viga de equilibrio y posee un cojinete (103), que es ajustado en la tapa mediante dos pasadores de ajuste a presión (101 y 102). Además, para proteger al cilindro contra el rozamiento, se inserta en su interior la camisa del cilindro (119).

Asimismo, sobre el soporte superior del cilindro, se incorporan una serie de barras que servirán de apoyo para otros elementos, y como punto de rotación para otras vigas. Unas son fijas (42) y tienen en uno de sus extremos una parte roscada, para acoplarlas al soporte usando tuercas de tapa (59). En el otro extremo, se acopla una barra transversal (139) que unirá ambas barras fijas, mediante tuercas de tapa (128). Sobre dicha barra transversal, se insertan dos barras (19) estabilizadoras móviles de media estancia de la viga de equilibrio (52), compuestas de dos cabezas (99) en las que se aloja un cojinete (143). Dichas cabezas unen la barra estabilizadora móvil de media estancia (100) a la barra transversal (139) por un extremo, y por el otro a la viga de equilibrio.

Al soporte superior del cilindro (136), se unen dos vigas mediante pernos (76), una en la parte derecha de la máquina (51), y otra en la izquierda (61). Sobre ambas vigas se posiciona un bloque de montaje (141) de la viga fija (98), uniéndose a la viga mediante dos pernos (113). En el extremo opuesto de las vigas, y para evitar que

queden en voladizo, se unen las columnas de soporte (1), una por cada viga. Están formadas por el apoyo superior de la columna de soporte (62), sobre el que se apoya la viga y, por un eje roscado en la parte superior (148), para unir la viga y la columna mediante tuercas de tapa (59). En la parte inferior de la columna de soporte, se encuentra el apoyo inferior (4), y un eje roscado (153), para unir la columna a la bancada con tuercas (155).

En el mismo extremo de las vigas en las que se unen las columnas de soporte, se unen ambas vigas mediante el eje transversal del soporte trasero (58), y se fija mediante tuercas de tapa (60). En esta viga se insertan las barras estabilizadoras móviles de fin de estancia (66) que presentan dos cabezas y dos cojinetes. En un extremo, la cabeza (67) correspondiente al acople entre el eje transversal del soporte trasero (58) y su correspondiente cojinete (68). En el otro extremo, se encuentra la cabeza (56) y el cojinete (145). Dicha cabeza es la que se inserta en la viga superior de equilibrio.

Por otra parte, y respecto al cilindro, en la parte posterior del mismo se encuentra ensamblado el bloque de puerto del cilindro (133), en el que existe una placa de deslizamiento de la válvula de corredera (120). A través de dicho bloque, entrará y saldrá vapor del cilindro. Dicho bloque de puerto del cilindro se mantiene en la posición establecida en el ensamblaje gracias a los anillos del cilindro (18), y a los soportes superior (136) e inferior (19) del cilindro.

A dicho bloque de puerto se une mediante conexión por pernos el cofre de la válvula de corredera (36), que presenta una tapadera (34), que se une al cofre y, a su vez, al bloque de puerto, por pernos (35). En la parte inferior tiene un orificio para la entrada de vapor, y en la parte superior hay otro orificio para el vástago de la válvula de corredera. En dicha apertura existe un cojinete de fricción del vástago de la válvula de corredera (129), un sello (130) y un casquillo (37) que se une por pernos (132).

En su interior se desplaza la válvula de corredera, que está formada por la válvula (121), el vástago (39), y una barra superior (40), unida al vástago por tuercas (41). La función de dicha barra es la de servir de unión entre el vástago de la válvula

de corredera y la biela de la misma (38), la cual posee cojinetes (135). Asimismo, para restringir el movimiento relativo entre la barra superior del vástago y la biela, se emplean dos tuercas de tapa (60).

Por otro lado, en la parte superior de la máquina se observan dos barras de equilibrio o basculantes (52), que se unen entre sí mediante diferentes barras de sección circular, y que serán las encargadas de transmitir el movimiento lineal del pistón a la biela, para que posteriormente se transforme en movimiento circular por la biela y/o manivela del cigüeñal. Dichas barras de equilibrio están unidas mediante tres barras de sección circular (112) mediante pernos (113), que sirven, además, para acoplar otras vigas y las de equilibrio. Así pues, se encuentra la barra transversal de acople del pistón (140), la barra transversal de acople de biela (108), la barra transversal de acople de las vigas de balance de media estancia (109), la barra transversal de acople de la biela de la bomba alternativa (54), que se fija a una de las vigas de equilibrio por un perno (172) y, por último, la barra transversal de acople de las vigas de balance de fin de estancia (55). Las barras transversales de acople de las vigas de balance de media y fin estancia, tienen en sus extremos tuercas de tapa (128), para evitar el desplazamiento de las vigas en la dirección longitudinal de las barras transversales.

Por otra parte, en la bancada descansa una bomba. Dado que el uso establecido para esta máquina era para pequeños buques y ferrocarriles, contaba con su propio sistema de bombeo del vapor. Dicha bomba aprovecha el movimiento de la viga de equilibrio, transformando el movimiento de ésta en un movimiento lineal a través de la biela de la bomba (53), que tiene un cojinete (144) en la parte superior, en donde se acopla a la viga de equilibrio. En el otro extremo presenta una cabeza (150) que une la biela con el pistón de la bomba (64), mediante un pasador (151). Dicho pistón tiene un movimiento lineal, es decir, alternativo, de manera que el pistón se introduce en la carcasa de la bomba (5), dentro de la cual se aportará un incremento en la presión estática del vapor. En el interior de la carcasa existen dos bolas (157) que evitarán el retorno del fluido y obligarán al mismo a tener un único sentido. Dichas bolas se introducen a través de dos orificios en la carcasa de la bomba, y sellarán

posteriormente los mismos con dos sellos (154), y dos tornillos de retención de la válvula (3). Para sellar el orificio de la carcasa correspondiente al pistón, se utiliza un sello (152), y un casquillo (2), unido a la carcasa mediante dos pernos (21), y ésta a su vez, se une a la bancada mediante pernos (6).

Por último, se procederá a describir el regulador de velocidad centrífugo. Para ello, se partirá desde la entrada de vapor al cilindro. Éste entra a través de una tubería de cobre de sección circular (29), que se une a una placa (30), y que hace de tapadera de la carcasa del regulador de vapor de entrada (31). En el lado opuesto de la carcasa del regulador, se une otra tapa (28), a la cuál irá unida a presión, una tubería con un codo (27) que conducirá el vapor desde la carcasa del regulador hacia el cofre de válvula, y cuya unión tubo-cofre se realiza mediante una placa (123), unida por pernos sin cabeza (69) al cofre de válvulas. El tubo se inserta a presión en la placa. La unión tapas-carcasa se realiza mediante pernos (35) y tuercas (87). En una de las caras de la carcasa hay un agujero para introducir la válvula de control de suministro del vapor (25), y para asegurar que no haya pérdidas, en el orificio se introduce un sello o junta (161) y un casquillo (26). Así pues, la válvula gira sobre su eje longitudinal, y ésta presenta un agujero perpendicular a dicho eje, de forma que, al girar, el eje del agujero se desplazará respecto la dirección del flujo y, por tanto, se reducirá la sección de paso del mismo, reduciendo así el caudal de suministro de vapor al cilindro. El movimiento rotacional de la válvula se consigue mediante un mecanismo bastante complejo. El funcionamiento del mismo se describe a continuación. En el extremo de la válvula de control de suministro de vapor, se acopla la manivela de la misma (24), que podrá ser accionada por el operario para variar el caudal de entrada de vapor. Sin embargo, a pesar de disminuir el caudal de entrada para reducir la velocidad angular del volante de inercia, debido a la inercia que éste lleve, la reducción de velocidad no será instantánea, y conllevará un tiempo determinado. Para reducir dicho tiempo en el que la aceleración angular es negativa, se acopla a la manivela de la válvula de control de suministro de vapor, una varilla que será la biela del mecanismo (90). El acoplamiento biela-manivela se realiza mediante un pasador con un extremo roscado (159) y una tuerca de tapa (63). El otro extremo de la biela se une al yugo de control del regulador (88), mediante un pasador con un extremo roscado (92) y una tuerca de

tapa (63). Dicho yugo pivota respecto de un brazo de un soporte (86), que además no sólo sirve de pivote del yugo, sino que es el soporte del cojinete superior del eje del regulador (149), acoplado a la viga superior fija izquierda (61) mediante dos pernos (85). La unión entre el soporte y el yugo se realiza mediante un bulón (91). El pivote del yugo respecto del soporte del cojinete superior del eje del regulador, empuja hacia arriba o abajo el collar deslizante del regulador (46), al que se acoplan los dos brazos inferiores del regulador (49), mediante dos bulones (48), los cuales tienen a su vez dos pasadores (93), uno en cada extremo, para evitar que estos se salgan de los orificios del collar deslizante debido a la fuerza centrífuga ocasionada por la rotación del eje del husillo vertical del regulador (65). El otro extremo del brazo inferior se une al brazo superior (47), mediante un bulón (146), y éste a su vez tiene dos pasadores, uno en cada extremo (110). En el extremo inferior del brazo superior, se une una bola que actúa como contrapeso (57). El extremo opuesto del brazo superior se une al tope superior del husillo vertical del regulador (50), usando un bulón y dos pasadores iguales que los usados para la unión entre los brazos superiores e inferiores. El tope superior del husillo vertical del regulador se une al eje mediante un bulón (142). Así pues, se dispone, por tanto, de dos brazos inferiores, dos superiores y dos contrapesos. El eje del husillo vertical del regulador, tiene dos elementos con forma de anillo, que harán de apoyo y/o tope del eje (12), unidos al eje mediante bulones (13). Asimismo, el engranaje del husillo vertical del regulador (9) se acopla al eje mediante un bulón (10).

Por otra parte, se encuentra la parte del husillo accionada por el regulador, cuyo eje es horizontal. Dicho eje (80), tiene un engranaje (11), acoplado al eje anterior gracias a un bulón (116). Además, hay un tope (82) que fijará la posición del eje accionado y del engranaje. Éste, al igual que el engranaje, se une al eje a través de un bulón (81). Ambos ejes de los husillos, tanto el horizontal como el vertical, tienen apoyo en un elemento, siendo éste el soporte de los cojinetes de los engranajes del regulador (14), presentando, por lo tanto, dos cojinetes, uno para el eje vertical (117), y el correspondiente al eje horizontal (115). Dicho soporte se une a la bancada mediante pernos (6).

En el extremo del eje accionado por el regulador, se inserta a través de un orificio, la manivela del regulador (79), que girará solidaria al cigüeñal y al eje accionado del regulador. En el extremo opuesto, se puede observar el cigüeñal. Ambos elementos, cigüeñal y manivela, se unen mediante un perno (76), para evitar el desplazamiento longitudinal relativo entre ambos elementos y un bulón (175) para evitar que haya un giro relativo entre ambos. El codo de biela se compone a su vez, de varios elementos, para hacer posible el ensamblaje de la biela y de la manivela. Estos elementos son el conector biela-manivela del regulador (177), un tope para el codo de biela (176), el codo de biela (174) y, por último, la biela (78). La biela se ensambla al eje del cigüeñal (77), empleando un bulón (70). En el otro extremo del eje, se acopla el volante de inercia (33), gracias a un bulón (169). Además, sobre el eje del cigüeñal se atornilla con pernos sin cabeza (69), una roldana excéntrica (167), que transmite el movimiento a la biela de la válvula de corredera, transformando así el movimiento rotativo del eje en movimiento alternativo de la válvula, para que el vapor entre y salga de la cámara del cilindro de manera coordinada. El eje del cigüeñal se apoya en un soporte, que incluye el cojinete del cigüeñal. El soporte del cojinete del cigüeñal está formado por dos partes, una superior (114), y una inferior (75), unida a la bancada por cuatro pernos (6). Entre ambas partes se encuentra el cojinete del cigüeñal (118), uniéndose entre sí las partes mediantes dos pernos (83).

En el cigüeñal se acopla en el codo de biela, la biela del pistón. Dicha biela está compuesta por un cuerpo (73), una cabeza (74) y un cojinete (158). La unión entre la cabeza y el cuerpo de la biela del pistón se realiza mediante dos pernos (35) y dos tuercas de tapa (60). En el extremo superior del cuerpo de la biela, se acopla mediante un pasador de sección rectangular (173), la tapa de biela (105) con un cojinete (106), que se ajusta mediante dos pasadores de ajuste a presión (104 y 107). Esta cabeza a su vez, se une a la viga de equilibrio a través de la barra transversal de acople de la biela del pistón (108).

Por otro lado, en la roldana excéntrica (167) se encuentra la correa y/o varilla excéntrica que transmitirá el movimiento al eje basculante de la correa. Dicha correa se compone de la parte inferior de la cabeza de la correa excéntrica (171), la parte

superior (165), la parte superior e inferior del casquillo de la correa excéntrica (168 y 170), la biela de la correa excéntrica (84), en cuyo extremo se encuentra una cabeza en cuyo interior se aloja un cojinete (164). La parte superior e inferior de la cabeza de la biela, se unen mediante pernos (166).

Como se ha comentado anteriormente, esta correa transmite el movimiento a un eje basculante, acoplado a su vez a la biela de la válvula de corredera (38). El eje basculante está formado por distintas secciones y elementos. Por un lado, se encuentra el eje 3 del eje basculante de la varilla de válvula (32), y en un extremo de este eje se acopla la biela de la correa excéntrica con una tuerca de tapa (128). En el extremo opuesto, el balancín 1 de la varilla de la válvula (127). Dicho balancín pivota respecto de un eje de mayor tamaño (125). En el otro punto de unión de dicho balancín, se une otro eje 2 (126), en el cual se une la biela de la válvula. En el otro extremo del eje de mayor tamaño, es decir, el eje 1, se acopla otro balancín (160). En su extremo opuesto, se acopla el eje 2 (126), en el que se acopla la otra biela de la válvula de corredera. Los balancines se unen al eje 1 mediante pernos de cabeza perdida (162). Además, dicho eje está insertado, a través de cojinetes (163) introducidos en un soporte (20), unidos a la bancada por pernos (21). El eje se fija además con tuercas de tapa 128), existiendo dos cojinetes y dos soportes, uno en cada extremo del eje 1.

Antes de insertarse las tuercas de tapa, en muchas de ellas se insertan previamente arandelas (89, 111 y 147), en aquellos elementos donde exista una rotación para aumentar el área de contacto entre los elementos, y evitar así que se aflojen las tuercas.

Como discusión final, reseñar que lo más innovador de esta máquina en su época, fue su diseño, pues el pistón no se encuentra sobre el eje del cigüeñal como en el resto de máquinas, lo que permitía construir motores con la misma potencia y rendimientos, pero más ligeros y menos voluminosos, con la ventaja que esto suponía. Otra observación de interés, es que la máquina incluye la bomba para aumentar la presión del vapor de agua, aprovechando el movimiento de la viga de equilibrio para

mover un pistón con movimiento alternativo, aumentando, de esta forma, la presión del vapor que posteriormente entrará al pistón para expandirse y producir trabajo. Esto permitía reducir el número de elementos de la instalación necesaria para el funcionamiento de la máquina, ya que no se requería instalar una bomba que impulsara el vapor hacia la máquina, sino que ésta actuaba como tal, lo que se resume en ahorro económico y simplificación de la instalación térmica.

En la Ilustración 421 se muestra un plano del subconjunto formado por el cigüeñal y el eslabonamiento principal de la máquina de vapor, en el que se señalan las marcas de los elementos más importantes en dicho subconjunto. El sub-ensamblaje representado es muy importante, ya que, como se ha mencionado en el anterior párrafo, caracteriza la máquina.

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

La finalidad de este apartado es realizar análisis estático-lineales de ambas invenciones, en sus posiciones más desfavorables, es decir, aquellas posiciones del émbolo del pistón que darán lugar a tensiones equivalentes de Von Mises de mayor valor.

Para poder realizar un análisis estático lineal en una determinada posición del émbolo del pistón, independientemente de la máquina que se esté analizando, es necesario en primer lugar, realizar un análisis modal.

El análisis modal no es más que una simulación numérica empleando el método de los elementos finitos para poder determinar las frecuencias naturales de vibración del sistema, en este caso, de la máquina de vapor en la posición crítica. A cada frecuencia natural de vibración, le corresponde un modo de vibración, es decir, una forma en la que los elementos se deforman. Como bien se conoce, todo sistema tiene tantos modos de vibración como grados de libertad tenga.

Para poder entender el motivo de porqué se debe realizar un análisis modal previamente al análisis estático lineal, se va a proceder a dar una explicación breve de qué es la vibración, cómo se produce, y porqué se deben conocer las primeras frecuencias de vibración natural de un sistema.

Cuando un elemento, por ejemplo, una viga empotrada-libre en cada uno de sus dos extremos respectivamente, se somete a una carga puntual en el extremo libre, ésta tiende a deformar la viga a una posición determinada, dando lugar a una flecha máxima en el extremo. A pesar de que se aplique la hipótesis de aplicación lenta de las cargas, de forma que se pueden despreciar los efectos dinámicos en la aplicación de la misma, esto no suele ocurrir en máquinas, dado que en la gran mayoría están sometidas a cargas fluctuantes. Si la viga del ejemplo, bajo la solicitación externa anteriormente mencionada, de un instante a otro deja de aplicarse, la viga volverá a su posición inicial de reposo (siempre y cuando no haya plastificado ninguna sección). La viga volverá a su posición inicial, pero cuando llegue a la misma, ésta llevará una velocidad pasando de dicha posición, y la viga flectará con signo contrario (es decir, si la flecha inicial tenía coordenada positiva (z=z1), al pasar la posición de equilibrio (z=0), tiene coordenada negativa (z≈-z1)). Esto se repetirá hasta finalmente alcanzar la posición de equilibrio. A este fenómeno se le denomina vibración, y el modo en el que se desplazará la viga, se le denomina modo de vibración. Por tanto, los sistemas siempre vibrarán según un modo de vibración, y a una determinada frecuencia, siendo ésta, alguna de sus frecuencias naturales.

Además, es importante conocer las frecuencias naturales de vibración, para evitar el fenómeno conocido como resonancia. Este fenómeno se produce cuando la frecuencia de la fuente emisora coincide con alguna de las frecuencias naturales de vibración del sistema resonador, siendo para los casos analizados, la fuente emisora la frecuencia de aplicación de las cargas, y el sistema resonador, la máquina de vapor. Si la frecuencia coincide, la amplitud de onda de la frecuencia del sistema resonador aumenta considerablemente, y puede dar lugar al fallo.

Por lo tanto, dado que el análisis a realizar es estático, la frecuencia de aplicación de las cargas es de 0 Hz. Si alguna de las frecuencias naturales de vibración de la máquina tiene valor nulo, no tiene sentido alguno realizar un análisis estático, ya que el sistema se comportaría como un mecanismo. Además, bajo dicha carga, si se diera el caso de que alguna de las frecuencias naturales de vibración es de valor nulo, para una carga estática, se produciría resonancia, y la amplitud de la onda de frecuencia aumentaría, en resumen, los desplazamientos de los elementos serían más grandes aún y, podría dar lugar al fallo, ya que el sistema habría entrado en resonancia y la aplicación de una pequeña carga ocasionaría grandes deformaciones.

Por tanto, se realizará un análisis modal por cada posición crítica de cada máquina, determinándose las diez primeras frecuencias naturales de vibración, y se analizarán los resultados para comprobar que ninguna de ellas se aproxima a cero, pudiéndose realizar un análisis estático lineal.

En segundo lugar, dado que se trata de máquinas alternativas, deformaciones excesivamente grandes de alguno de los elementos, pueden dar lugar a un mal funcionamiento de la máquina. Por tanto, se considerará que alguna pieza o elemento de la máquina ha fallado, si se alcanza la fluencia de la misma, comparando la tensión equivalente de von Mises con la tensión de fluencia. Por ello, se realizará un análisis lineal, dado que, no se quiere que ningún elemento trabaje bajo condiciones no lineales de la relación tensión-deformación.

A la hora de realizar un análisis estático, con la finalidad de obtener valores de determinadas variables, como la tensión equivalente de von Mises, desplazamientos y el factor de seguridad, se debe conocer la envolvente de esfuerzos del sistema. Dado que no se dispone de información alguna de las condiciones de operación de cada una de las máquinas de estudio, se llevará a cabo la siguiente metodología, con la finalidad de obtener las presiones de trabajo óptimas de las máquinas de vapor bajo condiciones de seguridad. La metodología empleada se resume en los siguientes pasos:

1. En una de las posiciones críticas, se aplicará un valor determinado de presión en el émbolo del pistón (además de la fuerza gravitatoria, que tiene el mismo valor para todas las simulaciones), lo suficientemente elevada como para dar lugar al fallo (factor de seguridad inferior a 1).
2. Tras realizar el análisis, se comprueba el factor de seguridad, y se afirma que éste sea menor de la unidad, es decir, que la máquina falla para ese valor de presión. Con este ensayo, se determina la zona más desfavorable de la invención, lo que permitirá posteriormente realizar un refinamiento de la malla en dicha zona, y realizar un análisis de convergencia de la malla.
3. Se cambia el valor de la presión a un valor inferior, y se realiza un control de malla local en la zona de mayor criticidad. Se ejecuta la simulación y se vuelve a observar el factor de seguridad. Este proceso iterativo se realiza hasta que el factor de seguridad sea mayor de la unidad (lo ideal es que esté comprendido entre dos y cuatro).

Este proceso cambia ligeramente para la primera invención. Las modificaciones a dicha metodología se explicarán con mayor detalle posteriormente.

Una vez se conoce la presión máxima admisible de operación, se procede a realizar el análisis de convergencia de la malla. Este procedimiento puede realizarse automáticamente a través del software, pero la malla global creada en la primera iteración tiene buena calidad, ya que el programa automáticamente disminuye o aumenta el tamaño de grilla para que ésta se adapte a la geometría y tamaño del objeto. Por tanto, el programa da una convergencia para la segunda iteración, por lo que, para comprobar la solución del programa, se realizará un análisis de convergencia manualmente. Para ello, se siguen los siguientes pasos:

1. Se realiza un primer análisis con la malla global creada automáticamente por el software. Se anota el valor de la tensión equivalente de von Mises máxima, así como el tamaño del elemento finito en la zona crítica.
2. Se hace un control de malla local en la zona de máxima tensión, disminuyendo el tamaño de grilla.

3. Se ejecuta la simulación, y se vuelven a anotar tanto el valor de tensión como el del tamaño del elemento finito.
4. Se calcula el error relativo.
5. Se repite este proceso hasta que el error relativo sea inferior al 10%, y entonces se puede afirmar que se ha producido la convergencia de la malla. Se anotarán los valores de las variables de la última iteración, así como de los mapas de tensión, desplazamientos y factor de seguridad.

Para poder realizar un análisis, ya sea el análisis modal o estático lineal, es necesario discretizar el medio continuo, transformándolo en la suma de elementos finitos. De esta manera, se calcula el valor de las variables en puntos discretos, es decir, los nodos de los elementos, y se interpola entre los valores de los nodos para obtener el valor de las variables en las caras de los elementos finitos. Para ambas máquinas, se utilizan tetraedros, con un orden de interpolación cuadrático. Estos elementos son los más usados en simulaciones de maquinaria, ya que dan buena aproximación de los resultados, y se ajustan muy bien a geometrías complejas.

Alguno de los problemas afrontados durante el desarrollo de las simulaciones, son debidos a falta de malla en ciertos elementos al generar la malla global. Esto se ha solucionado de dos maneras. Una de ellas, es abriendo el archivo de la pieza que ha fallado, determinar el tamaño de malla adecuado para dicho elemento, y en el análisis, crear un control de malla local para la pieza, con el tamaño de elemento determinado anteriormente (tal y como se ha explicado en el apartado 2.3.). El fallo también puede deberse a un fallo en la idealización del material adjudicado a la pieza. Para resolver esto, se vuelve a aplicar un material a la pieza que ha fallado en la creación de la malla (ver apartado 2.3.).

Para cada invención, se hablará de:

- Condiciones de contorno aplicadas.
- Posiciones críticas.
- Metodología para determinar la envolvente de esfuerzos.

- Aplicación de las solicitaciones externas.
- Resultados del análisis modal.
- Resultados del análisis de convergencia de malla.
- Resultados del análisis estático lineal.
- Conclusiones de los resultados obtenidos.

3.2.1. Invención 1. Motor marino vertical compuesto de dos cilindros

3.2.1.1. Simplificación del ensamblaje

En primer lugar, se deben excluir aquellos elementos que no formarán parte del análisis, ya que no influirán en los resultados y así, se reduce el coste computacional, lo que se resume en menores tiempos de simulación.

Para la presente invención, se han excluido del análisis algunos elementos de fijación, es decir, pernos y tuercas, así como el regulador de velocidad centrífugo, ya que su función es más bien dinámica y no tiene sentido realizar un análisis estático sobre el mismo sin conocer la velocidad de giro a la que operará la máquina. Además, se ha excluido del análisis la correa de transmisión.

A continuación, se muestran dos imágenes del ensamblaje final a simular, es decir, dos perspectivas isométricas del ensamblaje simplificado (Ilustraciones 422 y 423).

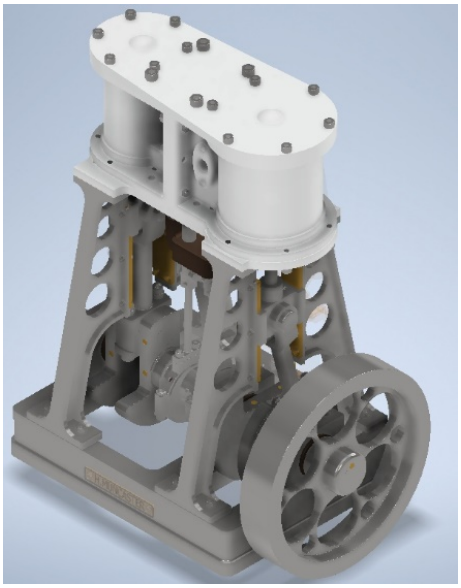


Ilustración 422. Perspectiva isométrica del ensamblaje simplificado (1).

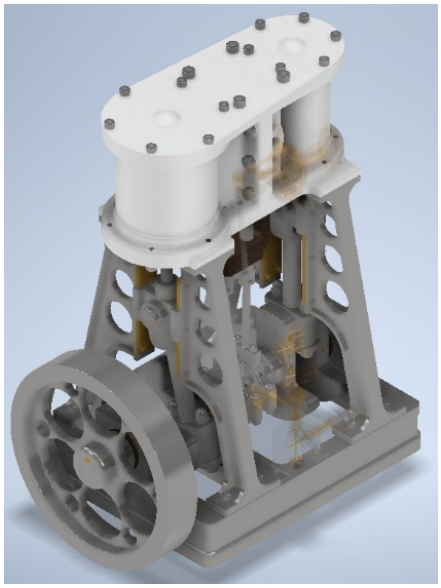


Ilustración 423. Perspectiva isométrica del ensamblaje simplificado (2).

3.2.1.2. Condiciones de contorno

En las siguientes imágenes, se muestran las condiciones de contorno aplicadas, como la restricción de cualquier giro y desplazamiento de la cara inferior de la bancada (Ilustración 424), así como el impedimento de giro del volante de inercia (Ilustración 425). Con esta última condición de contorno, se simulará la condición más desfavorable, que será la puesta en marcha de la máquina. La aplicación se centraba en pequeños buques marítimos o trenes, por lo que iniciar el movimiento de estos medios de transporte sería la condición más desfavorable, ya que una vez iniciado, se requiere un menor trabajo, pues llevan una cantidad de movimiento y una inercia. Por tanto, impidiendo el giro del volante de inercia, se simula la situación más desfavorable, una situación de bloqueo del mismo debido al inicio del movimiento. Además, puede resultar interesante desde el punto de vista experimental, dado que se sabe que en los bancos de ensayo de motores de combustión interna actuales, lo que se hace es frenar el volante de inercia y medir sobre el mismo, por lo que, se simulará dicha situación, pero desde un punto de vista estático.

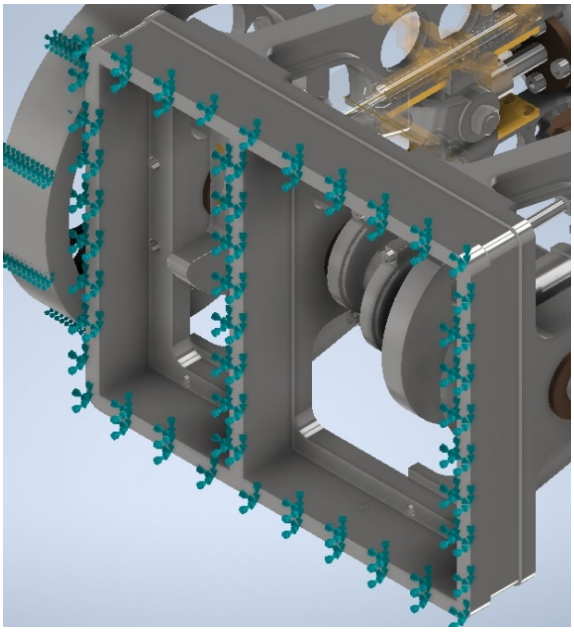


Ilustración 424. Fijación de la bancada.

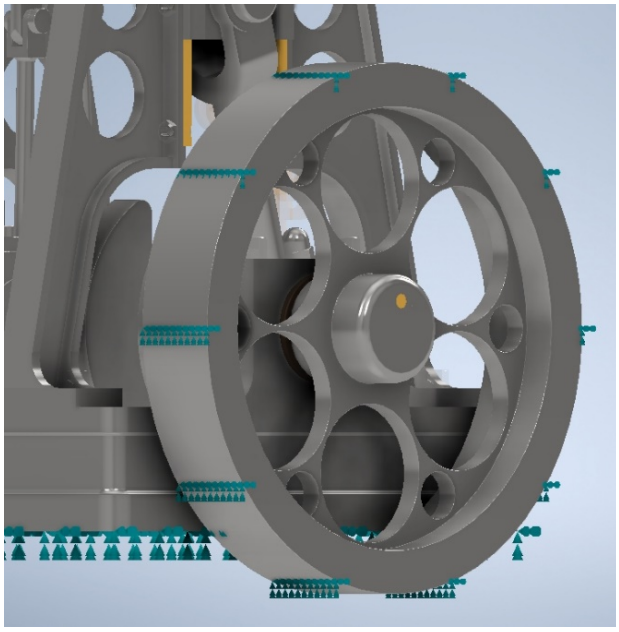


Ilustración 425. Fijación del volante de inercia.

3.2.1.3. Posiciones críticas

Se trata de un motor de doble expansión, es decir, el fluido de trabajo sufre dos expansiones, una primera expansión en el cilindro de alta presión, y una segunda en el cilindro de baja presión. Además, el cilindro de baja presión tendrá condiciones de operación menos críticas, puesto que su volumen es mayor y, por tanto, la fuerza ejercida por el vapor será repartida por mayor superficie. Asimismo, las condiciones del vapor en la admisión del cilindro de baja presión son mucho menos críticas que las dadas en la admisión del cilindro de alta presión. Es por ello, que se simularán dos posiciones críticas, que son las correspondientes al cierre de la admisión cuando el émbolo se desplaza desde el punto muerto superior al inferior, y viceversa, para las que el vapor entrará por la admisión, y empujará el émbolo del pistón hacia el punto muerto opuesto. En dichas posiciones, el émbolo del pistón de baja presión no se encuentra en ningún punto muerto, sino que se encuentra bajo una posición intermedia, realizando en una de sus caras una expansión del vapor, y en la otra, el escape a la presión atmosférica. Posteriormente, se detallarán las hipótesis adoptadas para realizar los análisis estático-lineales, así como las condiciones de vapor.

En las Ilustraciones 426 a 429 ambas posiciones críticas a estudiar.

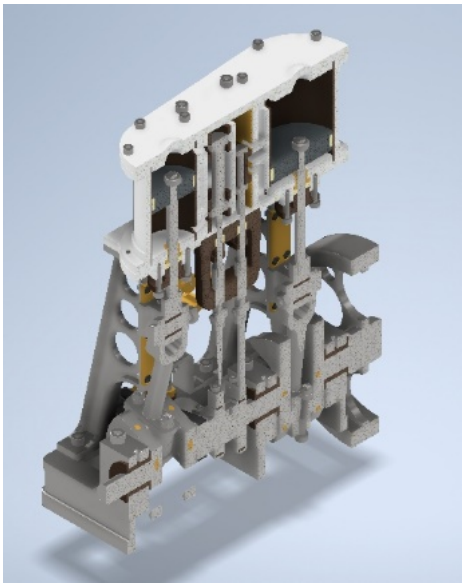


Ilustración 426. Posición crítica 1. Desplazamiento desde PMS a PMI. Vista isométrica.

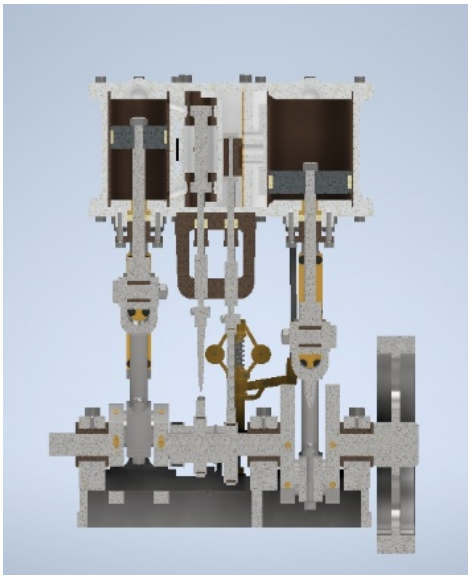


Ilustración 427. Posición crítica 1. Desplazamiento desde PMS a PMI. Vista frontal.

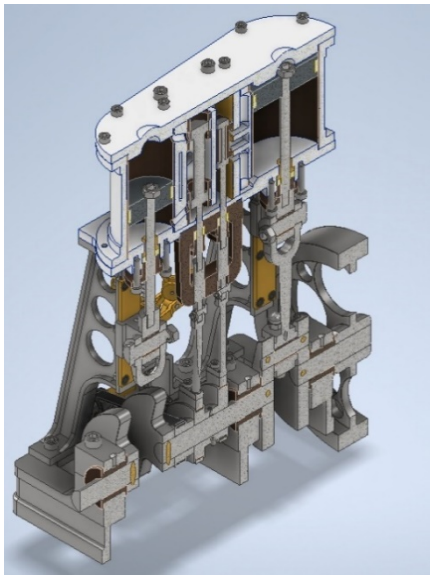


Ilustración 428. Posición crítica 2. Desplazamiento desde PMI a PMS. Vista isométrica.

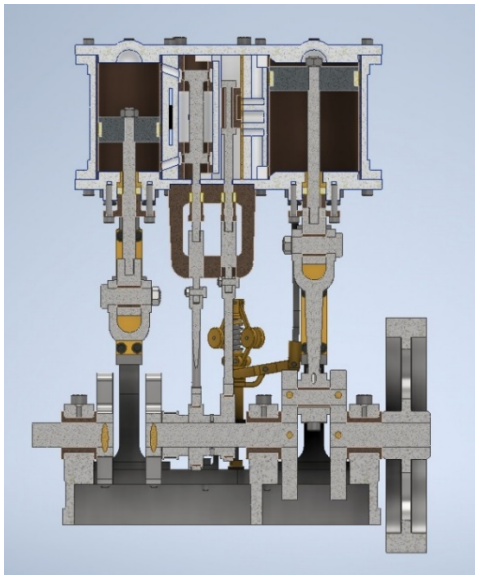


Ilustración 429. Desplazamiento desde PMI a PMS. Vista frontal.

3.2.1.4. Envolvente de esfuerzos

No se tiene ninguna información sobre las condiciones de operación de la máquina de vapor a estudiar. Por tanto, como ya se ha mencionado anteriormente, se van a realizar diferentes iteraciones hasta determinar las presiones de trabajo óptimas. Sin embargo, en la presente invención este proceso iterativo puede resultar más complejo, dado que, que la presión de escape del cilindro de alta presión, será la

presión de admisión en el cilindro de baja presión, despreciando pérdidas de carga. Además, al ser ambos cilindros de doble efecto, la única presión que se conoce, es la presión del escape del cilindro de baja presión, que sería la atmosférica, lo que obligará a trabajar con valores de presión manométricas. Además, en el cilindro de alta presión, se debe aplicar una carga de tipo presión en ambas caras del émbolo del pistón, siendo en una de ellas la presión de admisión, cuyo valor será el máximo, y en la otra cara del émbolo, la presión de escapa de dicho cilindro; por tanto, se debe aplicar la diferencia de presiones en la cara de admisión. Además, dado que se saldría fuera del alcance del TFG, la mejor manera de trabajar sería analizando el ciclo termodinámico, para determinar así la presión de vapor tras la expansión en el cilindro de alta presión y, de esta manera, en función de las condiciones de entrada al cilindro de alta presión, también se conocerán las condiciones de admisión en el cilindro de baja presión. Analizar termodinámicamente la máquina es más complicado de lo que puede aparentar, ya que se debe conocer el momento exacto (ángulo de giro del cigüeñal respecto de algún punto muerto) del cierre de la válvula de admisión, y dicho ángulo puede ser modificado girando la roldana excéntrica (como bien se indica en los planos de la referencia web [7]). Por tanto, para simplificar los cálculos y el análisis, se aplicará una presión máxima en la cara correspondiente del émbolo del pistón de alta presión, y se considerará que dicho valor es la resultante, es decir, el valor de la presión a aplicar en la cara del émbolo será la correspondiente a la diferencia de la presión de admisión menos la presión de escape, en el cilindro de alta presión. También se analizará para la posición del pistón correspondiente al cierre de admisión, justo cuando comienza la expansión. Tras esta primera hipótesis de trabajo, se deben de tener algunas consideraciones más. Dado que se debe conocer con mucha exactitud para qué ángulo se cierra la admisión, para obtener el volumen inicial, y tras una expansión adiabática reversible (para simplificar), y conociendo el volumen final tras la expansión, determinar la presión de escape y obtener la presión de admisión del cilindro de baja presión.

El procedimiento seguido, simplifica en gran medida los análisis. Se considerará que, en el cilindro de baja presión, el valor de admisión será el mismo que en el cilindro de alta presión. Esto, como es obvio, no sucederá realmente, pero ayudará a realizar

una primera iteración, y determinar así las zonas más críticas de la invención. Si bajo estas primeras hipótesis, se detecta que la zona crítica no depende de la presión aplicada en cada uno de los cilindros, se puede operar con ambos de manera independiente. Para comprender mejor esta última hipótesis, se pondrá un ejemplo. Se imagina, que la presión de admisión (en ambos cilindros), en una primera iteración, es de 7 bares, siendo ésta la resultante. Si la zona crítica resulta que se da en el vástago del pistón de cada uno de los cilindros, da igual si en el cilindro opuesto, la presión aplicada es mayor, ya que el valor crítico en el vástago dependerá de la presión aplicada en su cilindro. De esta manera, se podrán realizar iteraciones modificando el valor de la presión aplicada en cada cilindro, hasta determinar los valores máximos de presión admisibles, que den lugar a factores de seguridad mayores de la unidad. Entonces, se tendrá un valor de presión para cada cilindro, como si trabajaran de manera independiente, aunque en la realidad esto no fuera así. Una vez determinada la presión máxima de admisión en cada cilindro, la conclusión más correcta sería decir que la presión máxima admisible, en el cilindro de alta presión, es la calculada iterando. Si para ese valor, aplicada en ambos cilindros, la máquina cumple, obviamente para condiciones reales de operación, también cumplirá ya que, en el cilindro de baja presión, el vapor ya se ha expandido una vez, y su valor de presión será inferior al de admisión en el cilindro de alta presión. Con esto se ha conseguido simular una condición mucho más desfavorable que la dada en la realidad, y se puede afirmar incluso, que los resultados de tensión, desplazamientos y factor de seguridad, dependerán para un análisis estático, de la presión de admisión en el cilindro de alta presión, y que la presión de admisión en el cilindro de baja presión, no influirá en la máquina desde el punto de vista de elasticidad y resistencia de materiales para la evaluación del fallo. Sin embargo, sí que influirá en el rendimiento térmico del ciclo, ya que se aprovecha la energía térmica residual tras la primera expansión, para volver a expandirse el fluido, y este hecho mejora el rendimiento térmico del ciclo de la máquina, así como el resto de rendimientos, ya que el trabajo obtenido es mayor.

En las Ilustraciones 430 a 433 se muestra la aplicación de las cargas para cada posición crítica. De otra manera, si la zona crítica se produce en alguna zona del

cigüeñal, por ejemplo, habiendo entonces una relación entre las presiones de cada cilindro, esta hipótesis sería descartada para dicho caso.

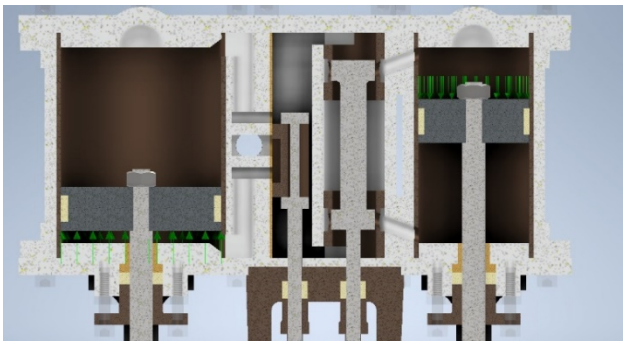


Ilustración 430. Aplicación de cargas para posición crítica 1 (1).

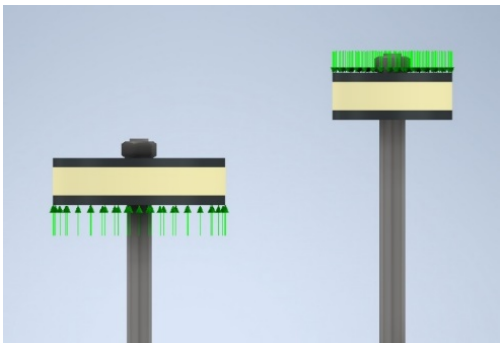


Ilustración 431. Aplicación de cargas para posición crítica 1 (2).

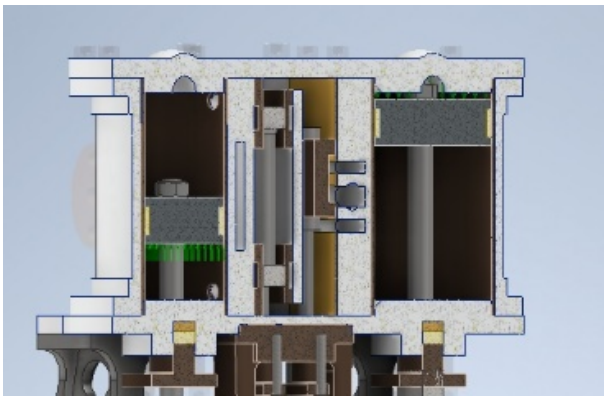


Ilustración 432. Aplicación de cargas para posición crítica 2 (1).

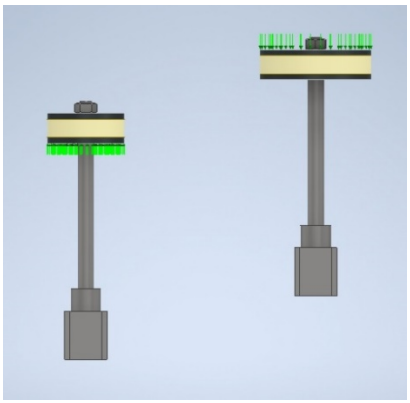


Ilustración 433. Aplicación de cargas para posición crítica 2 (2).

Además, se debe aplicar para ambos casos, la fuerza peso, siendo ésta el resultado de multiplicar la masa total de la máquina, por la aceleración de la gravedad, y aplicarla en el centro de masas de la invención. Autodesk Inventor Nastran calcula automáticamente la masa de la máquina y la posición del centro de masas, por lo que tan sólo hay que introducir el valor de la aceleración de la gravedad (9,81 m^2), en el eje y sentido adecuados.

3.2.1.5. Materiales empleados y mallado

A continuación, se muestra la tabla de materiales correspondientes a las partes que forman parte del análisis, puesto que los materiales de los elementos excluidos del análisis no son necesarios idealizarlos y, por tanto, sólo se exponen las propiedades mecánicas de aquellos que sí intervienen en el análisis (Tabla 11).

Material	Módulo de Young (MPa)	Coeficiente de Poisson	Densidad (Kg/m^3)	Tensión de fluencia (MPa)
Acero al carbono	200.000	0,290	7.850	350,00
Acero inoxidable	193.000	0,300	8.000	250,00
Hierro fundido	120.500	0,300	7.150	758,00
Latón	109.600	0,331	8.470	103,40
Bronce fundido	109.600	0,335	8.870	128,00
Nylon	2.930	0,350	1.130	82,75
Aluminio 6061	68.900	0,330	2.700	275,00

Tabla 11. Propiedades mecánicas de los materiales que intervienen en los análisis.

Asimismo, se muestra una perspectiva isométrica del mallado global realizado automáticamente por el software (Ilustración 434), sin la aplicación de ningún control de malla local, a excepción de los controles de malla aplicados a las partes que no se habían mallado correctamente inicialmente, y cuyo control de malla era necesario para una discretización correcta del conjunto de elementos.

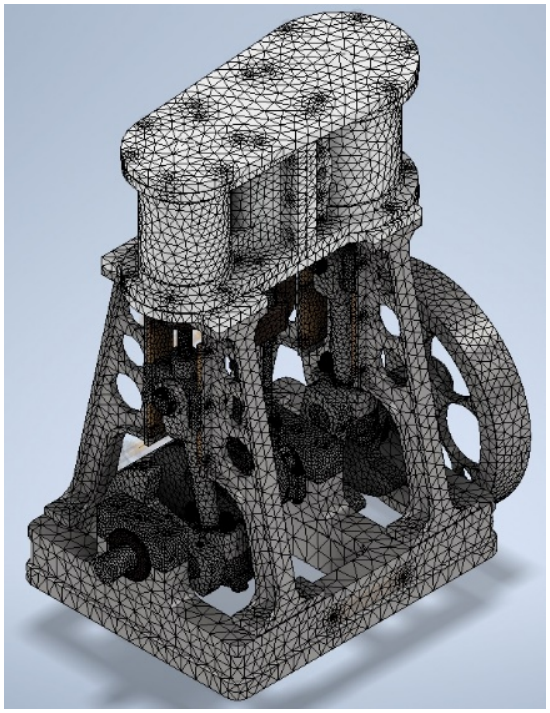


Ilustración 434. Perspectiva isométrica del mallado global.

Los elementos empleados son de tipo de interpolación cuadrática, lo que ofrece un valor más preciso de las variables a estudiar en el interior del elemento finito, en particular, de la tensión equivalente de von Mises, desplazamientos y factor de seguridad. De esta manera, el software recomienda inicialmente un tamaño máximo de elemento de 0.029 m. De manera manual, se introducen otros parámetros, como

la ratio de crecimiento del elemento, con un valor de 1,1, un ángulo mínimo de las caras del tetraedro de 35º, y un valor máximo de 65º. Con estos valores, se genera una malla global de 1. 444. 410 elementos y 2. 521. 802 nodos. El empleo de tetraedros ofrece una mejor adaptación de la malla a geometrías complejas.

3.2.1.6. Análisis modal

3.2.1.6.1. Posición crítica 1: Desplazamiento desde PMS a PMI

En la Ilustración 435 se muestra una gráfica con los resultados obtenidos para el presente análisis modal, correspondiente a la posición crítica 1 (desplazamiento del punto muerto superior al punto muerto inferior). Se recuerda que dicha posición es la correspondiente al cierre de admisión en la cara superior del émbolo del pistón de alta presión, cuando este se desplaza desde el punto muerto superior al punto muerto inferior. Esta gráfica muestra las diez primeras frecuencias naturales de vibración, para los correspondientes modos de vibración, ya que, a cada modo le corresponde una frecuencia natural, como ya se ha mencionado con anterioridad. Además, se muestra una tabla (Tabla 12), con los valores de dichas frecuencias.

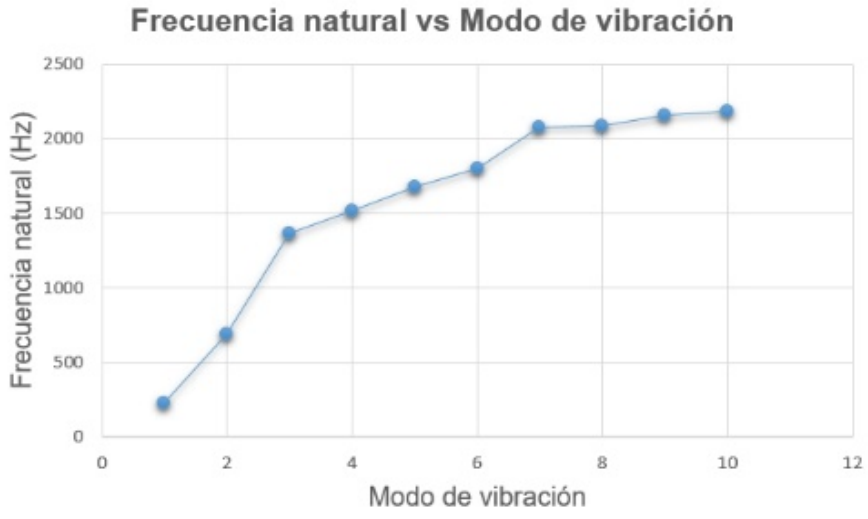


Ilustración 435. Gráfica de frecuencia natural vs modo de vibración para posición crítica 1.

Modo de vibración	Frecuencia natural (Hz)
01	228,856
02	690,977
03	1.371,334
04	1.520,094
05	1.678,204
06	1.799,994
07	2.078,845
08	2.089,351
09	2.155,662
10	2.189,124

Tabla 12. Valores de las primeras frecuencias naturales para posición crítica 1.

A través de los resultados obtenidos, se puede observar que las frecuencias naturales de vibración obtenidas son mayores de cero, de forma que, realizar un análisis estático lineal en la posición crítica 1, siendo esta la correspondiente al instante del cierre de la admisión, en el desplazamiento del émbolo del pistón desde el punto muerto superior al punto muerto inferior, puede llevarse a cabo.

3.2.1.6.2. Posición crítica 2: Desplazamiento desde PMI a PMS

De igual manera que para la posición crítica 1, se muestran los resultados obtenidos para la posición crítica 2, en la Ilustración 436 y Tabla 13. En dicha gráfica se muestran las diez primeras frecuencias naturales, y en la tabla, los valores para las mismas. Se recuerda que la posición crítica dos es la correspondiente al cierre de admisión en la cara inferior del émbolo del pistón de alta presión, en su desplazamiento desde el punto muerto inferior al punto muerto superior.

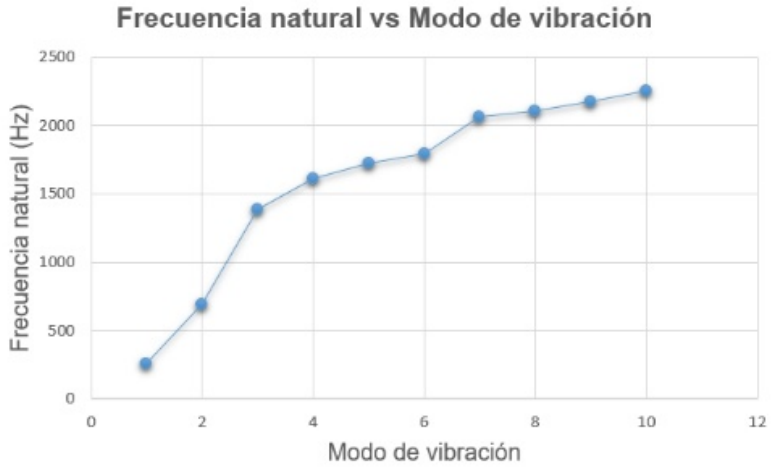


Ilustración 436. Gráfica de frecuencia natural vs modo de vibración para posición crítica 2.

Modo de vibración	Frecuencia natural (Hz)
01	256,206
02	691,678
03	1.386,978
04	1.613,984
05	1.725,334
06	1.793,178
07	2.064,468
08	2.105,807
09	2.172,460
10	2.256,000

Tabla 13. Valores de las primeras frecuencias naturales para posición crítica 2.

3.2.1.7. Análisis estático lineal

En los siguientes apartados se van a realizar diferentes análisis de tipo estático lineal. Dado que el criterio de fallo utilizado es el alcance de la tensión de fluencia, es decir, si la tensión equivalente de von Mises iguala la tensión de fluencia en algún punto del ensamblaje, el conjunto habrá fallado, y en máquinas con movimiento alternativo y rotativo de ciertos elementos, deformaciones de tipo permanente pueden dar lugar a un mal funcionamiento de la máquina, de modo que éste es el motivo por

el que se aplica dicho criterio de fallo, y el motivo de porqué el análisis es lineal, y no tiene en cuenta la no linealidad de los materiales a partir de la tensión de fluencia (Sy).

Dicho esto, en los siguientes epígrafes se resumen los resultados obtenidos para cada una de las posiciones críticas. Asimismo, se recuerda que se debe comprobar que se cumple la hipótesis anteriormente mencionada, es decir, la tensión máxima debe darse en algún punto del ensamblaje, que no tenga nada que ver con la presión aplicada en la cámara del cilindro contraria. Si esta hipótesis no se cumple, el análisis se complica ya que la presión aplicada en cada cilindro, influiría en la tensión máxima. Además, la finalidad de los análisis, dado que se carece de información de las condiciones de operación, es determinar la presión máxima admisible en el cilindro de baja presión, así como la resultante de la presión de admisión menos la presión tras la expansión (Pin – Pout) en el cilindro de alta presión.

3.2.1.7.1. Posición crítica 1. Desplazamiento desde PMS a PMI

En primer lugar, se realiza un análisis estático lineal, aplicando una presión de valor de 6.5 bar en el pistón de alta presión y en el de baja presión.

La tensión equivalente de von Mises obtenida se muestra en las Ilustraciones 437 y 438. Se ha denominado como Pap a la presión aplicada en el émbolo del pistón de alta presión, y como Pbp a la presión aplicada en el émbolo del pistón de baja presión.

Asimismo, en las Ilustraciones 439 y 440 se muestra el coeficiente de seguridad obtenido para las condiciones anteriormente mencionadas.

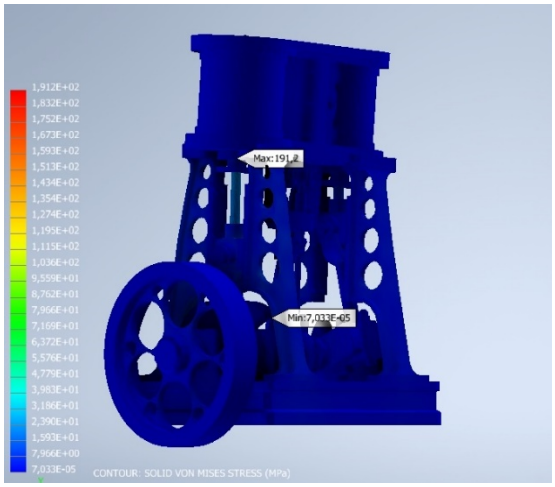


Ilustración 437. Distribución de tensión de Von Mises para Pap=Pbp=6.5 bar (1).

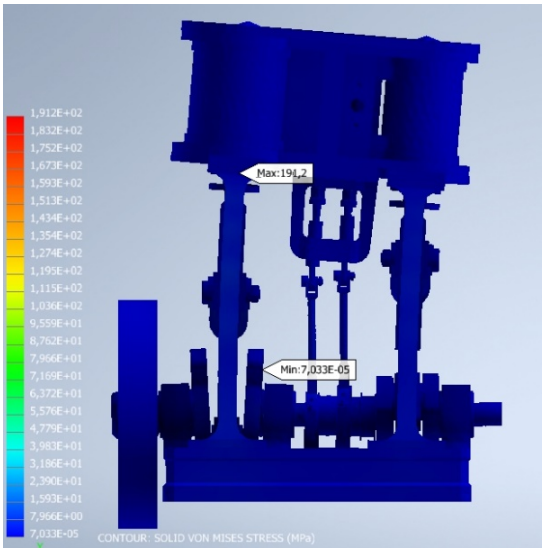


Ilustración 438. Distribución de tensión de Von Mises para Pap=Pbp=6.5 bar (2).

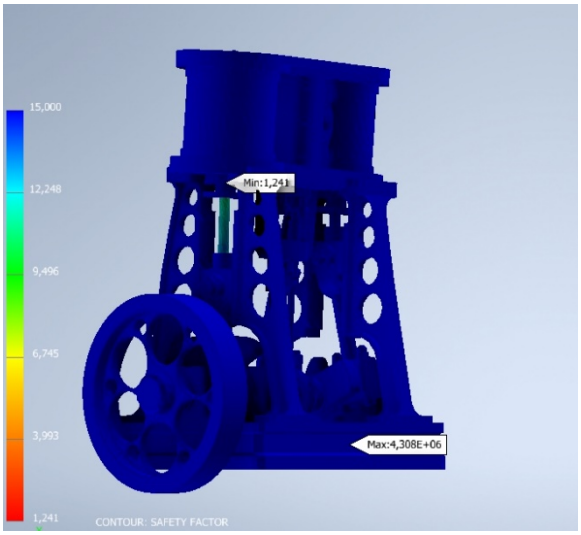


Ilustración 439. Distribución del factor de seguridad para Pap=Pbp=6.5 bar (1).

Ilustración 440. Distribución del factor de seguridad para Pap=Pbp=6.5 bar (2).

Se observa que la tensión máxima se da en el casquillo del cilindro de baja presión, por lo que la hipótesis se cumple, y se puede trabajar de la manera que se ha mencionado con anterioridad, es decir, ir modificando la presión aplicada en cada émbolo de manera que la presión aplicada en uno no influye en la aplicada en el otro, dado que la tensión máxima se produce en una zona de relación directa con la presión aplicada en su propio pistón, en este caso, en el casquillo del cilindro de baja presión. Con esta hipótesis se confirma, que da igual la presión que se aplique en el pistón de

alta presión, puesto que la tensión en el casquillo del cilindro de baja presión, dependerá de la presión aplicada en el émbolo del pistón de baja presión. De igual manera sucederá con el casquillo del cilindro de alta presión.

Como bien se puede observar en ambas Ilustraciones, el factor de seguridad es mayor de la unidad, por lo que se podría confirmar que la máquina cumple para las condiciones mencionadas. Sin embargo, este valor tanto de tensión máxima de von Mises, como del factor de seguridad, se han obtenido en una primera iteración, para una malla sin refinar, es decir, no se ha realizado el análisis de convergencia de malla para esta primera simulación. Si se refinara un poco la malla en la zona de máxima tensión, la tensión de von Mises aumentaría produciendo el fallo. Por tanto, se debe aplicar otro valor de presión en ambos émbolos.

El siguiente análisis realizado, es para una presión en el émbolo de baja presión de 1,5 bar, y en el de alta presión de 5 bar. En la Ilustración 441 se muestran el pistón de alta presión y el de baja presión junto a los casquillos, para visualizar las zonas críticas con claridad.

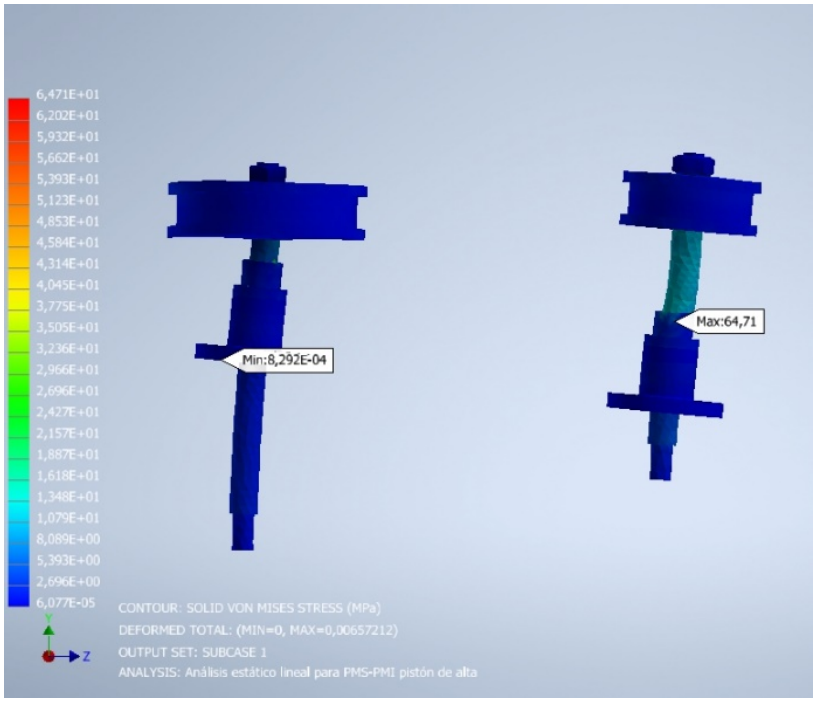


Ilustración 441. Zonas críticas para Pap=5 bar y Pbp=1,5 bar.

Los casquillos de ambos cilindros son los elementos críticos. Sin embargo, en la imagen anterior, se observa cómo el casquillo del cilindro de baja presión ha dejado de ser crítico, y ahora lo será el casquillo del cilindro de alta presión. Por tanto, se puede confirmar que la presión máxima admisible en el cilindro de baja presión, es de 1,5 bar ya que, para ese valor de presión aplicada en el émbolo, el casquillo cumple bajo criterio de resistencia de materiales. En cuanto al casquillo del cilindro de alta presión, sucede de igual manera que para el primer caso de carga, es decir, cumple, pero si se refina la malla, dejaría de hacerlo.

Tras realizar diferentes análisis, con diferentes valores en la presión aplicada en el émbolo de alta presión (ya que en el de baja ya se ha fijado dicho valor de presión), se llega a determinar la resultante de presión máxima admisible, siendo ésta de 3 bar.

A continuación, se muestran los diferentes resultados obtenidos para la presión aplicada de 3 bar en el émbolo del pistón de alta presión, y de 1,5 bar en el émbolo del pistón de baja presión.

En la Ilustración 442, se puede observar la gráfica de análisis de convergencia de malla, así como en la Tabla 14, el tamaño del elemento del sólido que se ha refinado, así como el error relativo tras cada iteración.

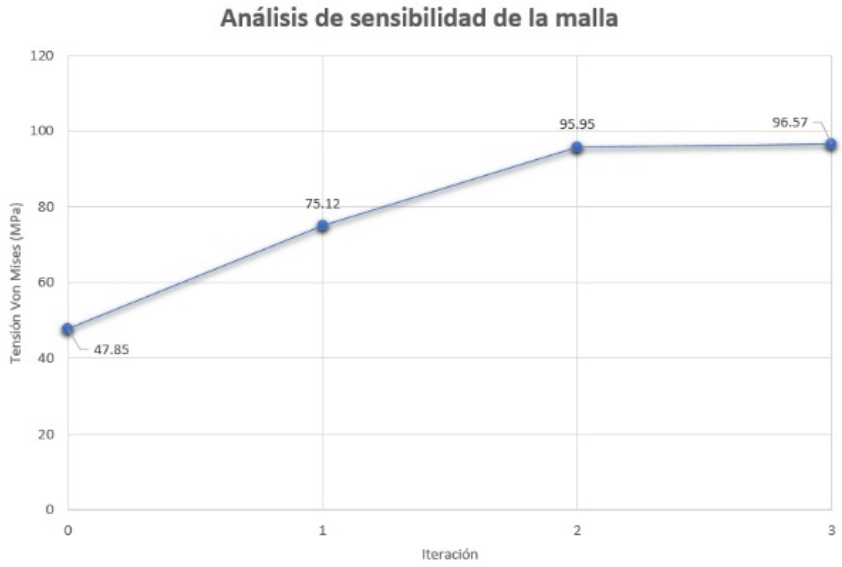


Ilustración 442. Gráfica de análisis de convergencia de malla.

Tamaño de elemento del casquillo del cilindro de alta presión (mm)	Tamaño de elemento del vástago del pistón alta presión (mm)	Iteración	Tensión equivalente de Von Mises	Error relativo (%)
0,75	2,75	0	47,85	-
0,45	1,25	1	75,12	36,30
0,425	1,125	2	95,95	21,71
0,38	0,9	3	96,57	0,64

Tabla 14. Parámetros del análisis de convergencia de malla.

De esta manera, se consigue un error relativo del 0.64 %, prácticamente un error nulo, por lo que se puede afirmar que la malla tiene muy buena calidad y una alta precisión.

En las Ilustraciones 443 y 444, se muestran dos perspectivas isométricas de la distribución de la tensión equivalente de von Mises, así como dos imágenes (Ilustraciones 445 y 446) de la distribución de la tensión von Mises en el elemento más crítico, siendo éste el casquillo del cilindro de alta presión.

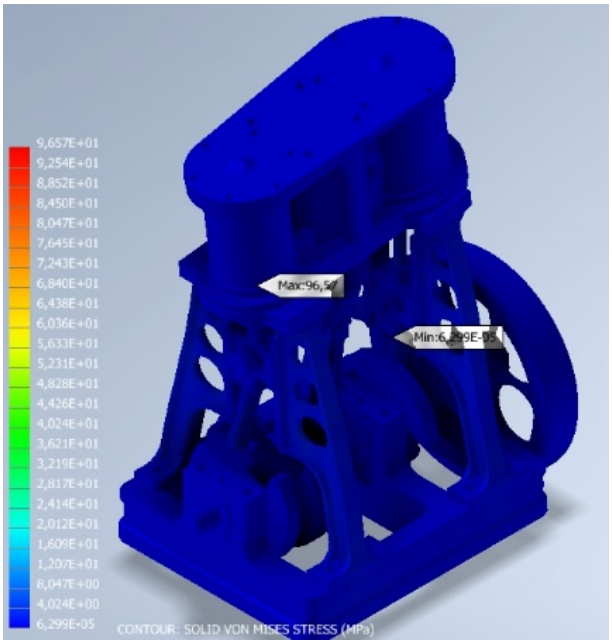


Ilustración 443. Perspectiva isométrica de la distribución de tensión equivalente de von Mises (MPa) (1).

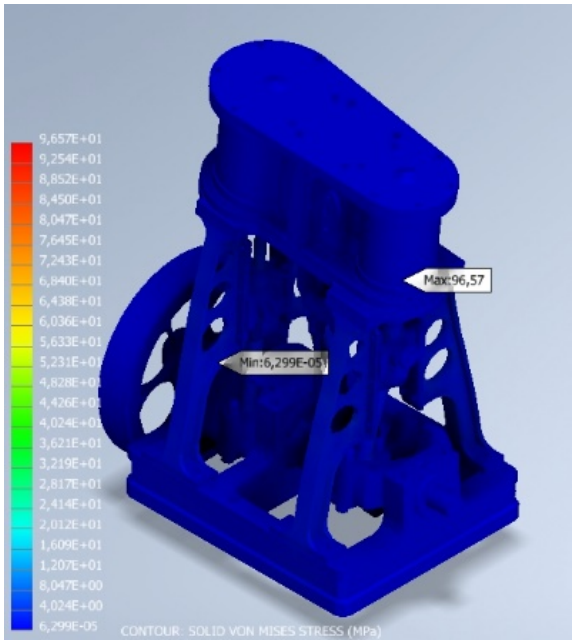


Ilustración 444. Perspectiva isométrica de la distribución de tensión equivalente de von Mises (MPa) (2).

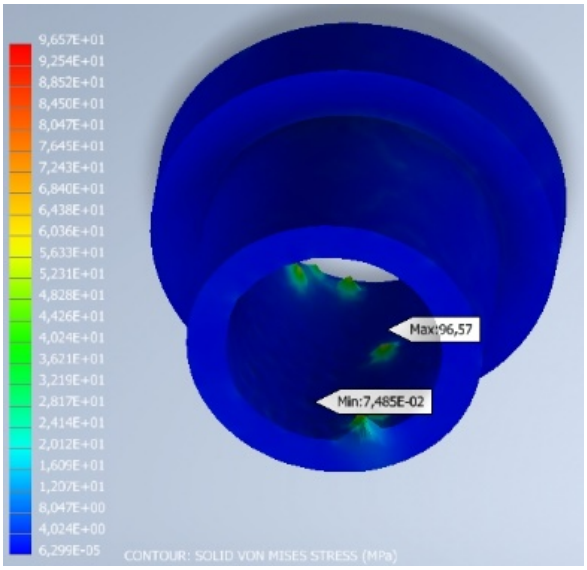


Ilustración 445. Distribución de tensión equivalente de von Mises (MPa) en el casquillo del cilindro de alta presión (1).

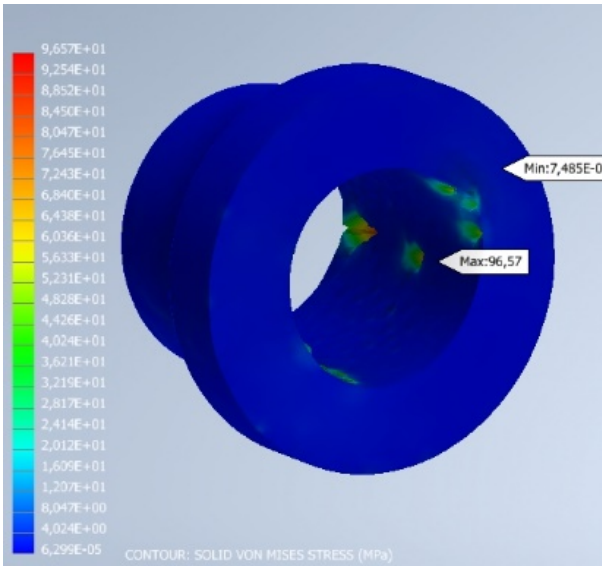


Ilustración 446. Distribución de tensión equivalente de von Mises (MPa) en el casquillo del cilindro de alta presión (2).

A continuación, se muestran los desplazamientos sufridos por cada uno de los elementos del conjunto, para ello, se muestran dos perspectivas isométricas (Ilustraciones 447 y 448), una vista lateral del conjunto (Ilustración 449) y una perspectiva isométrica del pistón de alta presión (Ilustración 450), ya que es éste el que experimenta el mayor valor de desplazamiento. Destacar que en las Ilustraciones la posición deformada va multiplicada por un factor de valor 10, para poder visualizar mejor la forma que adopta el conjunto tras la aplicación de las cargas, dado que los desplazamientos son muy pequeños, del orden de 10^{-3} mm y si no se aplicara dicho factor de aumento, no se podría observar la posición deformada del ensamblaje con claridad.

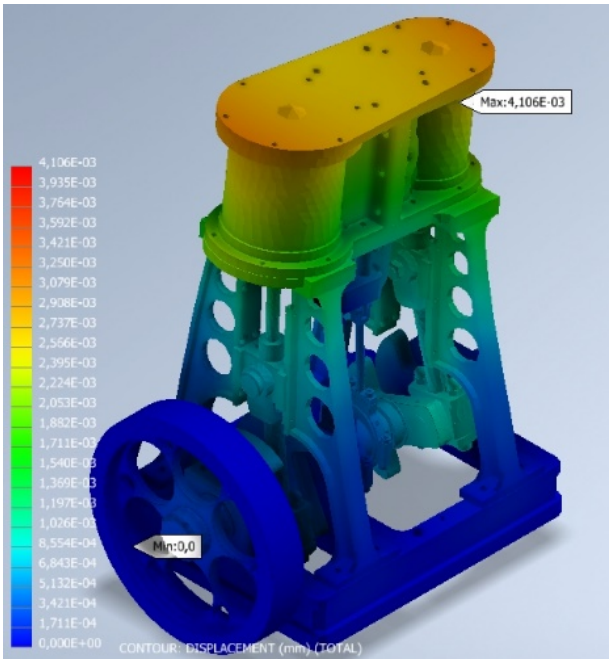


Ilustración 447. Perspectiva isométrica del campo de desplazamientos (mm) (1).

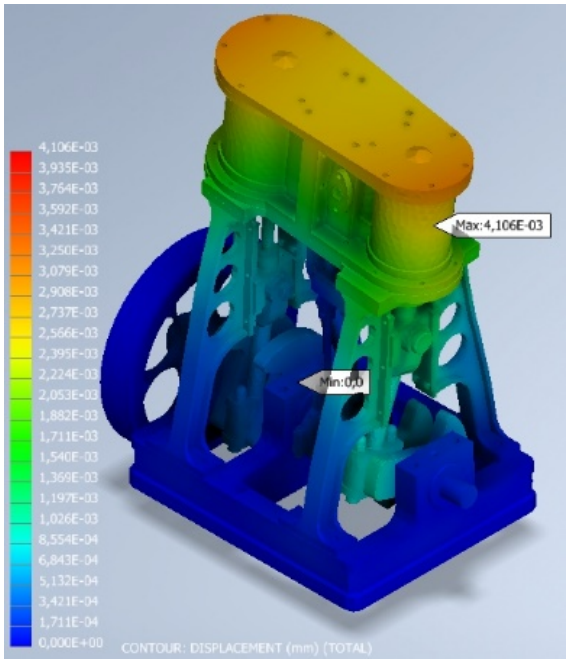


Ilustración 448. Perspectiva isométrica del campo de desplazamientos (mm) (2).

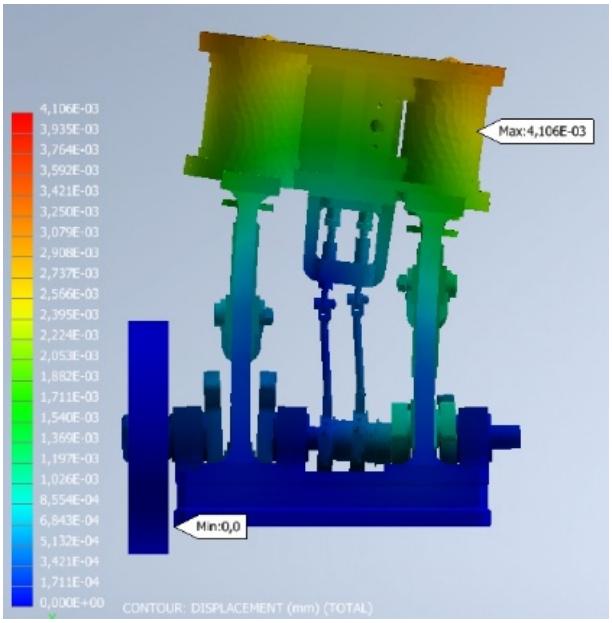


Ilustración 449. Vista lateral del campo de desplazamientos (mm) (1).

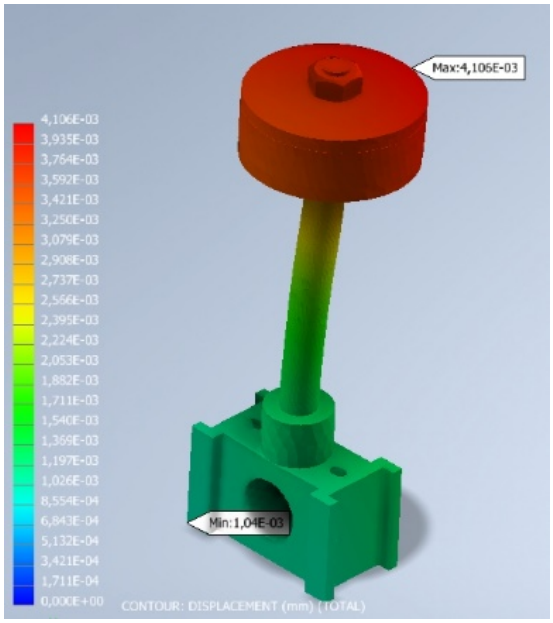


Ilustración 450. Perspectiva isométrica del campo de desplazamientos (mm) en el pistón de alta presión (2).

Por último, se muestran la distribución del factor de seguridad en el conjunto (Ilustraciones 451 y 452).

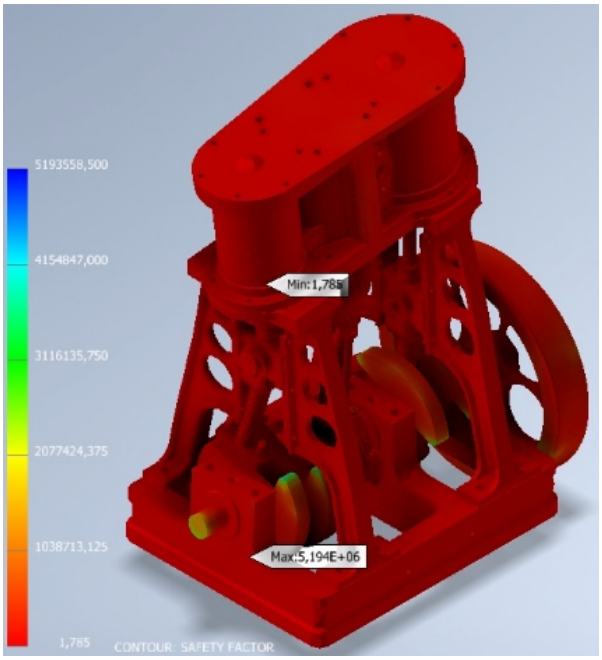


Ilustración 451. Perspectiva isométrica de la distribución del factor de seguridad (1).

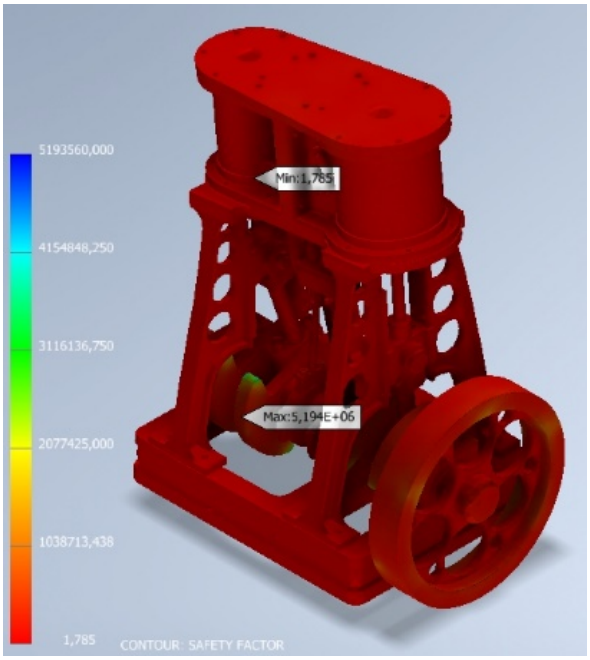


Ilustración 452. Perspectiva isométrica de la distribución del factor de seguridad (1).

Como se puede observar en los resultados (distribución de la tensión equivalente de von Mises, desplazamientos y factor de seguridad), la tensión máxima de von Mises es de 96,57 MPa en el casquillo del cilindro de alta presión, el valor máximo del módulo del desplazamiento es de $4{,}10*10^{-3}$ mm en el émbolo del pistón de alta presión, y el mínimo factor de seguridad se localiza en el casquillo del cilindro de alta presión con un valor de 1,785.

3.2.1.7.2. Posición crítica 2: Desplazamiento desde PMI a PMS

Al igual que en la posición crítica anterior, se van a realizar diferentes análisis para determinar la distribución de las variables (tensión de von Mises, desplazamientos y factor de seguridad) en el conjunto, así como para realizar un análisis de convergencia de malla. Además, para esta posición crítica, no se requiere realizar análisis previos con valores de presión elevados para determinar el valor de las presiones máximas admisibles, ya que se han obtenido en la posición crítica anterior. Sólo se requerirá volver a determinar la presión máxima admisible de cada

cilindro, en el caso de que, para la calculada previamente, la máquina falle (factor de seguridad inferior a la unidad).

De esta manera, en la Ilustración 453 se muestra la gráfica del análisis de convergencia de malla, así como en la Tabla 15, los parámetros de dicho análisis (el tamaño del elemento en la zona crítica, el número de iteración, la tensión equivalente de von Mises y el error relativo cometido).

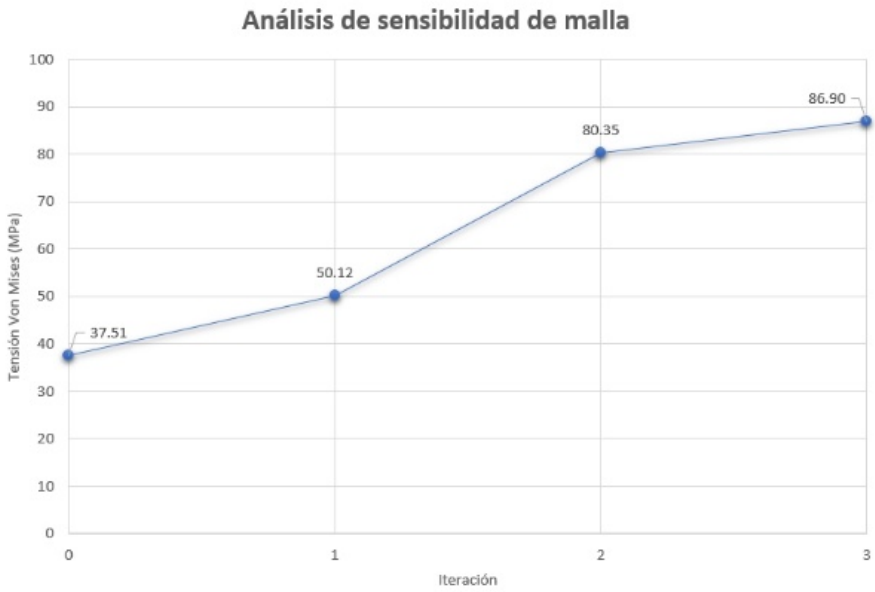


Ilustración 453. Gráfica de análisis de convergencia de malla.

Tamaño de elemento del casquillo del cilindro de alta presión (mm)	Tamaño de elemento del vástago del pistón alta presión (mm)	Iteración	Tensión equivalente de Von Mises	Error relativo (%)
0,88	3,90	0	37,51	-
0,60	2	1	75,12	25,02
0,40	1,25	2	80,35	37,62
0,38	1,15	3	86,90	7,53

Tabla 15. Parámetros del análisis de convergencia de malla.

Como se observa en la Tabla 15, el error relativo obtenido es inferior al 10%, tomando un valor de 7,53%, por lo que se puede confirmar que se ha producido la convergencia de la malla. Además, tras realizar el primer análisis (iteración 0), se determina la zona crítica, siendo de nuevo el casquillo del cilindro de alta presión y, por tanto, este elemento y el vástago del pistón de alta presión, los que se refinaran. Puede resultar extraño a primera vista que también se reduzca el tamaño de grilla en

el vástago, pero, esto se hace para obtener unos resultados más precisos, ya que es el vástago el que le transmite las fuerzas al casquillo, y de esta manera, si se refina también el vástago del pistón, los resultados obtenidos son más precisos, y la malla converge en un menor número de iteraciones.

En la Ilustración 454, se muestra la distribución de tensiones de von Mises en la zona crítica, en la primera iteración (iteración 0).

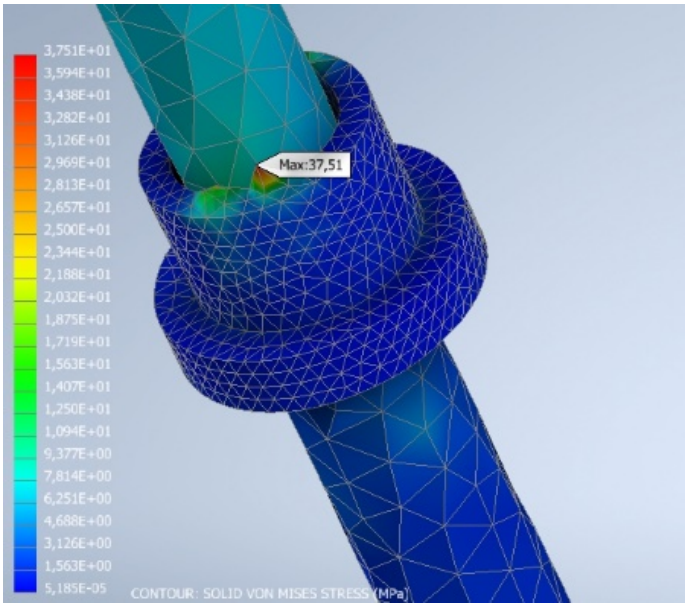


Ilustración 454. Tensión de von Mises (MPa) en la zona crítica.

En las Ilustraciones 455 y 456 se muestran dos perspectivas isométricas, así como dos perspectivas (Ilustraciones 457 y 458) del elemento crítico (casquillo del cilindro de alta presión) de la distribución equivalente de von Mises.

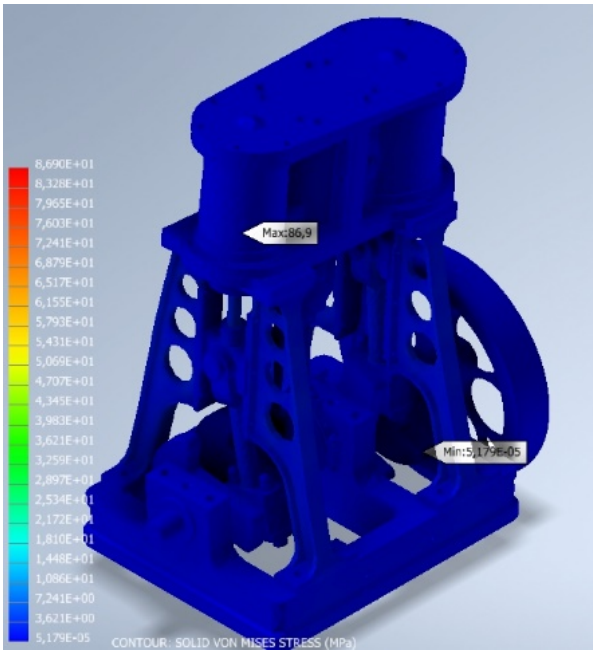


Ilustración 455. Perspectiva isométrica de la distribución de la tensión de Von Mises (MPa) (1).

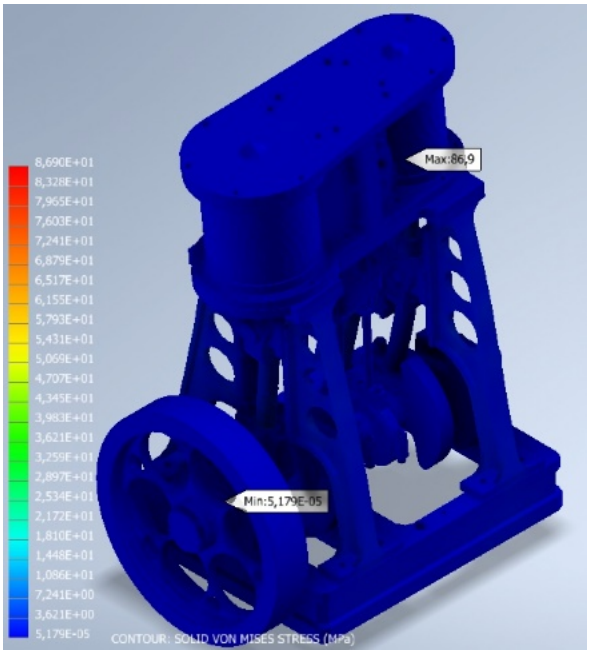


Ilustración 456. Perspectiva isométrica de la distribución de la tensión de Von Mises (MPa) (2).

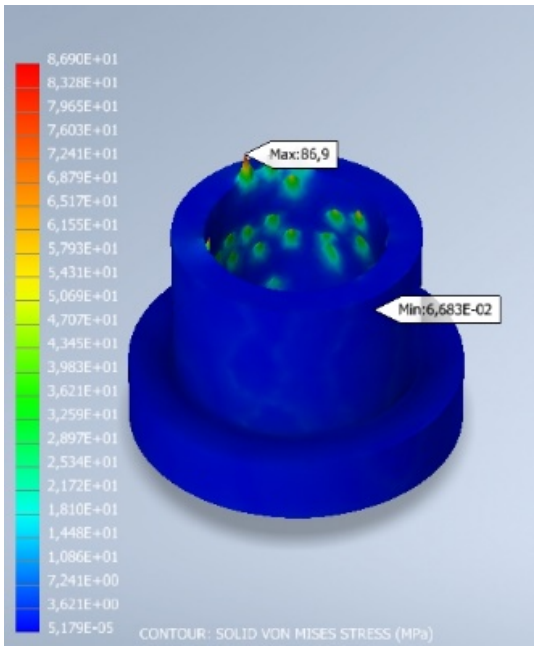


Ilustración 457. Distribución de tensión Von Mises (MPa) en el casquillo del cilindro de alta presión (1).

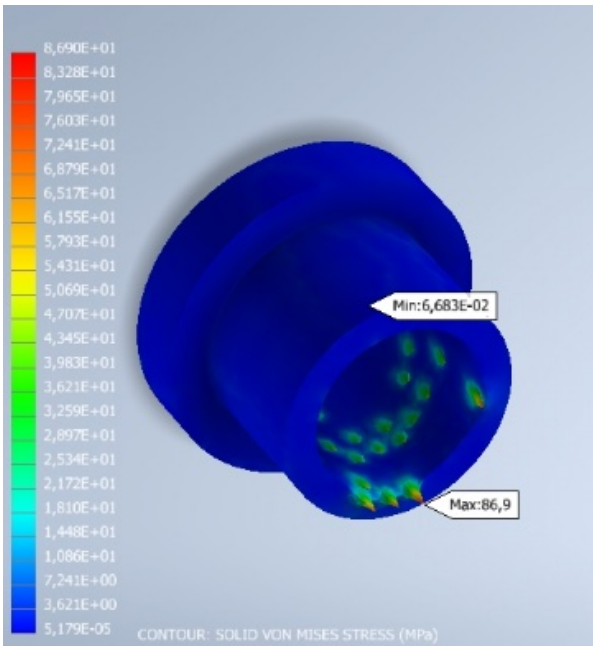


Ilustración 458. Distribución de tensión Von Mises (MPa) en el casquillo del cilindro de alta presión (2).

A continuación, se muestran dos perspectivas isométricas de la distribución de desplazamientos (Ilustraciones 459 y 460), así como una vista lateral (Ilustración 461)

y una perspectiva isométrica del pistón de baja presión (Ilustración 462), ya que es este el que experimenta un mayor desplazamiento.

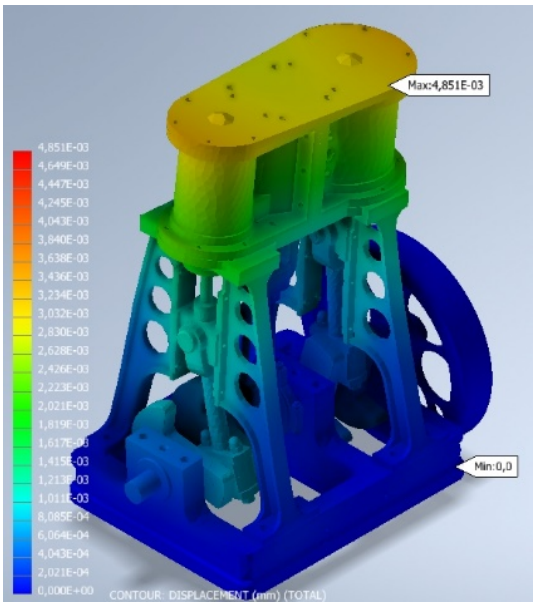


Ilustración 459. Perspectiva isométrica del campo de desplazamientos (mm) (1).

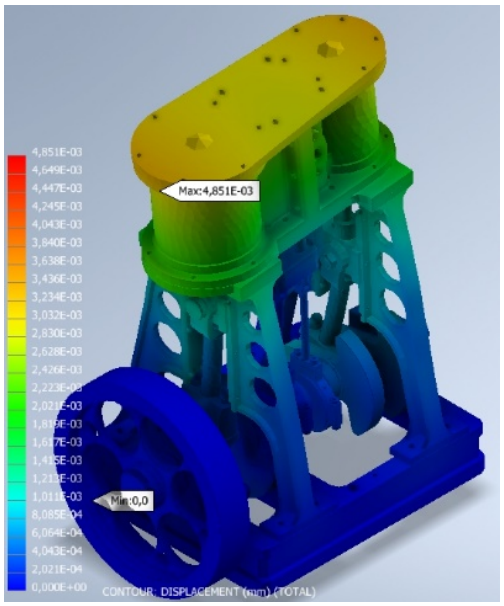


Ilustración 460. Perspectiva isométrica del campo de desplazamientos (mm) (2).

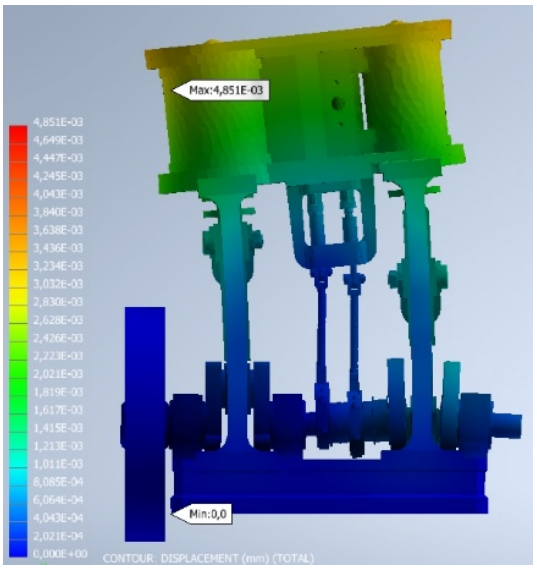


Ilustración 461. Vista lateral del campo de desplazamientos (mm) (1).

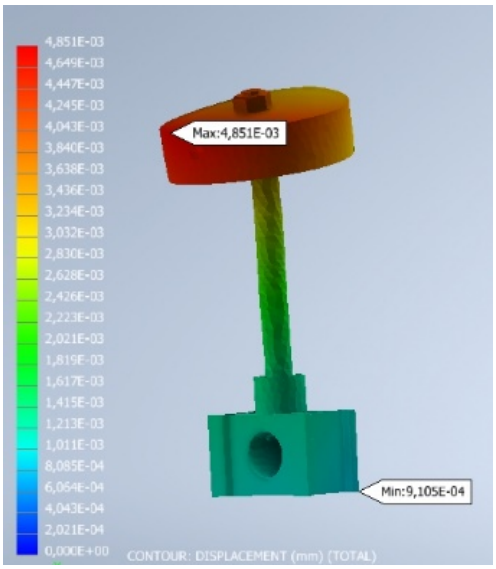


Ilustración 462. Perspectiva isométrica del campo de desplazamientos (mm) en el pistón de baja presión (2).

Por último, en las Ilustraciones 463 y 464 se muestra la distribución del factor de seguridad.

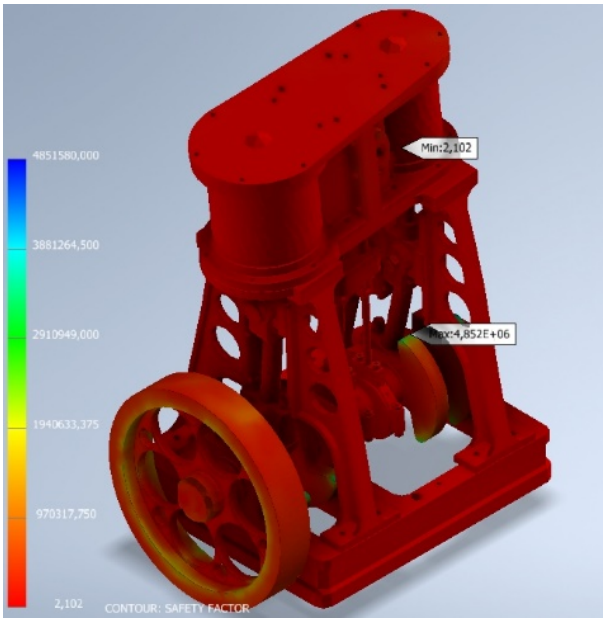


Ilustración 463. Perspectiva isométrica de la distribución del factor de seguridad (1).

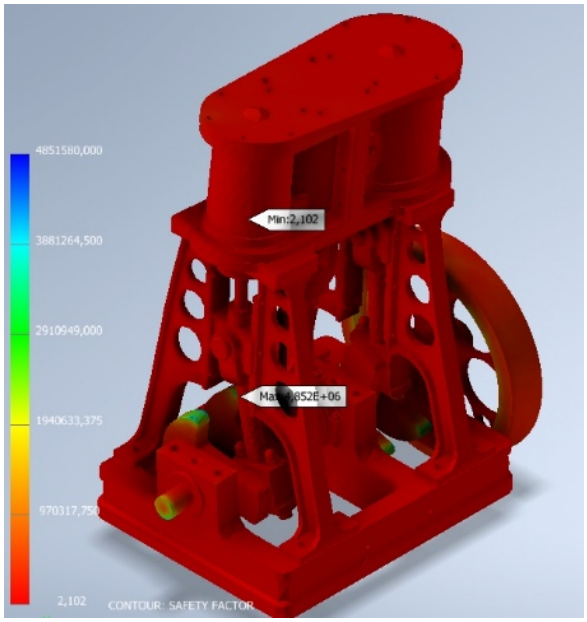


Ilustración 464. Perspectiva isométrica de la distribución del factor de seguridad (1).

Como se puede observar en los resultados (distribución de la tensión equivalente de von Mises, desplazamientos y factor de seguridad), la tensión máxima de von Mises es de 86.90 MPa en el casquillo del cilindro de alta presión, el valor máximo del módulo del desplazamiento es de $4.851*10^{-3}$ mm, en el émbolo del pistón de baja presión, y el mínimo factor de seguridad se da en el casquillo del cilindro de alta presión, tomando un valor de 2.102.

3.2.1.8. Discusión de los resultados

Tras realizar los diferentes análisis, primero se han determinado las diez primeras frecuencias naturales de vibración, para cada posición crítica, confirmándose que la primera de ellas es mayor de cero, y realizar un análisis estático tiene sentido.

En segundo lugar, tras realizar los diferentes análisis estáticos lineales, se ha podido determinar el valor de la presión máxima admisible en la admisión del cilindro de baja presión, y la presión resultante de la diferencia de la presión en la admisión, y la presión tras la expansión en el cilindro de alta presión. De esta manera, la presión máxima admisible en la admisión del cilindro de baja presión es de 1,5 bar, y la resultante en el cilindro de alta presión es de 3 bar. De esta manera, suponiendo que

tras la expansión en el cilindro de alta presión, el vapor tiene una presión de 1,5 bar, la presión máxima admisible en la admisión del cilindro de alta presión será de 4,5 bar. Se debe estudiar con más detalle el ciclo termodinámico del ciclo, para que tras la expansión en el cilindro de alta presión, la presión del vapor tras la expansión no exceda del valor de 1,5 bar, ya que éste es el máximo admisible en el cilindro de baja presión, así como que la diferencia entre presión de admisión y tras expansión, en el cilindro de alta presión, no exceda de los 3 bar, ya que si no habría fallo estático de primer ciclo en la máquina.

3.2.2. Invención 2: Motor de un solo cilindro tipo 'Saltamontes'

Al igual que en la invención anterior, se procede a dar explicación a cada uno de los apartados previos a las simulaciones, así como a las hipótesis de trabajo empleadas para poder obtener los resultados.

3.2.1.1. Simplificación del ensamblaje

Para poder simplificar la simulación, se deben eliminar del análisis aquellos elementos que se consideran poco influyentes en el análisis, y que su estudio estático o condiciones de operación, no son críticas, de manera que pueden excluirse determinados elementos del análisis, reduciendo así el coste computacional, lo que se resume en tiempos de simulación menores, y además, se evita que se aborte el análisis por falta de memoria.

Para la presente invención, los elementos excluidos de la simulación han sido los siguientes:

- **Bomba:** La función de este elemento es la de comprimir el fluido (vapor de agua) previamente a la entrada de la caldera. Dado que la variación de la presión de dicho fluido dependerá de la velocidad de giro de la máquina, se ha suprimido dicha bomba y se analizarán tan sólo las tensiones en el pistón de la bomba.
- **Sistema de admisión y regulación:** El regulador de velocidad tiene una funcionalidad dinámica, ya que éste girará a una velocidad proporcional a la del cigüeñal, y esto creará mayor o menor fuerza centrífuga, por lo que tendría un

mayor sentido analizar este componente dentro de un análisis dinámico. Asimismo, la entrada del vapor por la carcasa de admisión, en la que se encuentra la válvula de control de caudal, se eliminará del análisis para simplificar el modelo, puesto que se podría analizar por separado con tan sólo aplicar una carga de presión en los contornos de los elementos por los que pasa el fluido.

- **Elementos de unión:** Se han suprimido muchos elementos de fijación, y se han sustituido por relaciones de contacto de tipo ‘bonded’, es decir, por uniones soldadas. Este tipo de contacto establece que los nodos de las mallas de los elementos cuyas superficies se encuentran en contacto, no tendrán movimiento relativo entre ellos en dichas superficies. Dado que en la mayoría de casos, las uniones soldadas tienen una mayor resistencia que las uniones mediante pernos, esta simplificación tendrá sentido y podrá realizarse siempre y cuando las tensiones de von Mises (que será la utilizada como criterio de fallo comparándola con la tensión de fluencia del material) en las zonas de unión, estén alejadas del fallo (factor de seguridad mayor de la unidad), para asegurar que la tensión en dichas zonas siga trabajando en condiciones de seguridad y no haya plastificación en dichas uniones. Es decir, si la unión soldada da como resultado una tensión inferior a la tensión de fluencia, la tensión que habría en el caso de unión por pernos, sería ligeramente mayor.

Tras la exclusión del análisis de los elementos mencionados con anterioridad, se muestra a continuación dos perspectivas isométricas del ensamblaje final simplificado (Ilustraciones 465 y 466).

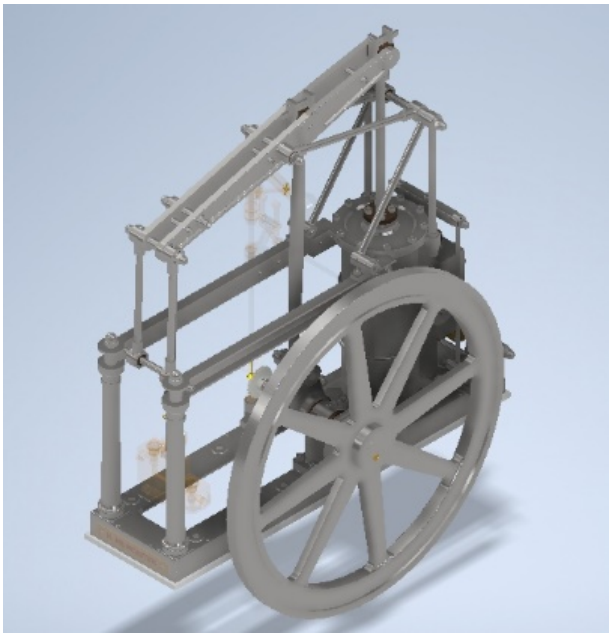


Ilustración 4655. Perspectiva isométrica del ensamblaje simplificado (1).

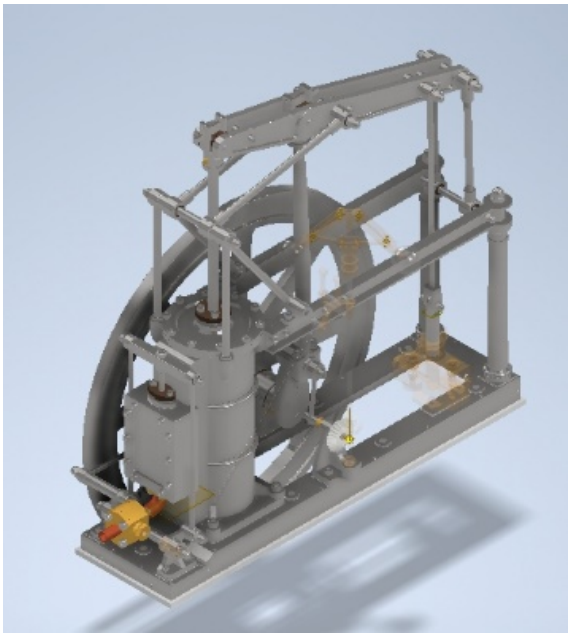


Ilustración 466. Perspectiva isométrica del ensamblaje simplificado (1).

3.2.2.2. Condiciones de contorno

De igual manera que en la invención 1, se debe bloquear el volante de inercia para poder simular de esta manera un estado crítico de la invención, siendo este la puesta en marcha del motor, para poder iniciar el movimiento del medio de transporte que lo use.

El siguiente paso es fijar por completo la cara inferior de las partes de la bancada. Se impiden tanto giros como desplazamientos, en cualquier dirección del espacio.

Por último, dado que se ha eliminado la bomba, se debe impedir el desplazamiento y giro del pistón de la bomba en cualquier dirección, a excepción del desplazamiento en el eje Y, ya que, el pistón tiene un movimiento alternativo, pero la bomba impide que tenga un movimiento o giro en cualquier dirección que no sea la correspondiente al movimiento alternativo, dándose este en el eje longitudinal del pistón de la bomba, y que coincide con el eje Y del sistema de referencia global para la máquina de vapor. Como también se han eliminado las tuercas de tapa que impiden el movimiento del pasador en el eje de revolución del mismo, se impide por tanto, el desplazamiento de este en la dirección del eje de revolución del pasador.

A continuación, se muestran las diferentes condiciones de contorno aplicadas, siendo la Ilustración 467 la fijación de la bancada, Ilustración 468 fijación del pistón de la bomba y del pasador de la misma, e Ilustración 469 fijación del volante de inercia.

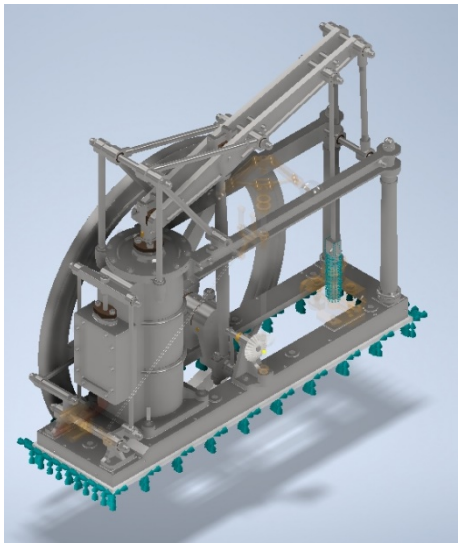


Ilustración 4677. Fijación de la bancada.

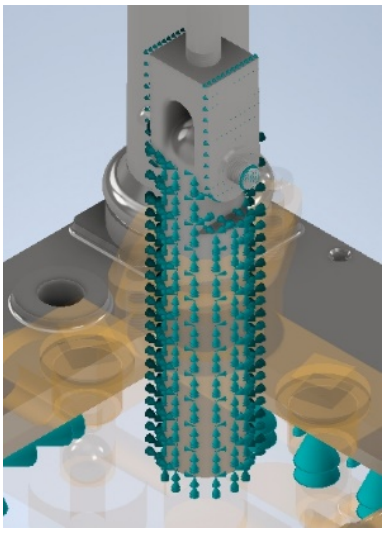


Ilustración 4688. Fijación del pistón y pasador de la bomba.

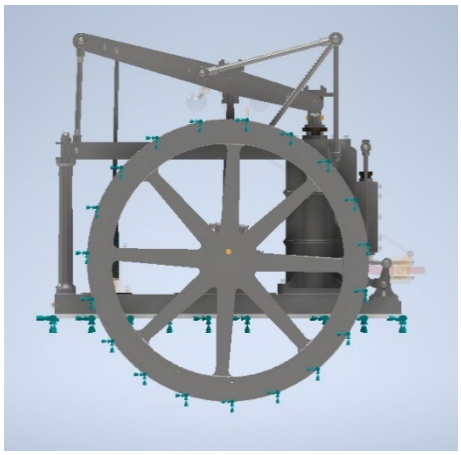


Ilustración 469. Fijación del volante de inercia.

3.2.2.3. Posiciones críticas

Se deben analizar las posiciones del émbolo del pistón que den lugar a la mayor tensión de von Mises y a los desplazamientos de mayor magnitud, puesto que aunque se podrían analizar muchas posiciones, las de mayor interés son las que someterán a la máquina a las condiciones de operación más críticas.

Para el caso de estudio, se presentan dos posiciones críticas (Ilustraciones 470 y 471) correspondientes a la posición del émbolo en el punto muerto inferior y en el punto muerto superior, tras el cierre de la admisión de vapor por la válvula de corredera, para posteriormente realizar una expansión en el interior de la cámara del cilindro y producir trabajo. Además, como se trata de un cilindro de doble efecto, se deben tener en cuenta ambas situaciones. En dichas posiciones, en una de las caras del émbolo del pistón se ejerce la presión máxima, y en la cara opuesta, la presión atmosférica, puesto que cuando en una de las cámaras se renueva la carga, en la otra se produce la descarga o escape y, en ese instante, la presión en dicha cara del émbolo y cámara del cilindro es la presión atmosférica. Una vez el pistón alcanza una de estas dos posiciones críticas, la presión en el interior de una de las cámaras es la máxima, y será entonces cuando las solicitaciones producirán mayores tensiones y deformaciones.

Ilustración 470. Posición crítica 1, punto muerto inferior.

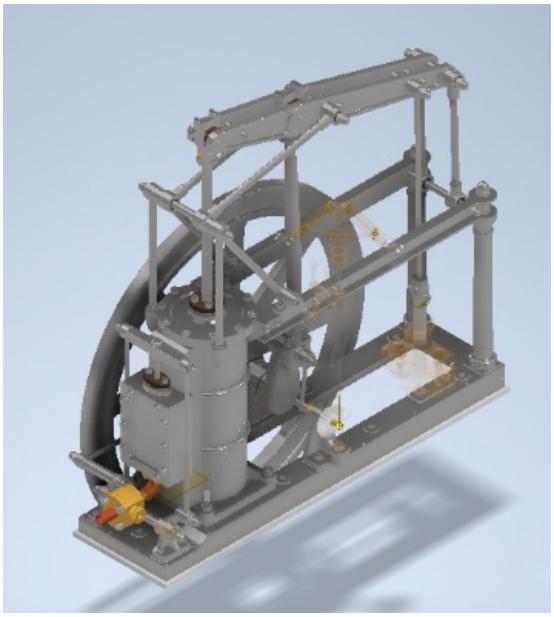


Ilustración 471. Posición crítica 2, punto muerto superior.

Asimismo, dado que el volante de inercia se encuentra bloqueado, se podrá simular de esta manera la puesta en marcha de la máquina, y observar cómo se transmite la fuerza desde el émbolo hasta el resto de elementos de la máquina de vapor. Esta situación de bloqueo puede asimilarse a un ensayo muy común en motores de combustión interna alternativos y rotativos, ya que frenando el volante de inercia, se mide el par presente en el eje del motor. Las ilustraciones anteriores muestran la invención en ambas posiciones críticas, obsevando claramente la posición de los elementos, en particular, la de la viga superior de balance o de equilibrio, puesto que es el elemento más innovador de la invención para la época en la que se diseñó.

3.2.2.4. Envolvente de esfuerzos

Para realizar un correcto análisis, y que se obtengan resultados correctos, se debe determinar correctamente la envolvente de esfuerzos que se aplicará sobre la máquina de vapor a estudiar.

Ya se ha mencionado con anterioridad el modo de trabajo para determinar correctamente la envolvente de esfuerzos, ya que, se carece de ningún tipo de

información acerca de las condiciones de operación de la máquina, es decir, se desconoce cuál es la presión del vapor en la admisión, así como su temperatura. Sí se conoce la presión de salida, ya que es la atmosférica, y al tratarse de un solo cilindro de doble efecto, por tanto, el escape se realiza directamente a la atmósfera. Así mismo, dado que se desconoce la temperatura a la entrada y salida del vapor de agua, se supondrá que la máquina de vapor trabajará en condiciones de muy buena refrigeración, que no hay pérdidas de calor por la envolvente de la máquina, y que todos los elementos que la componen se encuentran a la misma temperatura, de manera que se excluirá del análisis las tensiones de origen térmico debido a gradientes de temperatura en diversos elementos de la máquina, lo que daría lugar a deformaciones relativas de unas partes con respecto a otras, y originaría tensiones de origen térmico. Con esta hipótesis, se simplifica esta componente de la tensión, y se analizará la tensión que origina la presión de vapor, así como la fuerza de la gravedad.

Como no se conoce la presión de trabajo, siendo esta la presión manométrica a la entrada del cilindro, es decir, la admisión, se realizarán varios análisis, hasta determinar el valor de presión máxima admisible bajo condiciones de seguridad en régimen elástico. Para ello, se realizará un primer análisis con un valor de presión alto, y se irá reduciendo el valor de este hasta que la máquina cumpla. El criterio de fallo empleado es la tensión de fluencia, es decir, la máquina fallará cuando algún elemento de la misma trabaje en régimen plástico, y alguna sección de la misma haya plastificado, ya que, en este tipo de máquinas, cualquier plastificación daría lugar a un mal funcionamiento de la misma, ya que originaría una mayor vibración, mayores pérdidas por fricción, e incluso pérdidas de presión por la zona del casquillo y sellos del cilindro, por donde el vástago del pistón tiene el movimiento alternativo, y debe sellarse correctamente para evitar pérdidas de presión.

En las siguientes imágenes (Ilustraciones 472 y 473) se muestra la aplicación de las cargas de presión para la posición crítica 1, siendo esta la correspondiente al punto muerto inferior del émbolo del pistón. Se ha aplicado una fuerza de tipo presión en el cofre de válvulas, en la cara correspondiente del émbolo del pistón, así como por las zonas donde pasa el vapor y ejercería presión. Se recuerda que la presión aplicada

es manométrica. Las cargas de tipo presión se aplican de igual manera para la posición del punto muerto superior. La carga gravitatoria, con un valor de -9.81 m/s^2, permanece constante para ambas posiciones.

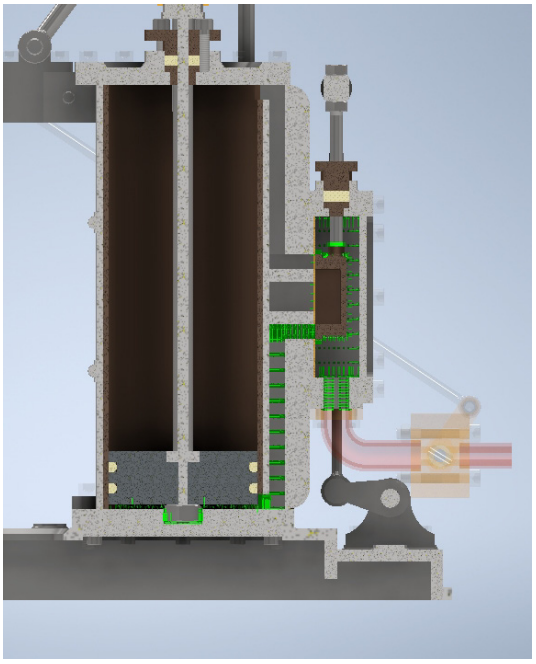


Ilustración 4722. Vista frontal de la aplicación de la carga de presión.

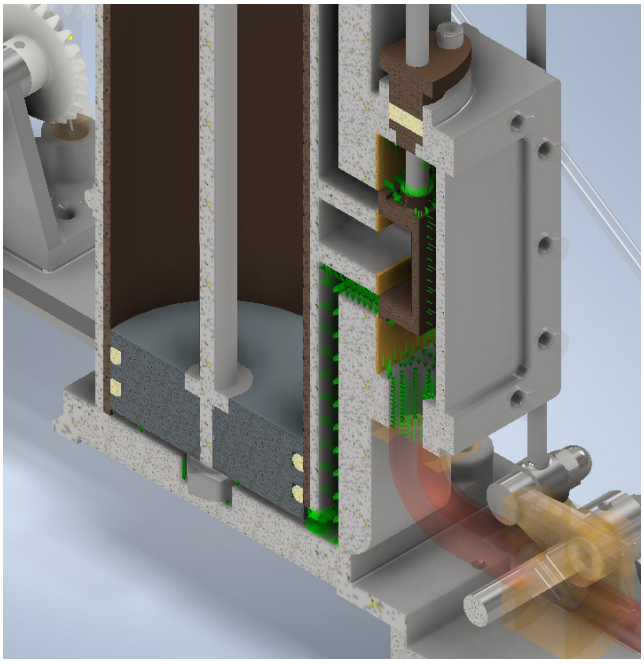


Ilustración 4733. Vista isométrica de la aplicación de la carga de presión.

3.2.2.5. Materiales empleados y mallado

A continuación, se muestra la tabla de materiales correspondientes a las partes que forman parte del análisis, dado que, los materiales de los elementos excluidos del análisis, no son necesarios idealizarlos, y, por tanto, sólo se exponen las propiedades mecánicas de aquellos que sí intervienen en el análisis (Tabla 16).

Material	Módulo de Young (MPa)	Coeficiente de Poisson	Densidad (Kg/m^3)	Tensión de fluencia (MPa)
Acero al carbono	200.000	0,290	7.850	350,00
Acero inoxidable	193.000	0,300	8.000	250,00
Hierro fundido	120.500	0,300	7.150	758,00
Latón	109.600	0,331	8.470	103,40
Bronce fundido	109.600	0,335	8.870	128,00
Nylon	2.930	0,350	1.130	82,75

Tabla 16. Propiedades mecánicas de los materiales que intervienen en los análisis.

Asimismo, se muestra una perspectiva isométrica del mallado global realizado automáticamente por el software (Ilustración 474), sin la aplicación de ningún control de malla local, a excepción de los controles de malla aplicados a las partes que no se

habían mallado correctamente inicialmente, y cuyo control de malla era necesario para una discretización correcta del conjunto de elementos. Los elementos empleados son de tipo de interpolación cuadrática, lo que ofrece un valor más preciso de las variables a estudiar en el interior del elemento finito, en particular, de la tensión equivalente de Von Mises, desplazamientos y factor de seguridad. De esta manera, el software recomienda inicialmente un tamaño máximo de elemento de 0.029 m. De manera manual, se introducen otros parámetros, como la ratio de crecimiento del elemento, con un valor de 1.1, un ángulo mínimo de las caras del tetraedro de 35º, y un valor máximo de 65º. Con estos valores, se genera una primera malla global de 1.136.720 elementos y 1.696.754 nodos. El empleo de tetraedros ofrece una mejor adaptación de la malla a geometrías complejas.

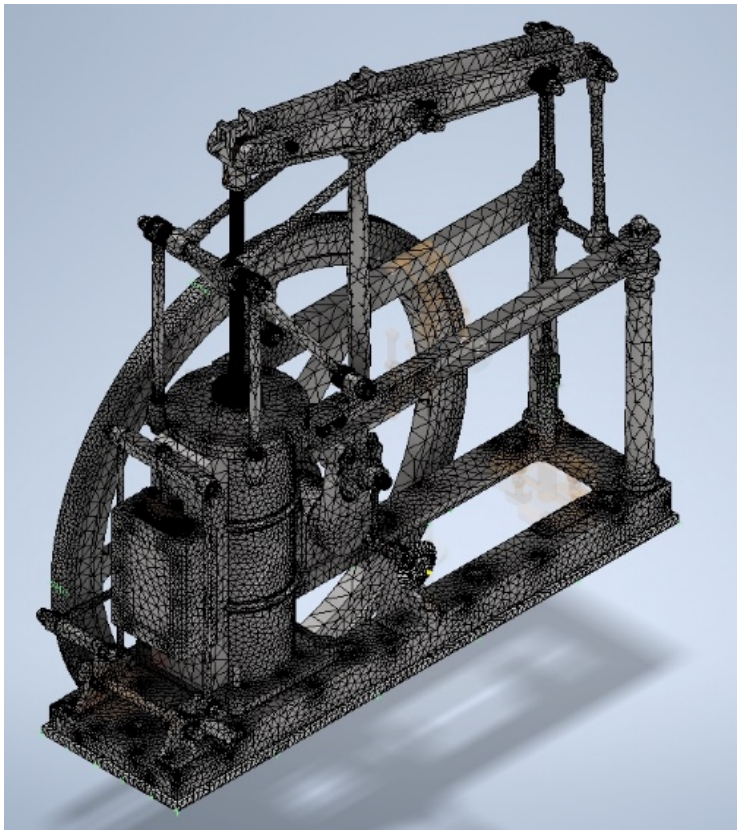


Ilustración 474. Perspectiva isométrica del mallado global.

3.2.2.6. Análisis modal

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del análisis modal para cada una de las dos posiciones críticas estudiadas. Se debe recordar que la finalidad

de este análisis es determinar las primeras diez frecuencias naturales de vibración, y observar si estas son mayores de cero, y afirmar que no se comporte el sistema como un mecanismo, y tenga sentido realizar un análisis bajo cargas estáticas (cargas mono tónicas).

3.2.2.6.1. Posición crítica 1. Punto muerto inferior

A continuación, se muestra una gráfica (Ilustración 475) con el valor de las frecuencias naturales, en función del modo de vibración, así como una tabla (Tabla 17) con los valores discretos de dichas frecuencias naturales, para cada modo de vibración.

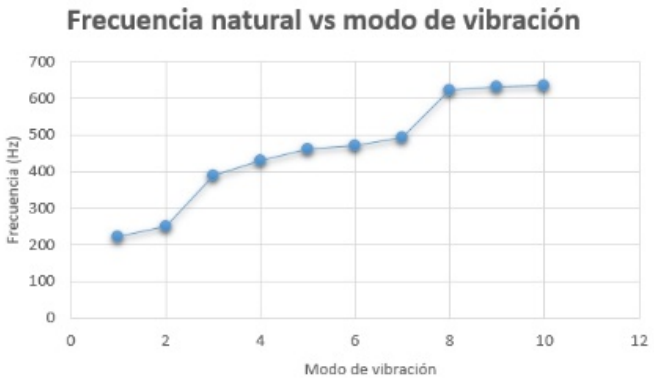


Ilustración 4755. Gráfica de frecuencia natural vs modo de vibración para posición crítica 1 (PMI).

Modo de vibración	Frecuencia natural (Hz)
01	221.17
02	249.73
03	390.74
04	431.69
05	460.54
06	470.16
07	493.69
08	623.09
09	632.22
10	636.54

Tabla 17. Valores de las primeras frecuencias naturales para posición crítica 1.

Como bien se puede observar tanto en la gráfica como en la tabla, las frecuencias naturales de vibración obtenidas para la posición crítica 1, correspondiente a la posición del punto muerto inferior del émbolo del pistón, son todas mayores de cero, y, por tanto, se puede realizar un análisis estático lineal para la correspondiente posición crítica.

3.2.2.6.2. Posición crítica 2. Punto muerto superior

Procediendo de igual manera, se muestra una gráfica (Ilustración 476), así como una tabla (Tabla 18) con el valor de la frecuencia natural de vibración que corresponde a cada uno de los modos de vibración, siendo estos los diez primeros.

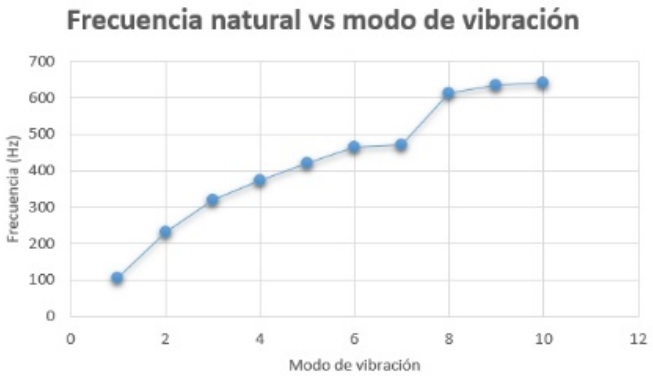


Ilustración 4766. Gráfica de frecuencia natural vs modo de vibración para posición crítica 2 (PMS).

Modo de vibración	Frecuencia natural (Hz)
01	105.34
02	232.40
03	319.77
04	375.03
05	422.13
06	464.58
07	472.74
08	613.48
09	634.45
10	640.17

Tabla 18. Valores de las primeras frecuencias naturales para posición crítica 1.

Observando los resultados, se puede confirmar que la ejecución de un análisis estático lineal, para la posición crítica 2, siendo esta la correspondiente al punto muerto superior del émbolo del pistón, es posible, dado que las frecuencias naturales de vibración obtenidas son mayores de cero, y, por tanto, tiene sentido realizar un análisis estático.

3.2.2.6. Análisis estático lineal

3.2.2.6.1. Posición crítica 1. Punto muerto inferior

Seguidamente se presentan los resultados para la posición crítica correspondiente al punto muerto inferior, tras el cierre de la admisión de vapor al cilindro para su posterior expansión en el interior de la cámara.

Como ya se ha explicado con anterioridad, en primer lugar, se ha realizado un análisis estático lineal bajo una presión de 0,75 MPa (7,5 bar), produciendo una tensión de von Mises máxima de 1.089 MPa, en la parte superior del vástago del pistón (Ilustración 477).

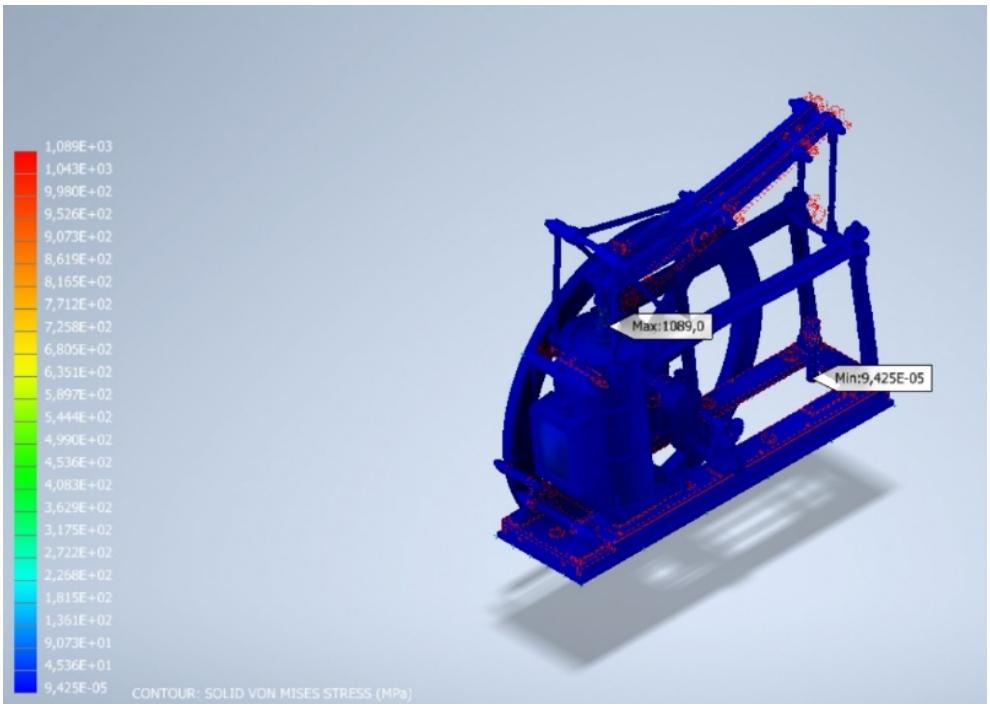


Ilustración 4777. Campo de tensión equivalente de Von Mises para P=7.5 bar.

Este valor de la tensión de von Mises da lugar a un factor de seguridad inferior a la unidad (0,51). Por lo tanto, se puede afirmar que la máquina fallaría si la presión de vapor en la admisión fuera de 0,75 MPa. Ello obliga a realizar otro análisis para obtener un valor inferior de la tensión de von Mises, en particular de 0,15 MPa, y analizar los resultados para comprobar si ese valor de presión del vapor es el adecuado para el correcto funcionamiento de la máquina.

El análisis realizado anteriormente, no sólo indica que la máquina falla, sino que ofrece información del lugar donde se localiza la máxima tensión de von Mises, en particular, en la parte superior del vástago del pistón. Esto permitirá realizar un refinado de mallado en esa zona, y estudiar la convergencia de la malla, comparando el tamaño de elemento con el valor obtenido de la tensión de von Mises.

Así pues, y tras realizar el análisis, con diferentes tamaños de malla en el vástago del pistón, se obtiene la gráfica de análisis de convergencia de la malla (Ilustración 478), y la tabla con el tamaño del elemento, la tensión de von Mises, el error relativo (%) y el número de iteración (Tabla 19).

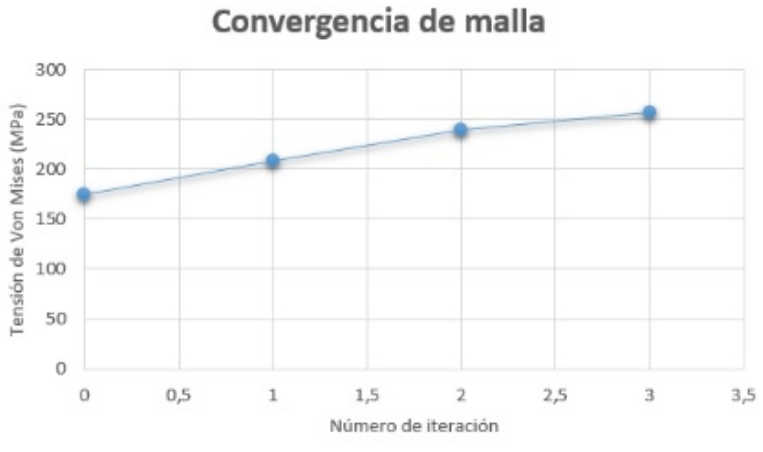


Ilustración 4788. Gráfica de convergencia de malla.

Tamaño del elemento (mm)	Tensión equivalente de Von Mises (MPa)	Error relativo (%)	Iteración
1,5	175,5		0
1	208,1	18,58	1
0,5	239,4	15,04	2
0,4	257	7,35	3

Tabla 19. Análisis de convergencia de malla.

De la Tabla 19 se puede observar cómo el error relativo obtenido para un tamaño de elemento de 0.4 mm es del 7.35 %. Las limitaciones computacionales para el desarrollo del análisis y la complejidad del ensamblaje, no permiten refinar aún más la malla en el vástago del pistón que es el elemento más crítico. A pesar de ello, un error ligeramente superior al 7 %, ofrece buenos resultados y, dado que la finalidad del análisis es sólo obtener información acerca del diseño de la invención, se puede aceptar dicho error relativo.

A continuación, se muestran la distribución de la tensión de von Mises (Ilustración 479) y la localización exacta (vástago del pistón) del valor más alto de la misma (257 MPa) (Ilustración 480). Además, se debe destacar que la distribución de tensiones de von Mises, desplazamientos y factor de seguridad, se obtienen sobre la posición deformada de la invención multiplicada por un factor de valor 10, para poder observar claramente la forma que adopta el conjunto en la posición deformada, ya que para un factor de valor la unidad, apenas se podría ver la deformada por el valor tan pequeño de los desplazamientos obtenidos.

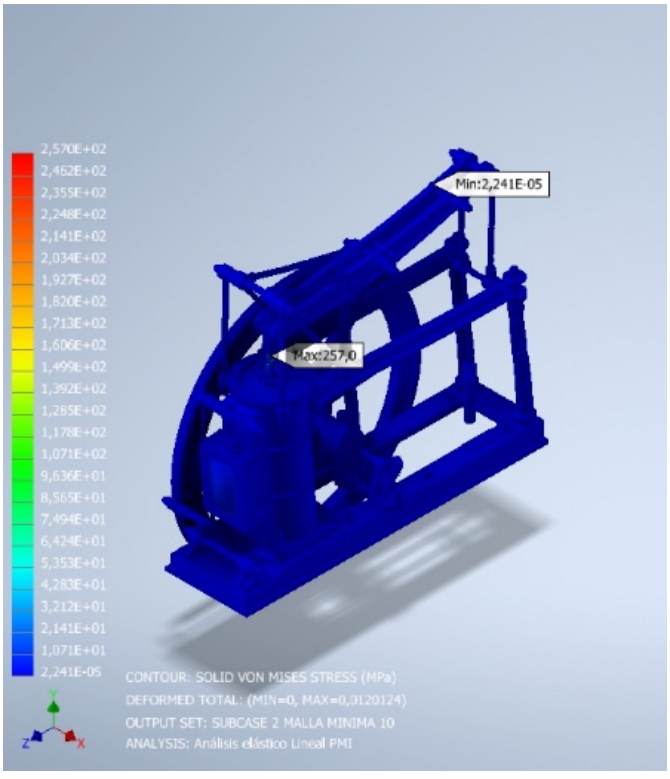


Ilustración 4799. Distribución de la tensión equivalente de von Mises en MPa.

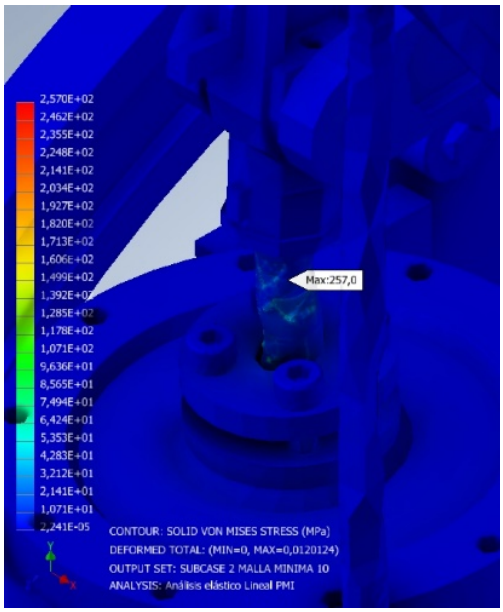


Ilustración 4800. Localización del valor máximo de tensión equivalente de Von Mises (MPa).

Por otra parte, en las Ilustraciones 481 y 482 se representa la distribución de desplazamientos en la que se puede apreciar que son prácticamente despreciables, ya que el máximo valor del mismo toma un valor de 0,01201 mm en el émbolo del pistón.

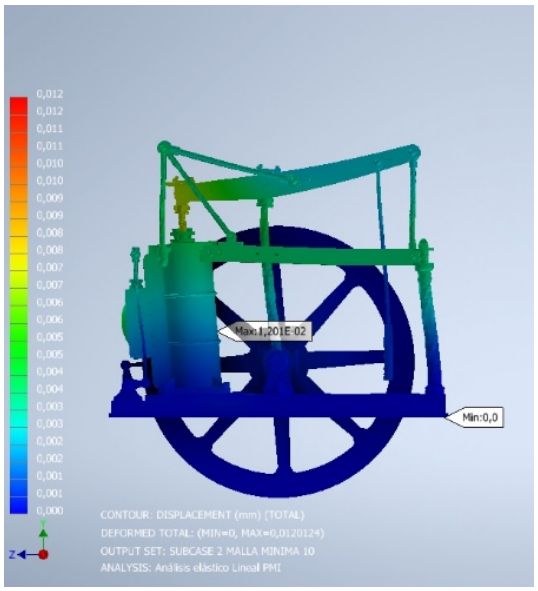


Ilustración 481. Vista lateral del campo de desplazamientos.

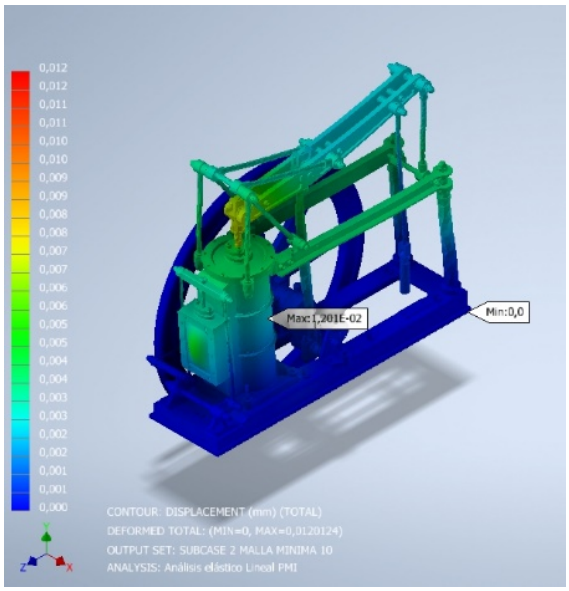


Ilustración 482. Vista isométrica del campo de desplazamientos.

Por último, en la Ilustración 483 se muestra el factor de seguridad, definido como el resultado de dividir la tensión de fluencia del material y el valor de la tensión de von

Mises en un punto concreto. En dicha figura, se puede apreciar cómo el valor más pequeño del factor de seguridad es de 2,307 localizado en el vástago del pistón.

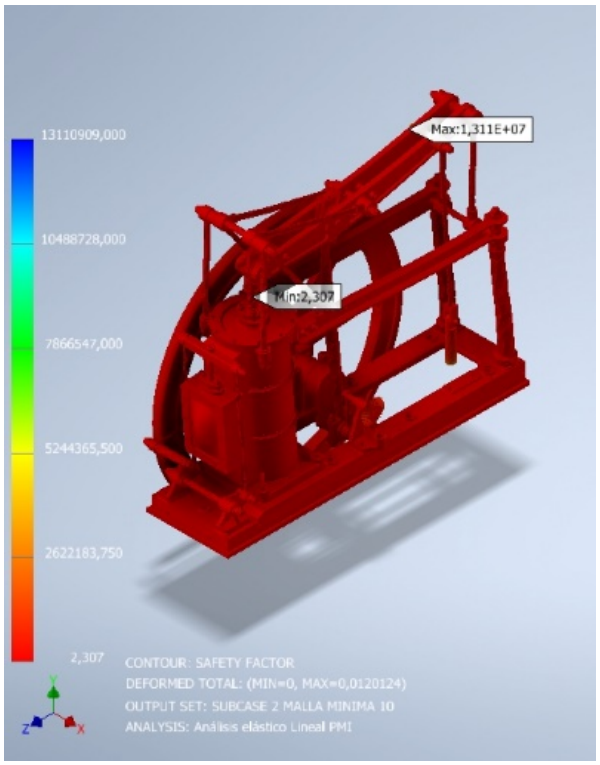


Ilustración 483. Distribución del factor de seguridad.

3.2.2.6.2. Posición crítica 2. Punto muerto superior

Para este análisis, dado que ya se ha determinado la presión de vapor máxima admisible, para la cual, la máquina cumple bajo criterio de resistencia de materiales en la posición uno, se realiza el análisis estático lineal para la presente posición crítica, con el valor de presión anteriormente determinado, siendo este de un valor de 1,5 bar, o lo que es lo mismo, 0,15 MPa.

A continuación, y al igual que para la posición crítica del punto muerto inferior, se mostrará el valor obtenido para cada una de las variables de interés, es decir, la distribución de la tensión de von Mises, desplazamientos y factor de seguridad, así como una gráfica del análisis de convergencia de la malla (Ilustración 484) y la tabla con el tamaño del elemento, la tensión de von Mises, el error relativo (%) y el número de iteración (Tabla 20).

Dichos resultados son los obtenidos para los tamaños de elementos de malla indicados, refinando el vástago del pistón, ya que en la primera iteración (iteración 0) se obtiene la tensión máxima en el vástago del pistón, de forma que, en las siguientes iteraciones se ejecuta el análisis aplicando un control de malla local en dicho vástago, reduciendo así el tamaño del elemento finito hasta que la solución converja (error relativo inferior al 10%). De igual forma que en la posición crítica del punto muerto inferior, y dadas las limitaciones computacionales y la complejidad de la máquina, no se puede refinar más la malla.

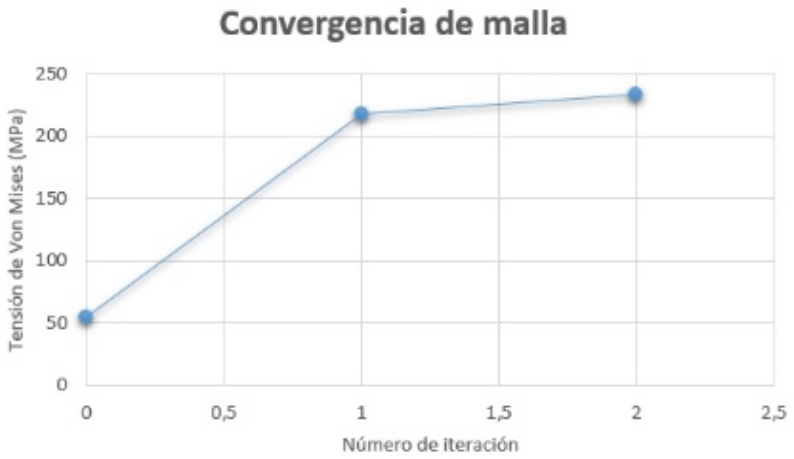


Ilustración 4844. Gráfica de análisis de convergencia de malla.

Tamaño elemento (mm)	Tension de von Mises (MPa)	Error relativo (%)	Iteración
2	54,9	-	0
1,5	217,8	296,64	1
0,75	233,4	7,16	2

Tabla 20. Análisis de convergencia de malla.

A continuación, se muestran la distribución de tensiones de von Mises (Ilustraciones 485 y 486), así como una vista aumentada de la localización (vástago del pistón) del mayor valor obtenido (233,4 MPa) (Ilustración 487).

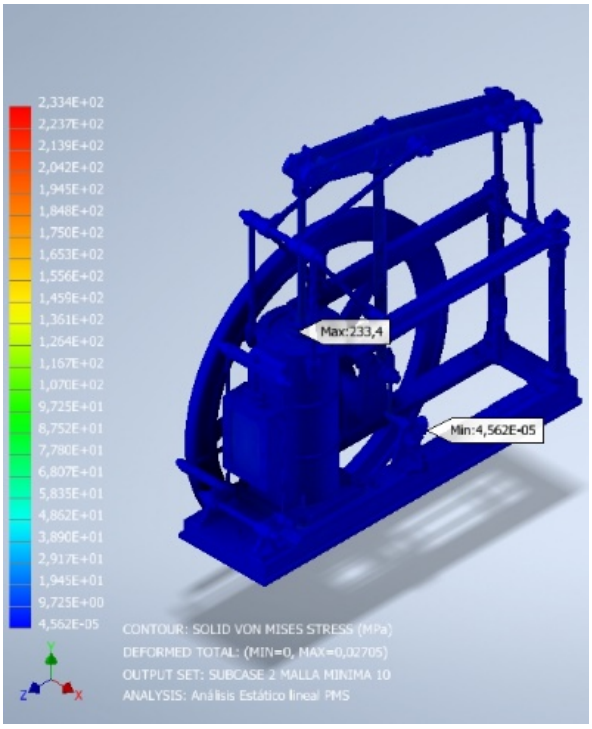


Ilustración 4855. Distribución de tensión equivalente de Von Mises (MPa) (1).

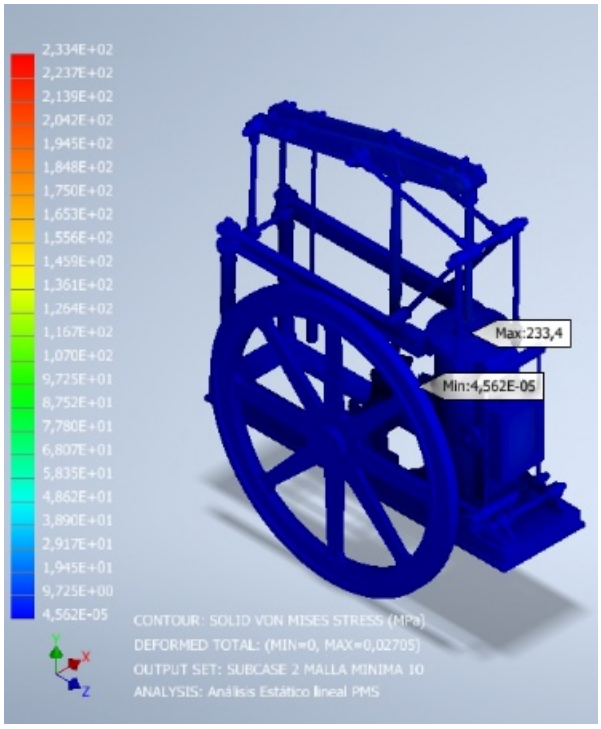


Ilustración 486. Distribución de tensión equivalente de Von Mises (MPa) (2).

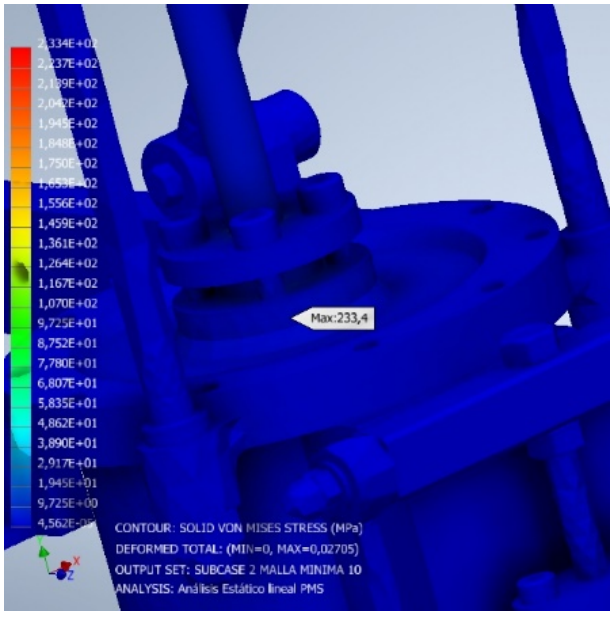


Ilustración 4877. Localización del valor máximo de tensión equivalente de Von Mises.

Por otra parte, en las ilustraciones 488 y 489 se representa la distribución de desplazamientos. En ellas puede observarse como el valor de los desplazamientos, al igual que para la posición crítica 1, son prácticamente despreciables, ya que, el valor máximo toma un valor de 0,02705 mm, es decir, son del orden de 10^{-2} mm, por

lo que, se pueden despreciar. Esto permitiría trabajar y/o aplicar las ecuaciones diferenciales que rigen el problema (ecuaciones de Navier y ecuaciones de compatibilidad) en la posición indeformada del conjunto, simplificando así el problema.

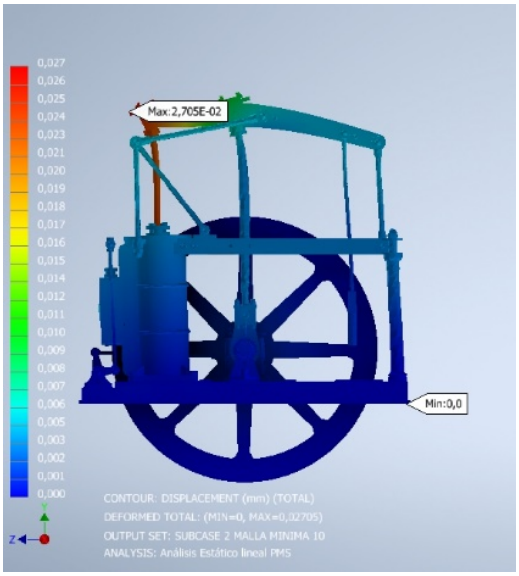


Ilustración 4888. Vista lateral de la distribución de desplazamientos (mm).

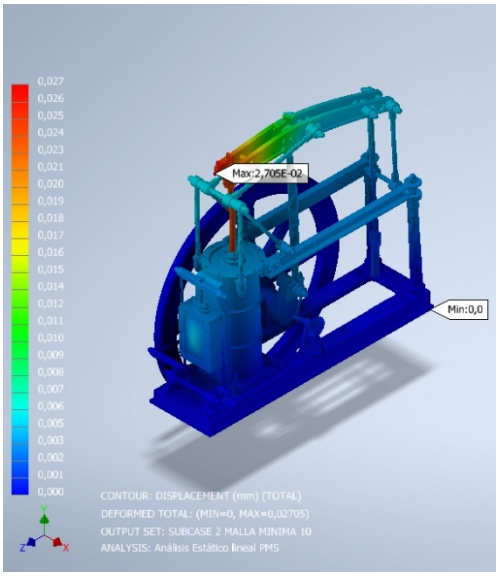


Ilustración 4899. Vista isométrica de la distribución de desplazamientos (mm).

Finalmente, la Ilustración 490 muestra la distribución del coeficiente de seguridad para esta posición crítica y la localización del valor más bajo de dicho coeficiente (1,445).

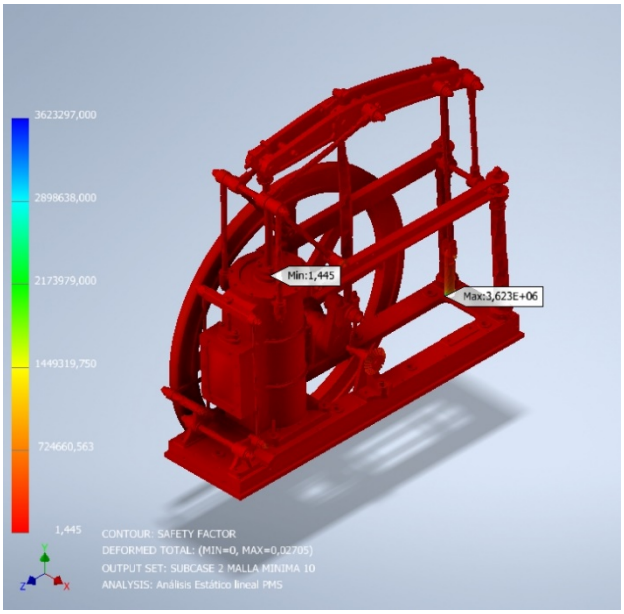


Ilustración 490. Distribución del factor de seguridad.

3.2.2.7. Discusión de los resultados

Según los resultados obtenidos, la mayor tensión de von Mises se ha obtenido en la posición crítica del punto muerto inferior. En dicha posición, existe una carga de compresión que puede producir pandeo del vástago del pistón, por lo que, como futura investigación, se puede analizar dicho vástago, y determinar si bajo criterio de fallo por pandeo, el vástago cumple.

En cuanto a los desplazamientos, y como se ha señalado anteriormente, se ha aplicado un factor de aumento de 10 para observar con mayor claridad la posición deformada de la máquina de vapor en ambas posiciones críticas (punto muerto inferior y superior), por lo que la representación no es la real. En ambos análisis, se han obtenido desplazamientos prácticamente despreciables, del orden de 10^{-2} mm. Ello favorece el buen funcionamiento de la máquina de vapor bajo esta carga de presión, ya que se puede aplicar la hipótesis de pequeñas deformaciones y calcular los esfuerzos en la posición indeformada (es decir, utilizando el método de formulación Euleriana para el mallado, lo que reduce el coste computacional). Además, al no haber grandes deformaciones, el movimiento relativo entre los elementos dará lugar a la menor fricción posible, ya que, por ejemplo, si hubiera grandes deflexiones en el vástago del pistón, habría un mayor contacto de fricción en el casquillo y sello del mismo, y se perdería energía mecánica, y podría dar lugar a un mal funcionamiento de la máquina, ya que podría haber fugas de vapor, y, por tanto, pérdidas de presión.

Por último, tal y como se deseaba, el factor de seguridad es mayor de la unidad, por lo que se puede afirmar que la máquina no falla bajo carga estática de primer ciclo para la presión de trabajo de 0,15 MPa. Sin embargo, a pesar de que la tensión de von Mises máxima en la posición del punto muerto superior es menor que la obtenida en el punto muerto inferior, el factor de seguridad es también menor. Esto se debe a que en un elemento secundario se produce una mayor tensión que en el análisis del punto muerto inferior, y sus características mecánicas (módulo de Young y límite de fluencia) son inferiores a los del vástago.

Por lo tanto, con la presente investigación se ha podido determinar la presión máxima del vapor admisible en la admisión (presión de trabajo) para esta máquina correspondiente a 0,15 MPa. Este valor, se puede utilizar para determinar la presión de trabajo en otras máquinas semejantes, relacionando parámetros de ambos modelos a través de un análisis dimensional.

3.3. RECREACIÓN VIRTUAL

Dado que no se dispone de información de ningún tipo acerca del funcionamiento de ambas invenciones, así como de las condiciones de operación (presión y temperatura del vapor en la admisión), se realiza una recreación virtual para cada invención con la finalidad de mostrar su funcionamiento.

Por lo tanto, en los siguientes subapartados se explicará el procedimiento seguido para el desarrollo de dichas recreaciones virtuales, así como el vídeo de la renderización de ambas invenciones.

3.3.1. Invención 1: Motor marino vertical compuesto de dos cilindros

En primer lugar, en el módulo de Inventor Studio se deben crear una serie de restricciones geométricas para animarlas posteriormente. Además, debe animarse un parámetro (longitud total del resorte del regulador), para mostrar durante la renderización el funcionamiento del mismo.

Seguidamente, se creará la restricción geométrica para poder simular el giro del eje del cigüeñal, lo que conllevará el movimiento alternativo de los pistones, así como el de las válvulas de corredera. Para ello, se abre el subconjunto del cigüeñal, y se crea un plano que pase por el eje de revolución de alguno de los ejes del cigüeñal que sean de apoyo. En la Ilustración 491, se muestra el plano creado.

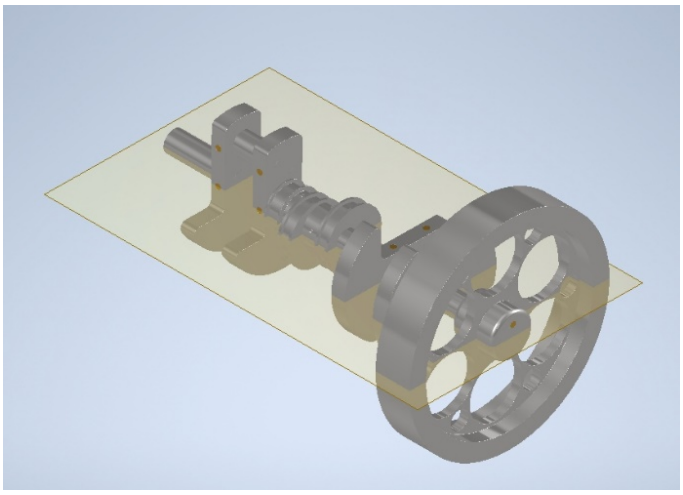


Ilustración 491. Plano del cigüeñal.

Para el resto de animaciones, no se requiere la creación de ningún plano, ya que se realizan animando directamente las restricciones geométricas del ensamblaje.

Para el giro del cigüeñal, se debe crear una restricción geométrica angular, seleccionando la primera opción (ángulo positivo) en la ventana emergente correspondiente a la creación de restricción geométrica angular, así como una arista de la bancada. El ángulo inicial entre ambas geometrías es de valor nulo, es decir, cero grados. En la Ilustración 492 se muestra la restricción creada, la ventana emergente de adición de restricción, así como las geometrías seleccionadas.

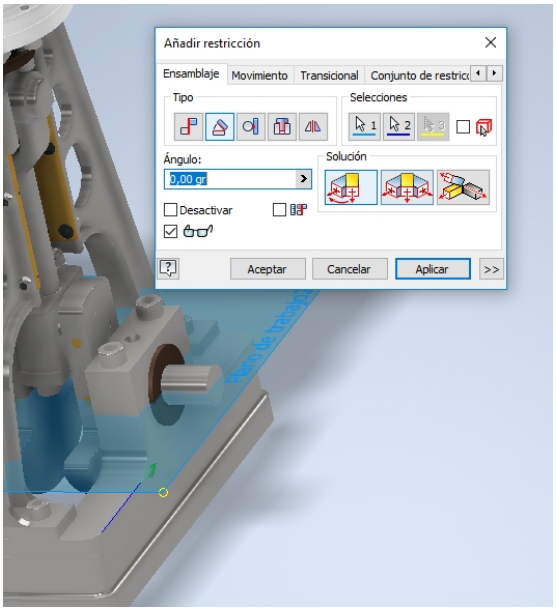


Ilustración 492. Restricción para el giro del cigüeñal.

A continuación, se crea una restricción de coincidencia entre la cara inferior del collar deslizante y la cara superior de apoyo del regulador. En la Ilustración 493 se muestra la restricción y geometrías implicadas. Aunque el desfase aplicado debe ser de valor nulo, sin embargo, en la imagen aparezca un valor de desfase de 5 mm para poder ver con claridad en la imagen las superficies seleccionadas.

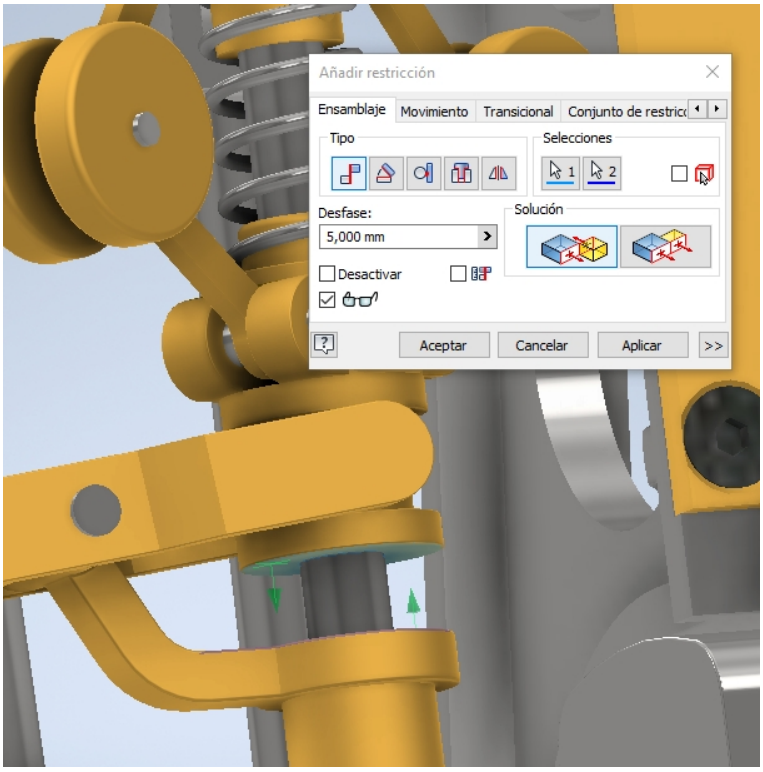


Ilustración 493. Restricción para animación del regulador.

Por último, se mostrarán los diferentes parámetros que se crean al modelar el resorte de compresión del regulador. No se entrará en detalle del proceso de modelado o inserción del mismo (ya que se puede insertar a través del módulo de diseño de Autodesk Inventor Professional 2023). Así pues, se modifican los parámetros, denominándolos correctamente, por ejemplo, diámetro de la espira, diámetro primitivo, longitud, número de espiras, etc. para acceder a los parámetros, se abre el archivo que contiene el modelo 3D del resorte, y en el módulo de Administrar, en la barra de herramientas, se selecciona Parámetros. Se abrirá una ventana emergente con todos los parámetros creados durante el modelado de la

pieza. En la Ilustración 494, se muestra dicha ventana emergente junto a los parámetros.

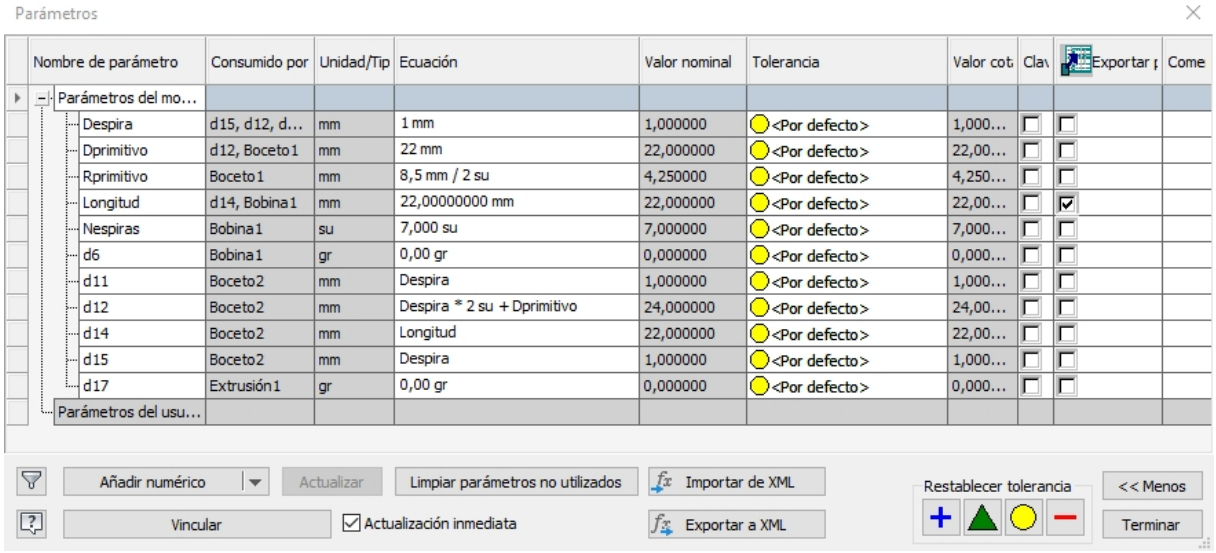


Ilustración 4944. Parámetros del resorte del regulador.

Por último, antes de entrar en el módulo de Inventor Studio, se crearán dos croquis para definir posteriormente las trayectorias de las cámaras o el enfoque de las mismas. Para ello, se crea un plano que atraviesa toda la máquina, con un ángulo determinado (aleatorio) con el plano horizontal del sistema de referencia global de la misma. Para la creación del plano, se seleccionan tres aristas. Seguidamente, en dicho plano se croquiza una elipse, con un radio lo suficientemente grande, para que la cámara grabe desde una distancia adecuada la máquina. En la Ilustración 495, se puede observar tanto el plano creado como el croquis realizado en el mismo.

De igual manera, se crea un plano paralelo al plano vertical (perpendicular al horizontal) que pase por el regulador de velocidad para, posteriormente, croquizar en el mismo una línea que definirá la trayectoria del enfoque de la cámara. En la Ilustración 496, se muestran tanto el plano como el croquis creados para ver con mayor detalle el funcionamiento y componentes del regulador de velocidad.

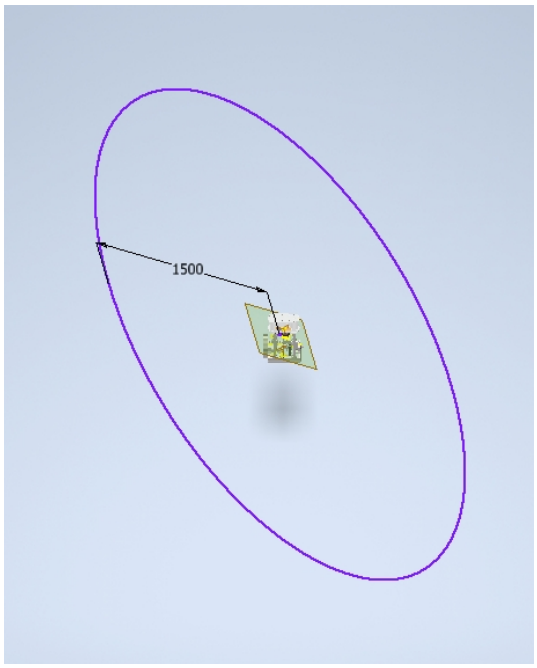


Ilustración 4955. Plano y croquis para definir el recorrido de la cámara.

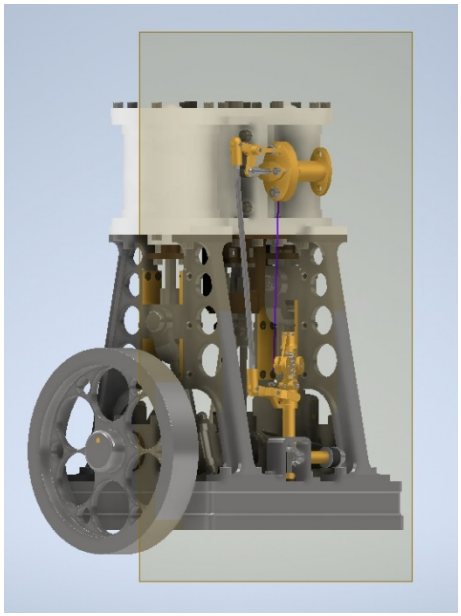


Ilustración 4966. Plano y croquis para definir la trayectoria del enfoque de la cámara.

Una vez se han definido las trayectorias y restricciones, se abre el módulo de Inventor Studio. En primer lugar, se definen las diferentes cámaras que realizarán los distintos recorridos. No se entrará en detalle del proceso de creación de las cámaras puesto que ya se ha explicado anteriormente.

La primera cámara, realizará una vuelta de reconocimiento alrededor de la máquina. La segunda cámara realizará una pequeña animación alrededor de la máquina funcionando, así como una animación a lo largo de la trayectoria creada anteriormente (elipse). La tercera cámara grabará de cerca el bloque motor definiendo una difuminación de las cámaras y camisas de los cilindros, para visualizar el movimiento alternativo de los pistones. Por último, la cuarta cámara será la que grabe la animación del regulador de velocidad, y cuyo enfoque, describirá la trayectoria lineal definida y expuesta anteriormente.

De esta manera, se crean las cuatro cámaras que realizarán los diferentes recorridos y que grabarán diferentes animaciones. Las cámaras cuyo recorrido no se han mostrado con anterioridad, se pueden animar desde el entorno de Inventor Studio, definiendo el giro a través de uno de los ejes del sistema de referencia global del sistema. Por tanto, definiendo las cámaras, su trayectoria y enfoque, se tiene la recreación virtual global. El último paso, además de realizar la difuminación de las cámaras y camisas de los cilindros, así como de la carcasa de la válvula de mariposa, es animar las restricciones definidas anteriormente, así como el parámetro denominado ‘Longitud del resorte’.

La animación del giro del cigüeñal es sencilla, dado que se definirá el ángulo inicial y final, así como la duración de la animación, que incluirá desde la primera vuelta de reconocimiento realizada por la primera cámara hasta el final de la animación.

En segundo lugar, se animan la restricción geométrica de las superficies del regulador y el parámetro ‘Longitud del resorte’. Para el caso de la restricción de las superficies, se define un desfase inicial y otro final, así como la duración de la animación. El desfase realizado durante la recreación toma un valor de 10 mm, partiendo desde un desfase de valor nulo. Dado que este movimiento es muy pequeño, no se puede definir un tiempo de duración de la animación demasiado largo pues no se podría ver con claridad el movimiento del regulador. Es por ello, que se define un tiempo total de la animación de 5 segundos. Seguidamente, se copia y pega dicha animación, y se edita para que el desfase inicial sea de 10 mm y el final de 0

mm. De esta manera, se tiene el recorrido completo del regulador de velocidad, es decir, desplazamiento en la dirección del eje vertical positivo hasta el desplazamiento del collar deslizante de valor 10 mm y, seguidamente, la vuelta a su posición inicial. Copiando y pegando ambas animaciones (de 0 a 10 mm y de 10 a 0 mm), desde el segundo 20 de la animación, hasta el final, se tiene la animación del collar deslizante, y en consecuencia, el movimiento de la válvula de mariposa en el interior del collar deslizante.

De la misma manera, se anima la compresión y vuelta al estado inicial del resorte del regulador, pero se debe seleccionar desde la barra de herramientas del entorno de Inventor Studio, Favoritos de parámetros y posteriormente, animarlo. Asimismo, el movimiento del collar deslizante y compresión del muelle, deben coincidir para tener de esta manera una recreación virtual fidedigna al comportamiento del modelo real.

Por tanto, para finalizar con este subapartado, se procede a detallar cada una de las partes del video.

- **Cámara 1:** realiza una vuelta de reconocimiento alrededor de la máquina sin funcionar, para visualizar así los componentes de la misma. Esta parte tiene una duración de 6 segundos.
- **Cámara 2:** realiza un pequeño giro alrededor de la máquina con el eje del cigüeñal girando a una determinada velocidad. Seguidamente, describe la trayectoria previamente definida, es decir, la elipse. Este parte de la recreación tiene una duración de 14 segundos.
- **Cámara 3:** está fija frente al bloque motor. Durante su animación, se difuminan las cámaras y camisas de los cilindros para visualizar el movimiento alternativo de los pistones y válvulas de corredera. Tiene una duración de 10 segundos.
- **Cámara 4:** su enfoque realiza la trayectoria lineal definida previamente. Muestra en primer lugar la válvula de mariposa, difuminando la carcasa de la misma para poder ver el movimiento que tiene en el interior de la misma y, seguidamente, realiza la trayectoria definida para mostrar el movimiento del collar deslizante y del resorte. Tiene una duración de 15 segundos.

De esta manera, se consigue una recreación virtual de corta duración, dado que el proceso de renderizado de videos es muy largo, y el coste computacional es muy alto al operar tanto los procesadores como la tarjeta gráfica y CPU al límite.

El video final renderizado se ha obtenido en formato .mp4 con una duración total de 45 segundos y un tamaño de 96 MB.

3.3.2. Invención 2: Motor de un solo cilindro tipo 'Saltamontes'

Al igual que en la invención anterior, hay que realizar unos pasos previos, antes de entrar en el entorno de Inventor Studio. En primer lugar, se deben crear las restricciones geométricas que después serán animadas, con la finalidad de mostrar el movimiento y funcionamiento de la máquina, lo más fidedignamente posible al modelo real.

Por ello, se abre el subensamblaje del cigüeñal y, se crea un plano que contenga el eje de revolución del eje del cigüeñal. En la Ilustración 497, se muestra el plano creado en el subensamblaje del cigüeñal.

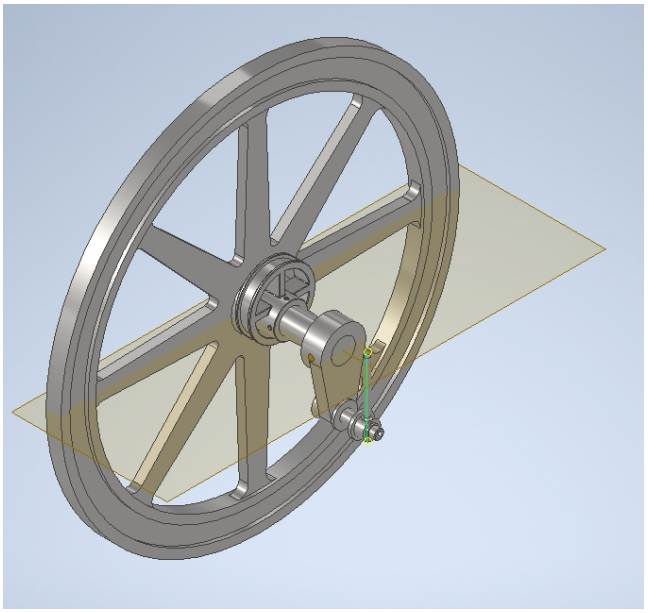


Ilustración 4977. Plano creado en el cigüeñal.

A continuación, se crean dos restricciones geométricas, una de tipo angular para animar el giro del eje del cigüeñal, que conllevará asimismo el movimiento alternativo del pistón y de la válvula de corredera. En la Ilustración 498, se pueden observar las geometrías seleccionadas, así como la ventana emergente para la adición de restricciones.

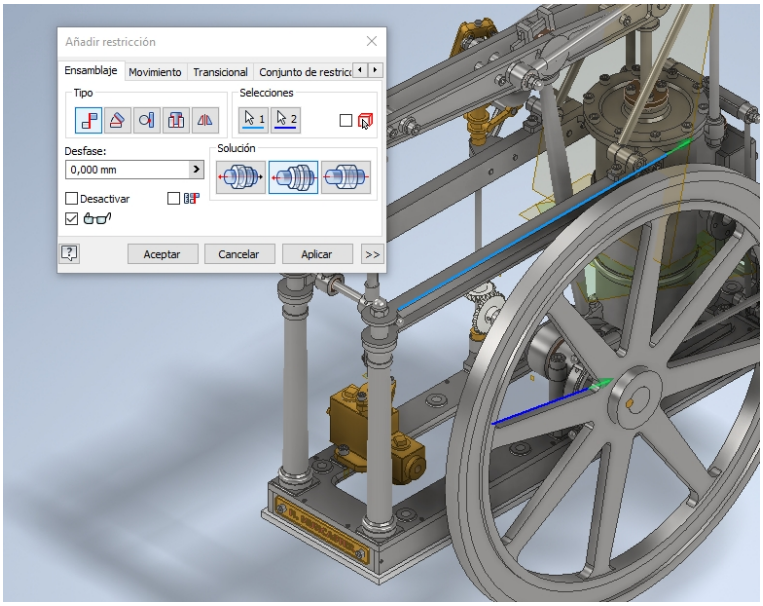


Ilustración 4988. Restricción geométrica para animación del cigüeñal.

De igual manera, para poder visualizar el funcionamiento del regulador de velocidad centrífugo, debe crearse previamente una restricción geométrica de coincidencia de superficies, en este caso, entre la superficie superior del apoyo superior del eje del regulador y la superficie inferior del collar deslizante del regulador de velocidad centrífugo. En la Ilustración 499, se muestran ambas geometrías, así como la ventana emergente de la restricción geométrica con un desfase de 10 mm para visualizar mejor las geometrías seleccionadas para la restricción, aunque el valor real del desfase aplicado en la restricción debe ser nulo, es decir, 0 mm.

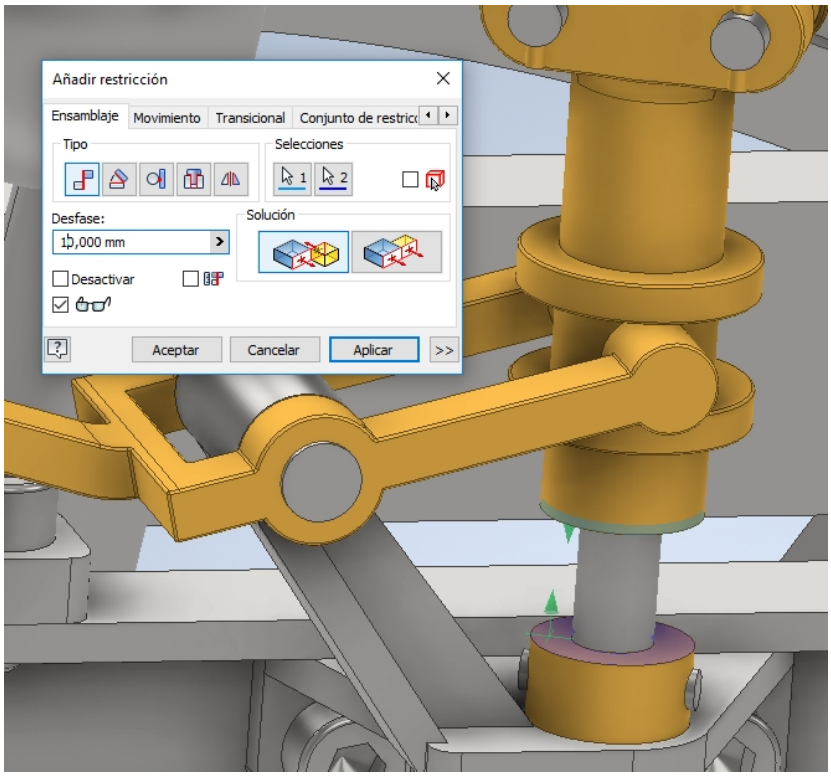


Ilustración 4999. Restricción geométrica para animación del regulador.

Para la recreación virtual de esta invención, no se realizarán croquis para definir el movimiento de las cámaras.

El siguiente paso es entrar en el módulo de Inventor Studio, y, se procede exactamente de la misma manera que en la invención 1. No se entrará en detalles de cómo se definen cámaras o se crean animaciones, ya que se ha explicado anteriormente, y se irá directamente a la explicación breve de las diferentes partes del video.

Para el video se han definido tres cámaras, con la finalidad de grabar diferentes perspectivas o realizar determinados movimientos, para de, esta manera, visualizar la máquina, así como sus componentes en funcionamiento. A continuación, se procede a explicar cada cámara, así como lo que se visualizará en cada una de ellas, y la duración de la animación de las mismas.

- **Cámara 1:** realiza una vuelta de reconocimiento girando alrededor del eje y del sistema de referencia global del sistema, es decir, del conjunto de la máquina. No

habrá movimiento de ningún componente de la máquina. La finalidad de esta parte del video, es visualizar los componentes que tiene la máquina. Tiene una duración de 9 segundos.

- **Cámara 2:** muestra el movimiento alternativo del pistón, así como de la válvula de corredera, y la válvula de la admisión que girará sobre su eje longitudinal para reducir la sección transversal de entrada del vapor de agua, disminuyendo así el caudal de entrada. Durante esta animación, se animan tanto el giro del cigüeñal, como el movimiento ascendente y descendente del regulador de velocidad centrífugo. Para la animación del regulador de velocidad, se procede de igual manera que en la invención anterior, es decir, en primer lugar, se anima el movimiento con desfase inicial de 0 mm y final de 10 mm. Seguidamente, se realiza otra animación, pero en este caso, el desfase inicial es de 10 mm, y el final de 0 mm. Así sucesivamente, hasta completar la duración total de la renderización del video. Al comienzo, esta cámara graba desde una perspectiva isométrica y va aumentado el zoom. Tras este primer movimiento, gira alrededor del eje y del sistema de referencia para visualizar las partes móviles. Además, se realiza una difuminación de la cámara del cilindro, así como del cofre de válvulas y de la carcasa de entrada de vapor. Tiene una duración de 25 segundos.
- **Cámara 3:** la finalidad de esta cámara es mostrar el funcionamiento del regulador de velocidad centrífugo. Para ello, la cámara comienza a grabar desde una vista lateral, y comienza a aumentar el zoom, para acabar visualizando la parte superior del regulador de velocidad, y ver como aumenta el radio de la trayectoria que describen los pesos centrífugos, aumentando la fuerza centrífuga y desplazando el collar deslizante y, moviendo así, la válvula de control de entrada de vapor, lo que reduce el caudal de entrada. En esta parte del vídeo, puede observarse como la viga superior de media estancia, tiene un movimiento relativo con respecto de su cabeza superior que no debería realizarse, dado que existe una rosca, por tanto, no debería haber movimiento relativo entre ambos elementos. Tiene una duración de 11 segundos.

El video final renderizado se ha obtenido en formato .mp4 con una duración total de 45 segundos y un tamaño de 83,6 MB.

4. CONCLUSIONES

Para finalizar con el presente TFG, se expondrán las conclusiones más destacables, tras la realización de la investigación.

Se ha podido obtener un modelo geométrico y la restitución digital de ambas máquinas de vapor, gracias a los planos obtenidos en sistema métrico decimal y publicado por Julius de Waal [7,8], y tras modelar cada una de las piezas que componen las invenciones, gracias al software CAD, Autodesk Inventor Professional 2023.

En los planos dichos planos de la Invención 1 (motor marino compuesto de dos cilindros verticales con control de velocidad), existían unas determinadas inconsistencias que introducían una serie de incompatibilidades geométricas a la hora de ensamblar los diferentes componentes de la invención. Dichas inconsistencias se debían a que el autor en sus planos, indicaba la longitud total del subconjunto del pistón con una tolerancia (Total length – MAX/MIN). Sin embargo, dicha tolerancia, no se conoce, ni tampoco se dispone de información acerca de ella. Por ello, aplicando teoría de mecanismos, se ha definido previamente la carrera del pistón, de manera que se conocen las posiciones críticas del émbolo, por lo que la incógnita es la longitud del vástago del pistón. Así pues, una vez calculada la longitud que daba lugar a un funcionamiento correcto y coherente, se restaba la longitud total de los planos y la calculada, obteniéndose el valor de la tolerancia, por lo que se pudo aplicar al resto de vástagos, es decir, al vástago del pistón de baja presión, y a los vástagos de las válvulas de corredera.

Otro inconveniente más, ha sido relacionado con el software. La invención 1 tiene una correa de transmisión, pero cuando se aplican todas las restricciones geométricas necesarias para su correcto posicionamiento, aparecían errores, ya que el programa la trata como un sólido rígido, cuando no debería ser así. Una solución posible es usar el módulo ‘Diseño’ de Autodesk Inventor Professional 2023, pero la correa introducida no coincide con la original de los planos. Así pues, la solución adoptada finalmente ha sido introducir algunas de las restricciones geométricas, y acomodar manualmente la

correa de transmisión en alguna de las dos poleas. Finalmente, se aplica una restricción de movimiento para transmitir el giro desde el eje del cigüeñal hacia el eje horizontal del regulador de velocidad, ya que la correa permanece fija, es decir, no puede transmitir el movimiento puesto que es tratada como un sólido rígido.

Tras corregir estos errores, y aplicando restricciones geométricas, dimensionales y de movimiento, se consigue un modelo CAD 3D fidedigno al modelo real, y totalmente coherente y funcional de ambas invenciones, con la finalidad de mostrar el funcionamiento de ambas, así como con una recreación virtual de ambas invenciones.

Gracias al modelado geométrico de las invenciones, ha sido posible obtener la documentación gráfica de ambas, en particular, los planos de conjunto y los planos de detalle de cada una de las piezas de cada máquina de vapor. De esta manera, se tiene una documentación completa de ambas máquinas, a partir de la cual, se puede modelar cada pieza y construir el ensamblaje, ya que se tienen los planos de detalle de cada pieza, con las restricciones dimensionales necesarias para su modelado, así como los planos de conjunto para conocer la posición relativa entre cada elemento, con una tabla que presenta la lista de materiales, el número de marca, la cantidad de marcas en la invención, el nombre de la marca, la norma aplicada en caso de que existiera (si se trata de una pieza normalizada), así como el material de la marca. Además, se han obtenido dos perspectivas isométricas estalladas o de montaje (delantera y trasera) de cada invención. Sin embargo, dado que presentan un elevado número de componentes, no se ha elaborado planos de dichas perspectivas, ya que no aportarían información relevante. De esta manera, se ha conseguido documentar ambas invenciones, y obtener información del funcionamiento, ya que no se disponía de ella, tan solo de los planos de las referencias web anteriormente mencionadas.

Un factor muy importante a la hora de realizar los análisis desde la ingeniería asistida por ordenador, es que no se dispone de información de las condiciones de operación, entendiéndose como tales el valor de presión y temperatura del fluido operante (vapor de agua) en la admisión del cilindro, desconociendo, por tanto, la envolvente de esfuerzos. Así pues, aplicando un proceso iterativo explicado

anteriormente, se han determinado la presión máxima admisible en la admisión del cilindro, para que las máquinas trabajen bajo condiciones de seguridad. Estas presiones se han determinado gracias a un análisis modal previo, para determinar las frecuencias naturales de vibración y confirmar que son mayores de cero, de forma que se pudiera realizar un análisis estático lineal que fuera coherente.

Como posibles investigaciones futuras, se podría analizar la máquina desde un punto dinámico, es decir, realizar un análisis dinámico de la misma, y determinar el régimen de giro adecuado para que las vibraciones producidas no sean excesivas. También se pueden analizar las máquinas termodinámicamente, ya que, el autor de los planos deja a criterio del fabricante el ángulo de la polea excéntrica con el eje axial del cigüeñal. Como se conoce, de dicho ángulo dependerá el instante en el que se cierre la admisión del cilindro, lo cual influirá directamente en el rendimiento termodinámico de la máquina, ya que esto modificará el volumen inicial previo a la expansión, así como la expansión realizada. Por lo tanto, se propone como investigación futura determinar el ángulo óptimo de la polea excéntrica, que deberá ofrecer un máximo rendimiento termodinámico.

Por último, y para terminar con las conclusiones, se propone otra investigación futura. Se conoce que la aplicación de estas máquinas de vapor, era propulsar pequeñas embarcaciones o ferrocarriles. Las máquinas analizadas en esta investigación, tienen unas dimensiones reducidas, tratándose de maquetas a pequeña escala. Si se realizara un análisis dimensional que relacionara parámetros geométricos como la carrera del pistón, diámetro del émbolo, etc. con parámetros de operación, es decir, presión y temperatura en la admisión, se podrían determinar las dimensiones que debería tener una máquina semejante (igual geométricamente pero con otras dimensiones) para que ofreciera una potencia o par mecánico determinado.

5. BIBLIOGRAFÍA

[1] Who was Henry Muncaster?. Disponible online: 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] Jumper, L. and Shih, R.H. Parametric Modeling with Autodesk Inventor 2023; SDC Publications: Mission, KS, USA, 2022.

[4] Montaño La Cruz, F. AutoCAD 2023; Anaya: Madrid, Spain, 2022.

[5] Autodesk Inventor Nastran 2023. About Tutorials. Disponible online: https://help.autodesk.com/view/NINCAD/2023/ENU/?guid=GUID-DB7160BE-0C72-47B9-B5EF-FC4925B455CE

[6] Acerca del entorno de Inventor Studio para renderizaciones y animaciones. Disponible online: https://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2023/ESP/?guid=GUID-7E605E33-12BA-44E6-A535-B1EE0268C37C

[7] De Waal, J. Two cylinders vertical compound steam engine with speed control by Henry Muncaster. Disponible online: https://modelengineeringwebsite.com/Muncaster_compound.html

[8] De Waal, J. Single cylinder Grasshopper beam engine. Disponible online: https://modelengineeringwebsite.com/Muncaster_grasshopper.html

6. ANEXO: PLANOS

Invención 1: Motor marino vertical compuesto de dos cilindros

Plano 01. Perspectiva axonométrica de conjunto (marcas 1 a 29)

Plano 02. Vista lateral derecha del conjunto (marcas 30 a 68)

Plano 03. Vista seccionada del conjunto (marcas 69 a 96)

Plano 04. Perspectiva isométrica con sección parcial y vista de detalle del conjunto (marcas 97 a 106)

Plano 05. Vista frontal con sección parcial del regulador de velocidad.

Plano 06. Marca 4. Bancada

Plano 07. Marca 104. Cojinete de bancada

Plano 08. Marca 66. Tapa del cojinete del cigüeñal

Plano 09. Marca 70. Cojinete del cigüeñal

Plano 10. Marca 6. Columna de soporte

Plano 11. Marca 18. Placa de deslizamiento de la cruceta del pistón

Plano 12. Marca 25. Tapa inferior de los cilindros

Plano 13. Marca 74. Cojinete de deslizamiento del vástago del pistón

Plano 14. Sellos y segmentos del pistón.

Plano 15. Marca 72. Casquillo del vástago del pistón

Plano 16. Marca 90. Soporte guía de la válvula

Plano 17. Marca 88. Casquillo de la varilla de la válvula

Plano 18. Marca 20. Cilindro del pistón de alta presión

Plano 19. Marca 84. Camisa del cilindro de alta presión

Plano 20. Marca 85. Camisa de la admisión y escape del cilindro de alta presión

Plano 21. Marca 24. Cilindro del pistón de alta presión

Plano 22. Marca 76. Camisa del cilindro de baja presión

Plano 23. Marca 79. Placa de deslizamiento de la admisión del cilindro de baja presión

Plano 24. Marca 21. Plataforma superior de los cilindros

Plano 25. Marca 39. Soporte de montaje del regulador

Plano 26. Marca 40. Soporte de montaje de la base del regulador

Plano 27. Marca 32. Tubo fijador de la polea de transmisión

Plano 28. Marca 56. Carcasa de la válvula de mariposa

Plano 29. Marca 54. Cubierta de la carcasa de la válvula de mariposa

Plano 30. Marca 47. Casquillo de la válvula de mariposa

Plano 31. Medidas de bulones y pasadores

Plano 32. Marca 3. Eje de apoyo 1 del cigüeñal

Plano 33. Marca 14. Codo de biela

Plano 34. Marca 69. Muñón principal

Plano 35. Marca 67. Eje de apoyo 2 del cigüeñal

Plano 36. Marca 11. Biela

Plano 37. Marca 1. Volante de inercia

Plano 38. Marca 94. Roldana excéntrica

Plano 39. Marca 82. Émbolo del pistón de alta presión

Plano 40. Marca 75. Vástago del pistón

Plano 41. Marca 93. Cojinete de la cruceta del pistón

Plano 42. Marca 27. Cruceta del pistón

Plano 43. Marca 28. Pasador de la biela del pistón

Plano 44. Marcas 15 y 29. Sombrero y cuerpo de la biela del pistón

Plano 45. Marca 71. Cojinete de la biela del pistón

Plano 46. Marca 78. Émbolo del pistón de alta presión

Plano 47. Marca 80. Válvula de corredera de baja presión

Plano 48. Marca 89. Husillo de la válvula de corredera de baja presión

Plano 49. Marca 91. Extremo del husillo de la válvula de corredera

Plano 50. Marca 92. Pasador de la biela de la válvula de corredera

Plano 51. Marca 16. Cuerpo de biela de la válvula de corredera

Plano 52. Marcas 9 y 10. Partes inferior y superior del sombrero de la biela

Plano 53. Marca 96. Cojinete de la biela de la válvula de corredera

Plano 54. Marca 81. Husillo de la válvula de corredera de alta presión

Plano 55. Marca 58. Válvula de la mariposa

Plano 56. Marca 52. Manivela de la válvula de mariposa

Plano 57. Marca 95. Polea de control de velocidad del cigüeñal

Plano 58. Marca 34. Husillo de accionamiento del regulador 1

Plano 59. Marca 102. Eje de transmisión del regulador

Plano 60. Marca 30. Polea del regulador

Plano 61. Marca 105. Eje del regulador

Plano 62. Marca 45. Fijador superior de brazos del regulador

Plano 63. Marca 98. Bulón del fijador

Plano 64. Marca 35. Apoyo del eje del regulador

Plano 65. Marca 31. Correa de transmisión del regulador

Plano 66. Marca 64. Carcasa deslizante del regulador

Plano 67. Marca 60. Resorte del regulador

Plano 68. Marca 62. Brazo inferior

Plano 69. Marca 44. Brazo superior

Plano 70. Marca 61. Peso centrífugo del regulador

Plano 71. Marca 42. Yugo y manivela del regulador

Plano 72. Marca 46. Varilla de control del regulador

Plano 73. Marca 50. Extremo de la varilla de control del regulador.

Invención 2: Motor de un solo cilindro tipo 'Saltamontes'

Plano 01. Perspectiva axonométrica del conjunto (marcas 1 a 65)

Plano 02. Perspectiva axonométrica del conjunto (marcas 66 a 113)

Plano 03. Perspectiva axonométrica del conjunto (marcas 114 a 158)

Plano 04. Perspectiva axonométrica del conjunto y sección parcial (marcas 159 a 177)

Plano 05. Cigüeñal y eslabonamiento principal

Plano 06. Marca 7. Lateral de bancada

Plano 08. Marca 156. Placa transversal 2 de la bancada

Plano 09. Marca 23. Placa superior 1 de la bancada

Plano 10. Marca 8. Placa superior 2 de la bancada

Plano 11. Marca 16. Marco fijador de partes de la bancada

Plano 12. Marca 22. Placa trasera de la bancada

Plano 13. Marca 75. Parte inferior del soporte del cojinete del cigüeñal

Plano 14. Marca 114. Parte superior del soporte del cojinete del cigüeñal

Plano 15. Marca 118. Cojinete del cigüeñal

Plano 16. Marca 4. Apoyo inferior de la columna de soporte

Plano 17. Ejes roscados

Plano 18. Marca 62. Apoyo superior de la columna de soporte

Plano 19. Marca 1. Columna de soporte

Plano 20. Marca 14. Soporte del cojinete del engranaje del regulador

Plano 21. Cojinetes con agujero para lubricación

Plano 22. Cojinetes cilíndricos huecos y sellos

Plano 23. Marca 19. Cilindro y soporte inferior del cilindro

Plano 24. Marca 119. Camisa del cilindro

Plano 25. Marca 18. Anillos del cilindro

Plano 26. Marca 122. Base del cilindro

Plano 27. Marca 136. Soporte superior del cilindro

Plano 28. Marca 95. Tapa superior del cilindro

Plano 29. Marca 137. Cojinete de fricción del vástago del pistón

Plano 30. Marca 96. Casquillo del vástago del pistón

Plano 31. Marca 133. Bloque de puerto del cilindro

Plano 32. Marca 120. Placa de deslizamiento de la válvula de corredera

Plano 33. Marca 36. Bloque del cofre de válvulas de corredera

Plano 34. Marca 34. Tapa del bloque del cofre de válvulas

Plano 35. Marca 129. Cojinete de fricción del cofre de válvulas

Plano 36. Marca 37. Casquillo de la varilla de la válvula

Plano 37. Placas de unión de la carcasa de entrada de vapor

Plano 38. Marca 27. Tubo con codo

Plano 39. Marca 29. Tubo de entrada de vapor

Plano 40. Marca 31. Carcasa del regulador del vapor de entrada

Plano 41. Marca 26. Casquillo del regulador de vapor de entrada

Plano 42. Marca 20. Soporte del cojinete del tirante excéntrico

Plano 43. Marca 51. Viga derecha

Plano 44. Marca 61. Viga izquierda

Plano 45. Marca 42. Viga fija superior 1

Plano 46. Marca 141. Bloque de montaje de la viga superior 2

Plano 47. Ejes y varillas con extremos roscados

Plano 48. Marca 98. Viga fija superior 2

Plano 49. Marca 86. Soporte del cojinete superior del regulador

Plano 50. Marca 5. Carcasa de la bomba

Plano 51. Marca 157. Válvula de bola de la bomba

Plano 52. Marca 3. Tornillo de retención de la válvula de bola

Plano 53. Marca 2. Casquillo del pistón de la bomba

Plano 54. Marca 77. Eje del cigüeñal

Plano 55. Pasadores y bulones

Plano 56. Marca 78. Biela

Plano 57. Marca 174. Codo de biela

Plano 58. Marca 176. Tope del codo de biela

Plano 59. Marca 177. Conector biela-manivela del regulador

Plano 60. Marca 167. Roldana excéntrica

Plano 61. Marca 33. Volante de inercia

Plano 62. Marca 134. Émbolo del pistón

Plano 63. Marca 131. Segmento del pistón

Plano 64. Marca 43. Vástago del pistón

Plano 65. Marca 45. Pasador rectangular 1 del vástago del pistón

Plano 66. Marca 44. Tapa del vástago del pistón

Plano 67. Marca 103. Cojinete de la tapa del vástago del pistón

Plano 68. Marca 102. Pasador 1 de ajuste a presión del cojinete

Plano 69. Marca 101. Pasador 2 de ajuste a presión del cojinete

Plano 70. Marca 52. Barra de balance (balancín)

Plano 71. Marca 140. Barra transversal de acople del pistón

Plano 72. Marca 112. Barra transversal de unión de barras de balance

Plano 73. Marca 108. Barra transversal de acople de biela

Plano 74. Marca 109. Barra transversal de acople de barra de media estancia

Plano 75. Marca 54. Barra transversal de acople de la biela de la bomba

Plano 76. Marca 55. Barra transversal de acople de barra de estancia extrema

Plano 77. Marcas 73 y 74. Cabeza y cuerpo de biela

Plano 78. Marca 173. Pasador rectangular del vástago del pistón 2

Plano 79. Marca 158. Cojinete de biela

Plano 80. Marca 105. Tapa de biela

Plano 81. Marca 106. Cojinete de la tapa de biela

Plano 82. Marca 104. Pasador 1 de ajuste a presión del cojinete de la tapa de biela

Plano 83. Marca 107. Pasador 2 de ajuste a presión del cojinete de la tapa de biela

Plano 84. Marca 99. Cabeza de barra estabilizadora móvil de media estancia

Plano 85. Cabezas de la barra estabilizadora móvil de fin de estancia

Plano 86. Marca 64. Pistón de la bomba

Plano 87. Marca 53. Biela del pistón de la bomba

Plano 88. Marca 150. Cabeza de la biela del pistón de la bomba

Plano 89. Marca 79. Manivela del regulador

Plano 90. Marca 80. Eje impulsado por el regulador

Plano 91. Marca 82. Tope del eje impulsado por el regulador

Plano 92. Marca 11. Engranaje impulsado por el regulador

Plano 93. Marca 50. Tope superior del husillo vertical del regulador

Plano 94. Marca 12. Tope del husillo vertical del regulador

Plano 95. Marca 9. Engranaje del husillo vertical del regulador

Plano 96. Marca 65. Eje del husillo vertical del regulador

Plano 97. Marca 46. Collar deslizante del regulador

Plano 98. Bulones con taladros

Plano 99. Marca 49. Brazo inferior del regulador

Plano 100. Marca 47. Brazo superior del regulador

Plano 101. Marca 57. Contrapeso del brazo superior del regulador

Plano 102. Marca 88. Yugo de control del regulador

Plano 103. Bulones y ejes con un extremo roscado

Plano 104. Marca 25. Válvula de control de suministro de vapor

Plano 105. Marca 24. Manivela de la válvula de control de suministro de vapor

Plano 106. Barras con acoples en extremo sin entrada de lubricante

Plano 107. Marcas 171 y 165. Partes superior e inferior de la cabeza de correa excéntrica

Plano 108. Marcas 168 y 170. Partes inferior y superior del casquillo de correa excéntrica

Plano 109. Marca 84. Biela de la correa excéntrica

Plano 110. Marca 125. Eje 1 del eje basculante de la varilla de la válvula

Plano 111. Marca 127. Balancín 1 de la varilla de la válvula

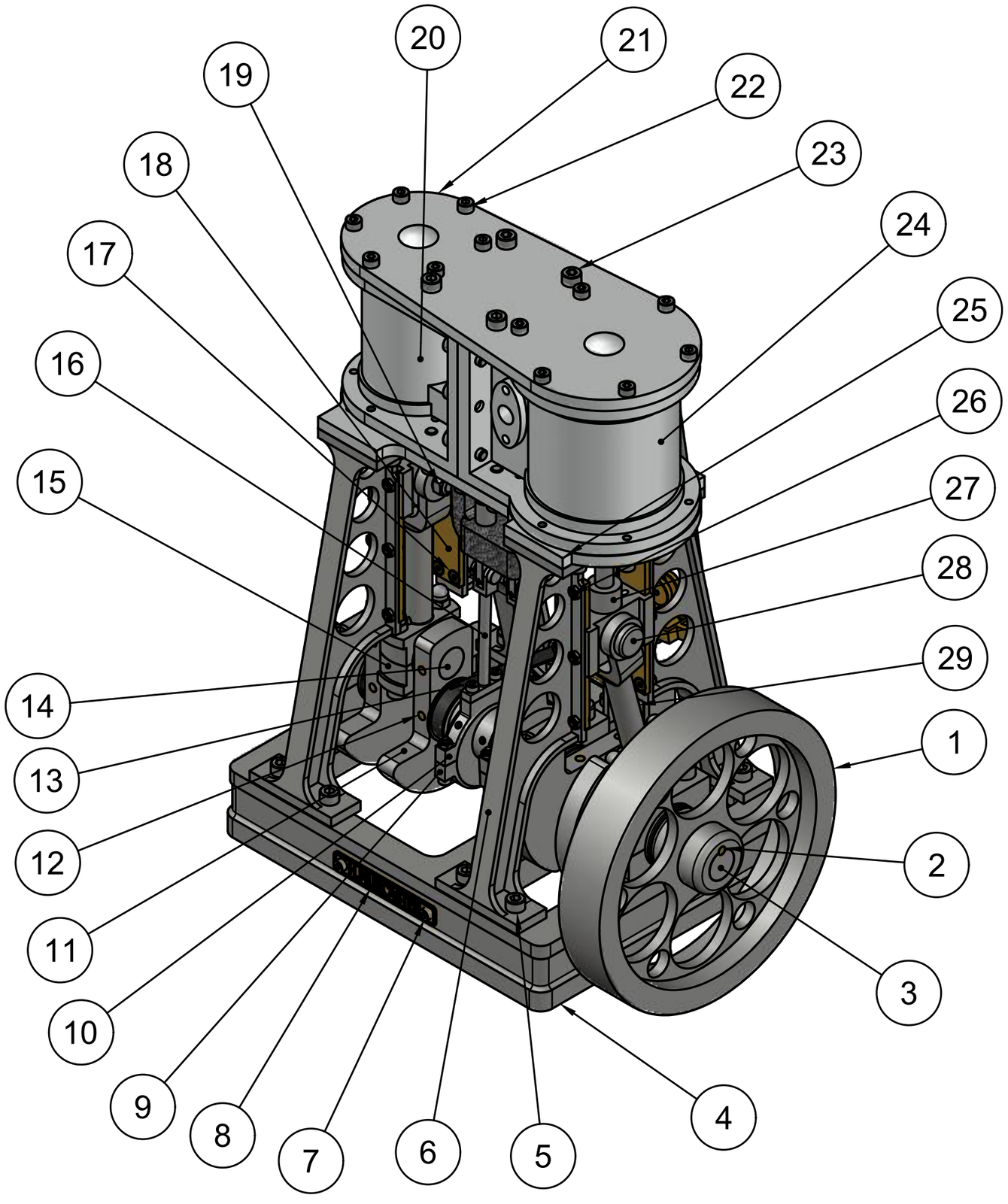
Plano 112. Marca 32. Eje 3 del eje basculante de la varilla de la válvula

Plano 113. Marca 160. Balancín 2 de la varilla de la válvula

Plano 114. Marca 121. Válvula de corredera

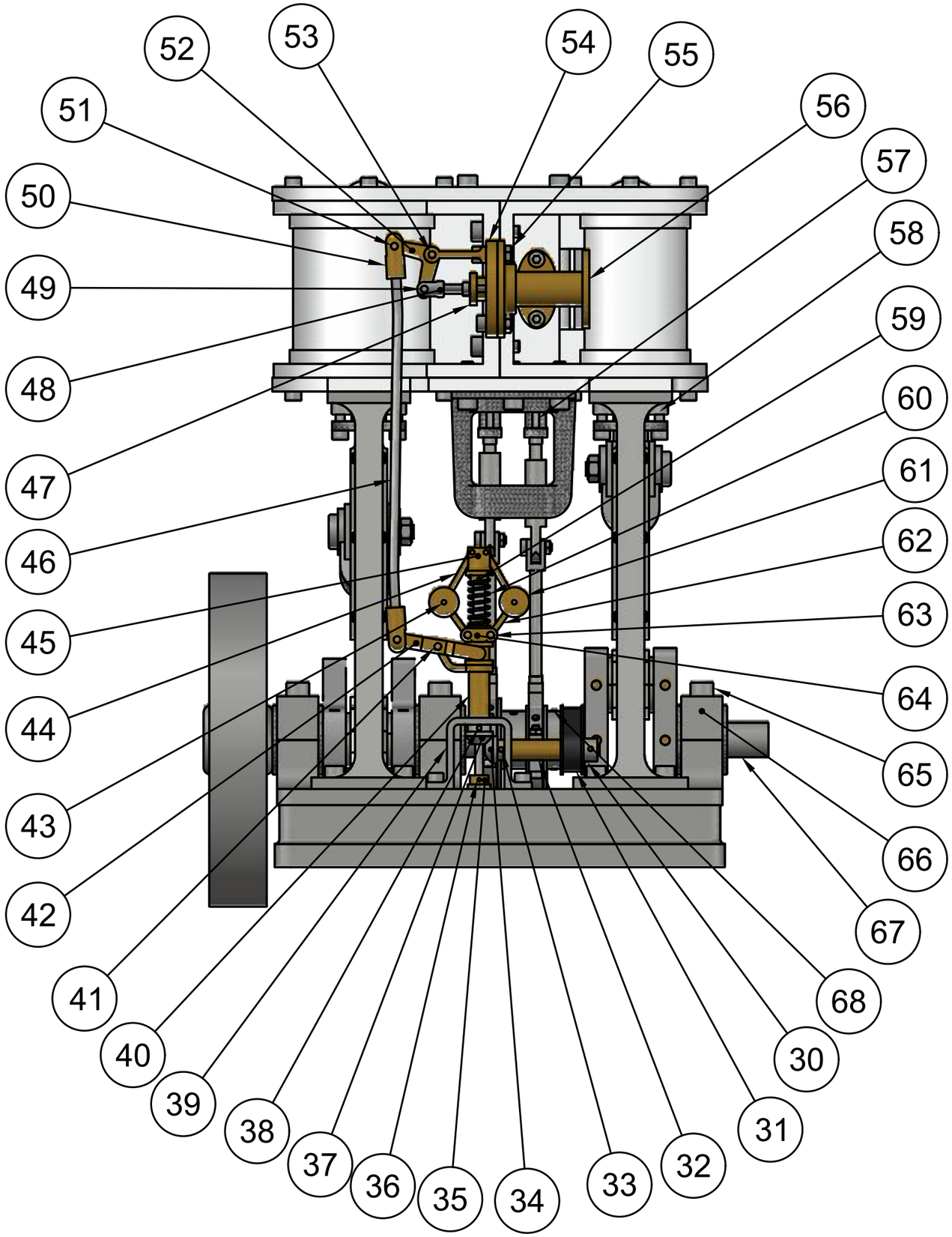
Plano 115. Marca 39. Varilla de la válvula de corredera

Plano 116. Marca 40. Barra superior de la varilla de la válvula de corredera



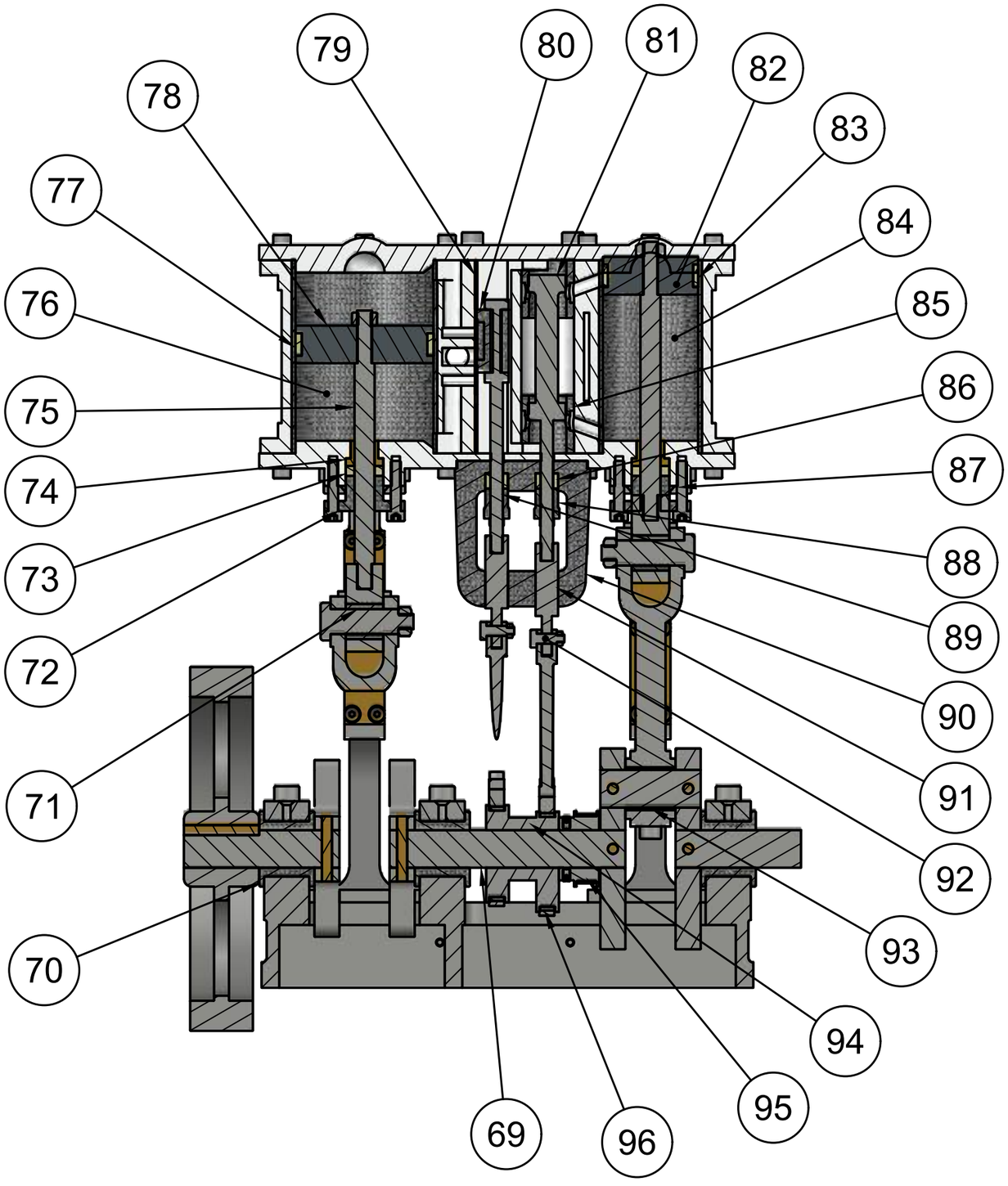
29	2	Cuerpo de biela del pistón	-	Acero al carbono
28	2	Pasador de biela del pistón	-	Acero al carbono
27	2	Cruceta del pistón	-	Acero al carbono
26	30	Tuerca 2	ISO 4032 - M3	Acero inoxidable
25	1	Plataforma inferior de los cilindros	-	Aluminio 6061
24	1	Cilindro del pistón de baja presión	-	Aluminio 6061
23	6	Perno 4	ISO 4762 - M5 x 12	Acero inox.
22	28	Perno 3	ISO 4762 - M4 x 12	Acero inox.
21	1	Plataforma superior de los cilindros	-	Aluminio 6061
20	1	Cilindro del pistón de alta presión	-	Aluminio 6061
19	4	Tuerca 3	ISO 4032 - M6	Acero inoxidable
18	4	Placa de deslizamiento de la cruceta del pistón	-	Latón
17	24	Perno avellanado 2	ISO 10642 - M3 x 8	Acero
16	2	Cuerpo de biela de la válvula corredera	-	Acero al carbono
15	2	Sombrero de biela del pistón	-	Acero al carbono
14	2	Codo de biela	-	Acero al carbono
13	6	Perno 10	ISO 4762 - M3 x 10	Acero inoxidable
12	8	Bulón 2 del cigüeñal	-	Latón
11	4	Biela	-	Acero al carbono
10	2	Parte superior del sombrero de la biela de la válvula corredera	-	Acero al carbono
9	2	Parte inferior del sombrero de la biela de la válvula corredera	-	Acero al carbono
8	1	Placa del nombre	-	Latón
7	2	Perno 8	ISO 4762 - M3 x 6	Acero inoxidable
6	4	Columna de soporte	-	Acero al carbono
5	18	Perno 2	ISO 4762 - M5 x 16	Acero inoxidable
4	1	Bancada	-	Acero al carbono
3	1	Eje de apoyo 1 del cigüeñal	-	Acero al carbono
2	1	Bulón 1 del cigüeñal	-	Latón
1	1	Volante de inercia	-	Acero al carbono
Marca	Cantidad	Denominación	Estandarización	Material

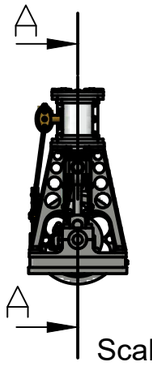
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:2	Perspectiva axonométrica de conjunto (marcas 1 a 29)		01/73



68	6	Tornillo sin cabeza	ISO 4029 - M3 x 5	Acero inoxidable
67	1	Eje de apoyo 2 del cigüeñal	-	Acero al carbono
66	3	Tapa del cojinete del cigüeñal	-	Acero al carbono
65	6	Perno 9	ISO 4762 - M6 x 30	Acero inoxidable
64	1	Carcasa deslizante del regulador	-	Latón
63	2	Bulón de la carcasa deslizante del regulador	-	Acero al carbono
62	2	Brazo inferior	-	Latón
61	4	Peso centrífugo del regulador	-	Latón
60	1	Resorte del regulador	-	Acero inoxidable
59	1	Bulón 5	-	Latón
58	8	Perno 7	ISO 4762 - M5 x 10	Acero inox
57	8	Perno 1	ISO 4762 - M3 x 20	Acero inoxidable
56	1	Carcasa de la válvula de mariposa	-	Latón
55	2	Tuerca 1	ISO 4032 - M4	Acero inoxidable
54	1	Cubierta de la carcasa de la válvula de mariposa	-	Latón
53	1	Pasador de la manivela de la válvula de mariposa	-	Acero al carbono
52	1	Manivela de la válvula de mariposa	-	Latón
51	2	Bulón del extremo de la varilla de control del regulador	-	Acero al carbono
50	2	Extremo de la varilla de control del regulador	-	Latón
49	1	Pasador de la válvula de mariposa	-	Latón
48	1	Válvula de la mariposa	-	Acero inoxidable
47	1	Casquillo de la válvula de mariposa	-	Latón
46	1	Varilla de control del regulador	-	Acero al carbono
45	1	Fijador superior de brazos del regulador	-	Latón
44	2	Brazo superior	-	Latón
43	2	Bulón del peso centrífugo del regulador	-	Acero al carbono
42	1	Yugo y manivela del regulador	-	Latón
41	1	Bulón del yugo y manivela del regulador	-	Acero al carbono
40	1	Soporte de montaje de la base del regulador	-	Latón
39	1	Soporte de montaje del regulador	-	Acero al carbono
38	1	Bulón 4	-	Latón
37	1	Husillo accionado del regulador 2	-	Acero al carbono
36	1	Bulón 3		Latón
35	1	Apoyo del eje del regulador	-	Latón
34	1	Husillo de accionamiento del regulador 1	-	Acero al carbono
33	1	Bulón 2	-	Latón
32	1	Tubo fijador de la polea de transmisión	-	Latón
31	1	Correa de transmisión del regulador	-	Caucho
30	1	Polea del regulador	-	Acero al carbono
Marca	Cantidad	Denominación	Estandarización	Material

Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:2	Vista lateral derecha del conjunto (marcas 30 a 68)		02/73

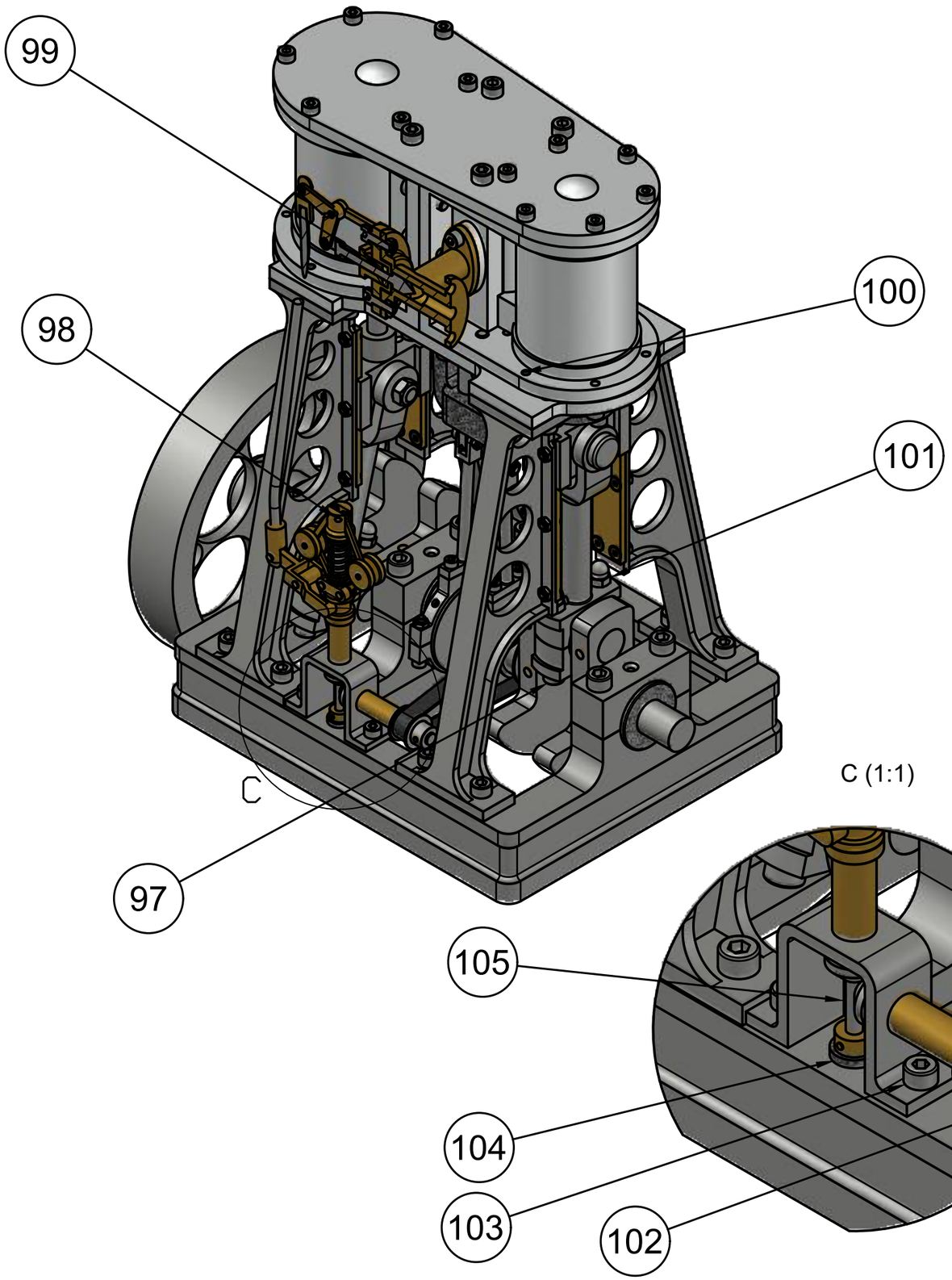


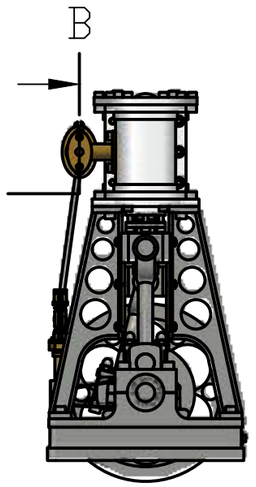


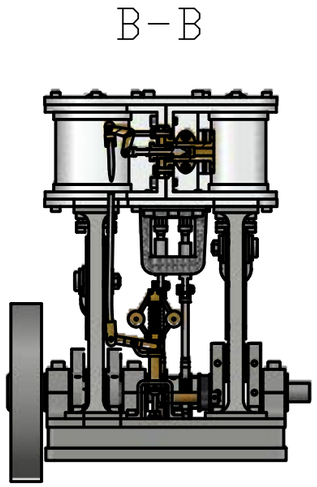
Scale 1:10

96	2	Cojinete de biela de la válvula corredera	-	Bronce fundido
95	1	Polea de control de velocidad del cigüeñal	-	Acero al carbono
94	1	Roldana excéntrica	-	Acero al carbono
93	2	Cojinete de la cruceta del pistón	-	Bronce fundido
92	2	Pasador de biela de válvula corredera	-	Acero al carbono
91	2	Extremo del husillo de la válvula de corredera	-	Acero al carbono
90	1	Soporte guía de la válvula	-	Bronce fundido
89	1	Husillo de la válvula de corredera de baja presión	-	Acero inoxidable
88	2	Casquillo de la varilla de la válvula	-	Bronce fundido
87	8	Perno 5	ISO 4762 - M4 x 20	Acero inoxidable
86	2	Sello de la varilla de la válvula	-	Nilón
85	2	Camisa de la admisión y escape del cilindro de alta presión	-	Bronce fundido
84	1	Camisa del cilindro de alta presión		Bronce fundido
83	1	Segmento del pistón de alta presión	-	Nilón
82	1	Émbolo del pistón de alta presión	-	Bronce fundido
81	1	Husillo de la válvula de corredera de alta presión	-	Acero inoxidable
80	1	Válvula de corredera de baja presión	-	Bronce fundido
79	1	Placa de deslizamiento de la admisión y escape del cilindro de baja presión	-	Latón
78	1	Émbolo del pistón de baja presión	-	Bronce fundido
77	1	Segmento del pistón de baja presión	-	Nilón
76	1	Camisa del cilindro de baja presión	-	Bronce fundido
75	2	Vástago del pistón	-	Acero inoxidable
74	2	Cojinete de deslizamiento del vástago del pistón	-	Bronce fundido
73	2	Sello del vástago del pistón	-	Nilón
72	2	Casquillo del vástago del pistón	-	Bronce fundido
71	2	Cojinete de biela del pistón	-	Bronce fundido
70	3	Cojinete del cigüeñal	-	Bronce fundido
69	1	Muñón principal	-	Acero al carbono
Marca	Cantidad	Denominación	Estandarización	Material

Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:2/1:10	Vista seccionada del conjunto (marcas 69 a 96)		03/73



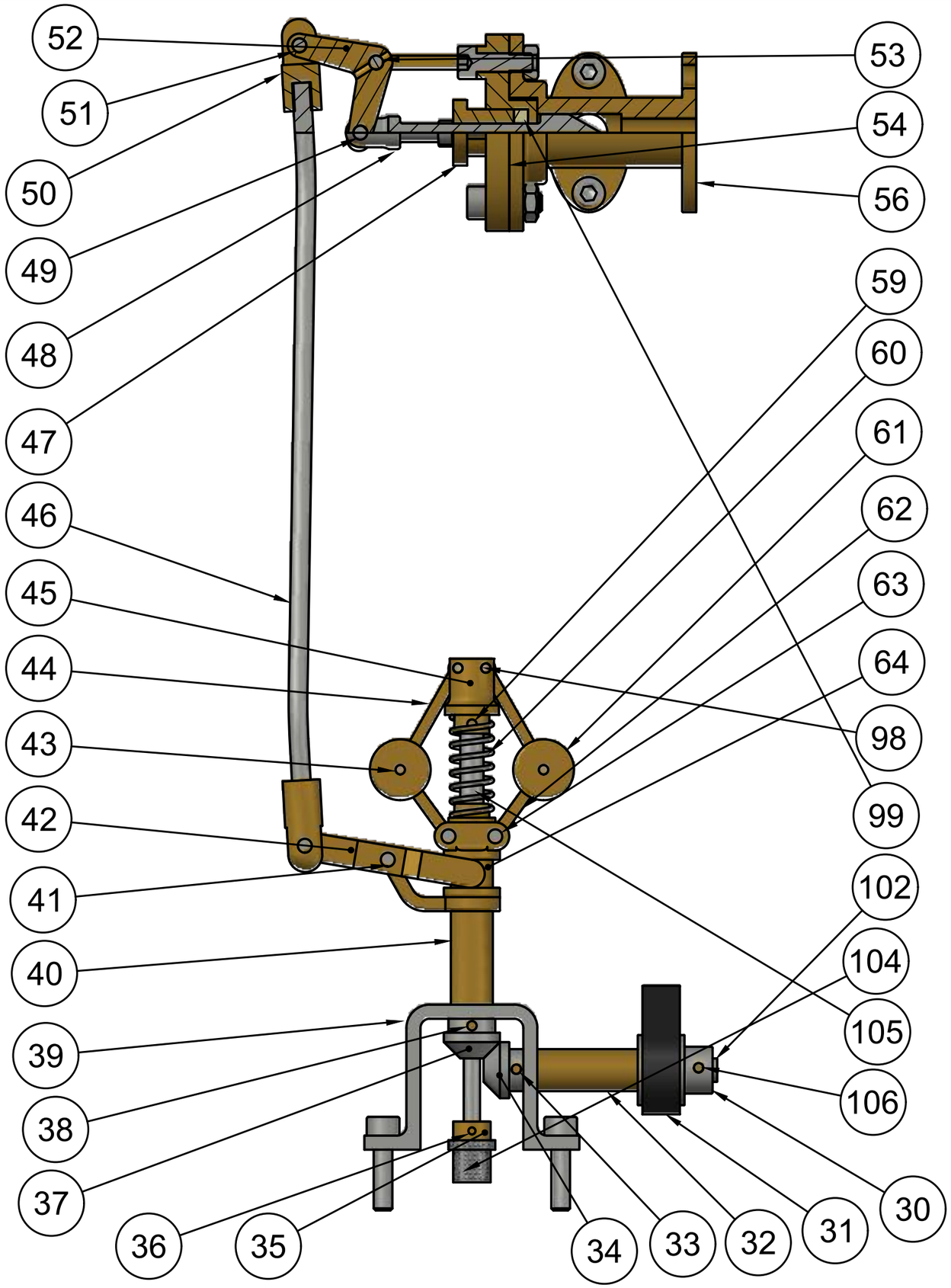




Scale 1:5

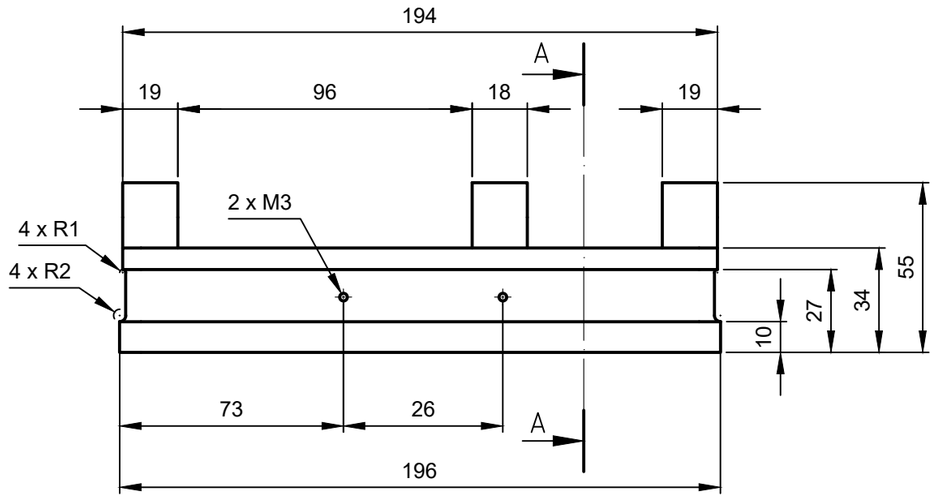
106	1	Bulón 1	-	Latón
105	1	Eje del regulador	-	Acero al carbono
104	1	Cojinete de la bancada	-	Bronce fundido
103	2	Perno 6	ISO 4762 - M4 x 16	Acero inoxidable
102	1	Eje de transmisión del regulador	-	Acero al carbono
101	4	Tuerca de tapa	DIN 1587 - M5	Acero inoxidable
100	4	Perno avellanado 1	ISO 10642 - M4 x 12	Acero
99	1	Sello de la válvula de mariposa	-	Nilón
98	2	Bulón del fijador	-	Acero al carbono
97	4	Perno 11	ISO 4762 - M5 x 35	Acero inoxidable
Marca	Cantidad	Denominación	Estandarización	Material

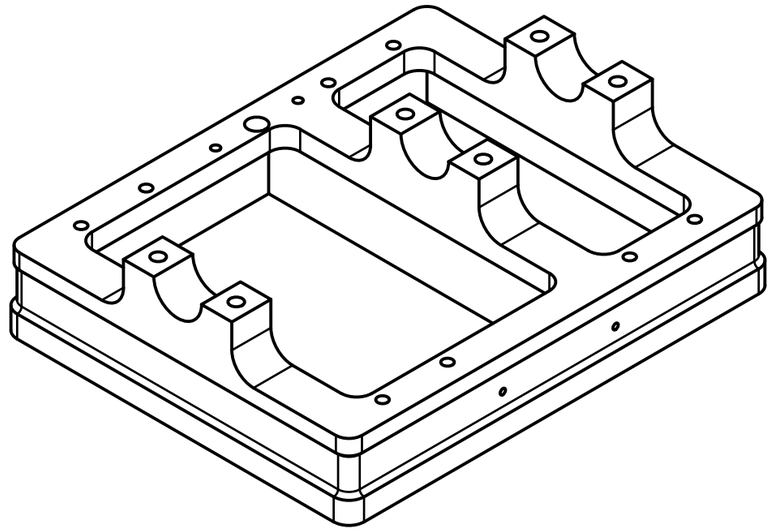
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1/1:2/1:5	Perspectiva isométrica con sección parcial y vista de detalle del conjunto (marcas 97 a 106)		04/73

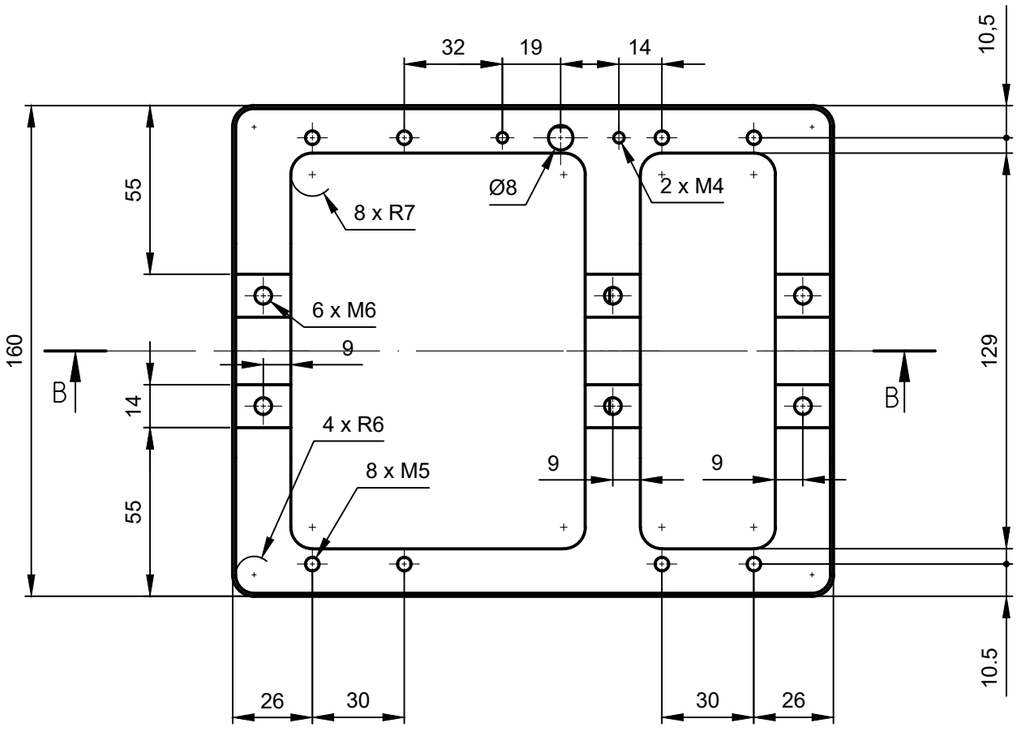


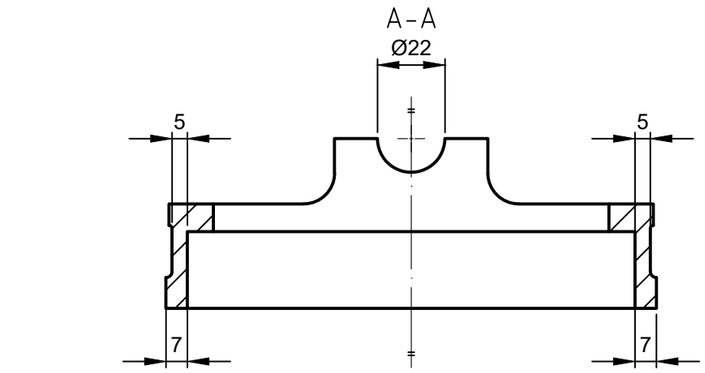
106	1	Bulón 1	-	Latón
105	1	Eje del regulador	-	Acero al carbono
104	1	Cojinete de la bancada	-	Bronce
102	1	Eje de transmisión del regulador	-	Acero al carbono
99	1	Sello de la válvula de mariposa	-	Nylon
98	2	Bulón del fijador	-	Acero al carbono
64	1	Carcasa deslizante del regulador	-	Latón
63	2	Bulón de la carcasa deslizante del regulador	-	Acero al carbono
62	2	Brazo inferior	-	Latón
61	4	Peso centrífugo del regulador	-	Latón
60	1	Resorte del regulador	-	Acero inoxidable
59	1	Bulón 5	-	Acero inoxidable
56	1	Carcasa de la válvula de mariposa	-	Latón
54	1	Cubierta de la carcasa de la válvula de mariposa	-	Latón
53	1	Pasador de la manivela de la válvula de mariposa	-	Acero al carbono
52	1	Manivela de la válvula de mariposa	-	Latón
51	2	Bulón del extremo de la varilla de control del regulador	-	Acero al carbono
50	2	Extremo de la varilla de control del regulador	-	Latón
49	1	Pasador de la válvula de mariposa	-	Latón
48	1	Válvula de la mariposa	-	Acero inoxidable
47	1	Casquillo de la válvula de mariposa	-	Latón
46	1	Varilla de control del regulador	-	Acero al carbono
45	1	Fijador superior de brazos del regulador	-	Latón
44	2	Brazo superior	-	Latón
43	2	Bulón del peso centrífugo del regulador	-	Acero al carbono
42	1	Yugo y manivela del regulador	-	Latón
41	1	Bulón del yugo y manivela del regulador	-	Acero al carbono
40	1	Soporte de montaje de la base del regulador	-	Latón
39	1	Soporte de montaje del regulador	-	Acero al carbono
38	1	Bulón 4	-	Latón
37	1	Husillo accionado del regulador 2	-	Acero al carbono
36	1	Bulón 3	-	Latón
35	1	Apoyo del eje del regulador	-	Latón
34	1	Husillo de accionamiento del regulador 1	-	Acero al carbono
33	1	Bulón 2	-	Latón
32	1	Tubo fijador de la polea de transmisión	-	Latón
31	1	Correa de transmisión del regulador	-	Caucho
30	1	Polea del regulador	-	Acero al carbono
Marca	Cantidad	Denominación	Estandarización	Material

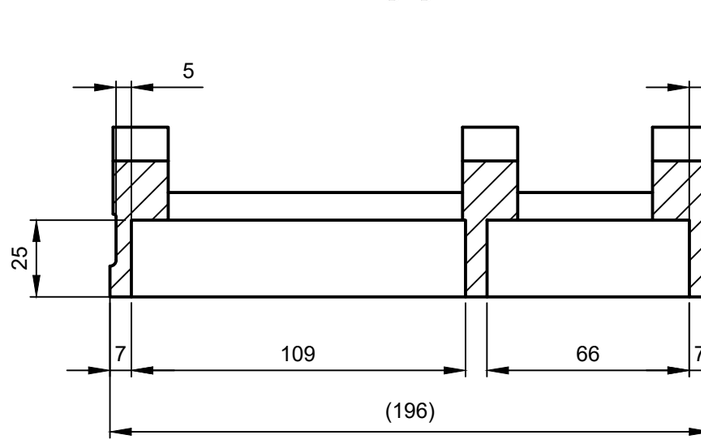
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1	Vista frontal con sección parcial del regulador de velocidad		05/73



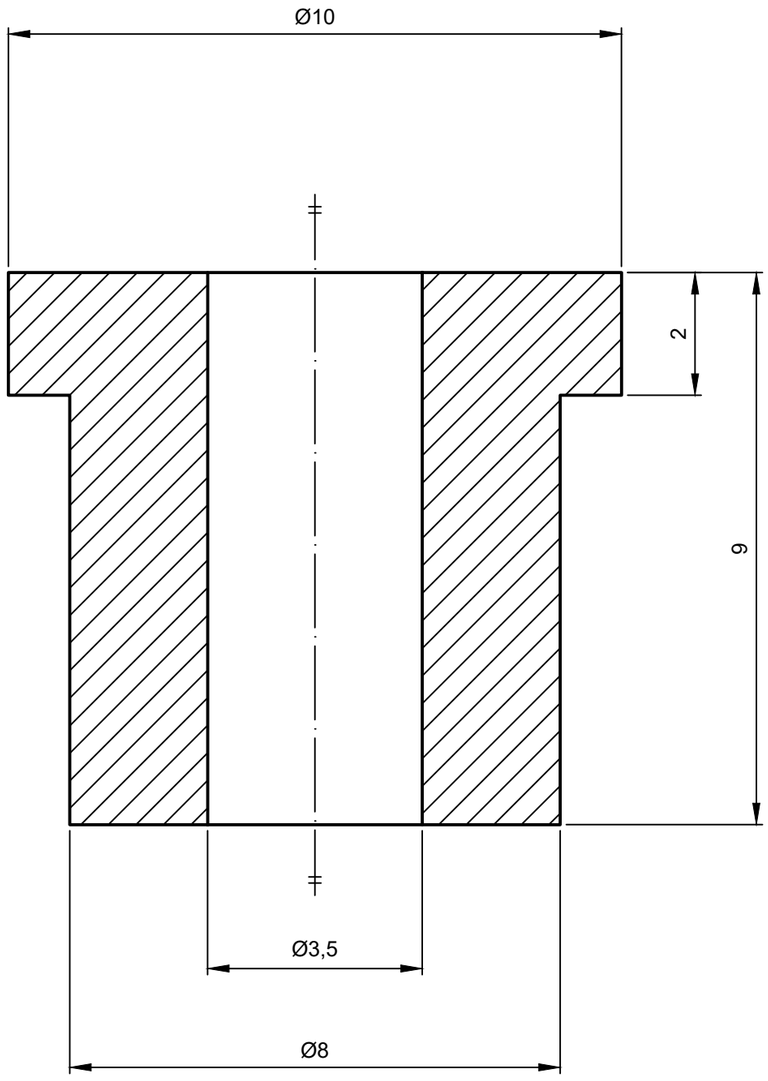


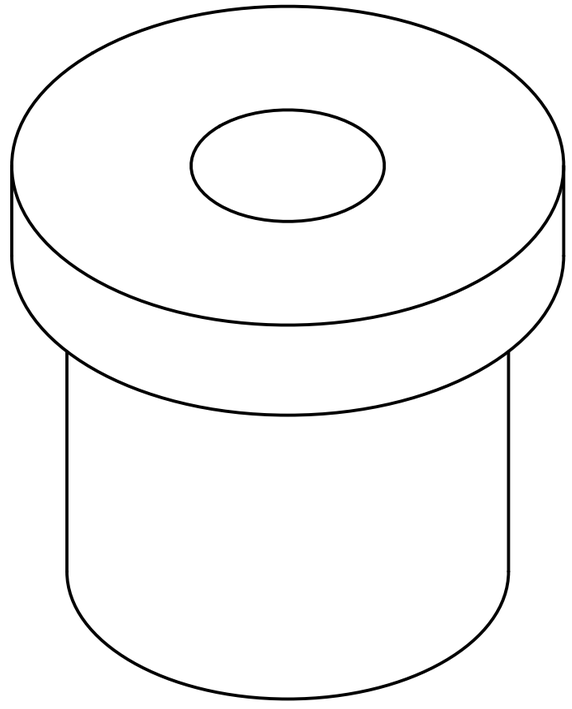




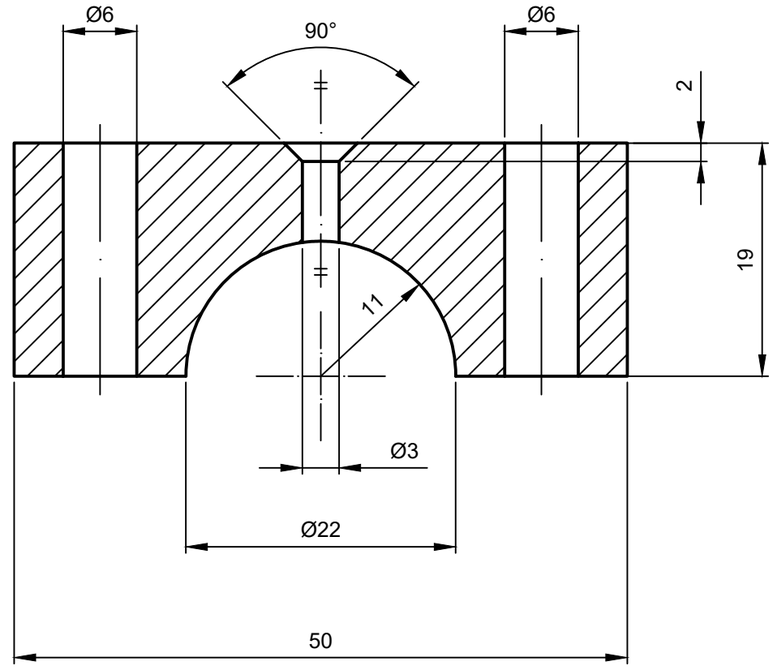


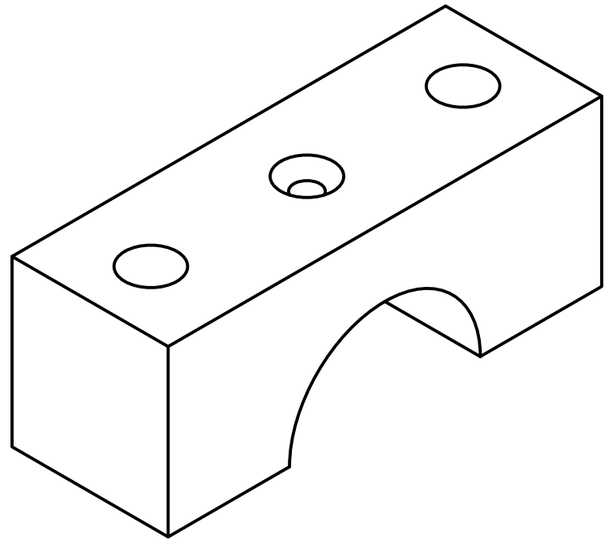
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:2	Marca 4. Bancada		06/73

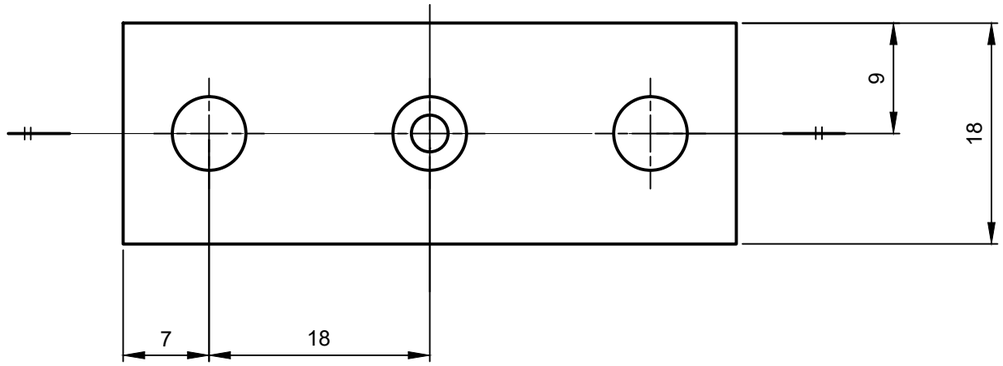




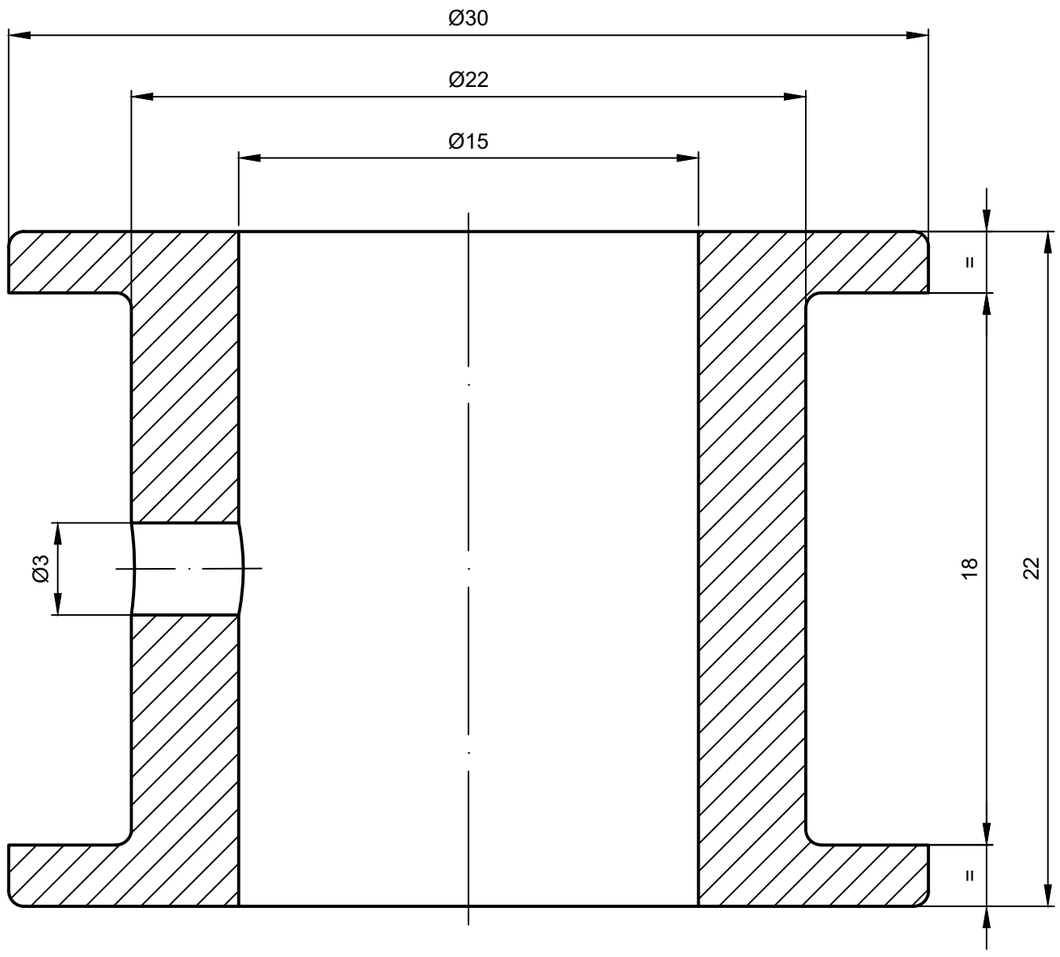
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
10:1	Marca 104. Cojinete de bancada		07/73



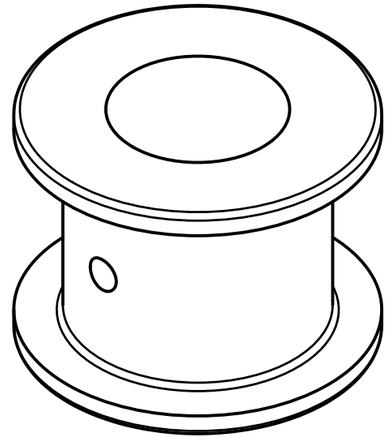




Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 66. Tapa del cojinete del cigüeñal		08/73

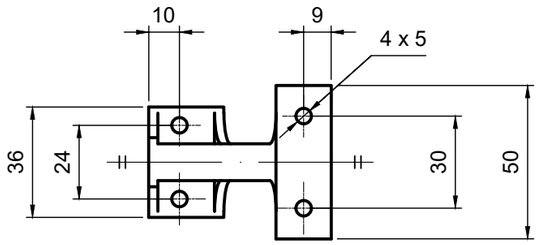


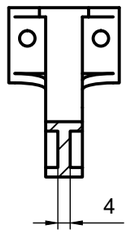
Escala 5:1

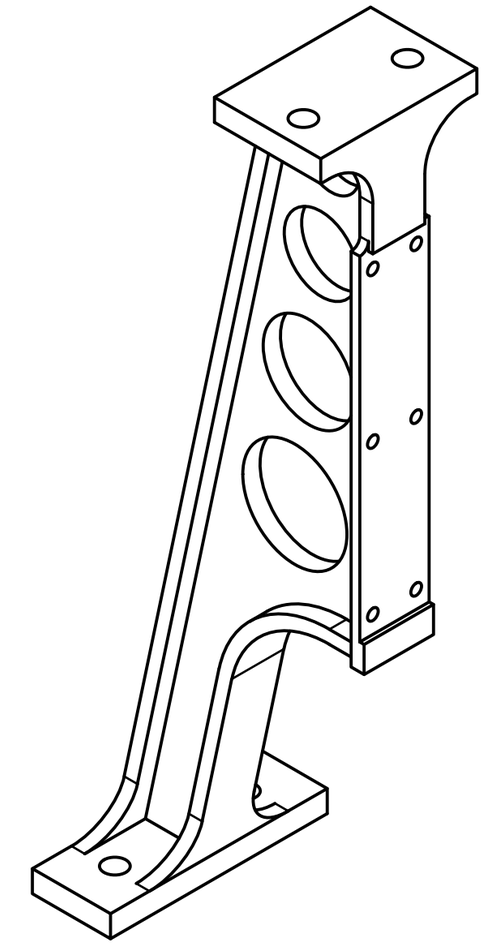


Escala 2:1

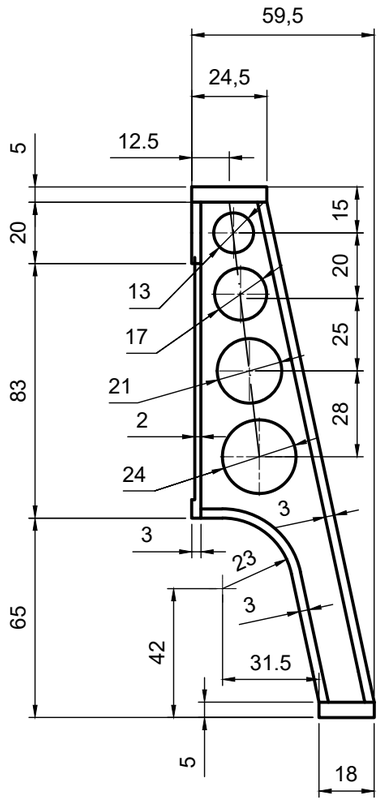
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1/2:1	Marca 70. Cojinete del cigüeñal		09/73

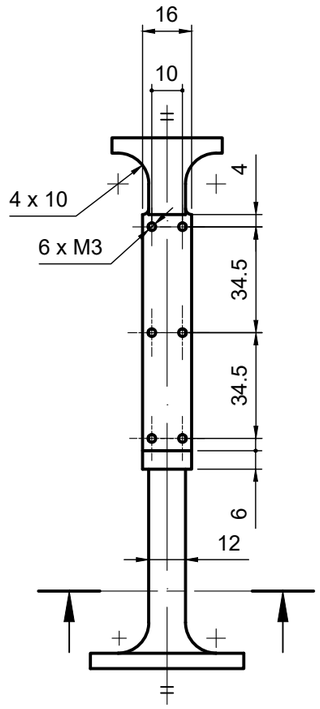






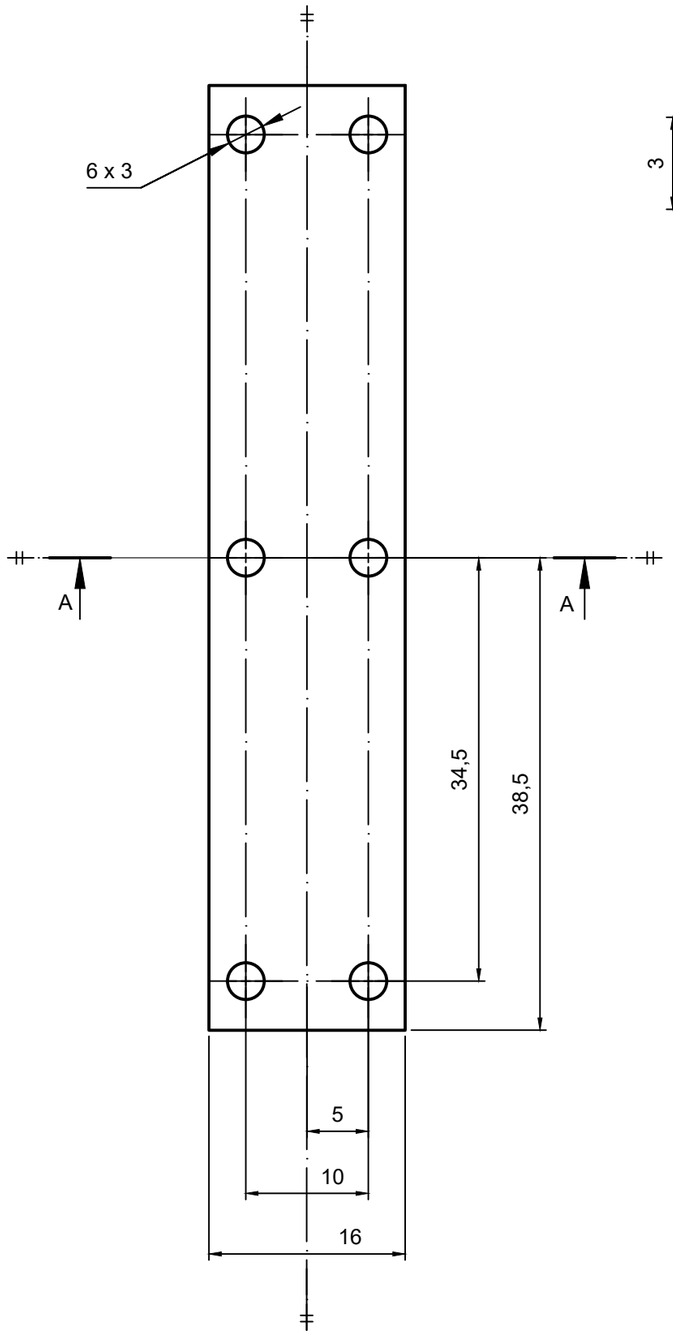
Escala 1:1





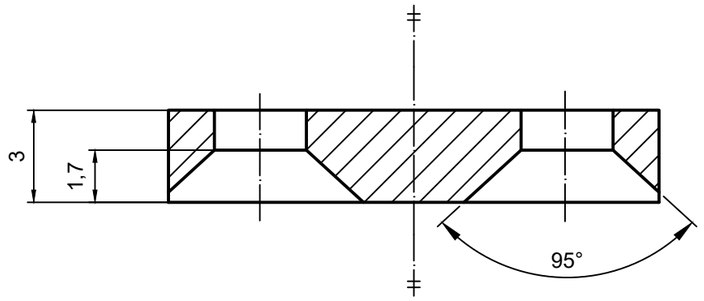
Escala 1:2

Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1/1:2	Marca 6. Columna de soporte		10/73

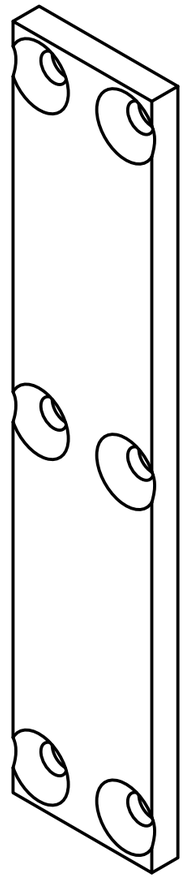


Escala 2:1

A - A

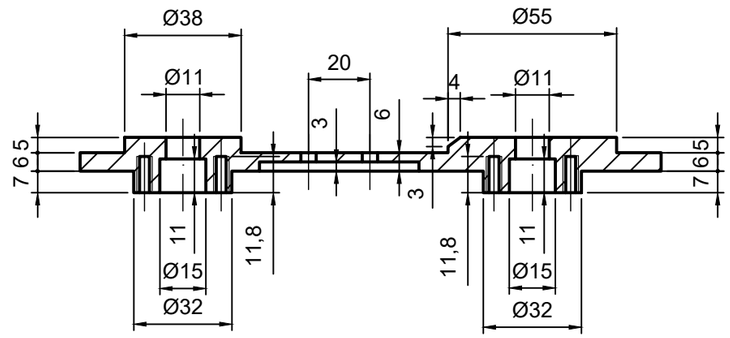


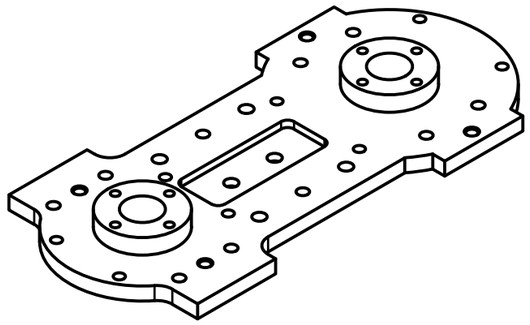
Escala 5:1



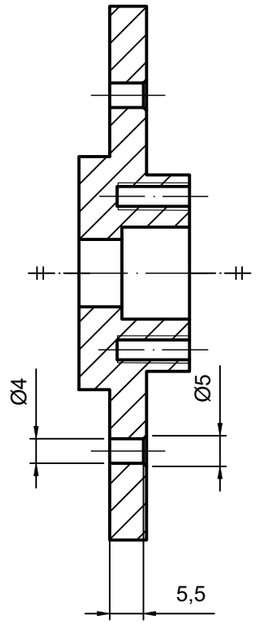
Escala 2:1

Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1/5.1	Marca 18. Placa de deslizamiento de la cruceta del pistón		11/73

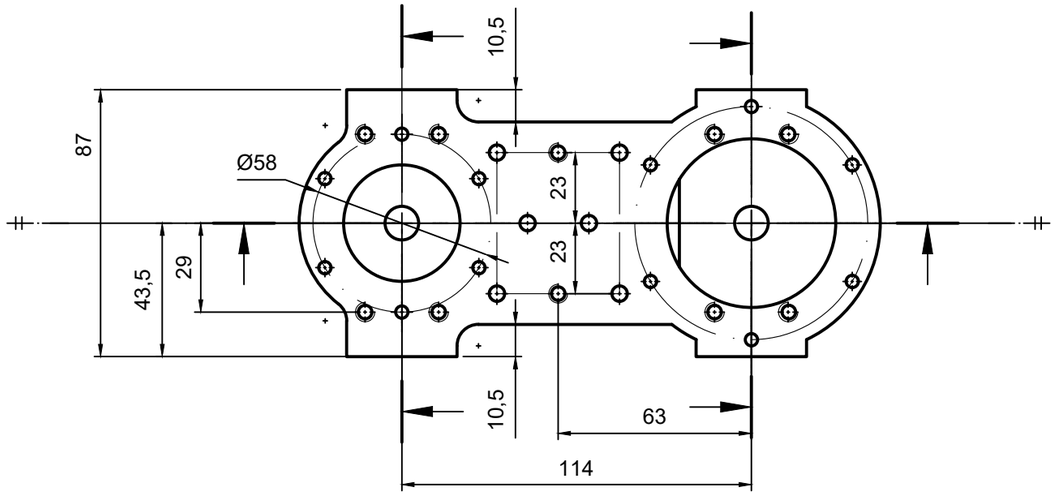


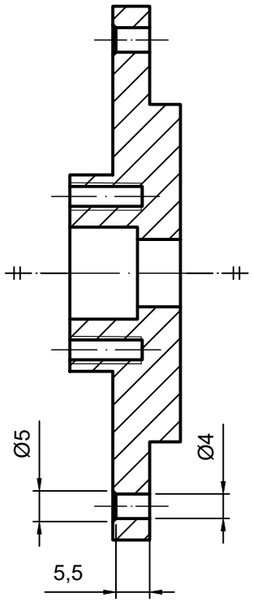


Escala 1:1

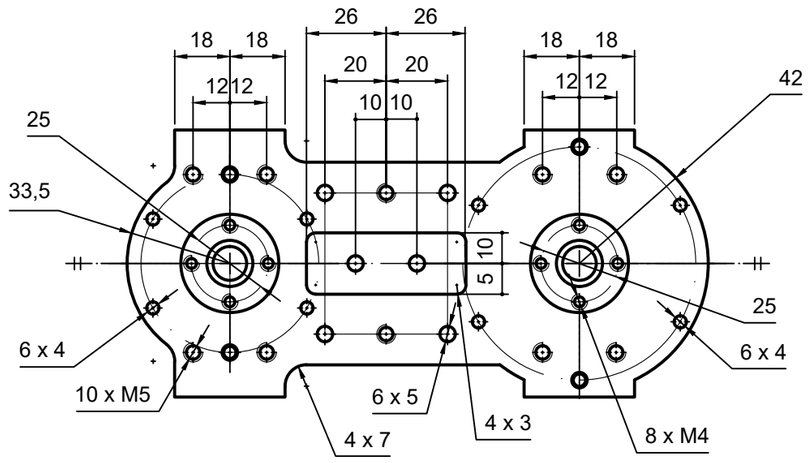


Escala 1:1



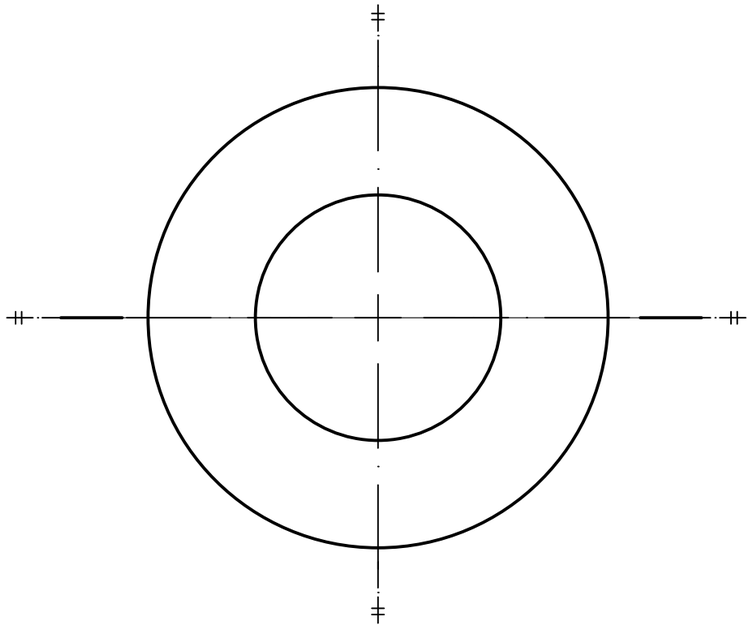


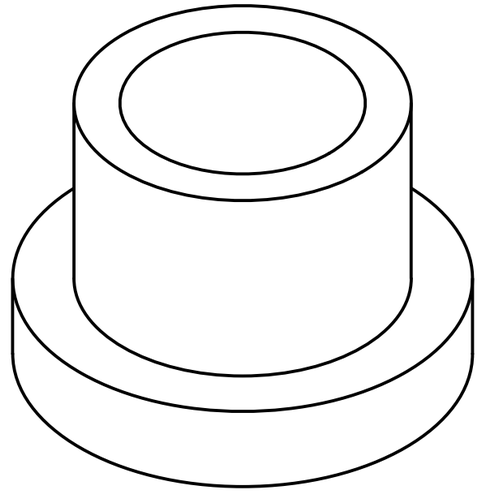
Escala 1:1

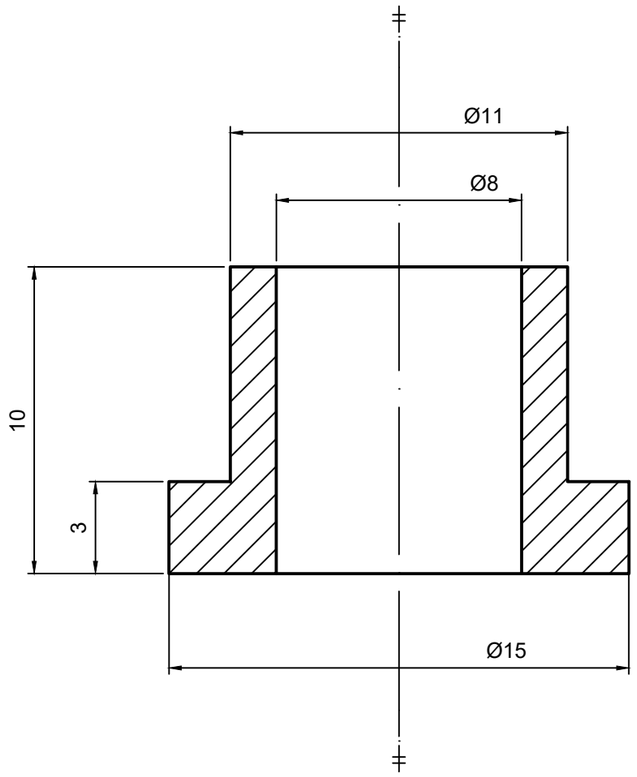


Escala 1:2

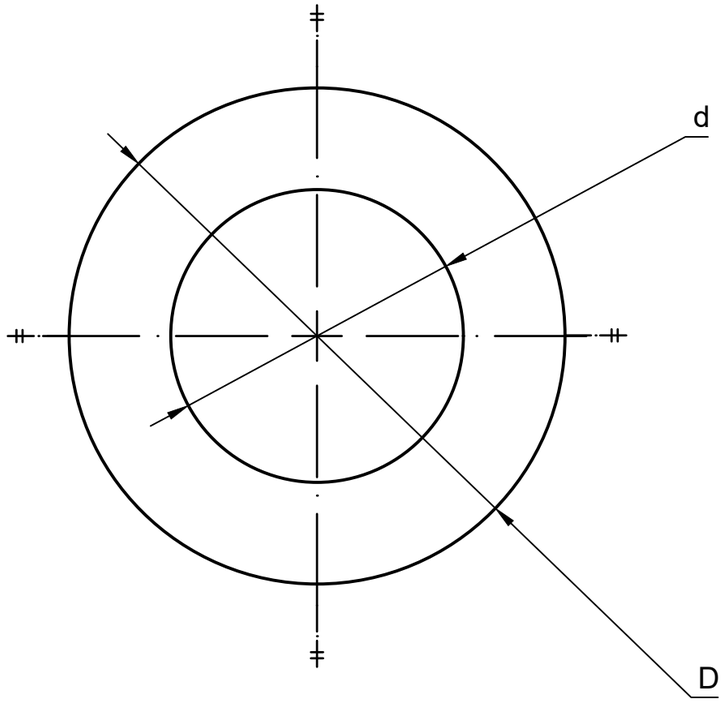
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:2/1:1	Marca 25. Plataforma inferior de los cilindros		12/73

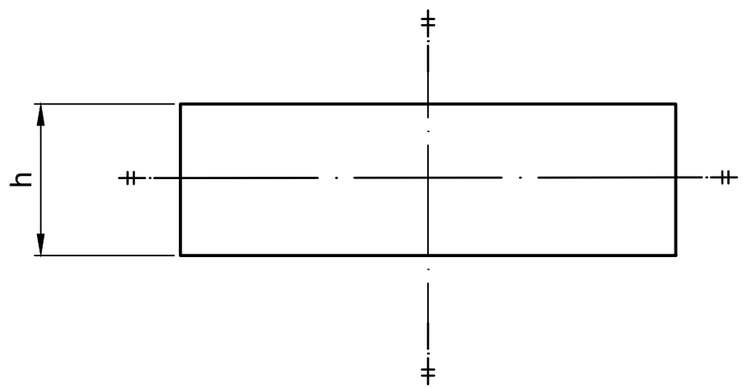






Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 74. Cojinete de deslizamiento del vástago del pistón		13/73

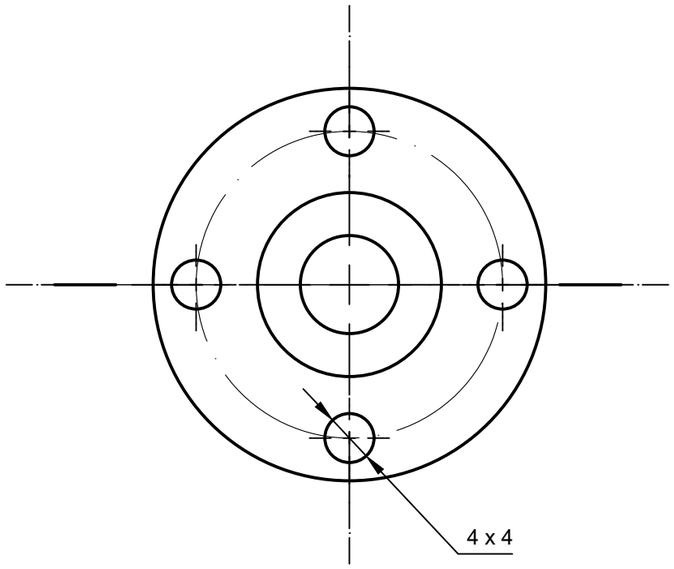


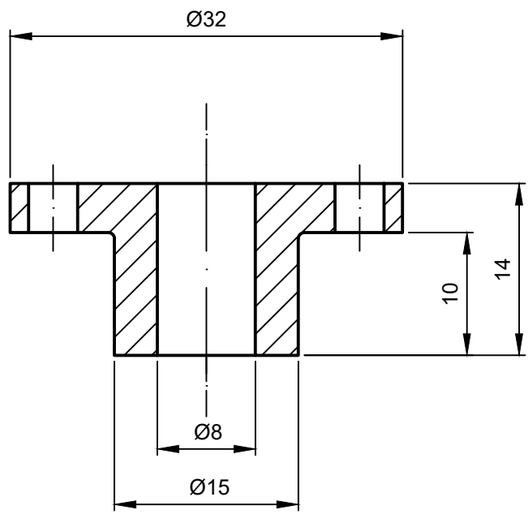


99	Sello de la válvula de mariposa	10	4	3
86	Sello de la varilla de la válvula	9,0	5	6
83	Segmento del pistón de alta presión	38	34	9
77	Segmento del pistón de baja presión	55,2	50	9
73	Sello del vástago del pistón	15	8	4
Marca	Denominación	D (mm)	d (mm)	h (mm)

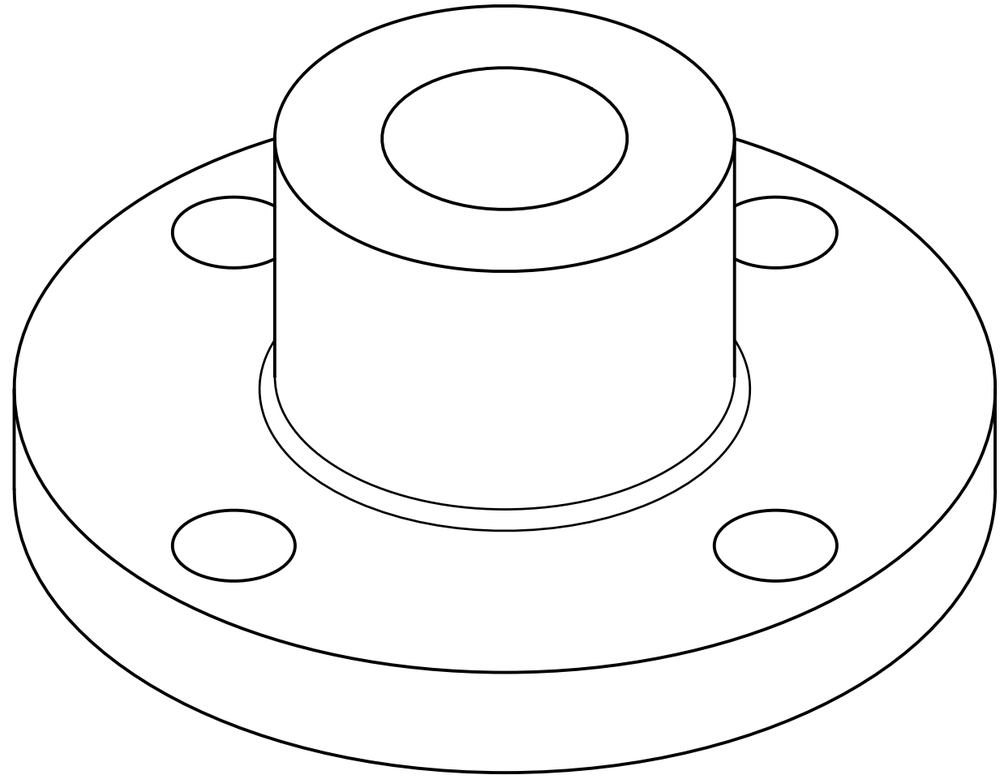
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	

Escala :	Título :	Plano :
1:1	Sellos y segmentos de pistones	14/73



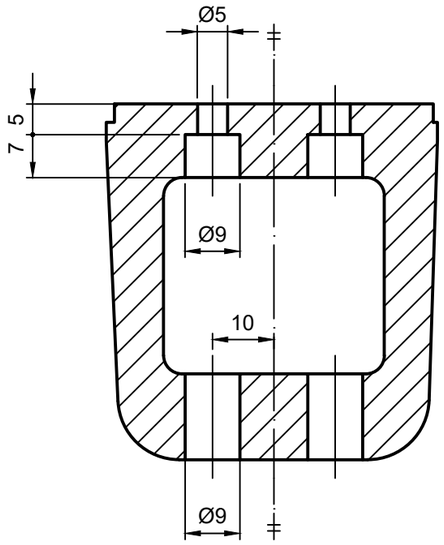


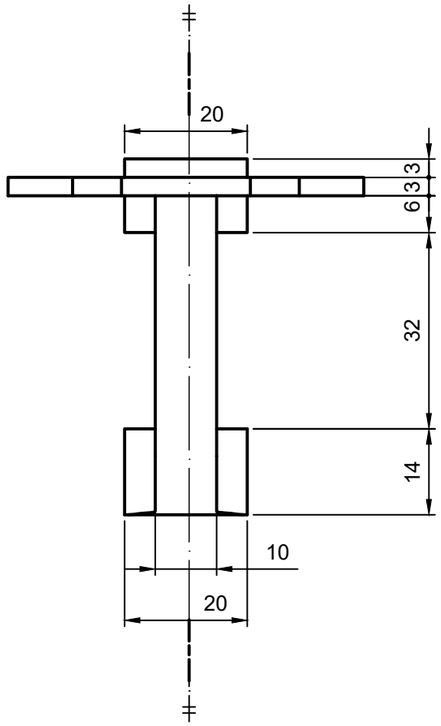
Escala 2:1

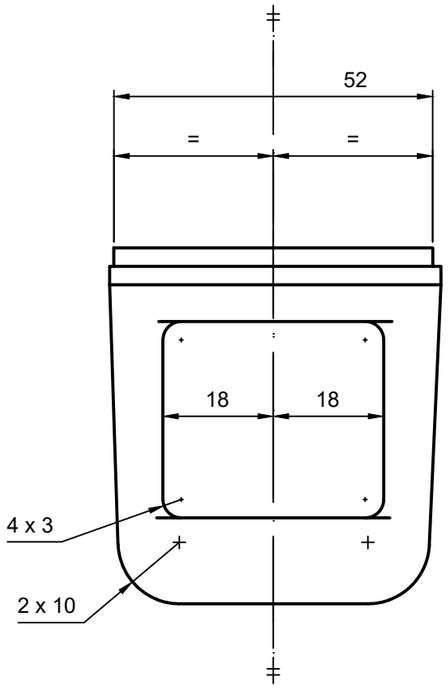


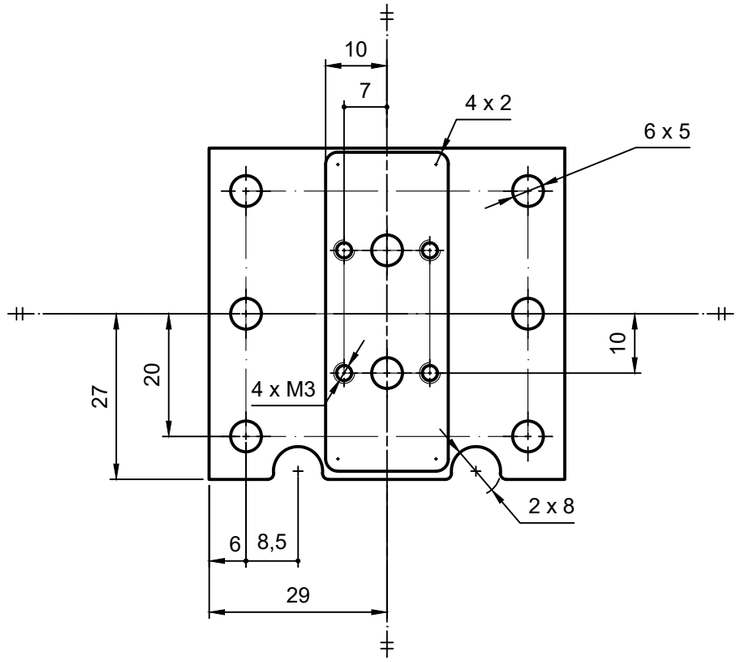
Escala 5:1

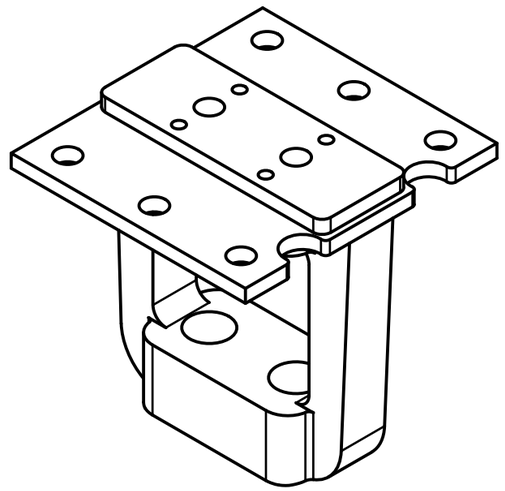
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1/5:1	Marca 72. Casquillo del vástago del pistón		15/73



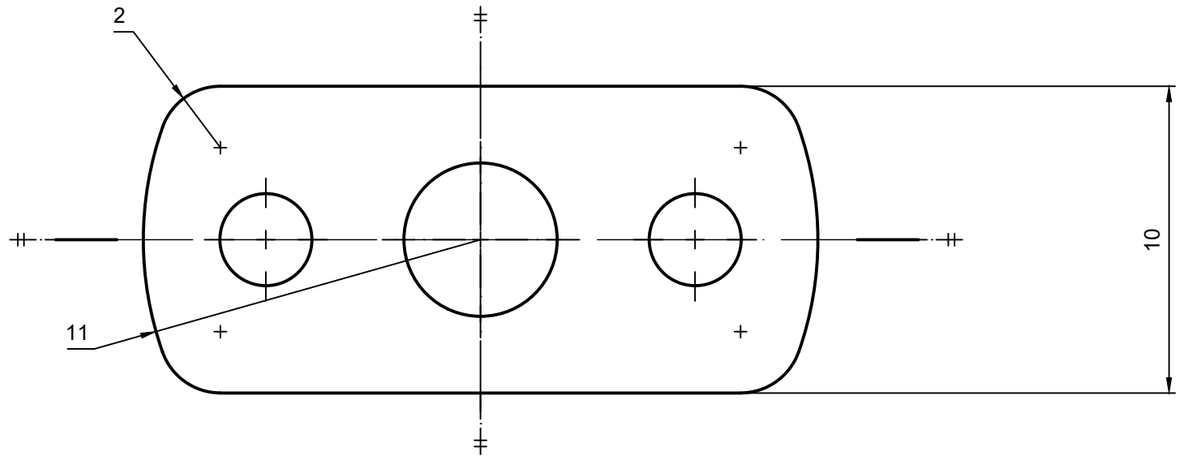


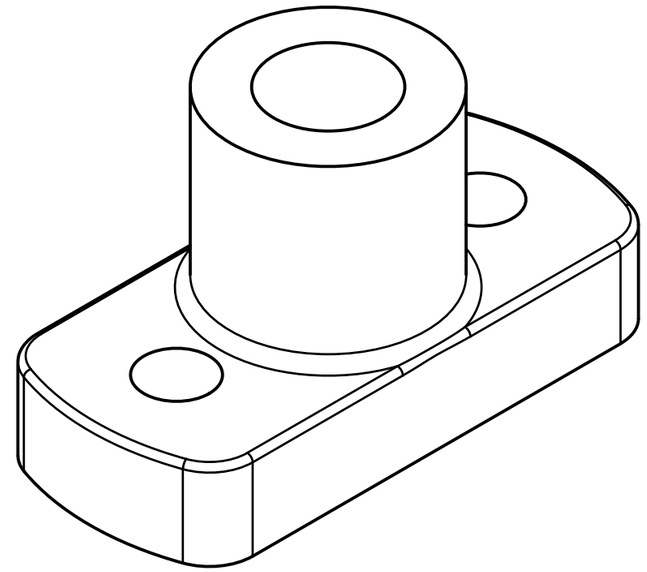


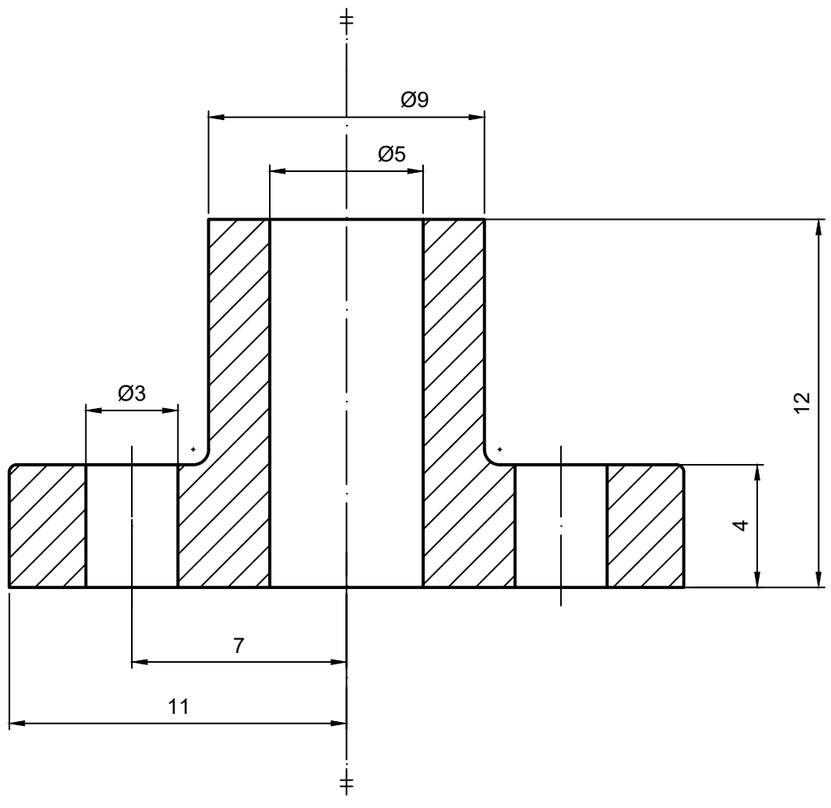




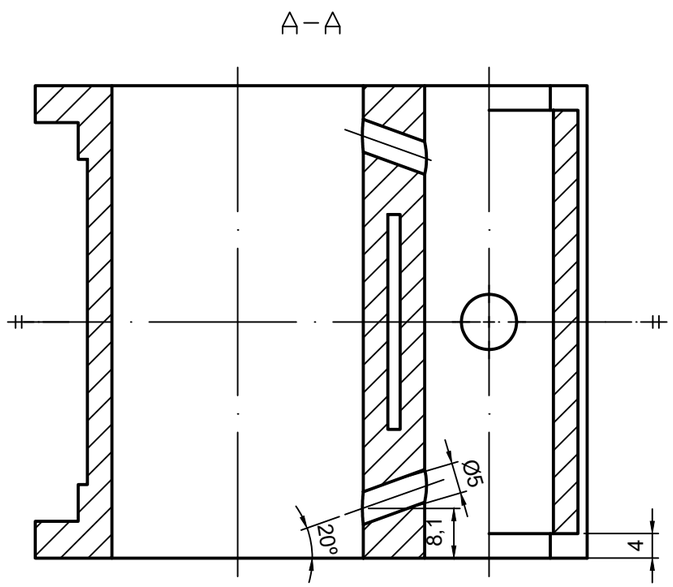
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1	Marca 90. Soporte guía de la válvula		16/73

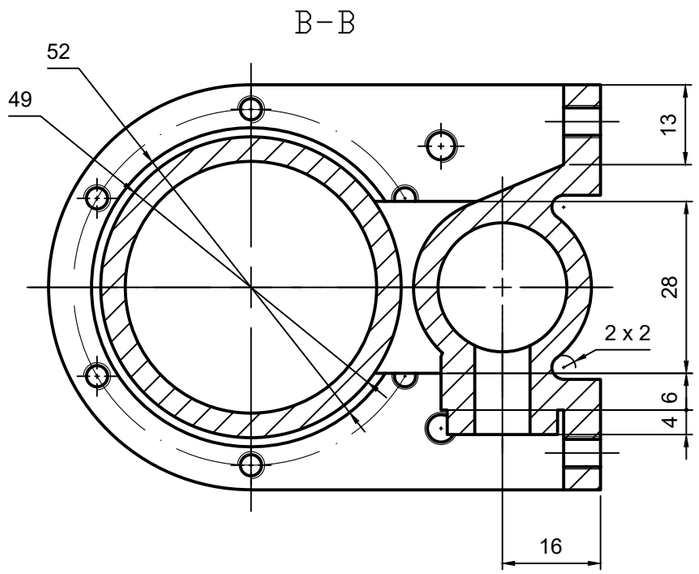


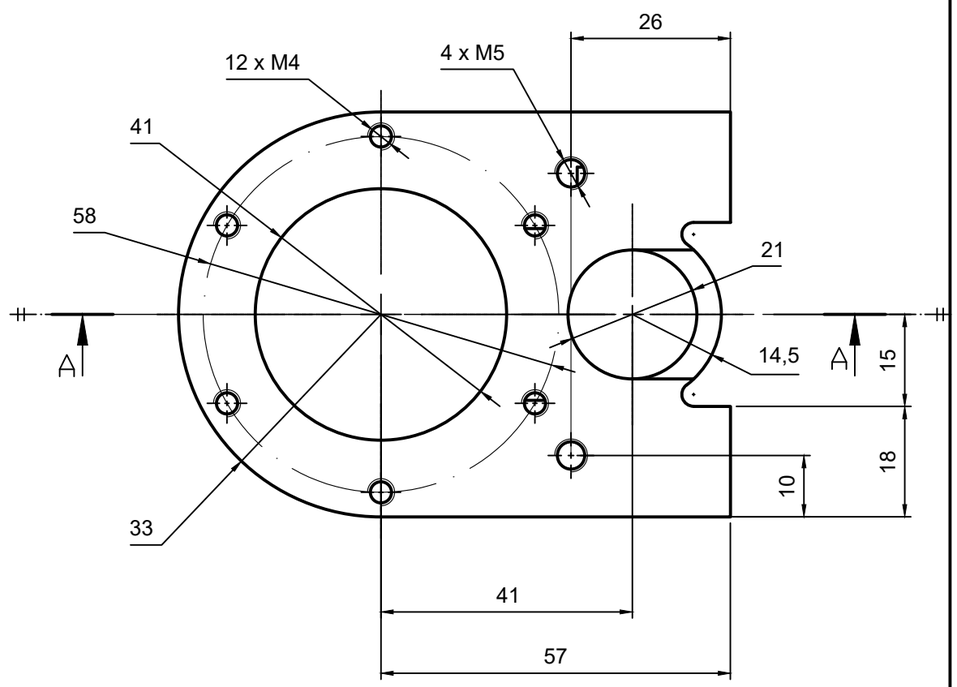


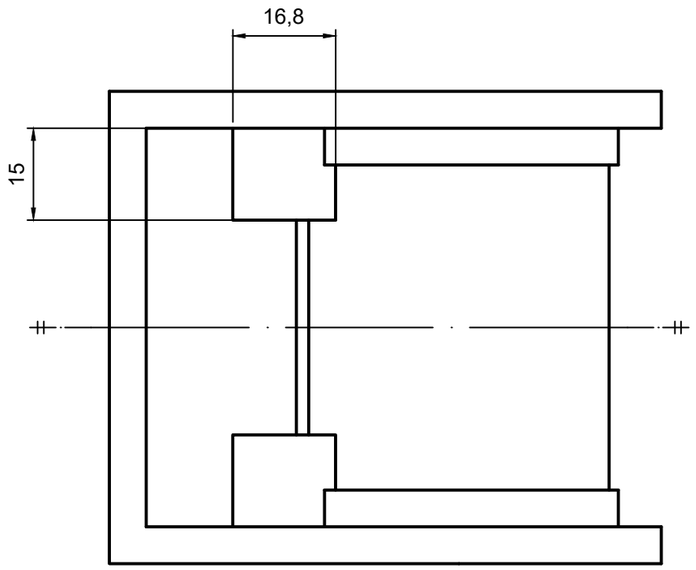


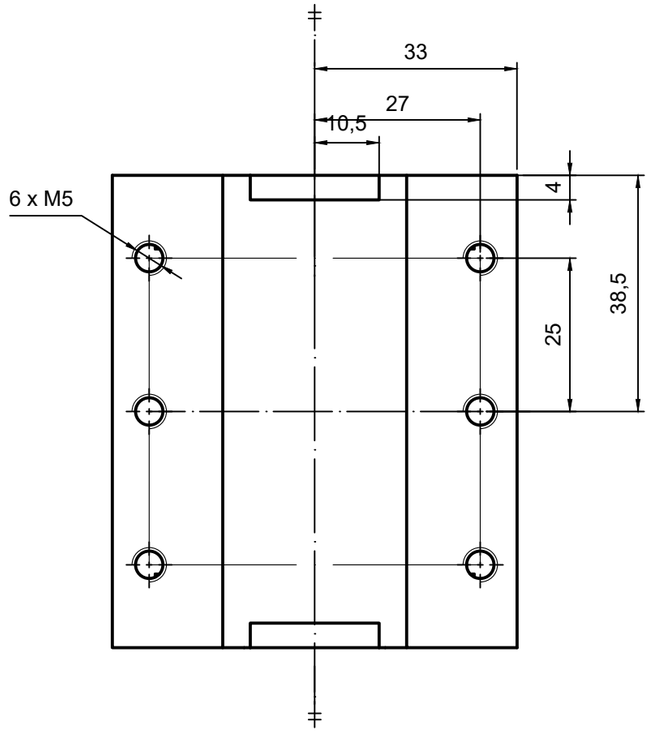
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 88. Casquillo de la varilla de la válvula		17/73

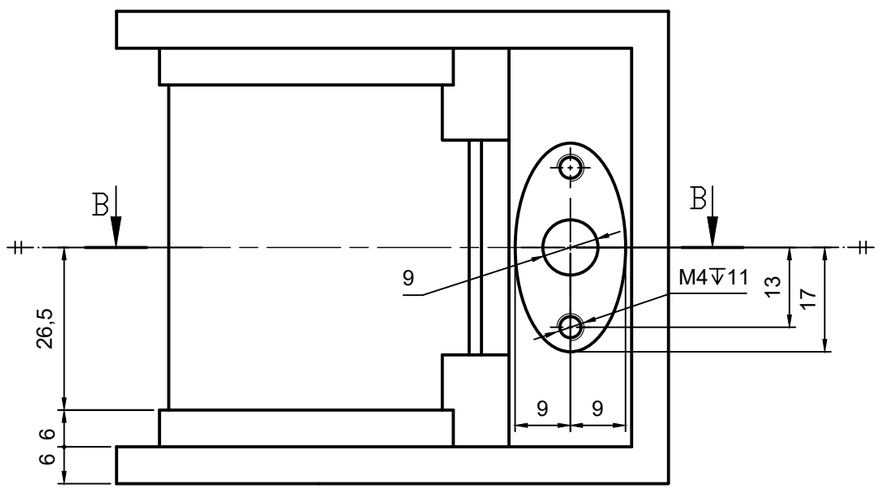




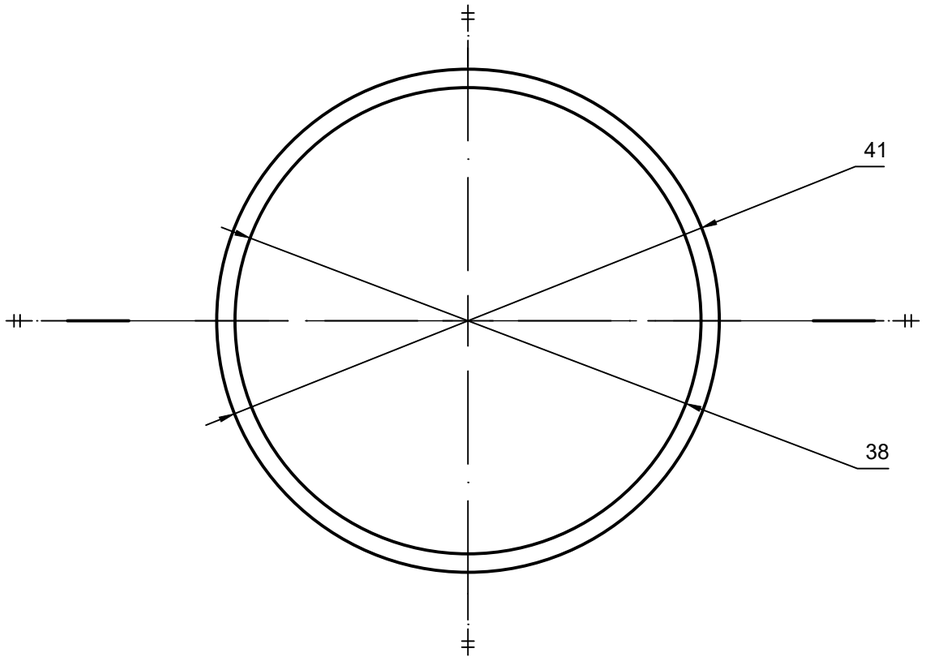


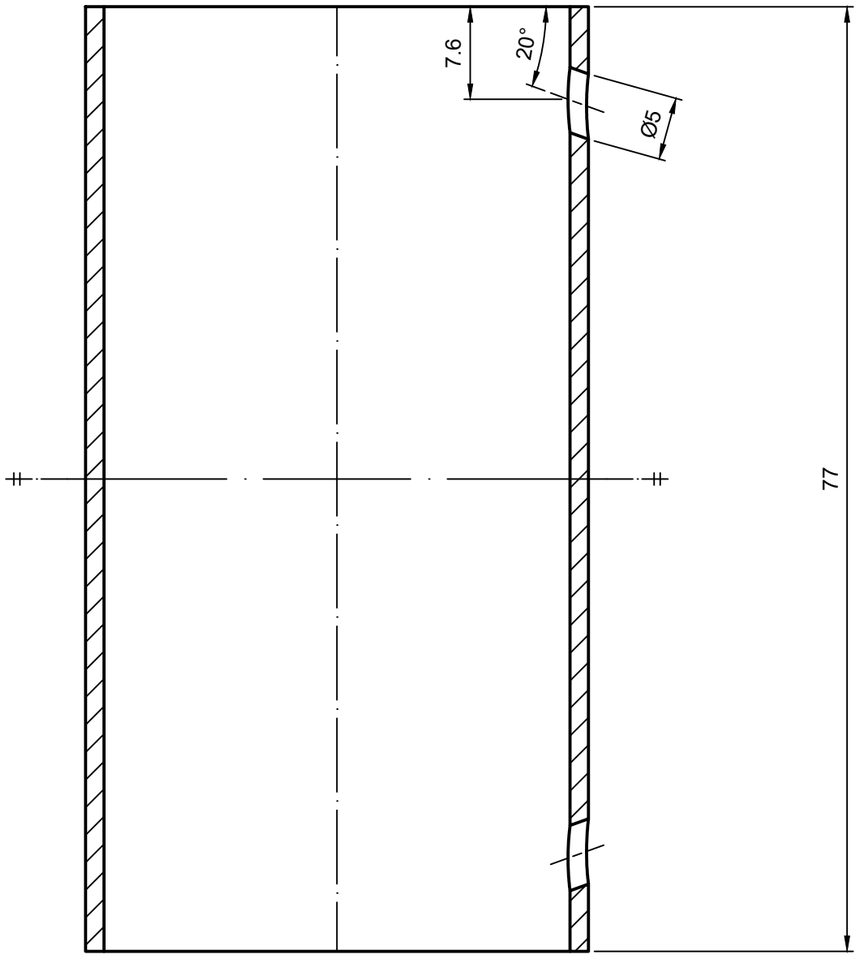


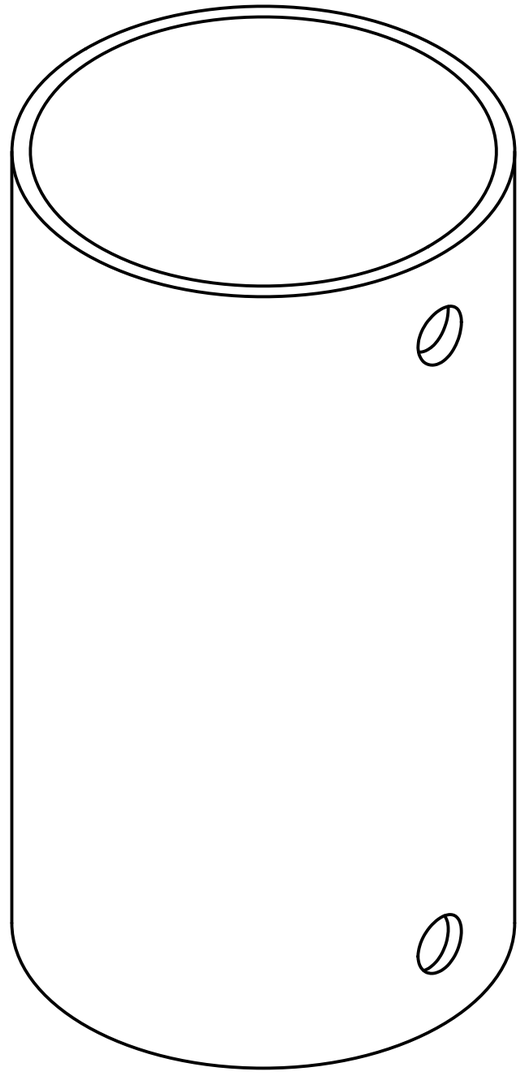




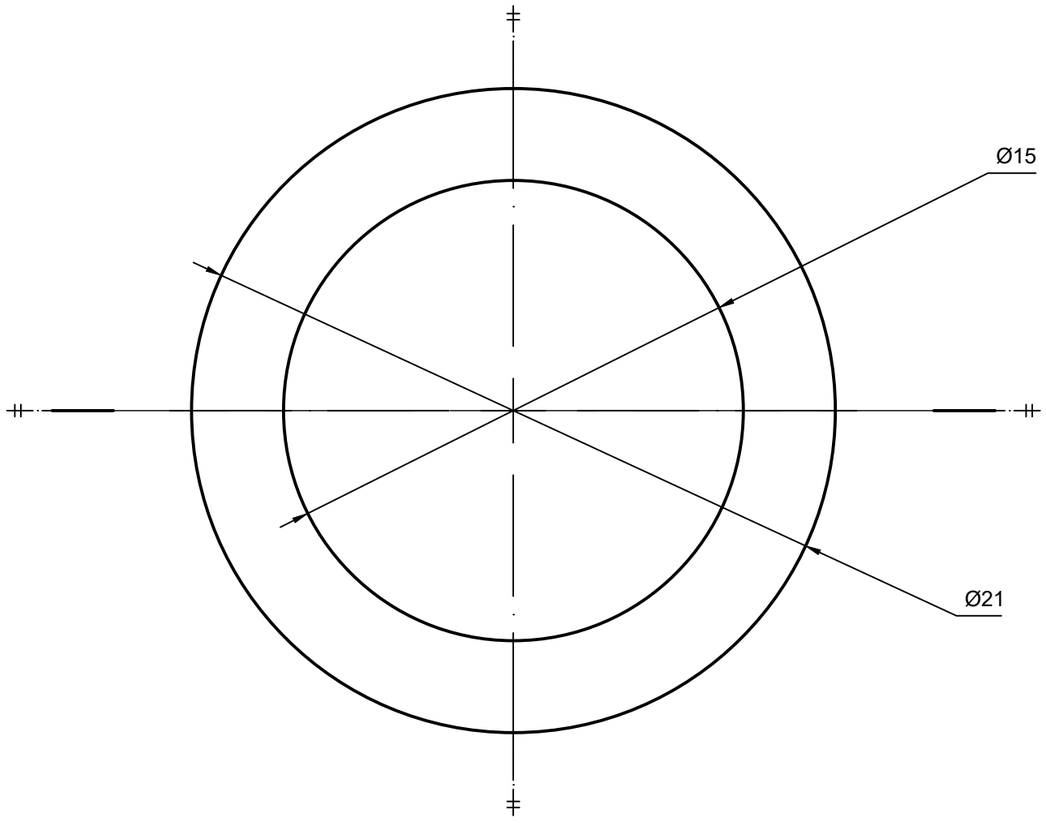
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	
Escala :	Título :	Plano :
1:1	Marca 20. Cilindro del pistón de alta presión	18/73

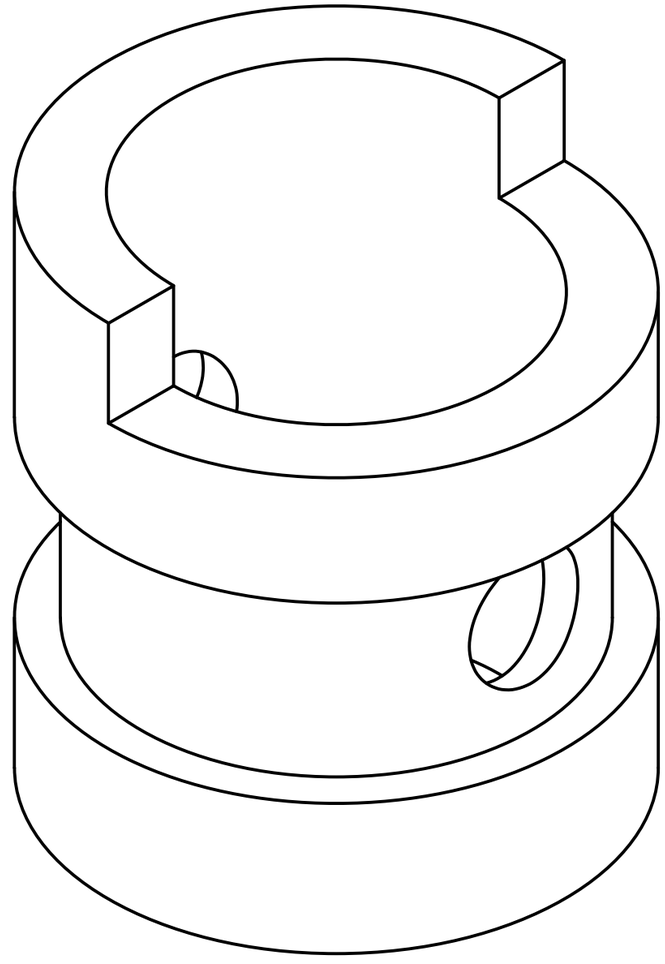


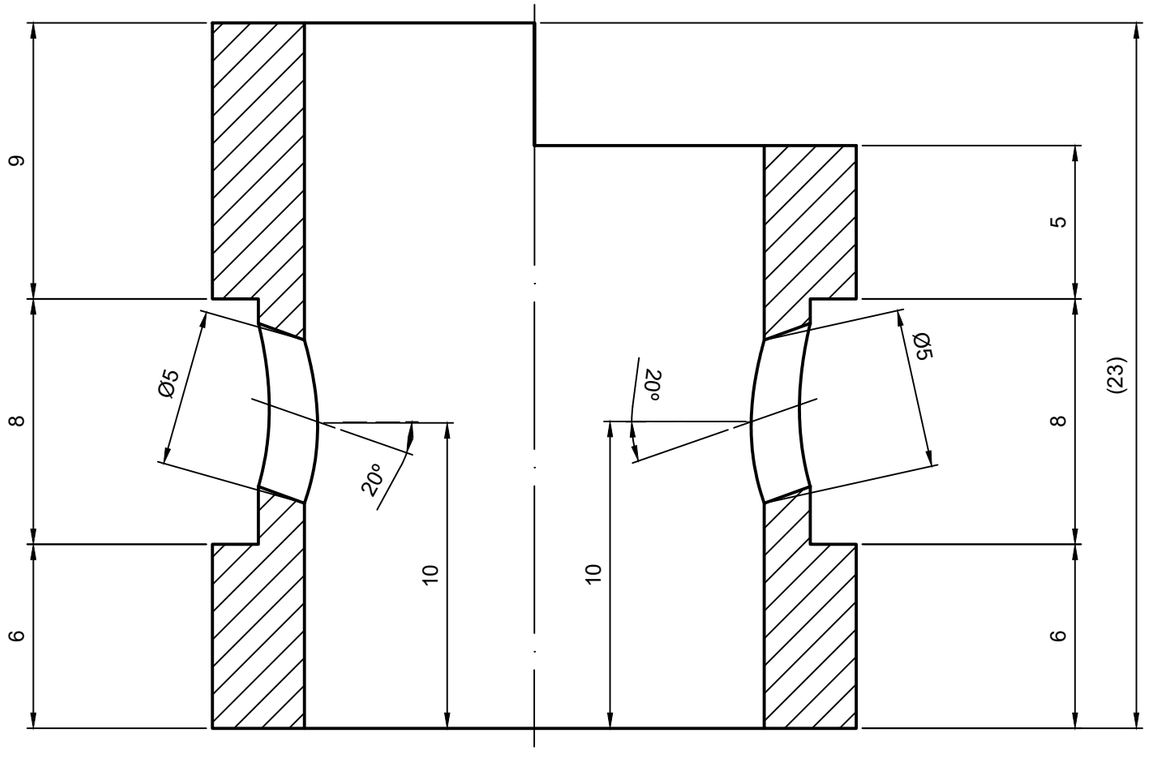




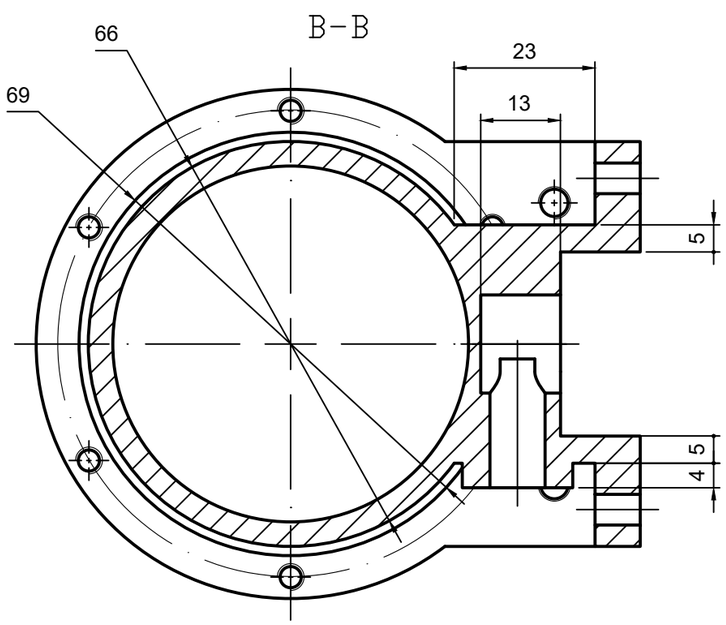
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 84. Camisa del cilindro de alta presión		19/73

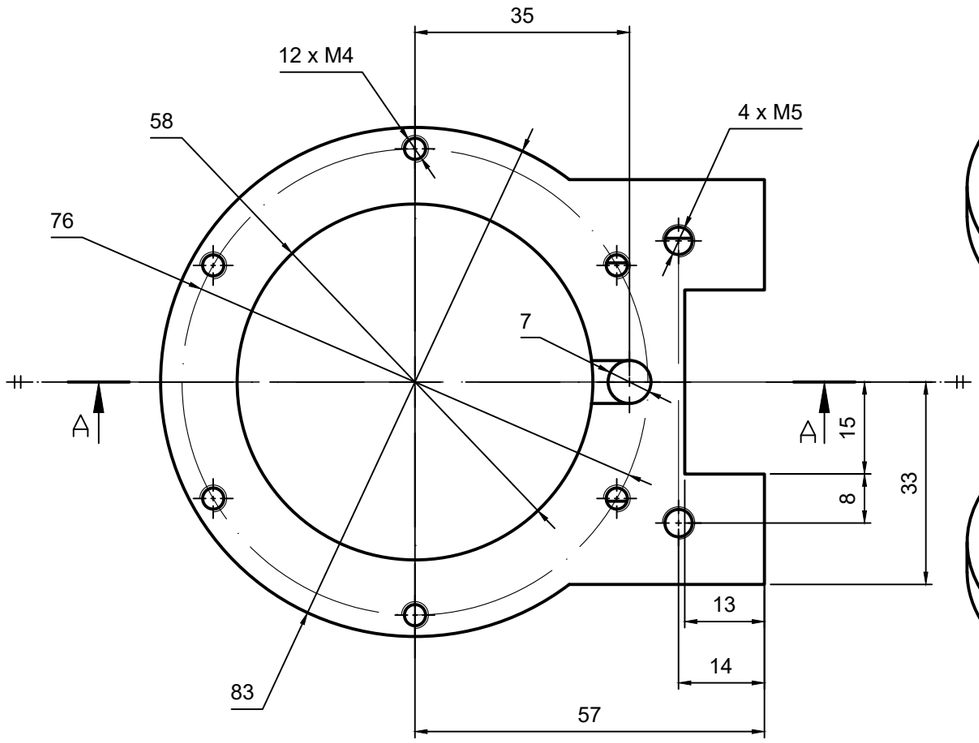


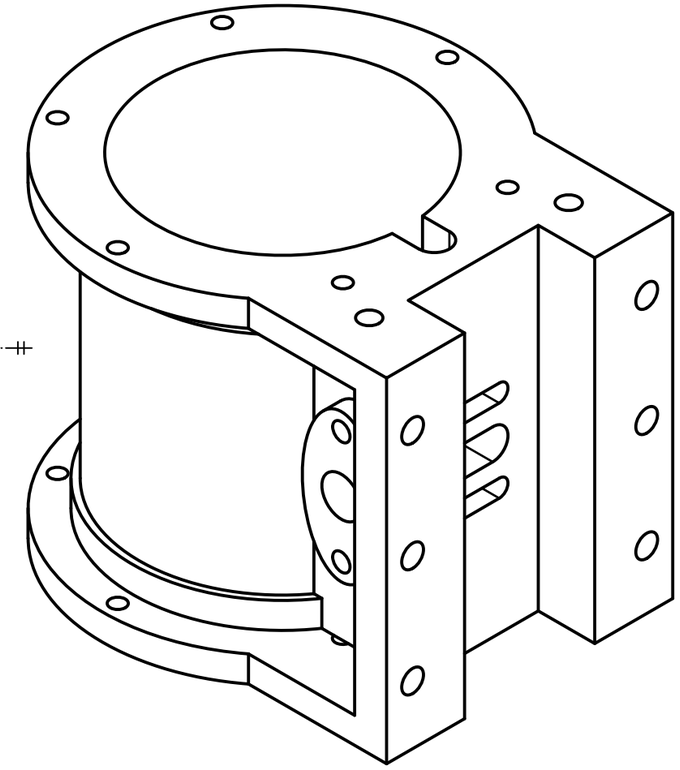


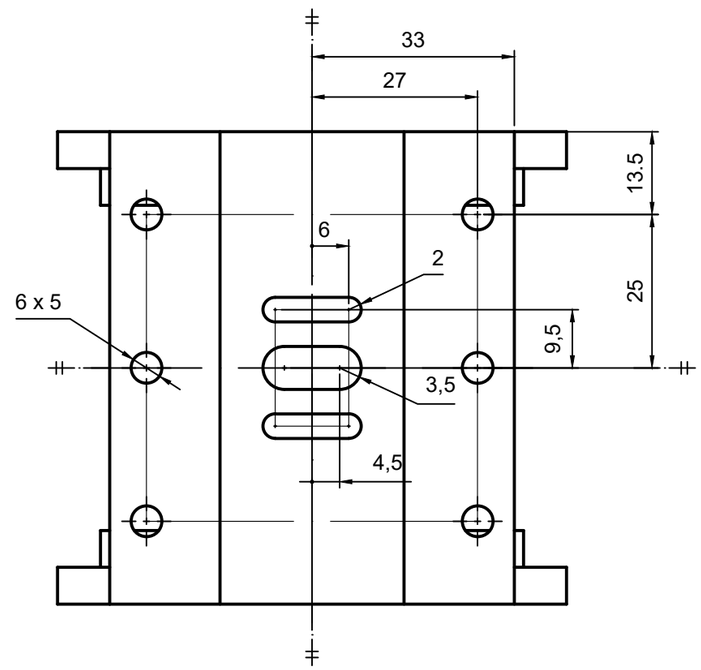


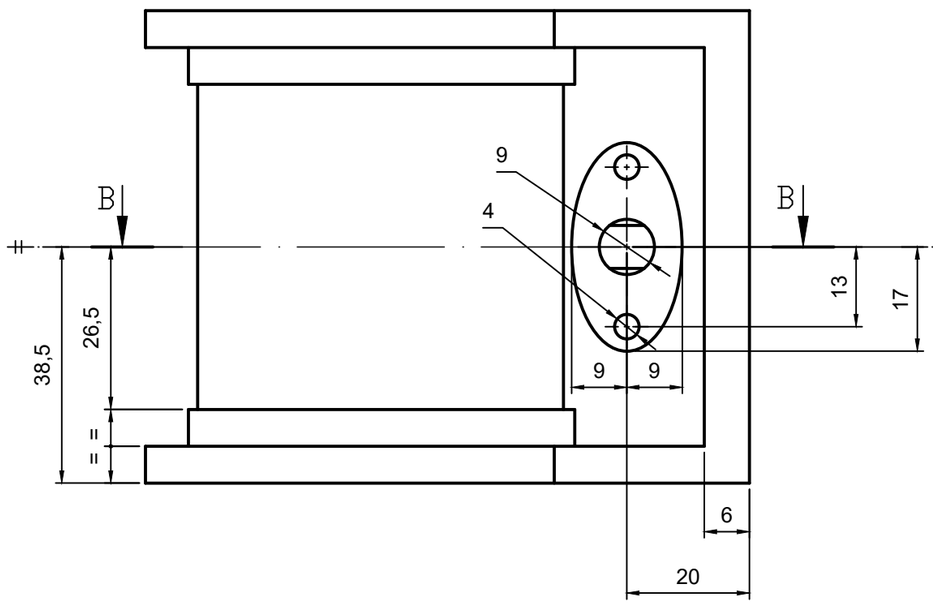
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 85. Camisa de la admisión y escape del cilindro de alta presión		20/73

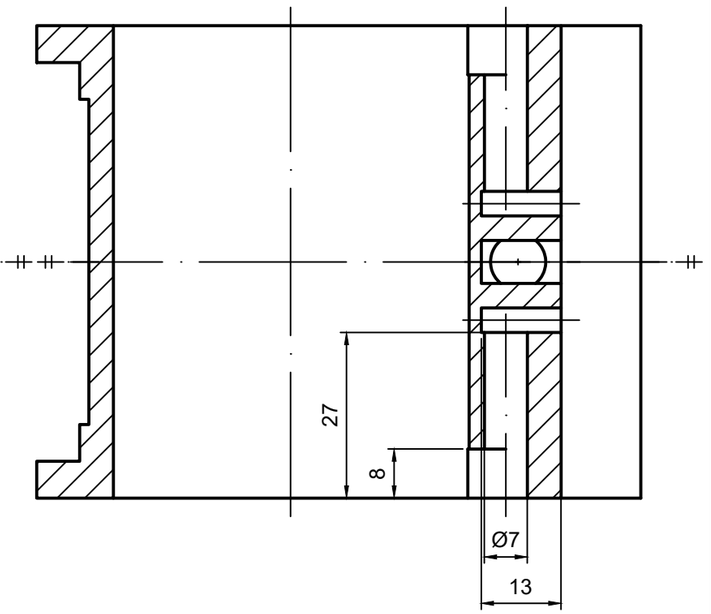




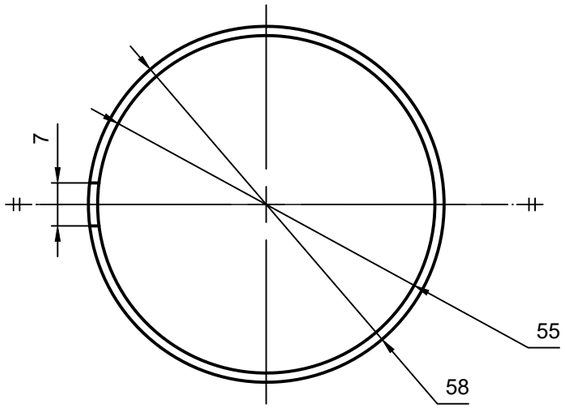


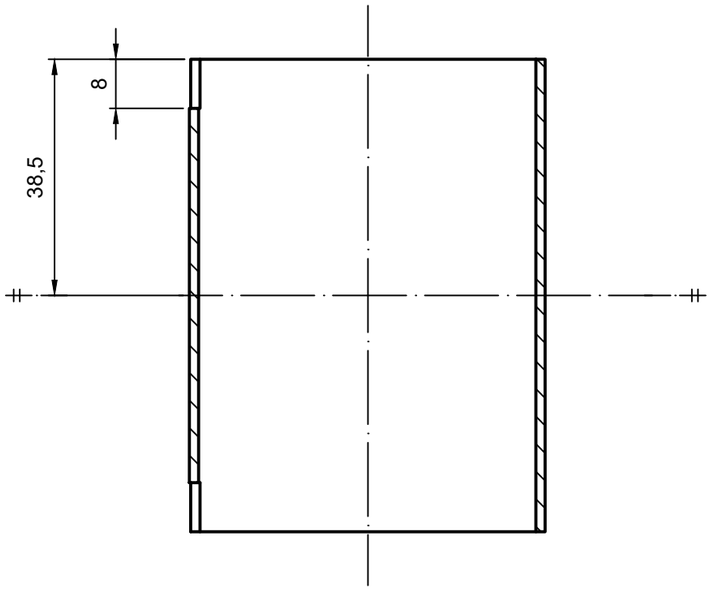




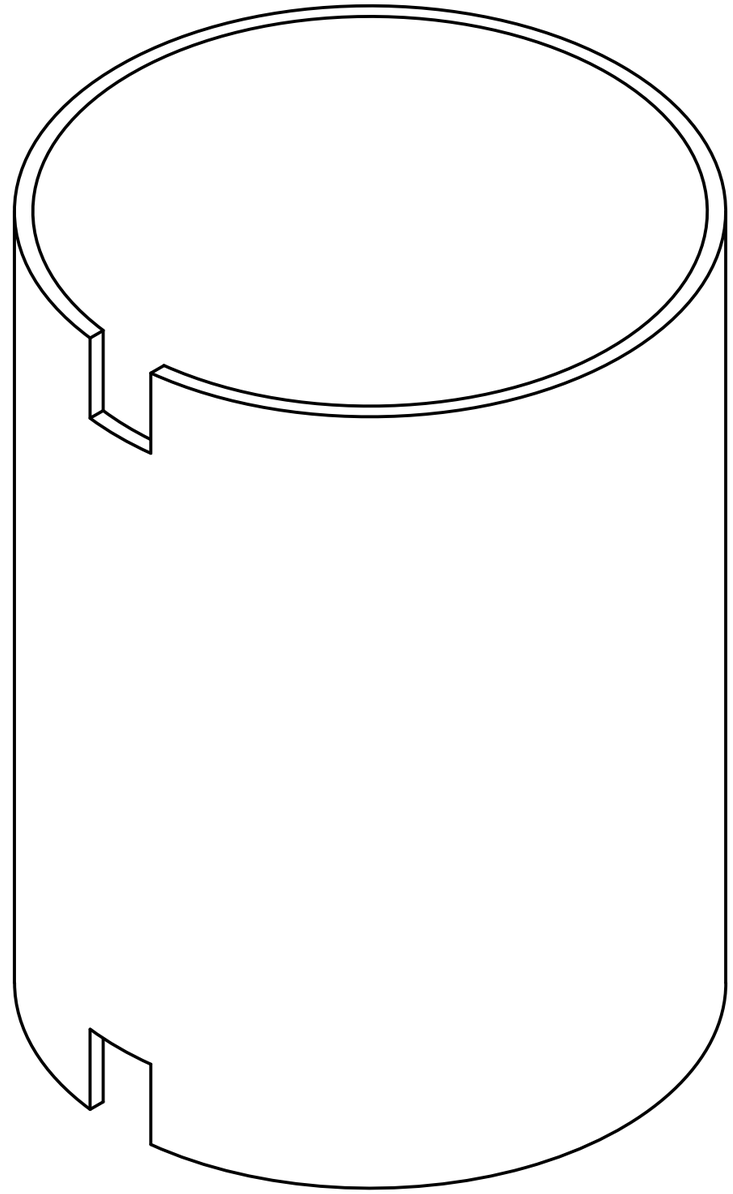


Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1	Marca 24. Cilindro del pistón de baja presión		21/73



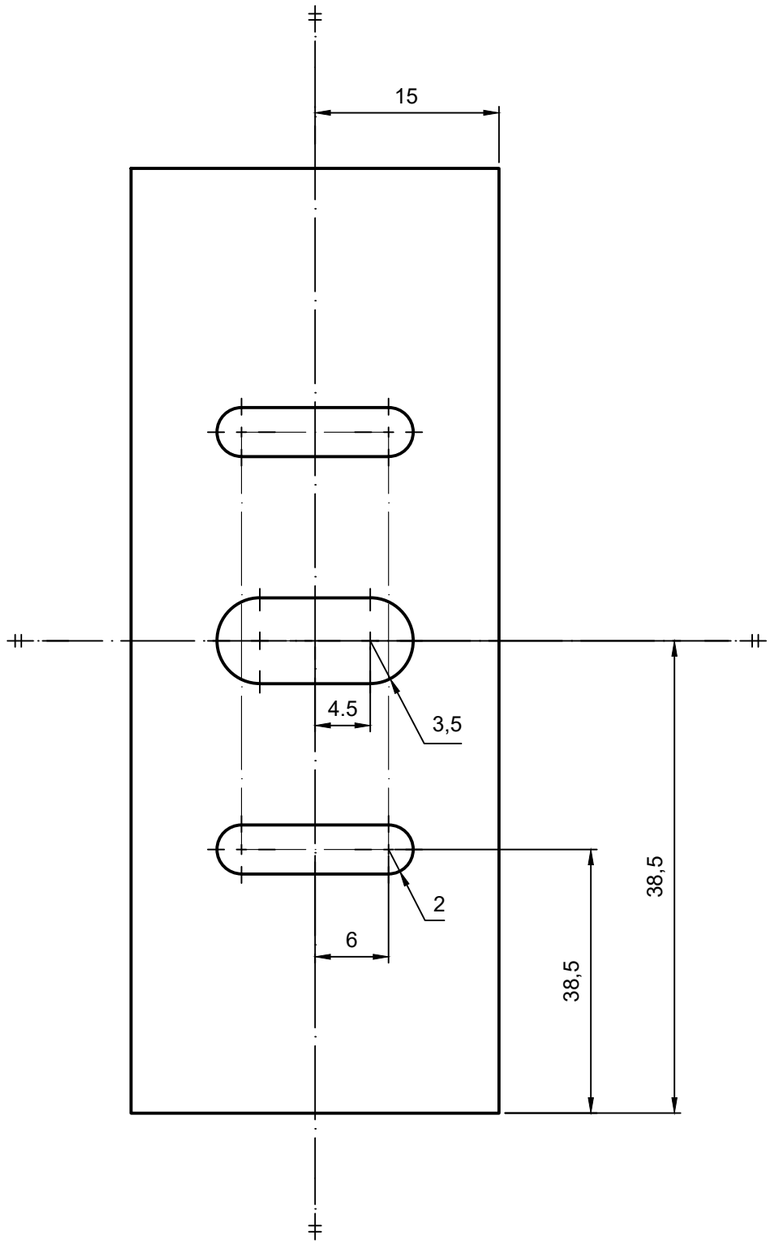


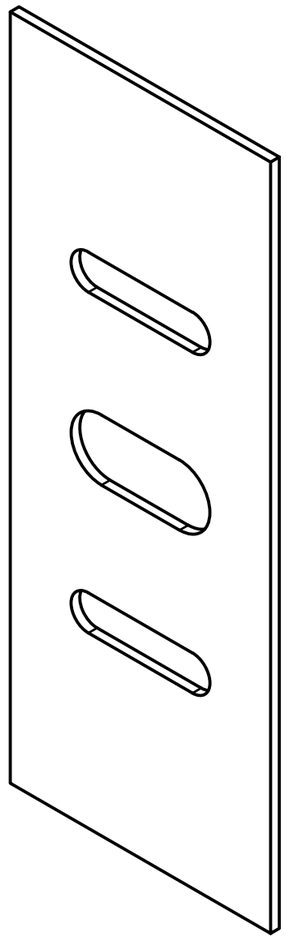
Escala 1:1



Escala 2:1

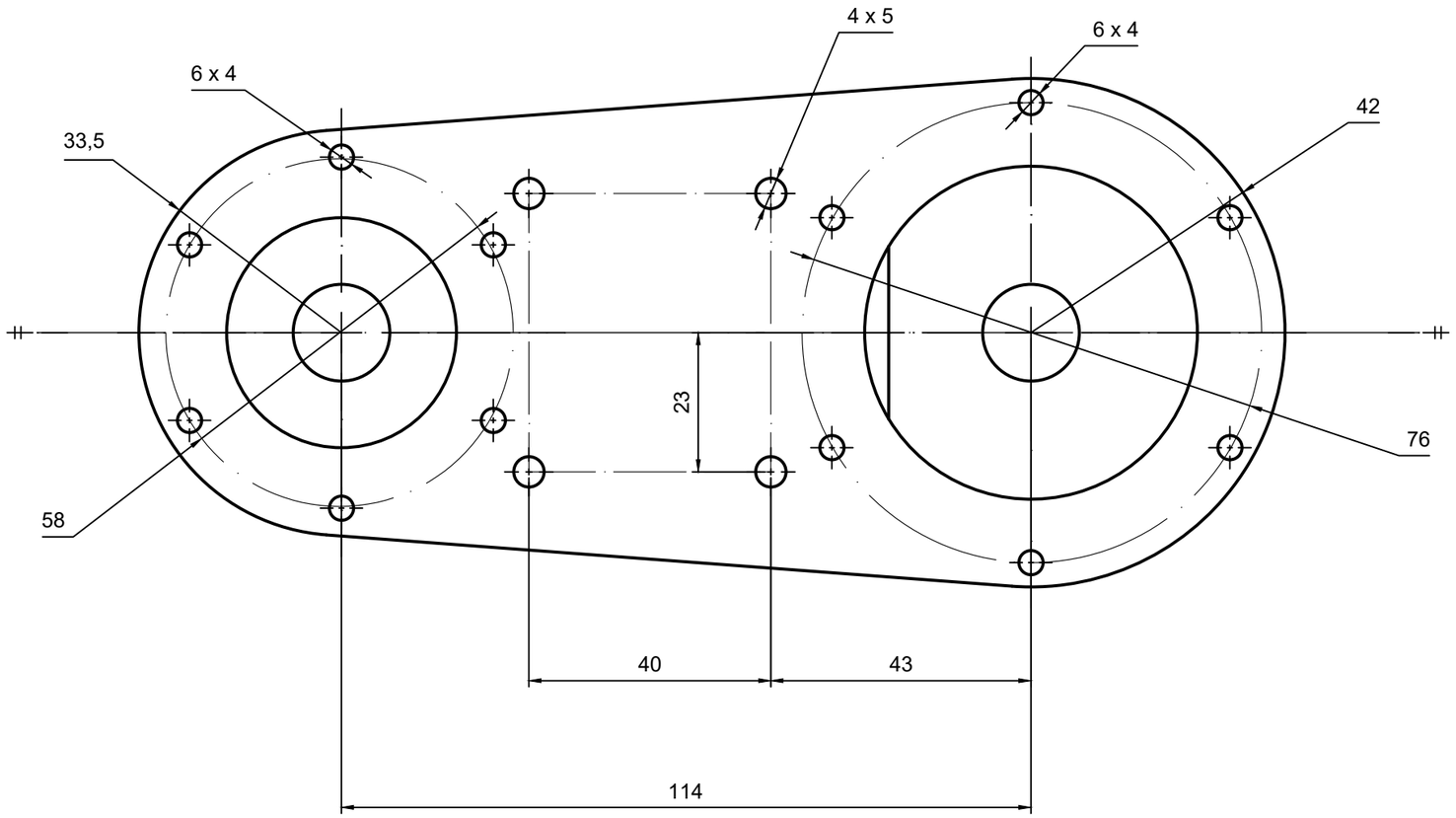
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1/2:1	Marca 76. Camisa del cilindro de baja presión		22/73

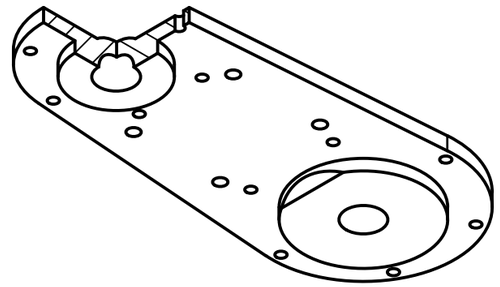




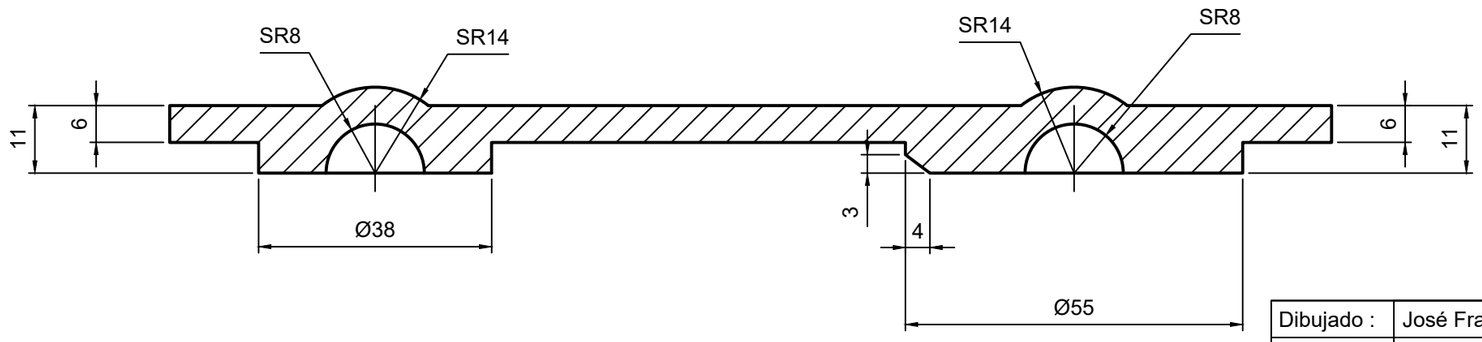
Espesor 1 mm

Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 79. Placa de deslizamiento de la admisión del cilindro de baja presión		23/73



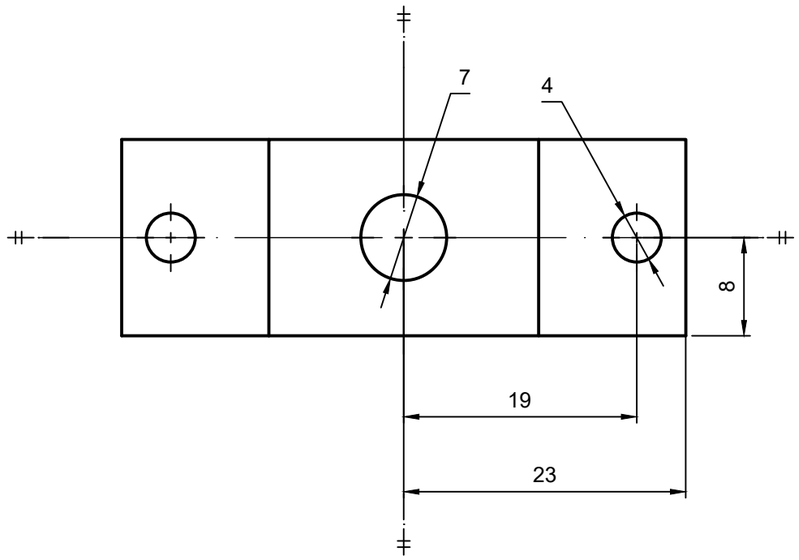


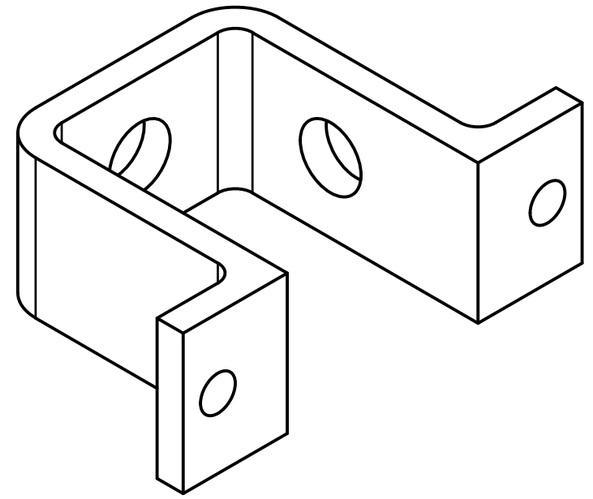
Escala 1:2

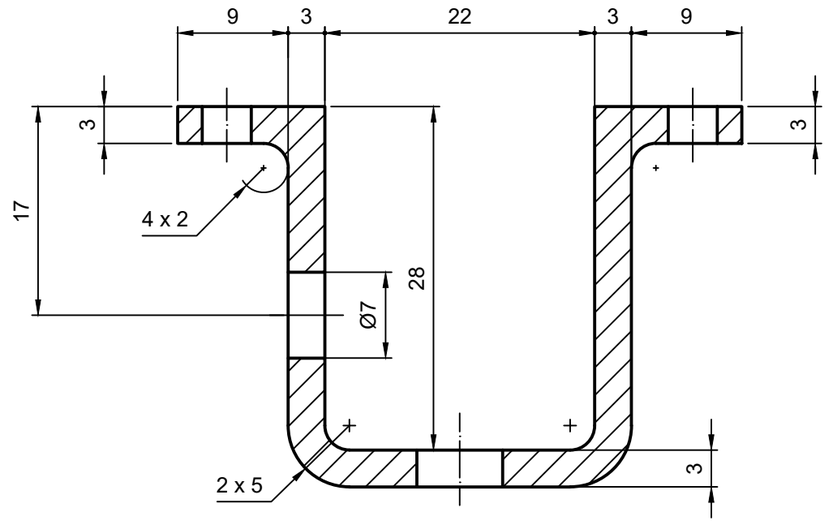


Escala 1:1

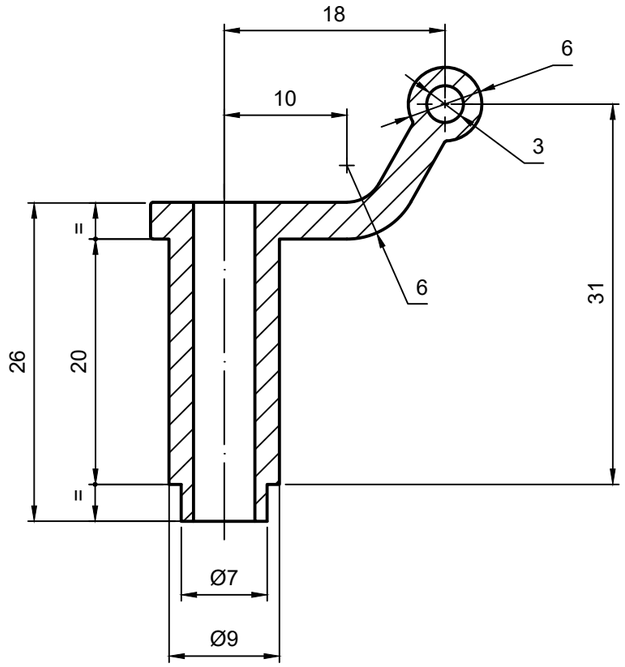
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1/1:2	Marca 21. Plataforma superior de los cilindros		24/73

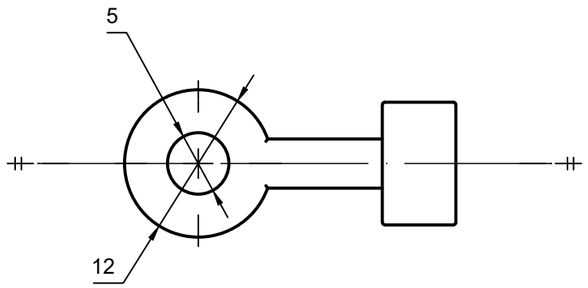




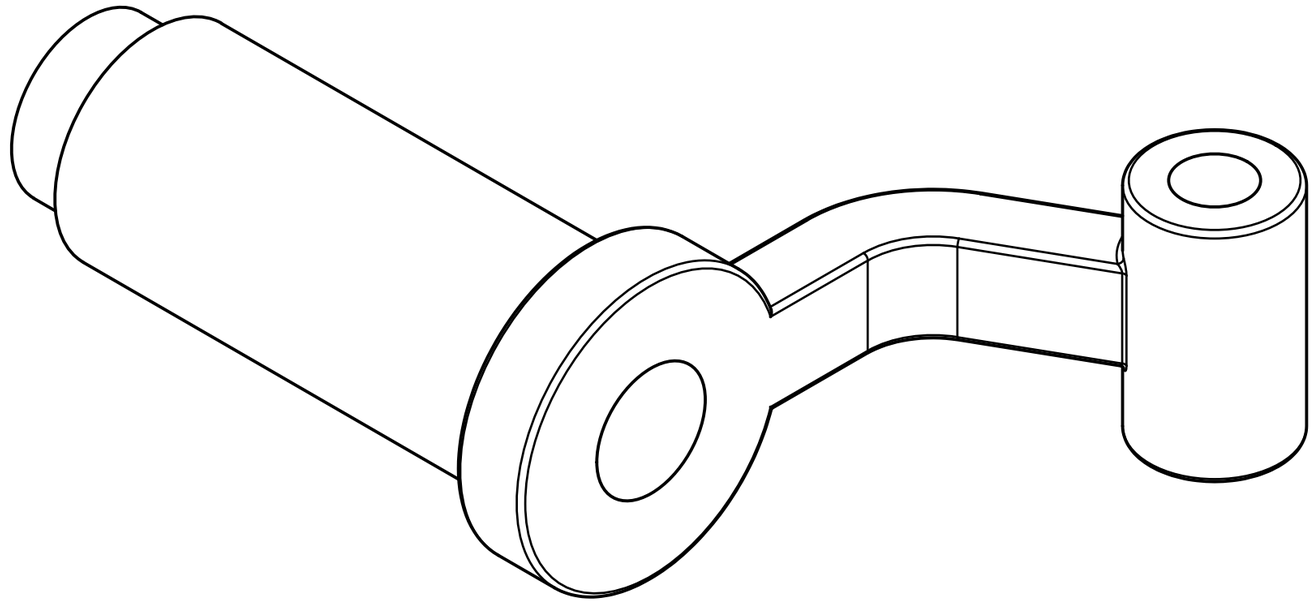


Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 39. Soporte de montaje del regulador		25/73



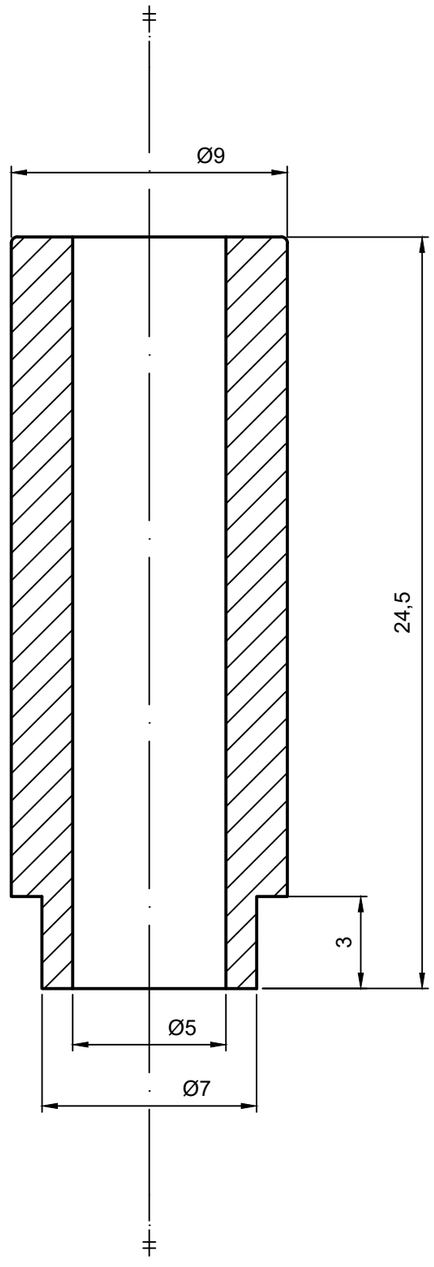


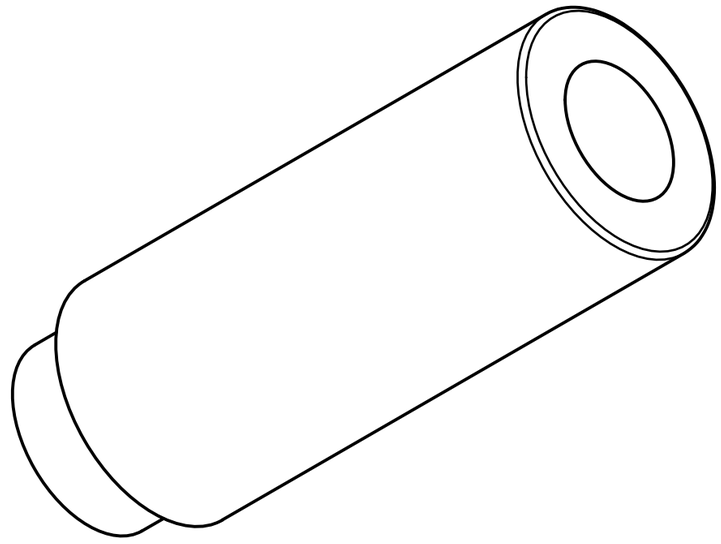
Escala 2:1



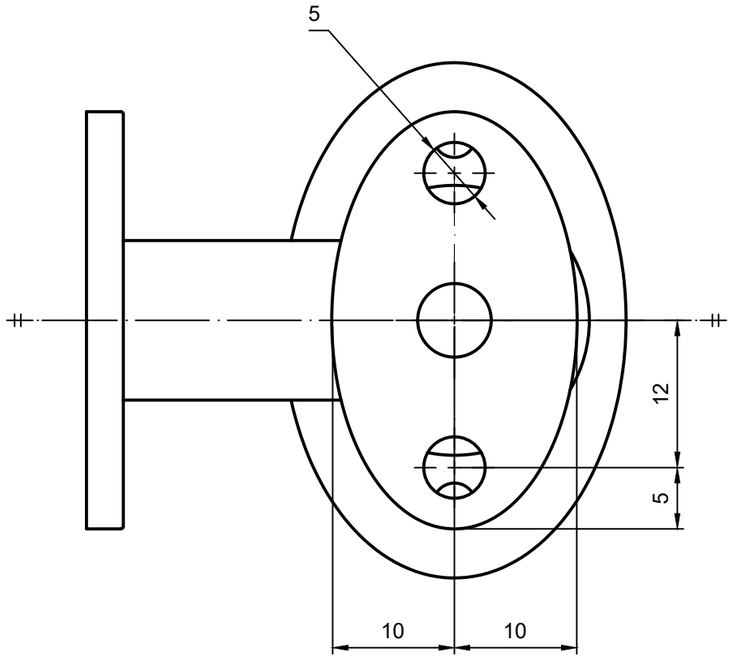
Escala 5:1

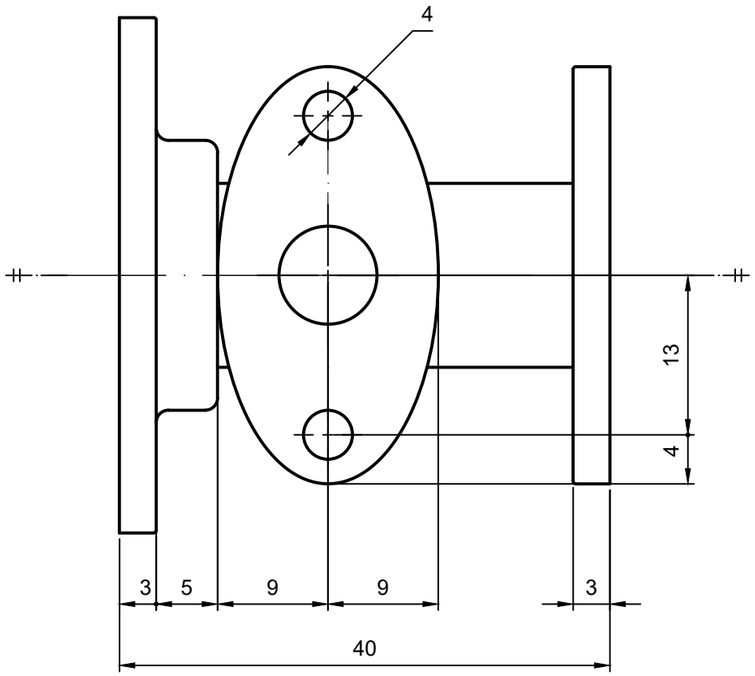
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1/5:1	Marca 40. Soporte de montaje de la base del regulador		26/73

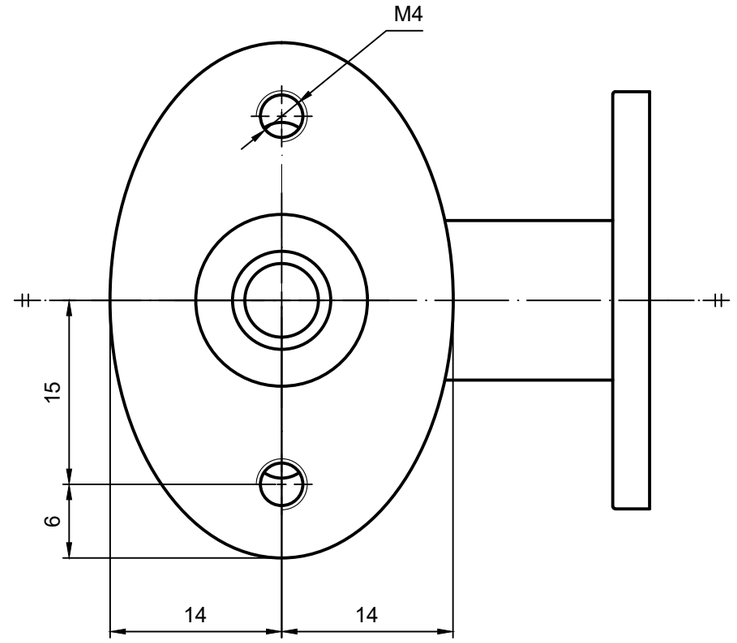


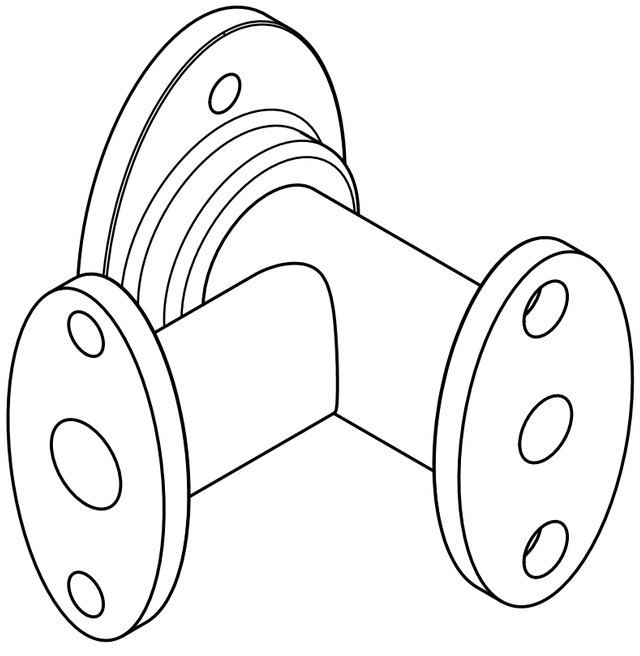


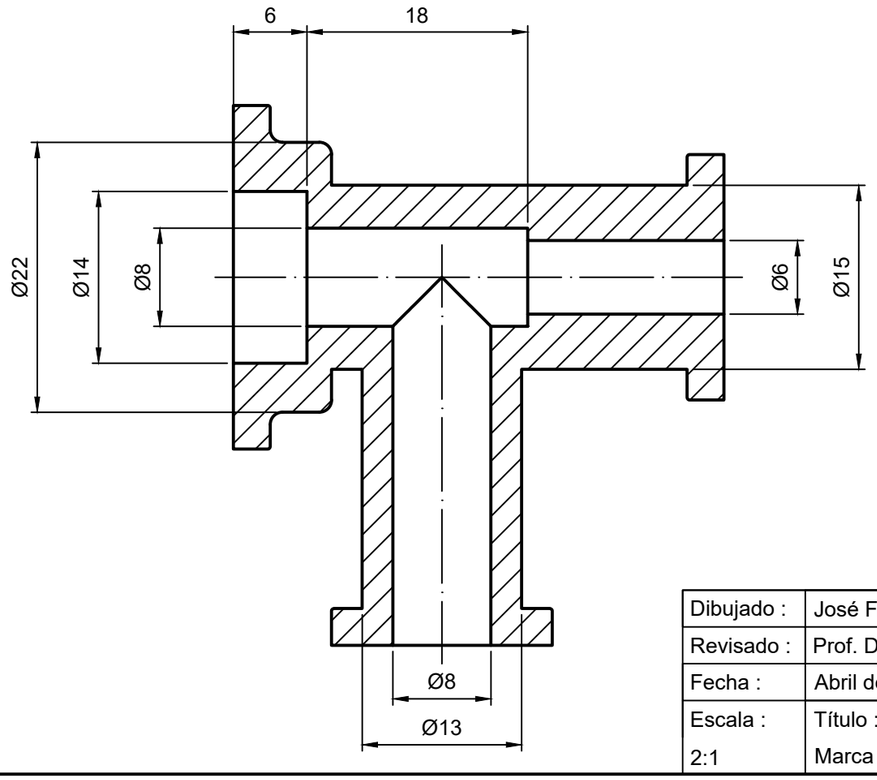
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 32. Tubo fijador de la polea de transmisión		27/73



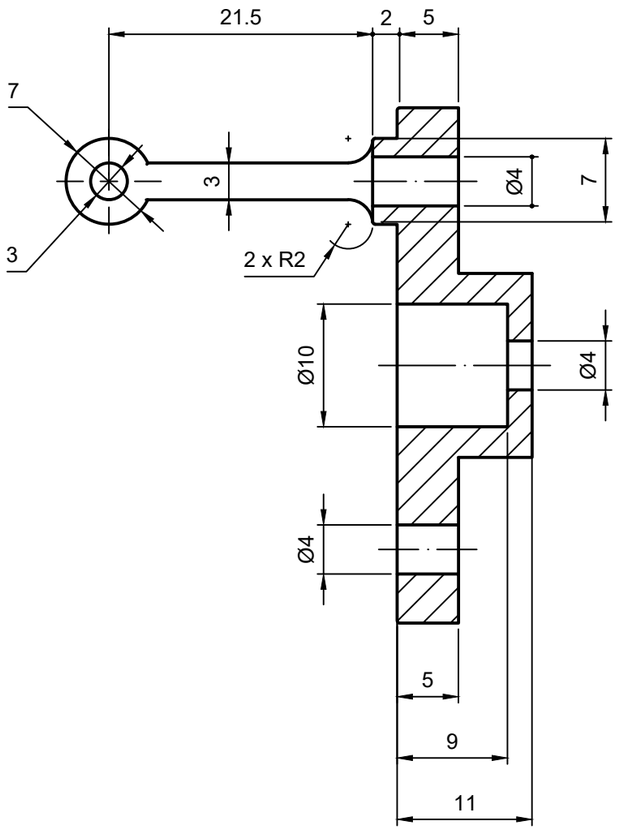


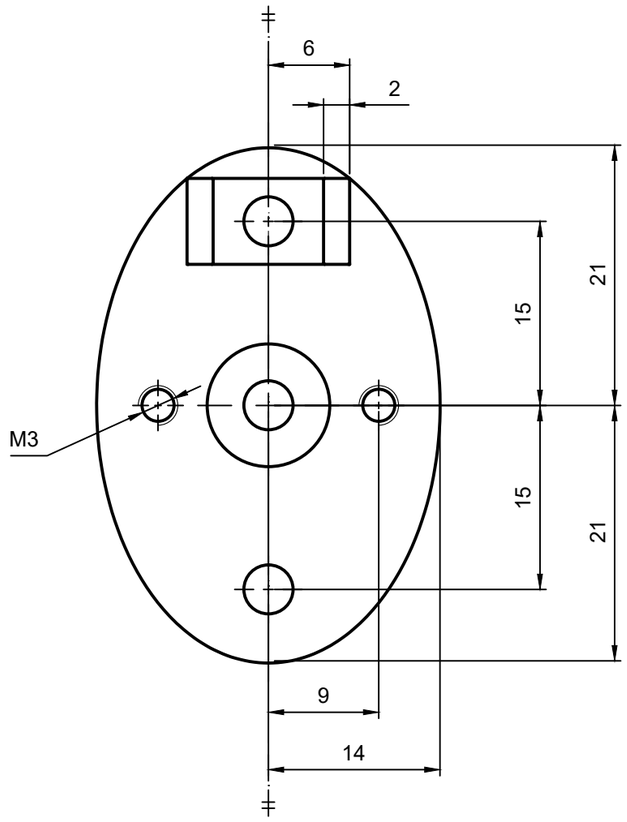


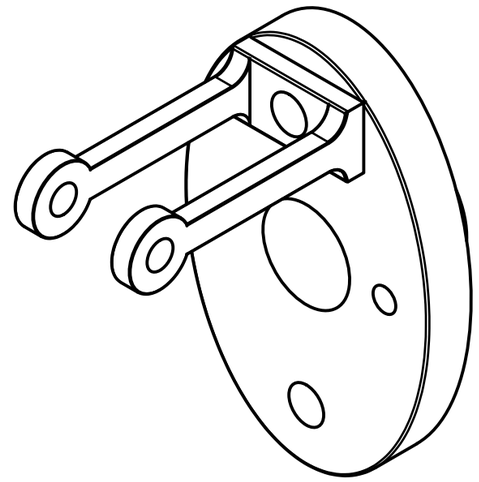




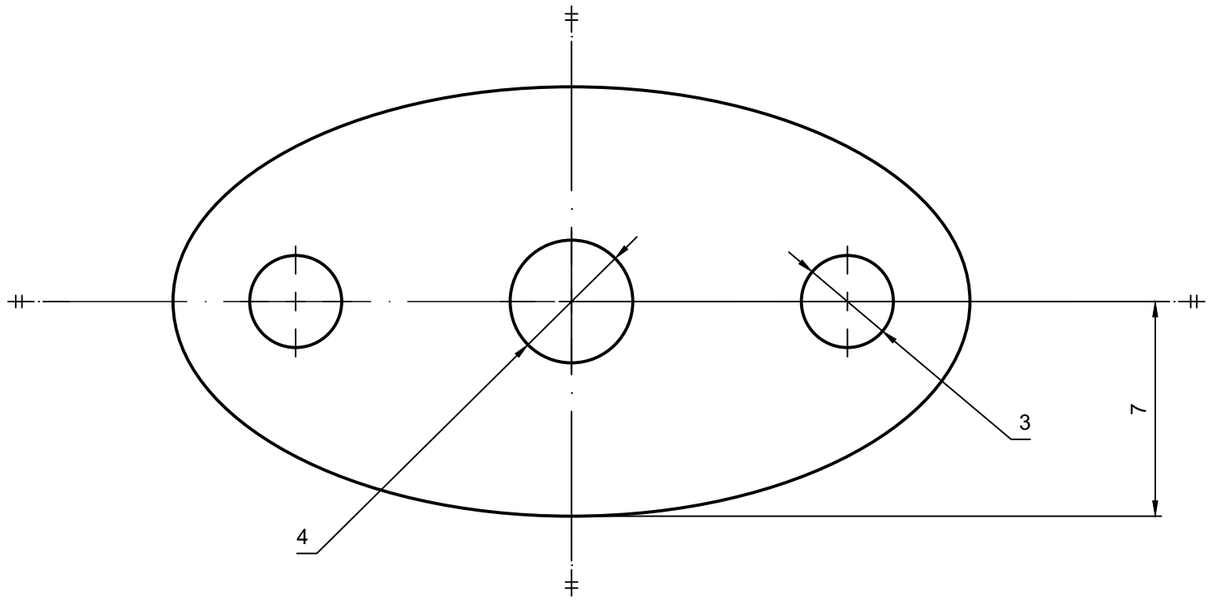
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 56. Carcasa de la válvula de mariposa		28/73

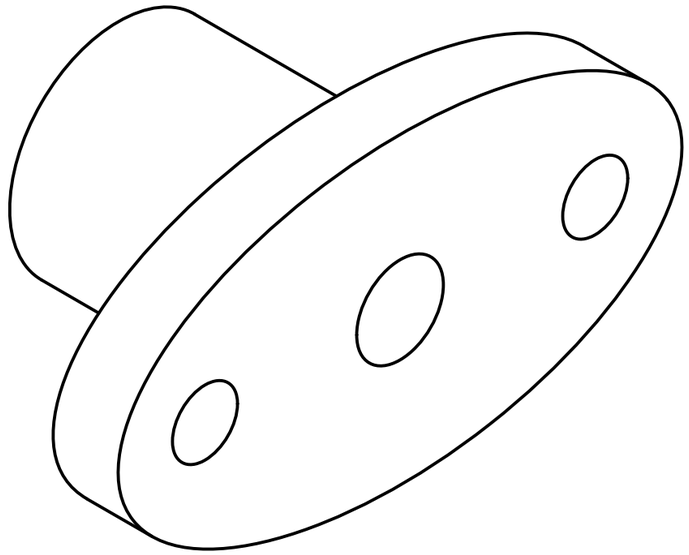




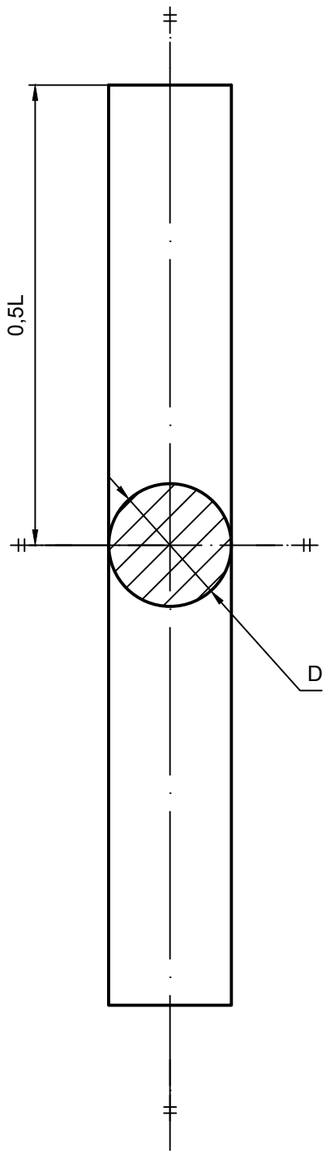


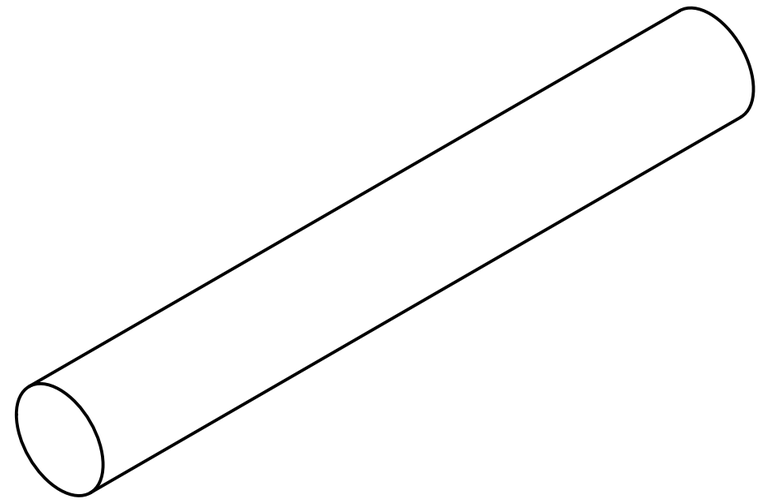
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 54. Cubierta de la carcasa de la válvula de mariposa		29/73





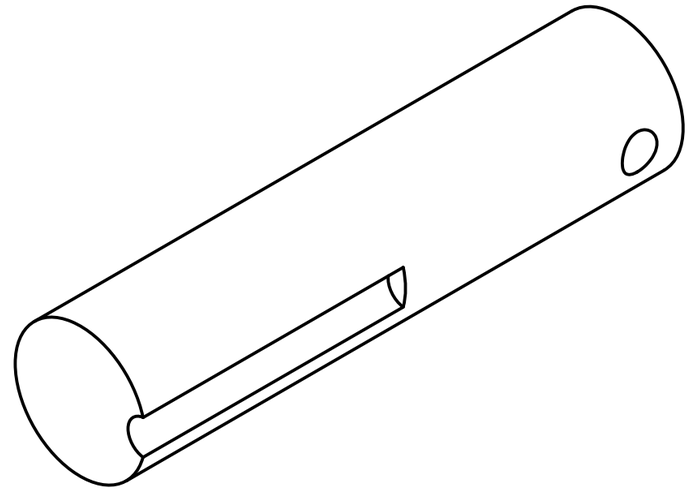
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 47. Casquillo de la válvula de mariposa		30/73

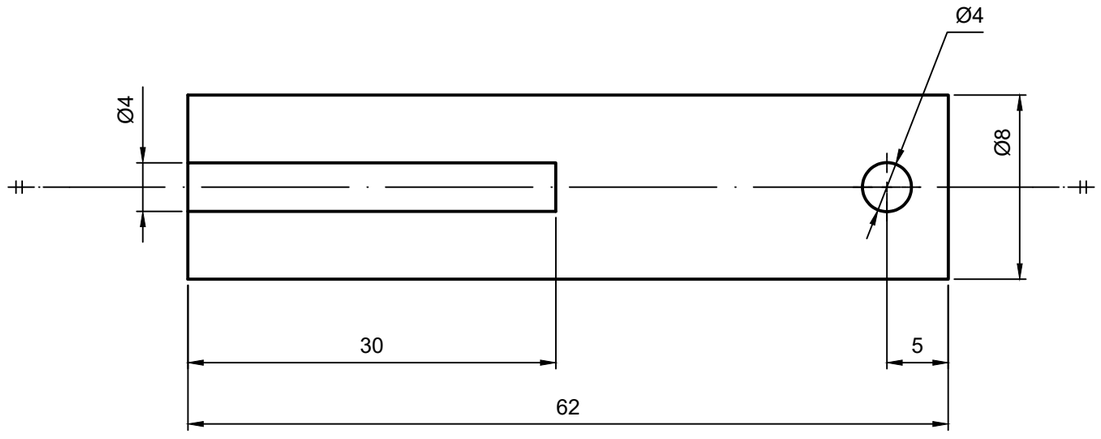




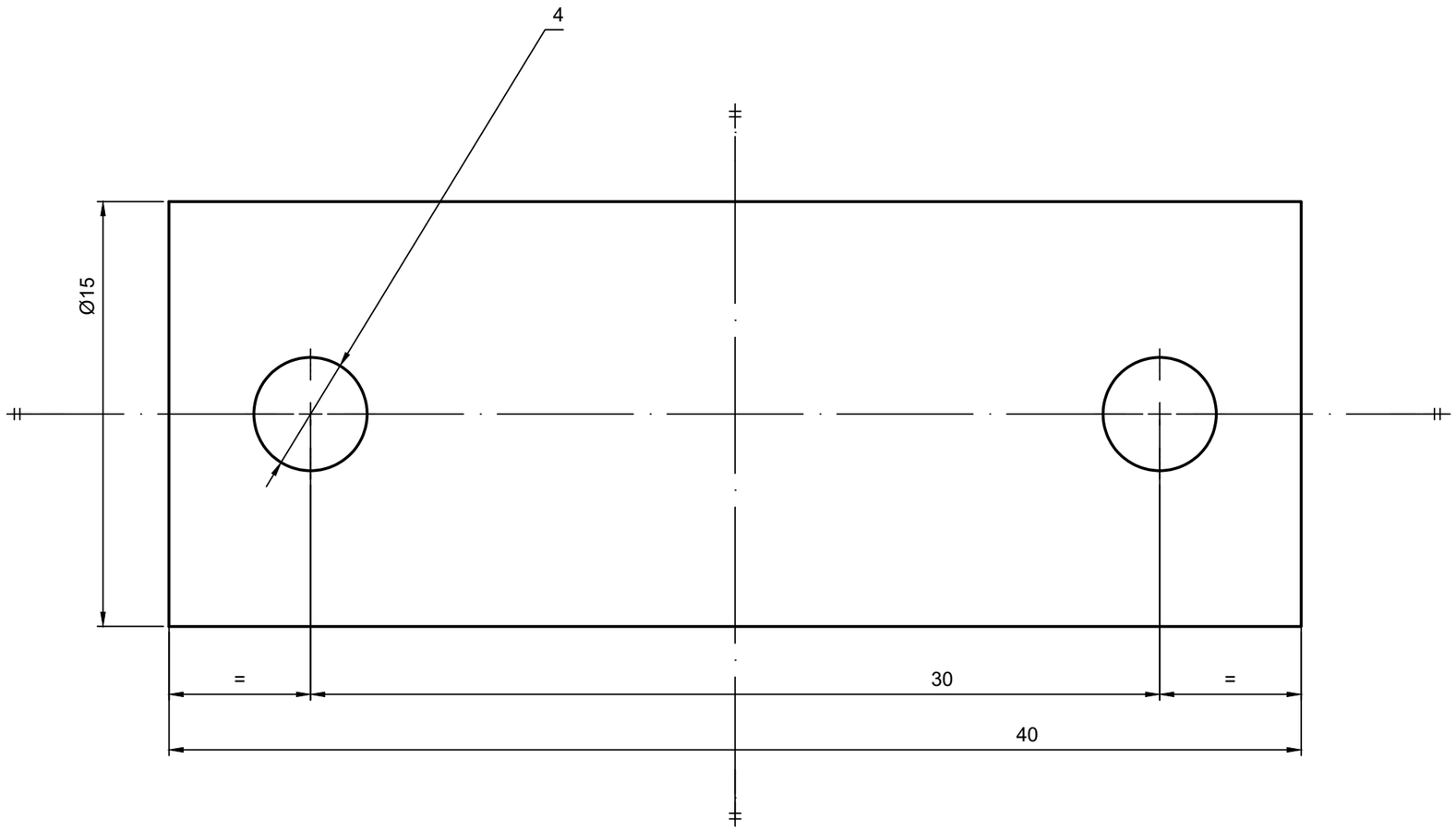
106	Bulón 1	2.0	9.5
63	Bulón de la carcasa deslizante del regulador	3.0	11.0
59	Bulón 5	2.0	7.5
53	Pasador de la manivela de la válvula de mariposa	3.0	15.0
51	Bulón del extremo de la varilla de control del regulador	3.0	9.0
49	Pasador de la válvula de mariposa	3.0	7,5
43	Bulón del peso centrífugo del regulador	2.0	10.0
41	Bulón del yugo y manivela del regulador	3.0	15.0
38	Bulón 4	1.5	10.5
36	Bulón 3	1.5	8.5
33	Bulón 2	2.0	10.5
12	Bulón 2 del cigüeñal	4.0	26.0
2	Bulón 1 del cigüeñal	4.0	30.0
Marca	Denominación	D (mm)	L(mm)

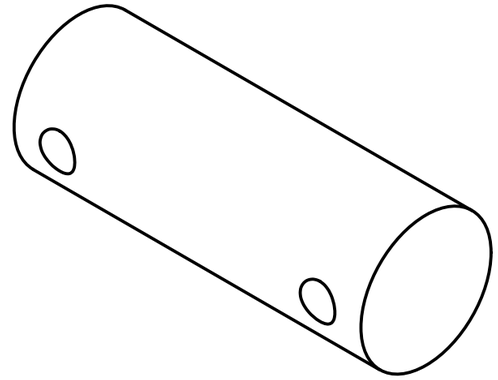
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	
Escala :	Título :	Plano :
1:1	Medidas de bulones y/o pasadores	31/73





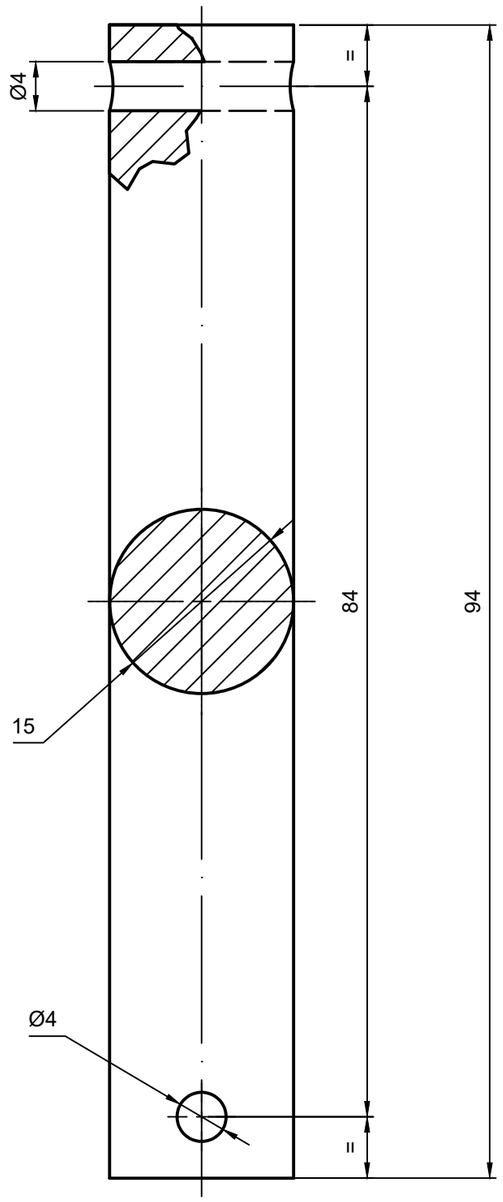
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 3. Eje de apoyo 1 del cigüeñal		32/73

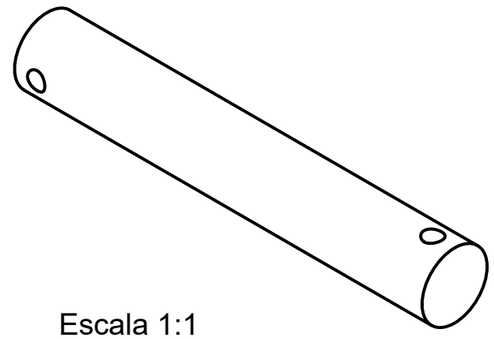




Escala 2:1

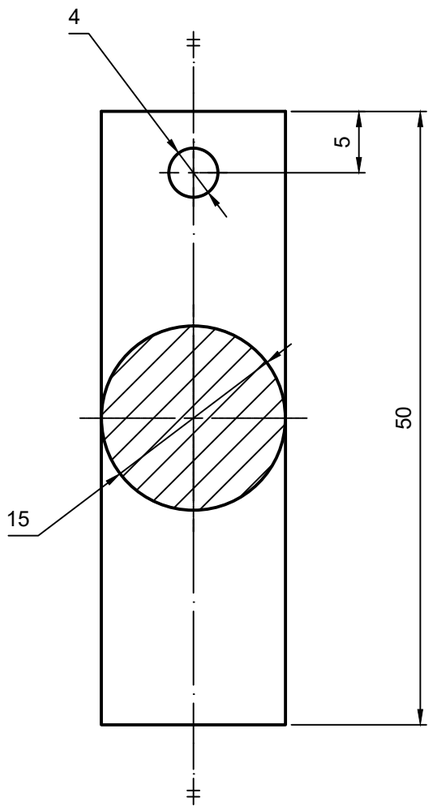
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1/2:1	Marca 14. Codo de biela		33/73

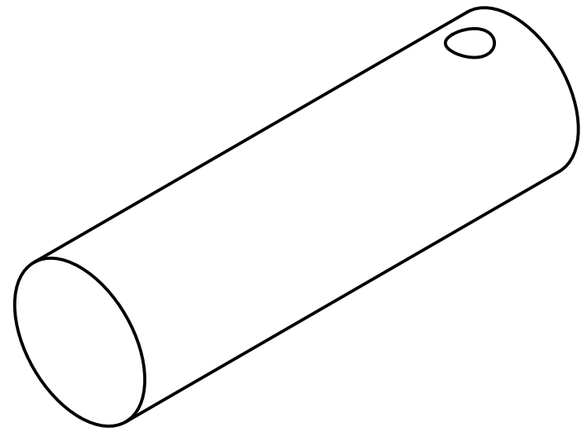




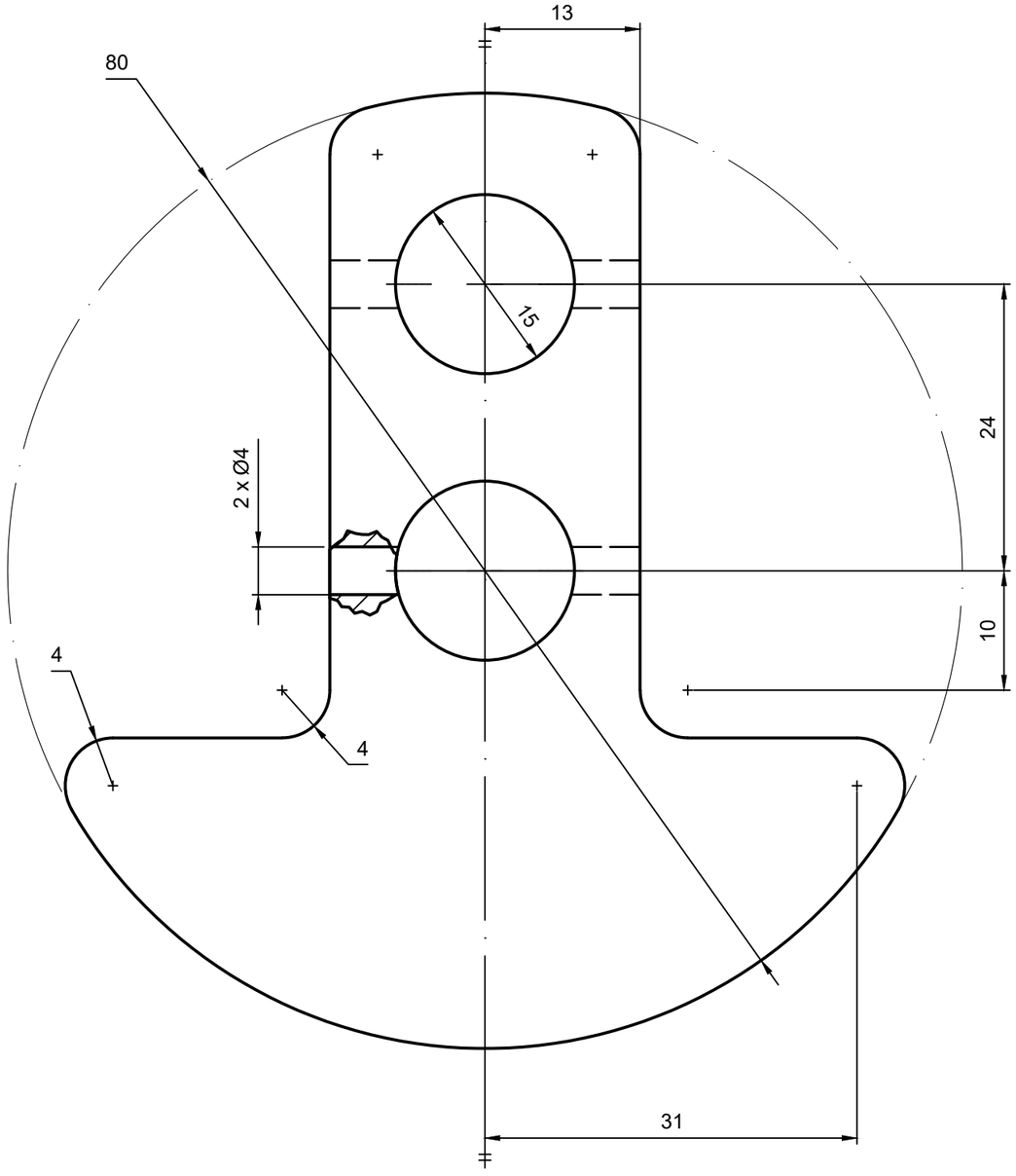
Escala 1:1

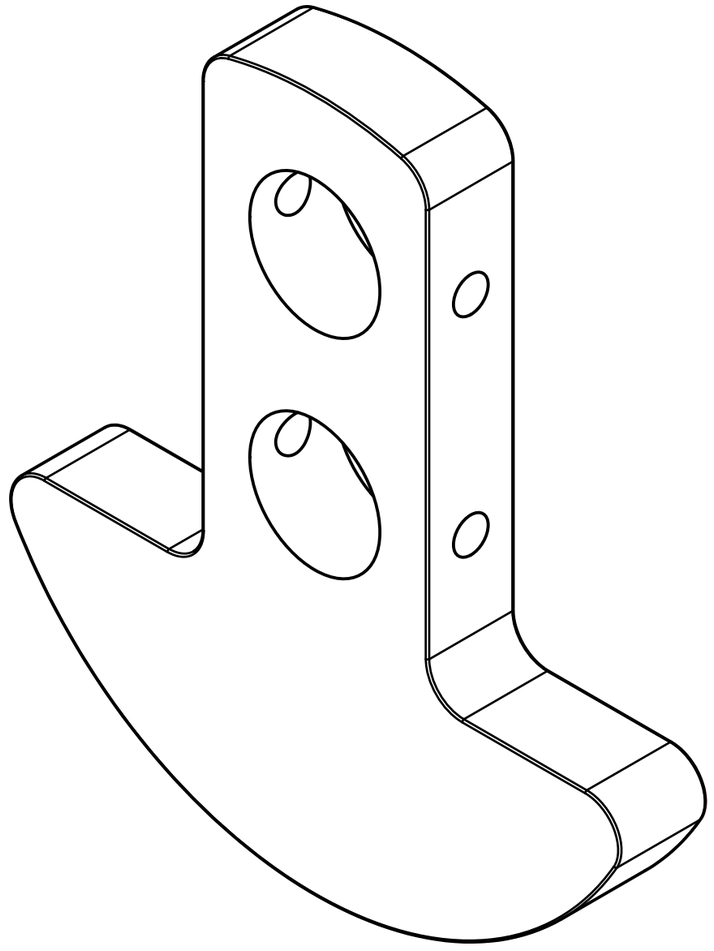
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1/1:1	Marca 69. Muñón principal		34/73



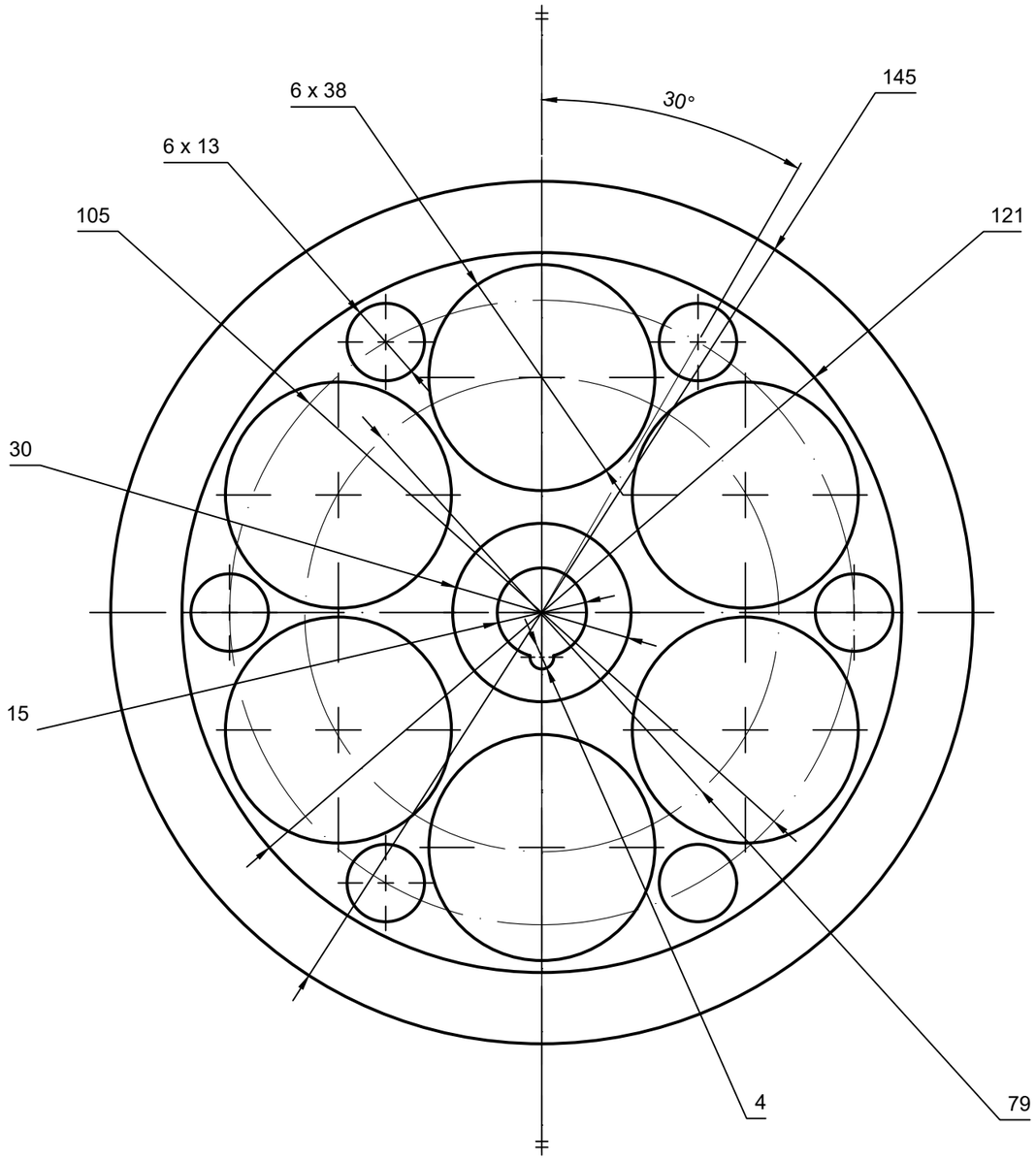


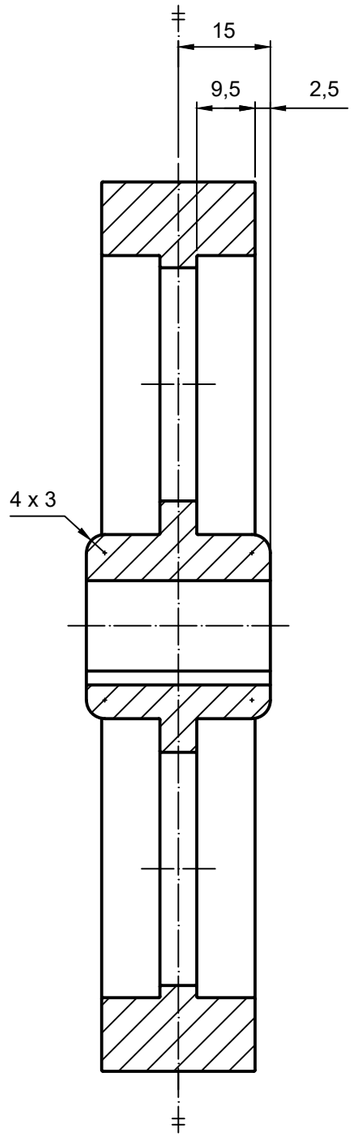
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 67. Eje de apoyo 2 del cigüeñal		35/73

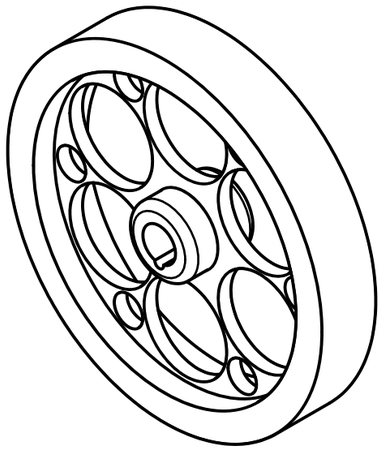




Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 11. Biela		36/73

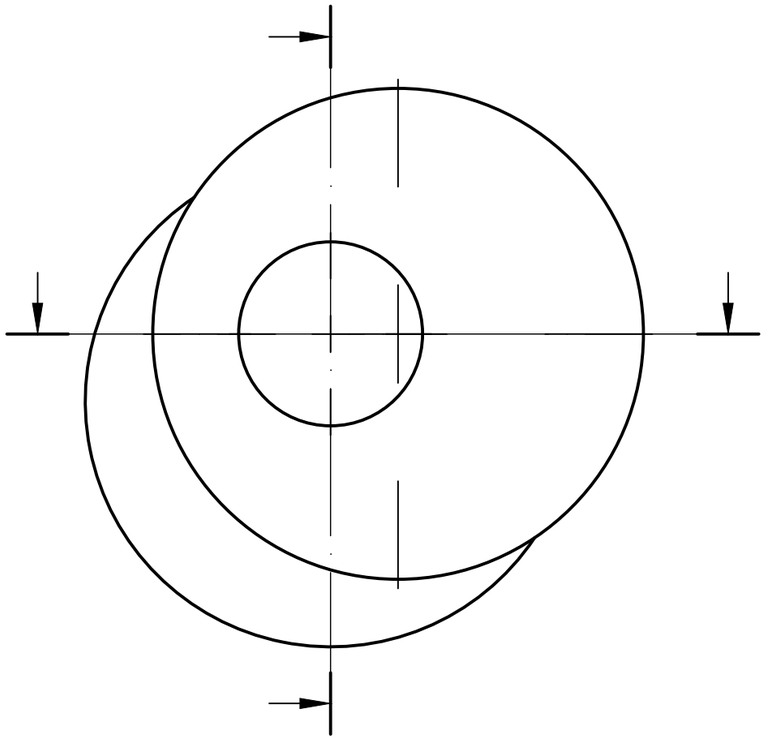


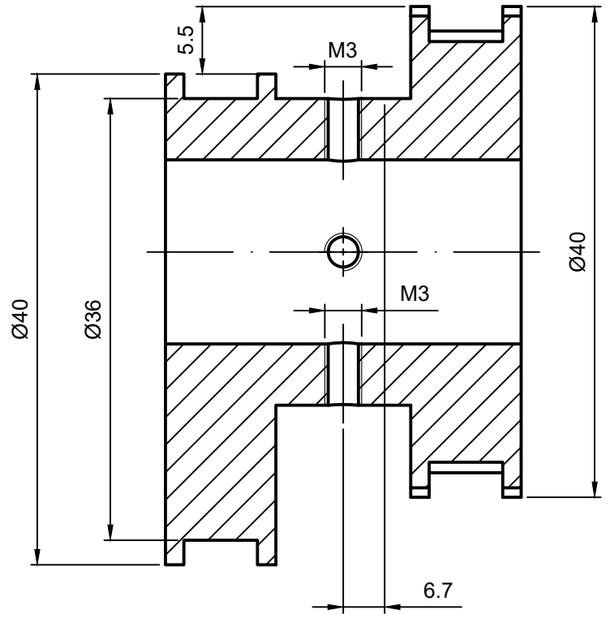


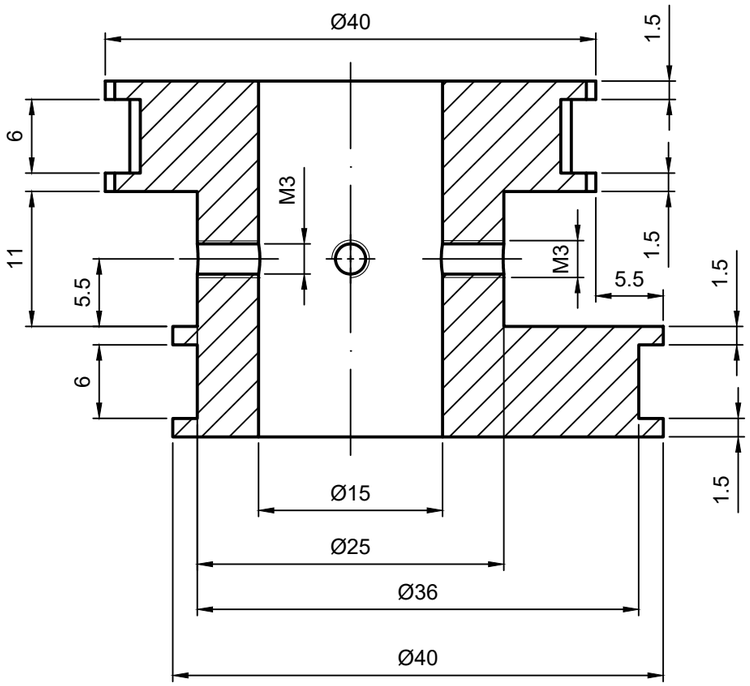


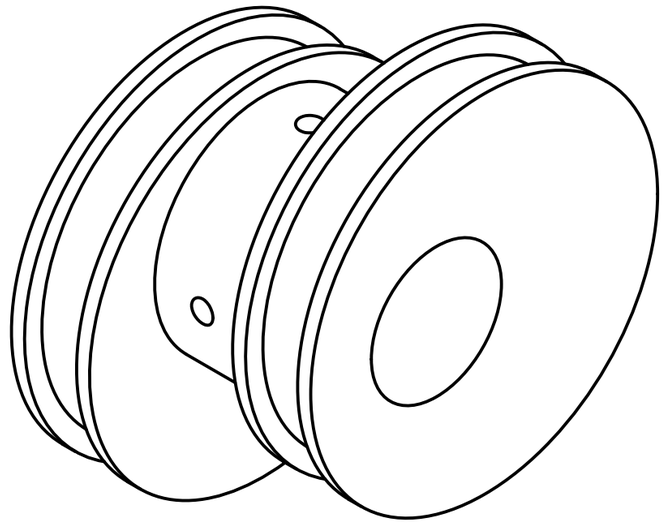
Escala 1:2

Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1/1:2	Marca 1. Volante de inercia		37/73

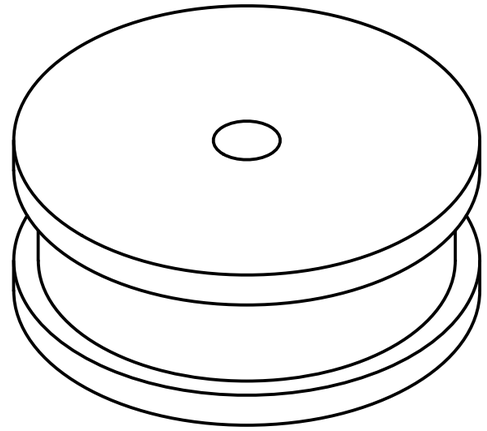




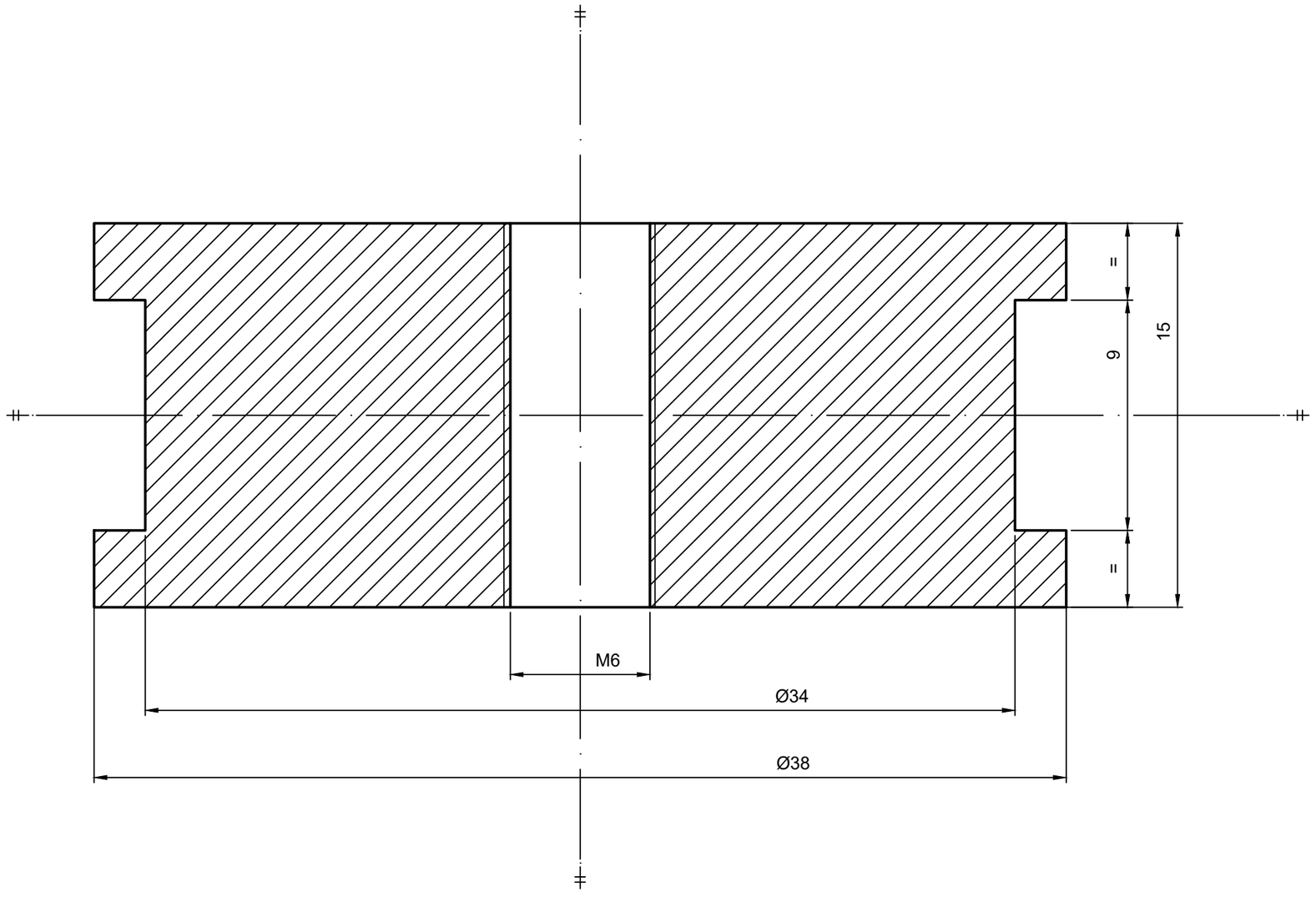




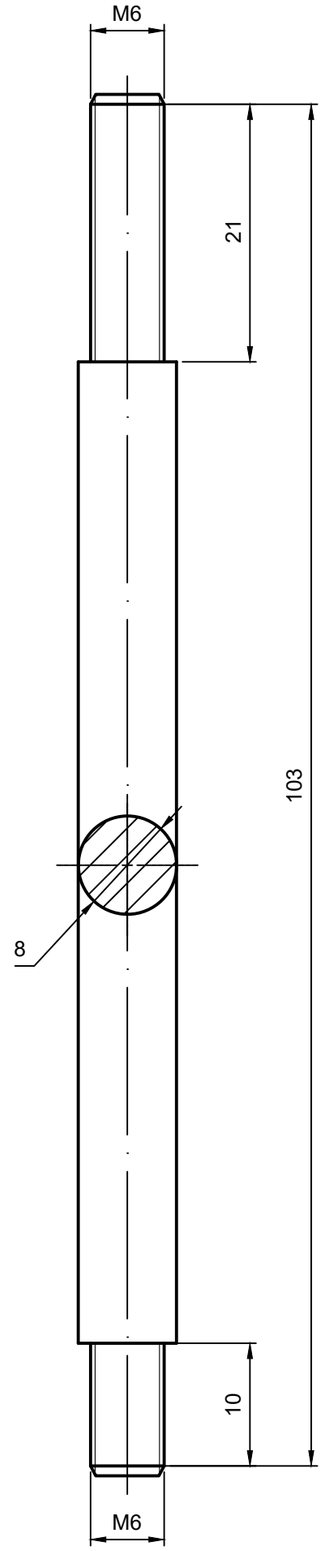
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	
Escala :	Título :	Plano :
2:1	Marca 94. Roldana excéntrica	38/73

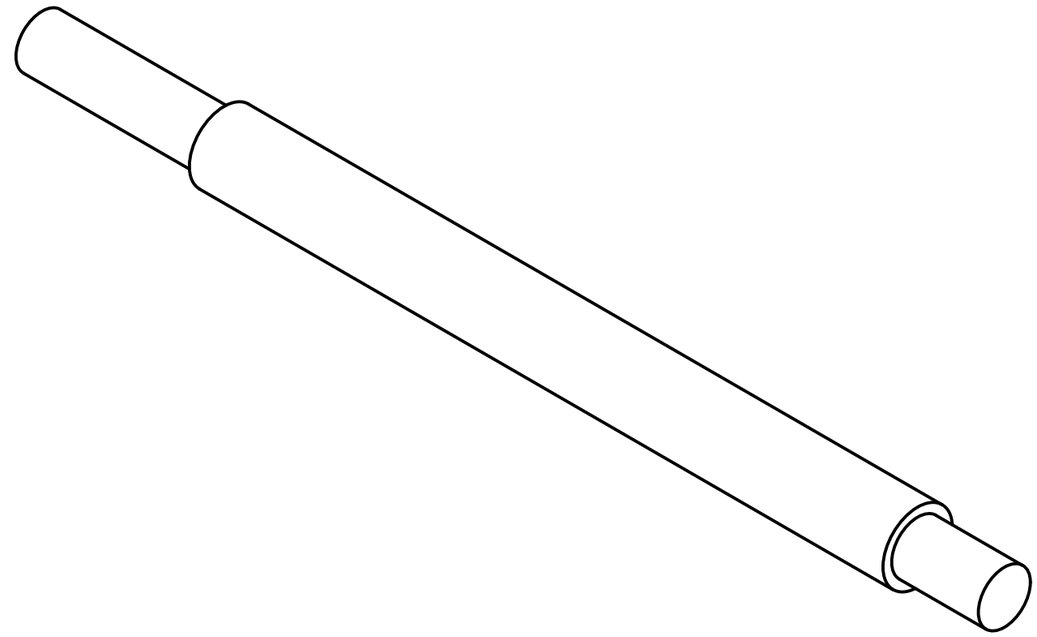


Escala 2:1

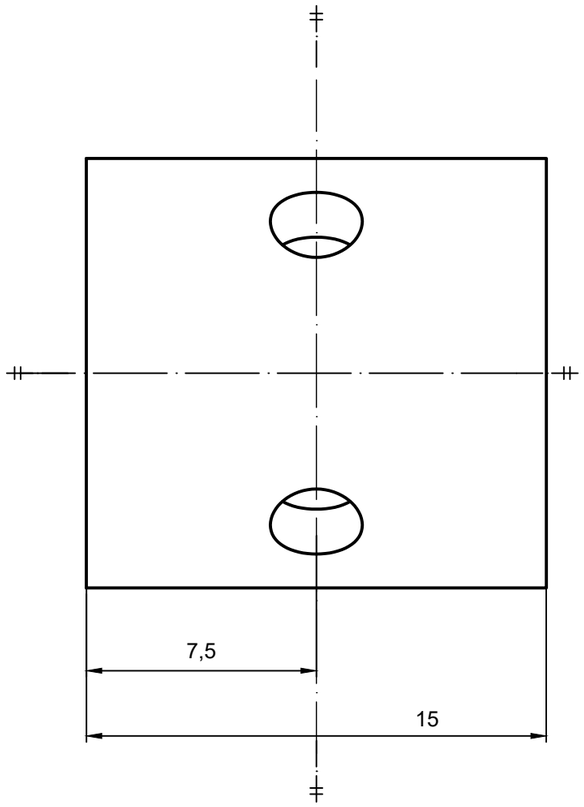


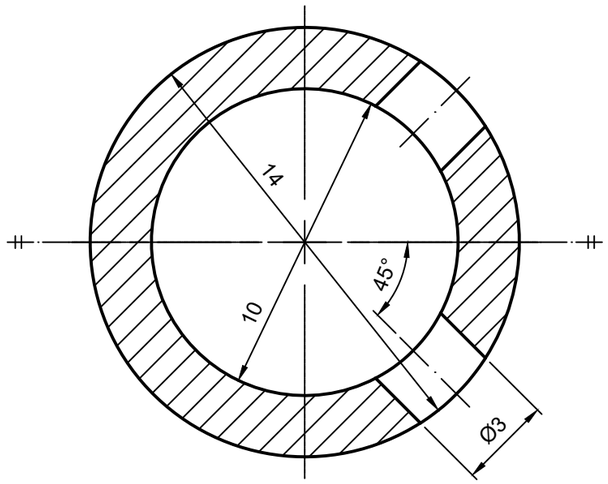
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1/2:1	Marca 82. Émbolo del pistón de alta presión		39/73

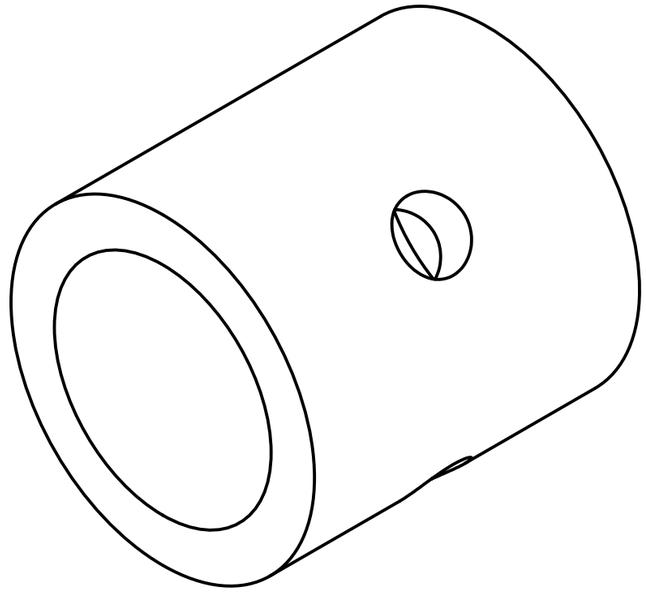




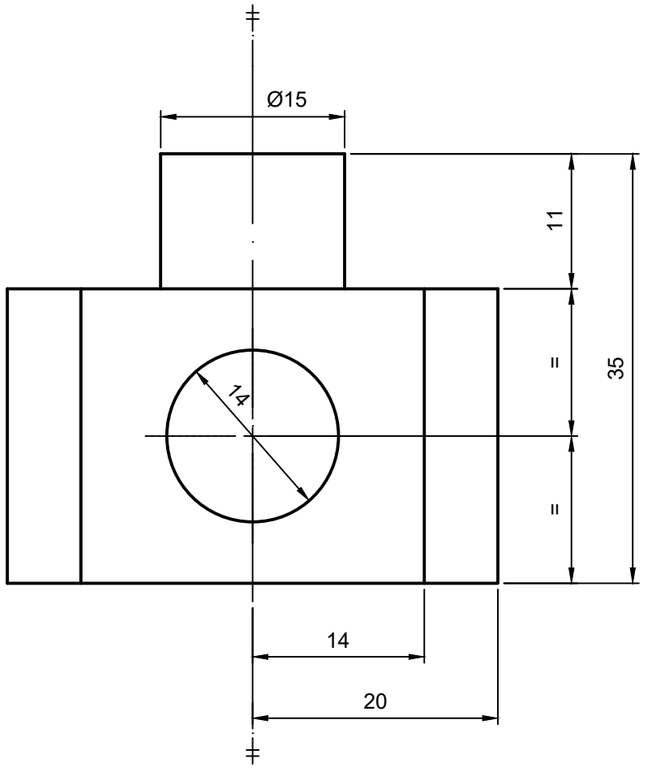
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 75. Vástago del pistón		40/73

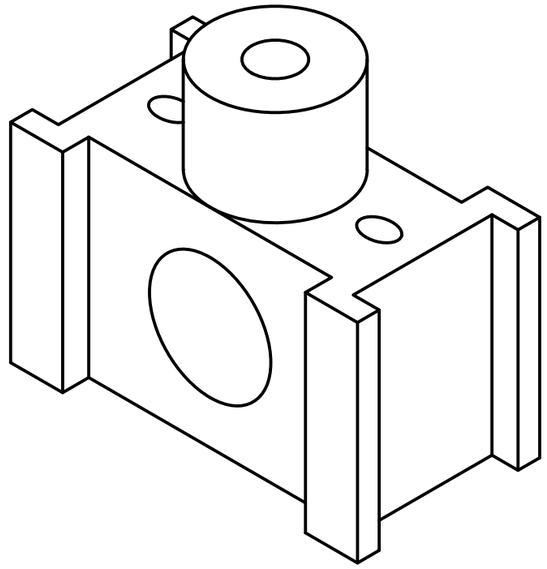


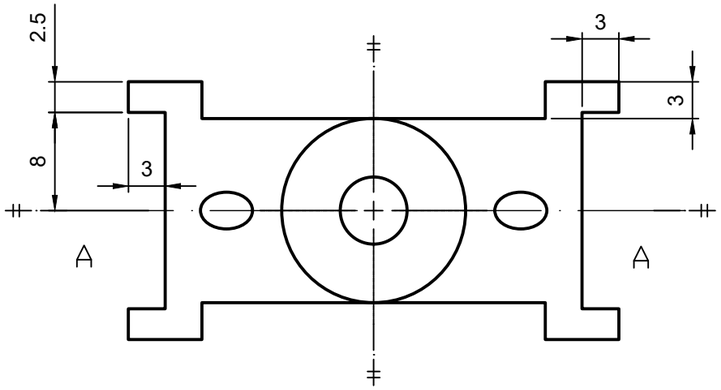


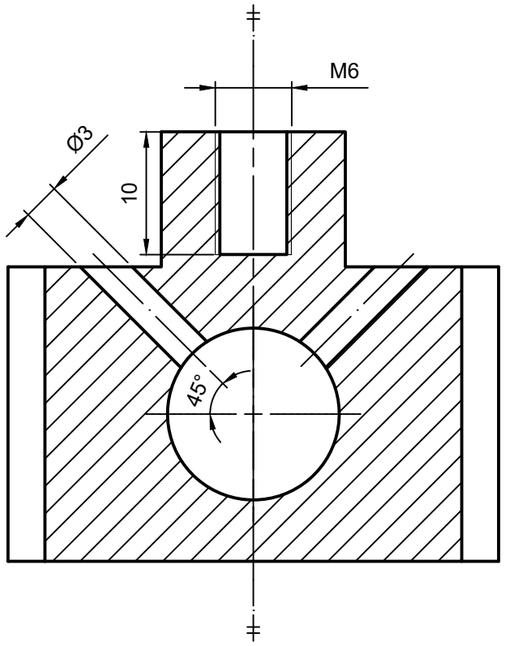


Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	
Escala : 5:1	Título : Marca 93. Cojinete de la cruceta del pistón	Plano : 41/73

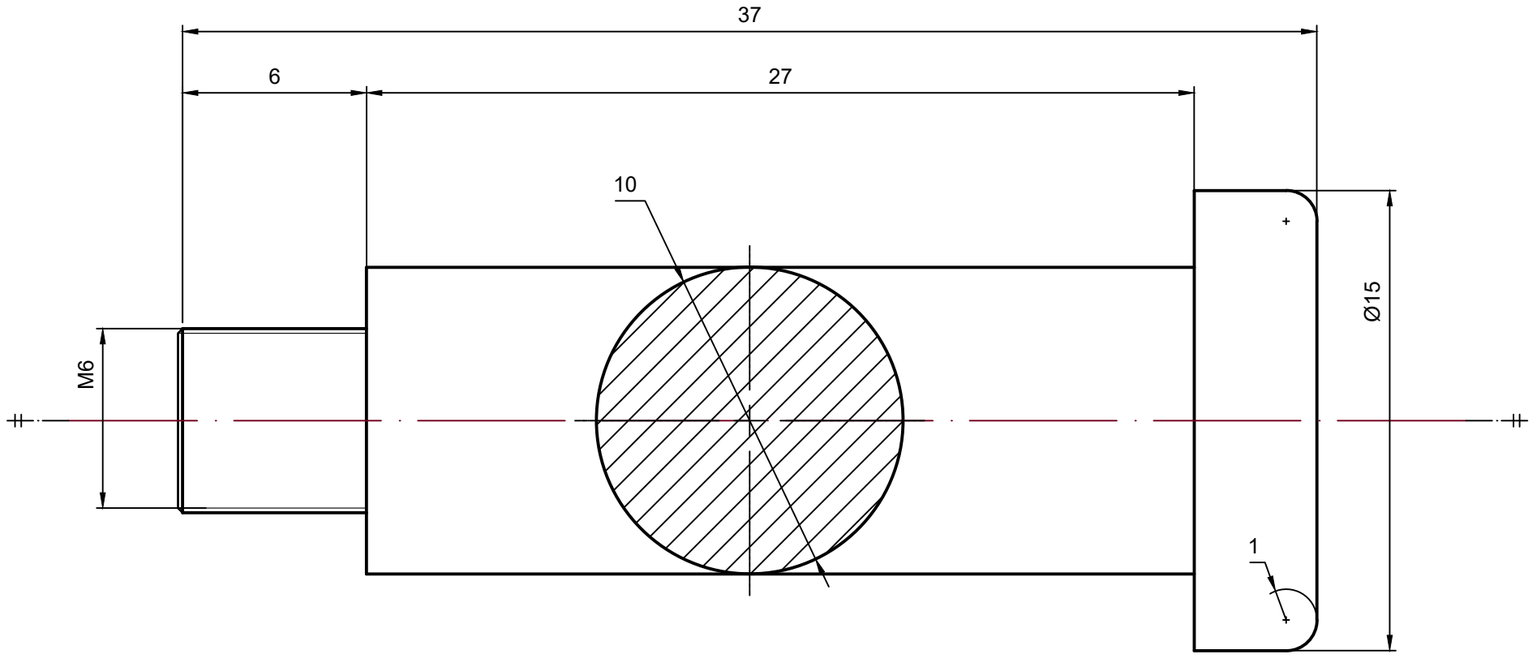


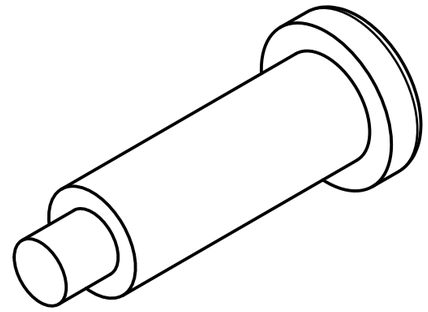






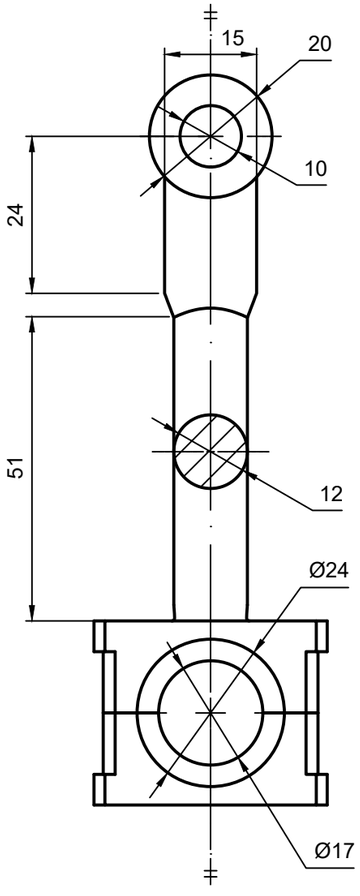
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 27. Cruceta del pistón		42/73

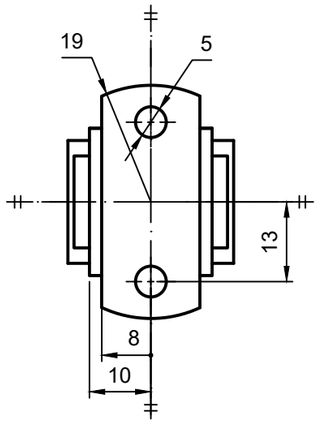


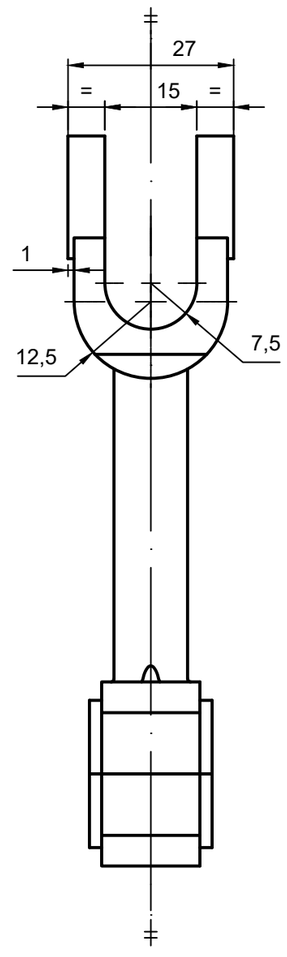


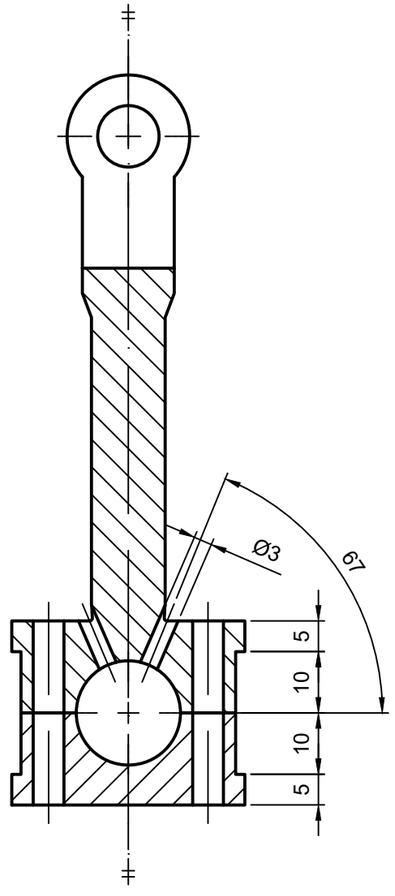
Escala 2:1

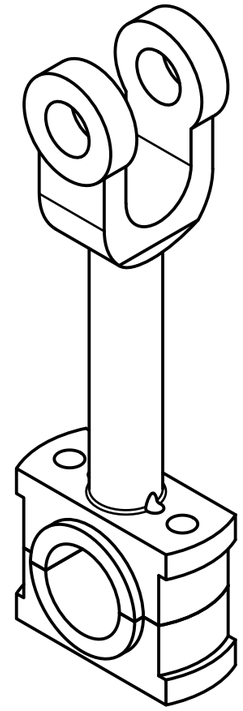
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1/2:1	Marca 28. Pasador de la biela del pistón		43/73



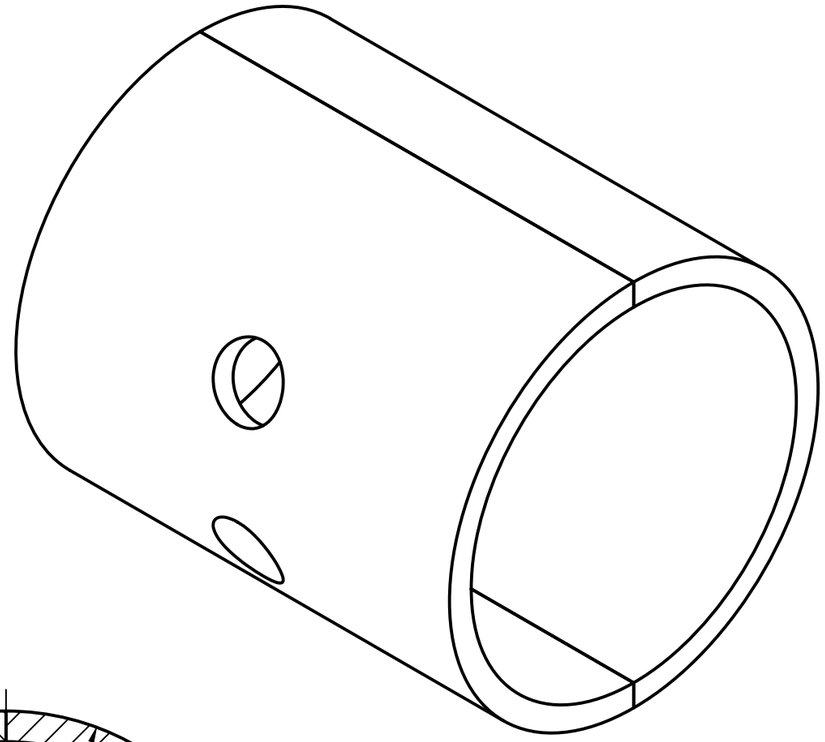


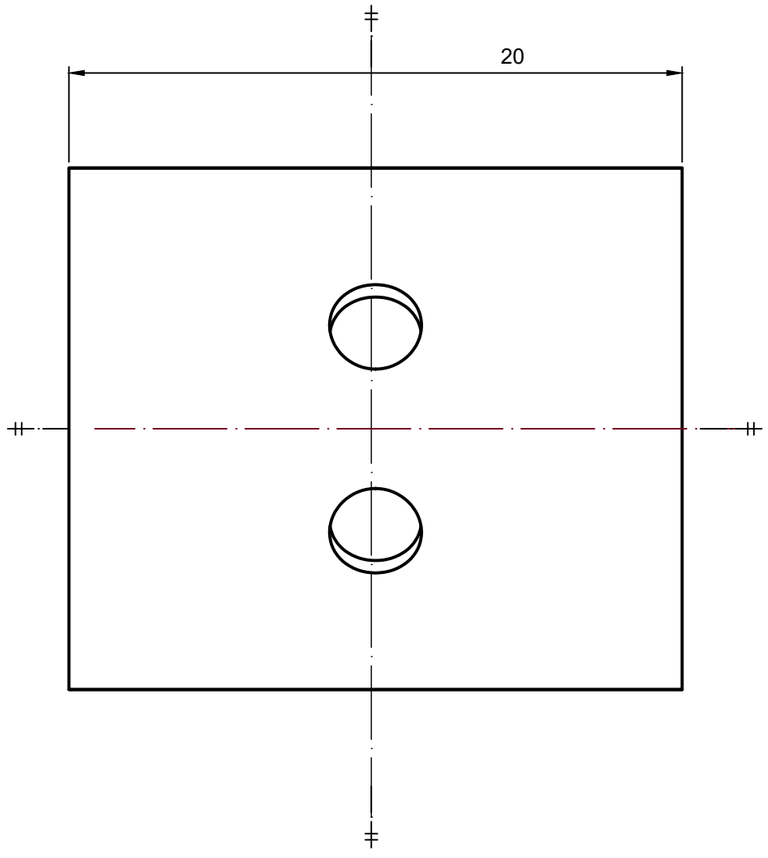


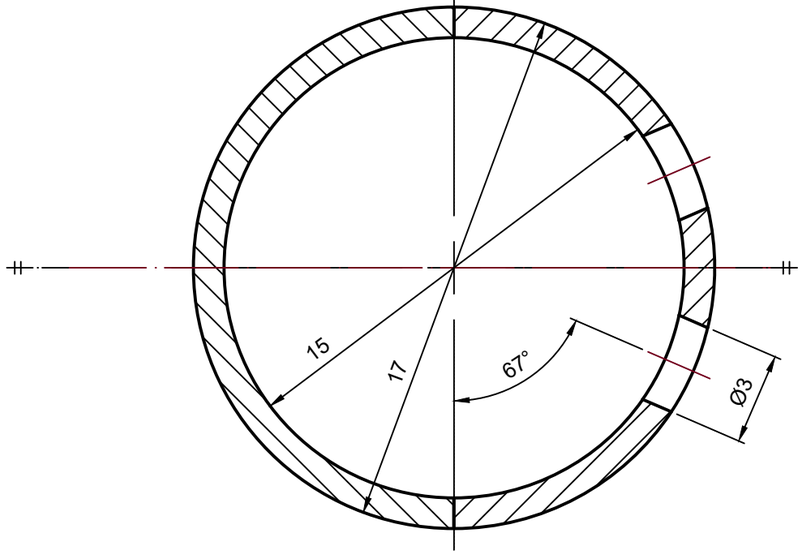




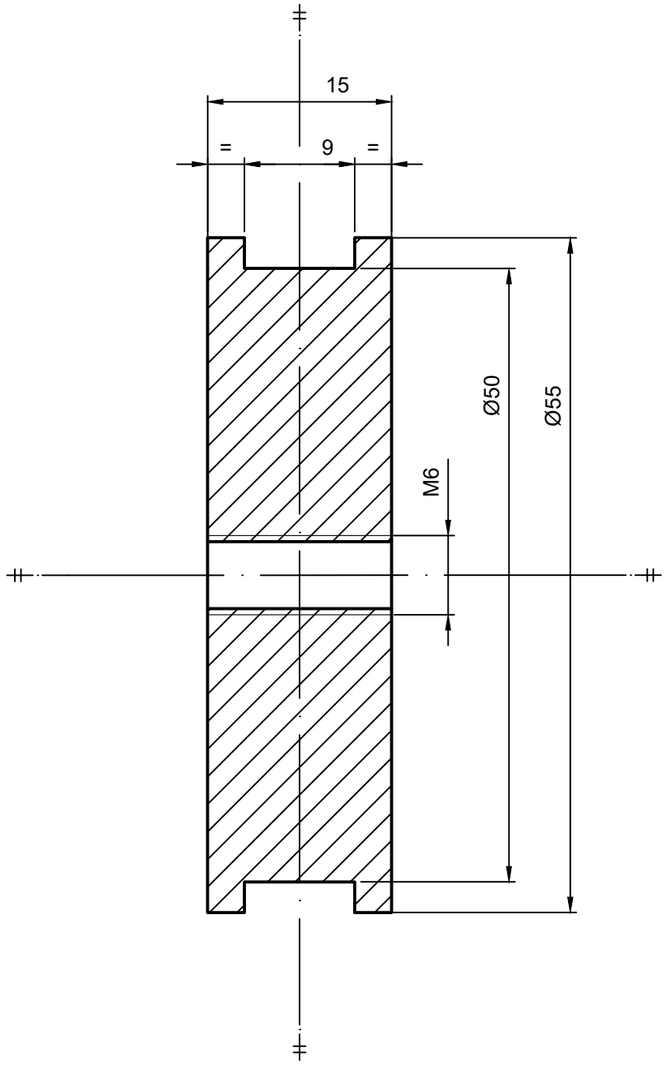
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	
Escala :	Título :	Plano :
1:1	Marcas 15 y 29. Sombrero y cuerpo de la biela del pistón	44/73

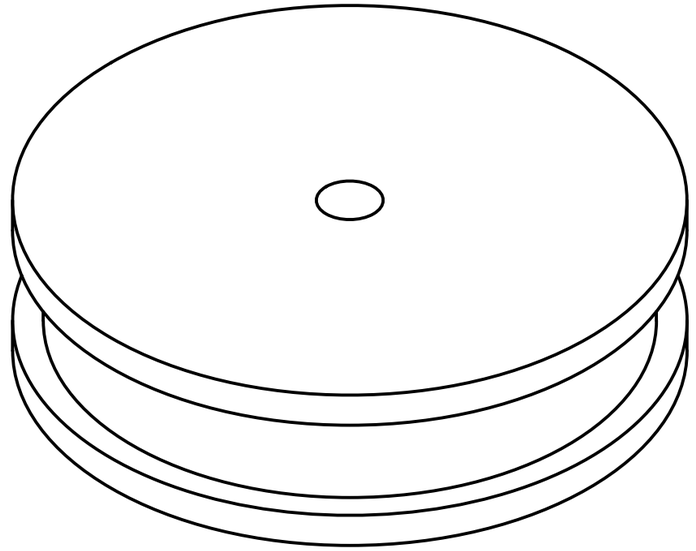




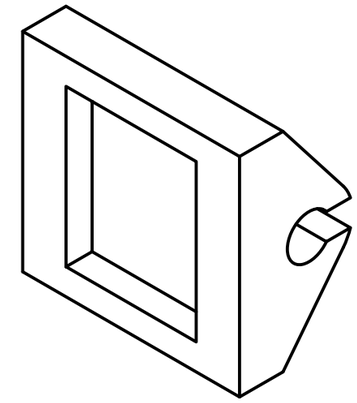


Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 71. Cojinete de la biela del pistón		45/73

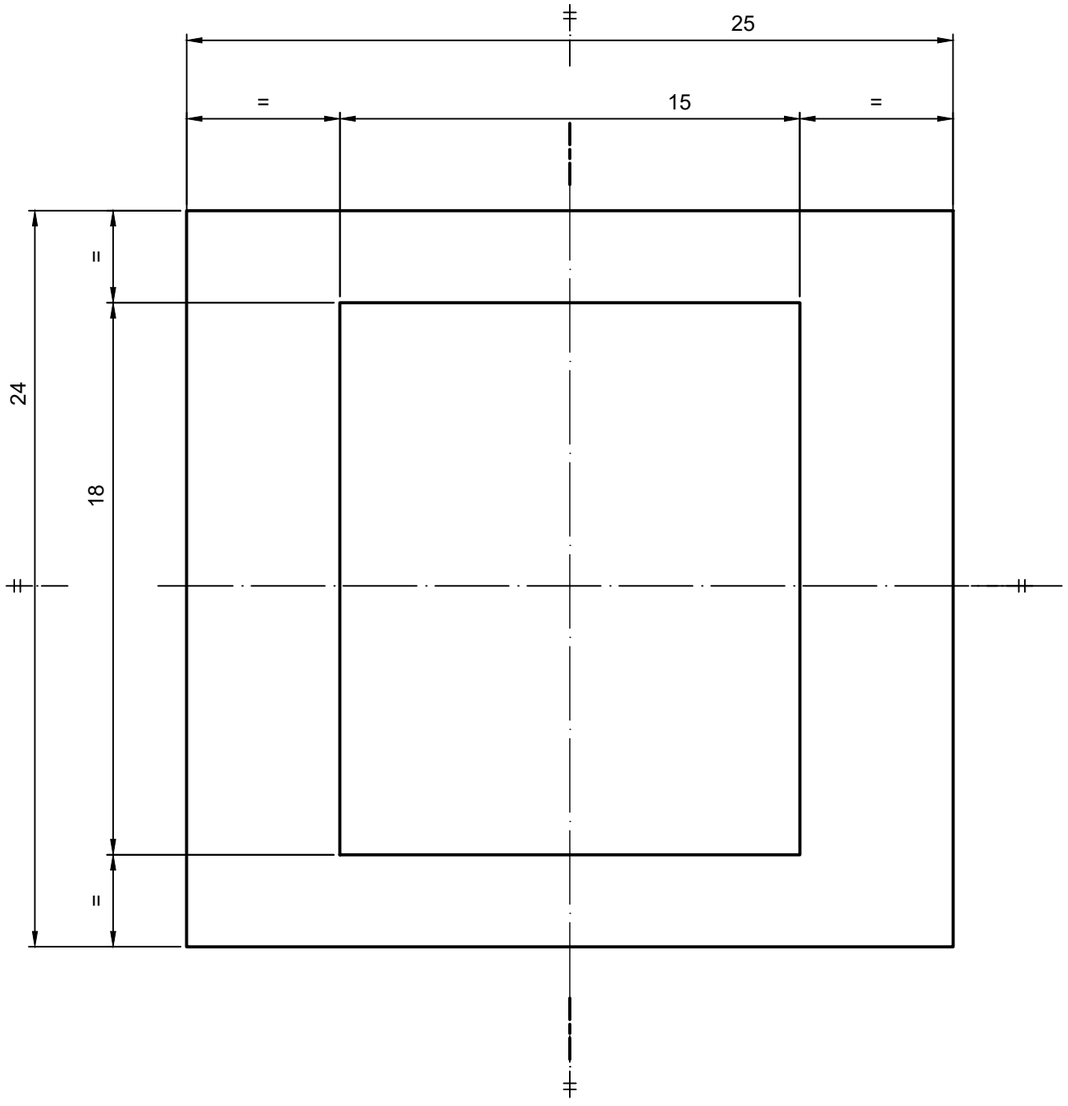


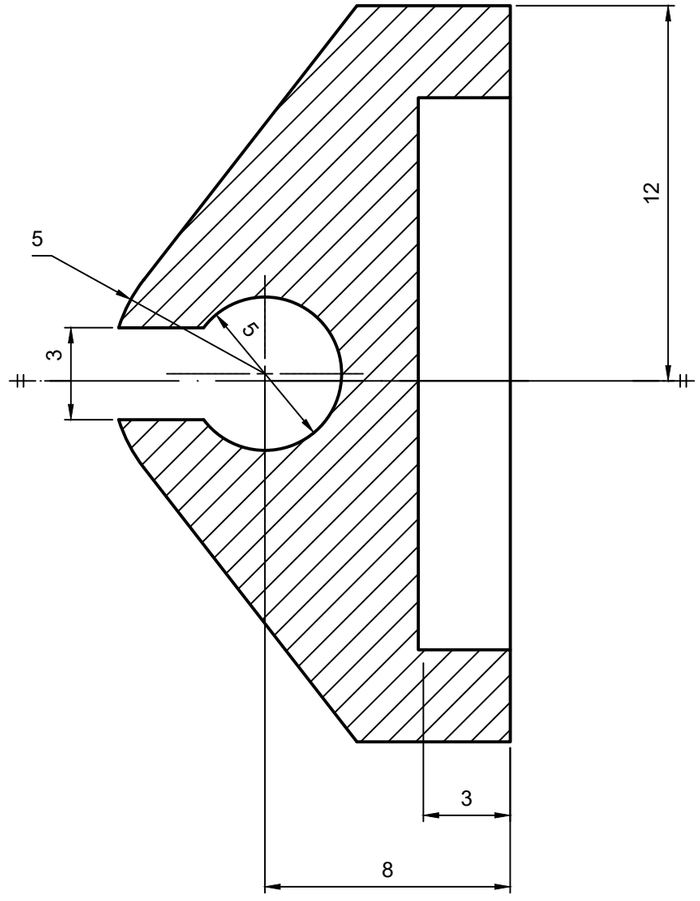


Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 78. Émbolo del pistón de baja presión		46/73



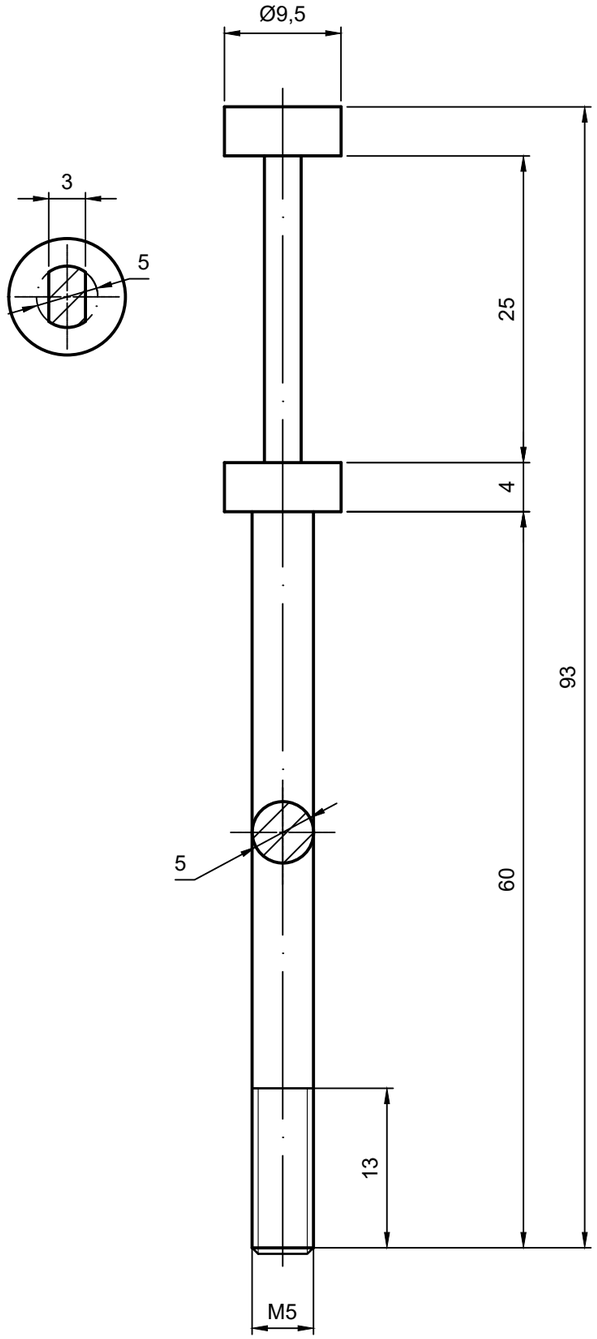
Escala 2:1

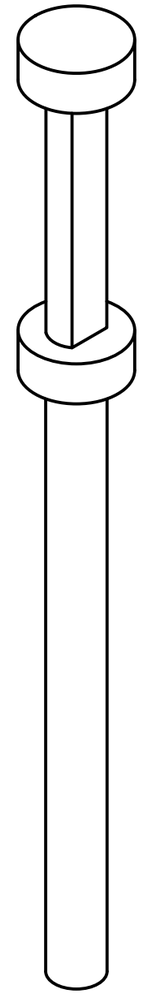




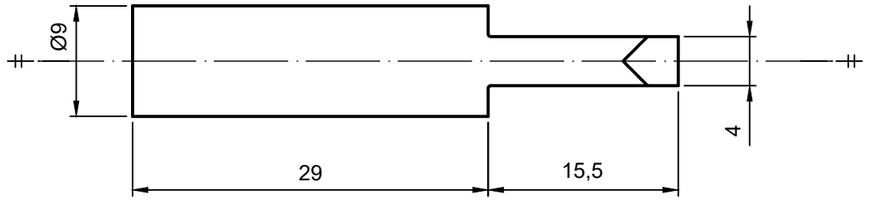
Escala 5:1

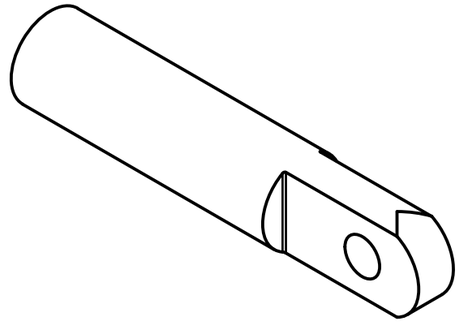
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1/2:1	Marca 80. Válvula de corredera de baja presión		47/73

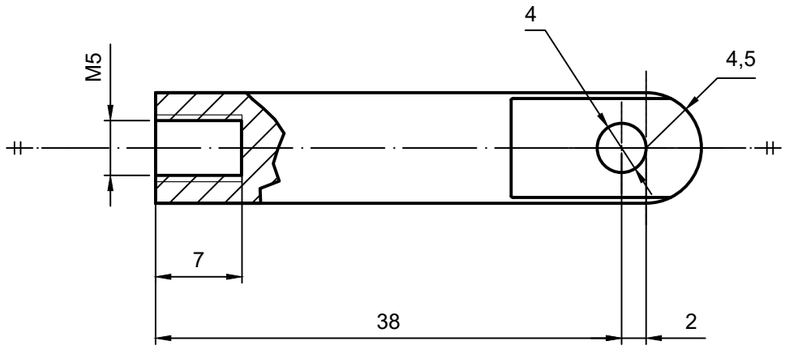




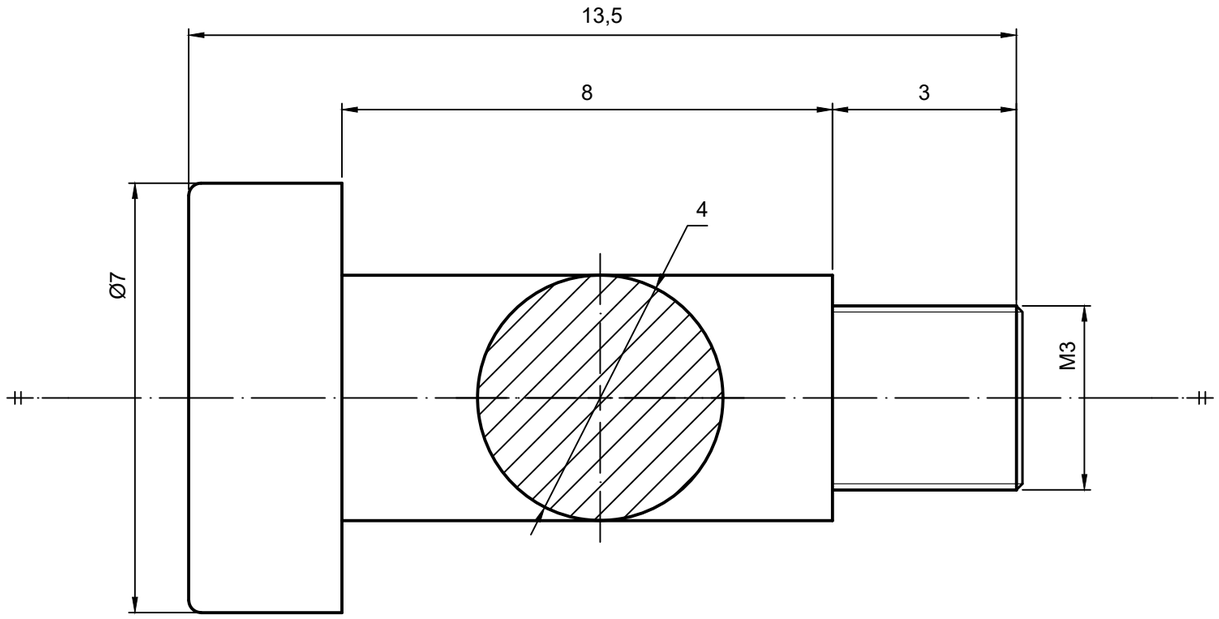
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 89. Husillo de la válvula de corredera de baja presión		48/73

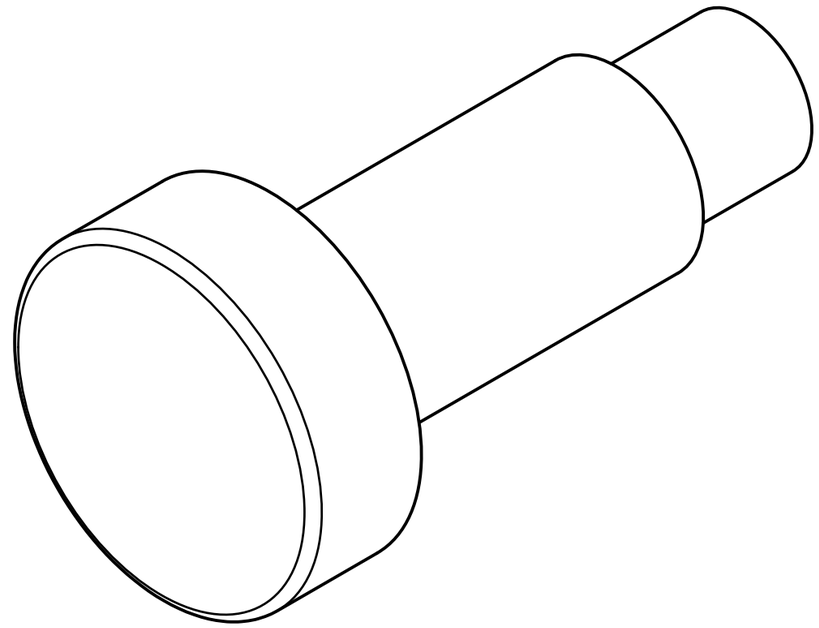




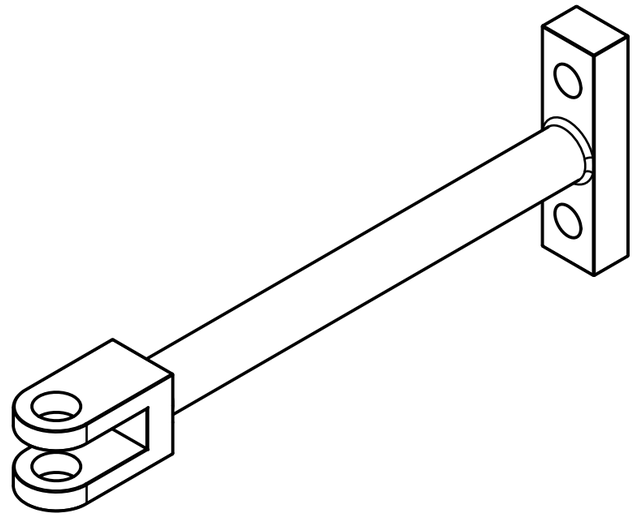


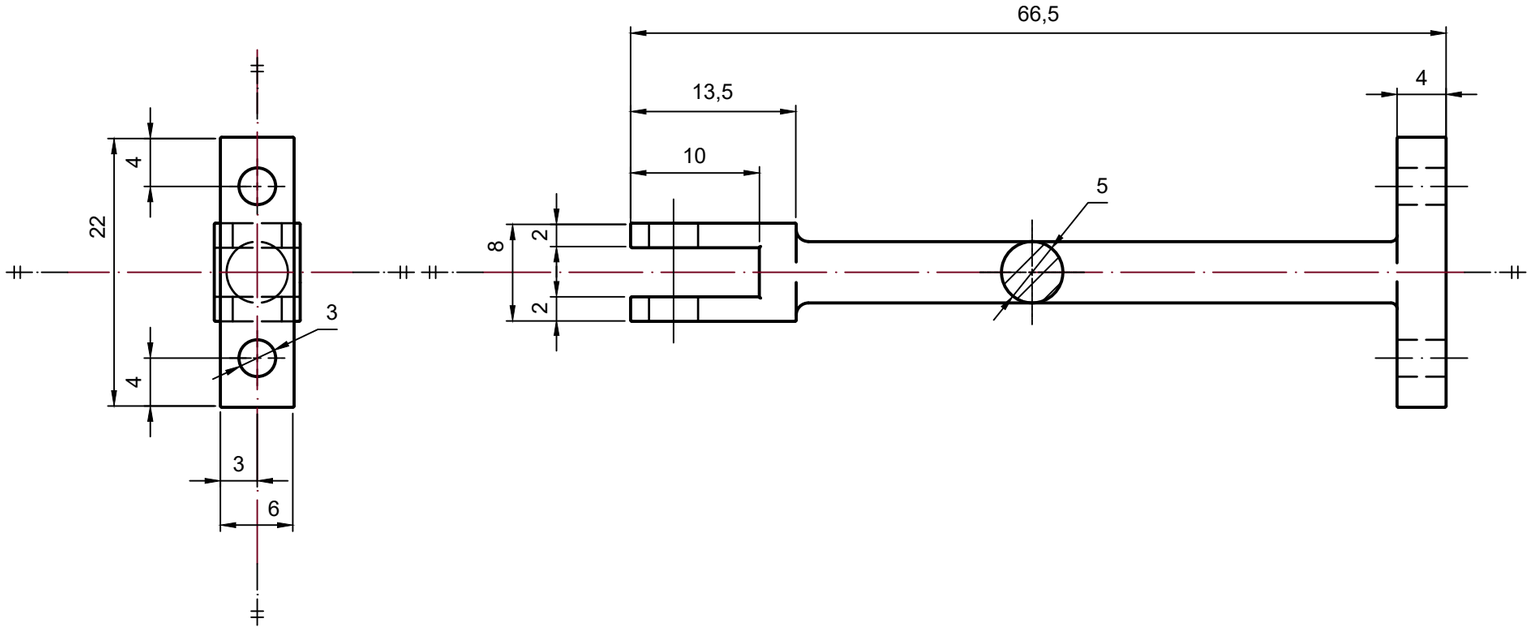
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 91. Extremo del husillo de la válvula de corredera		49/73



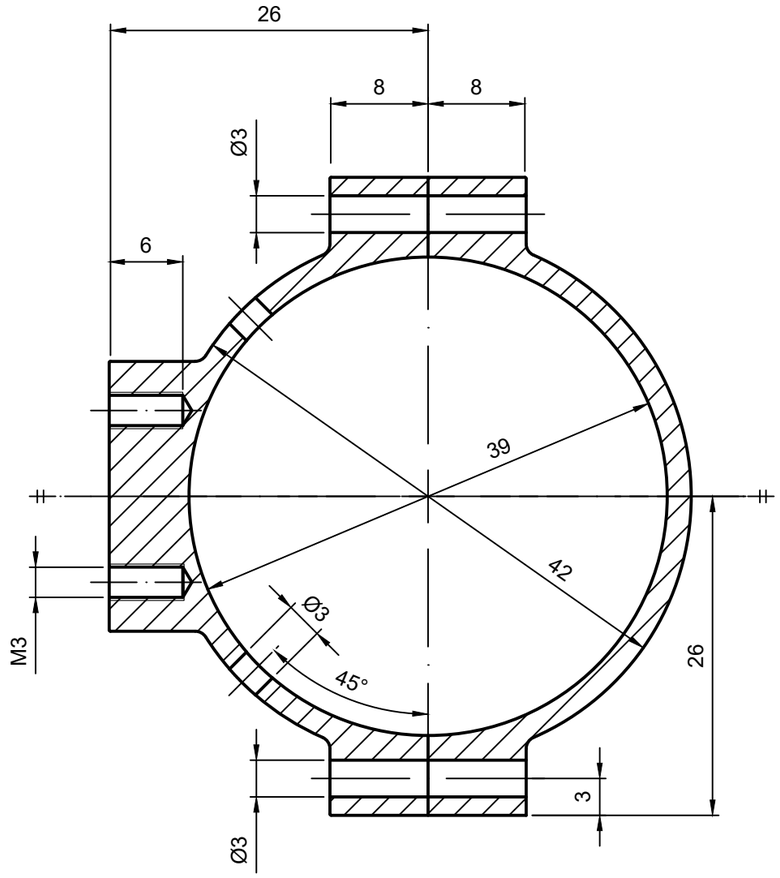


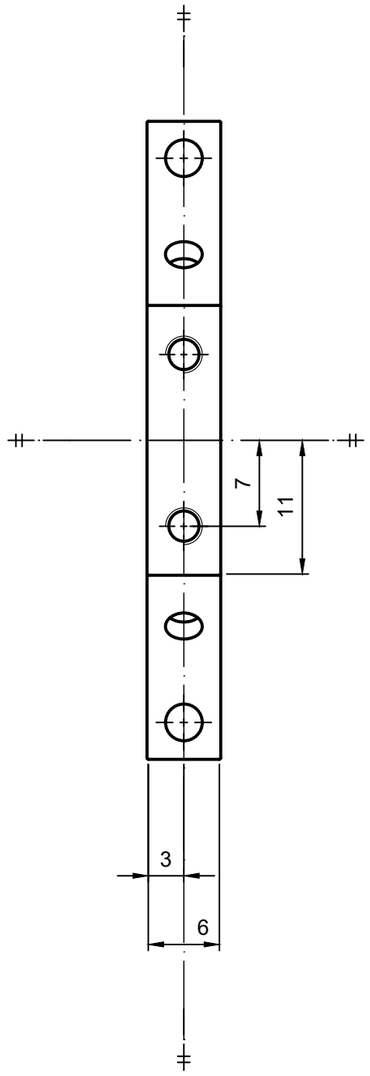
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
10:1	Marca 92. Pasador de la biela de la válvula de corredera		50/73

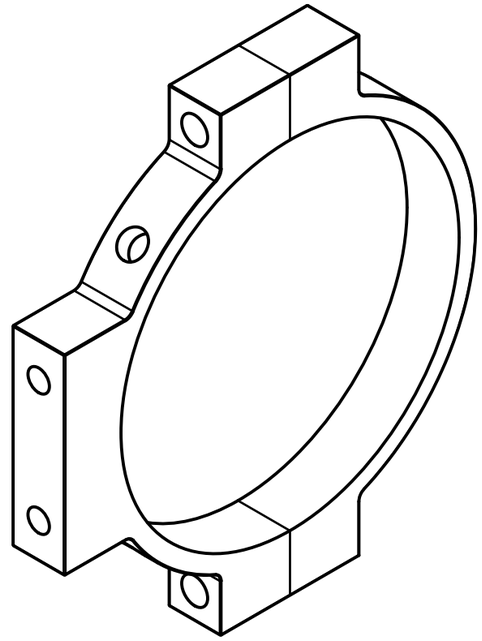




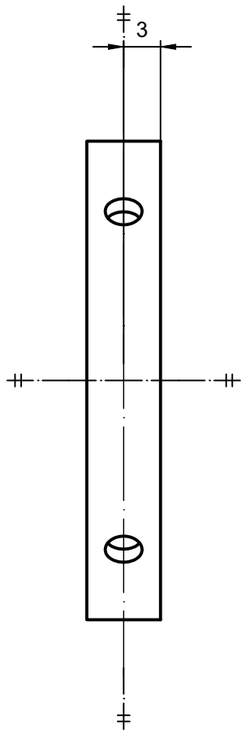
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 16. Cuerpo de biela de la válvula de corredera		51/73

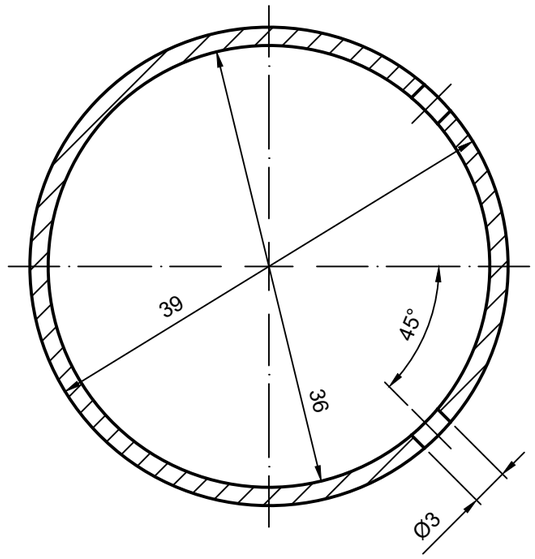


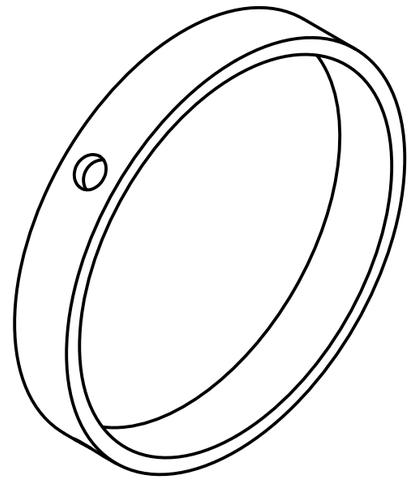




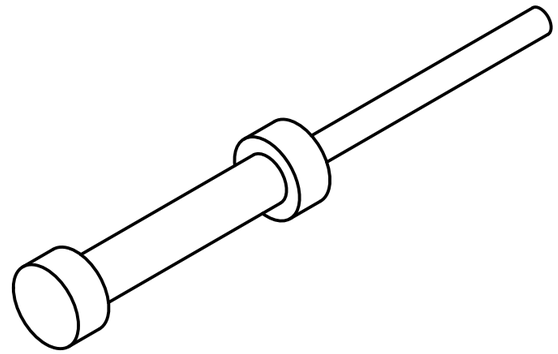
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marcas 9 y 10. Partes inferior y superior del sombrero de la biela de la válvula		52/73



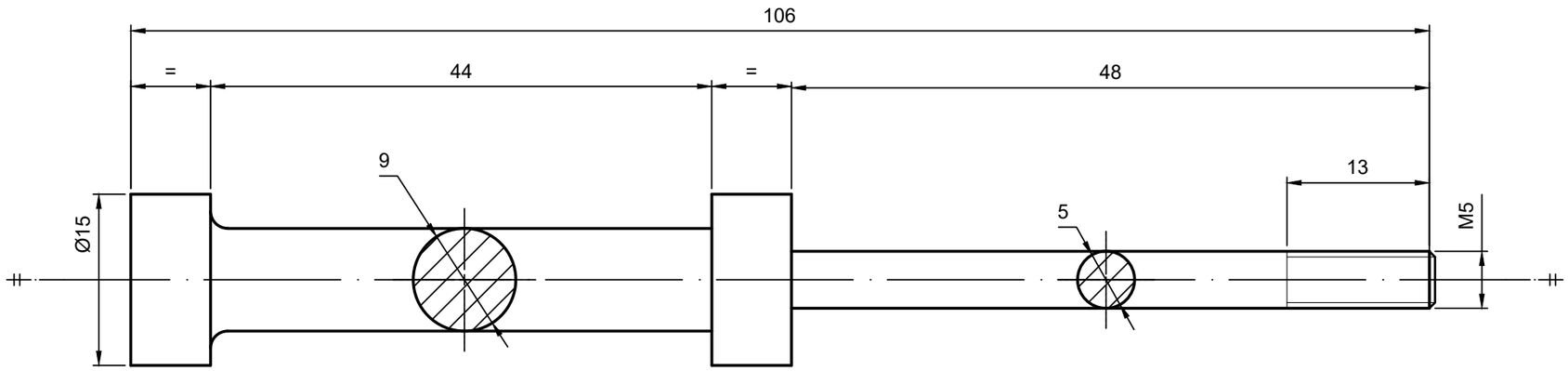




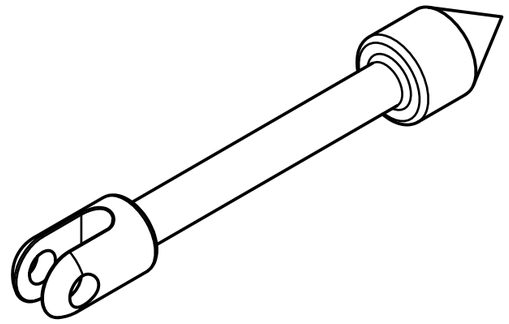
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 96. Cojinete de la biela de la válvula de corredera		53/73



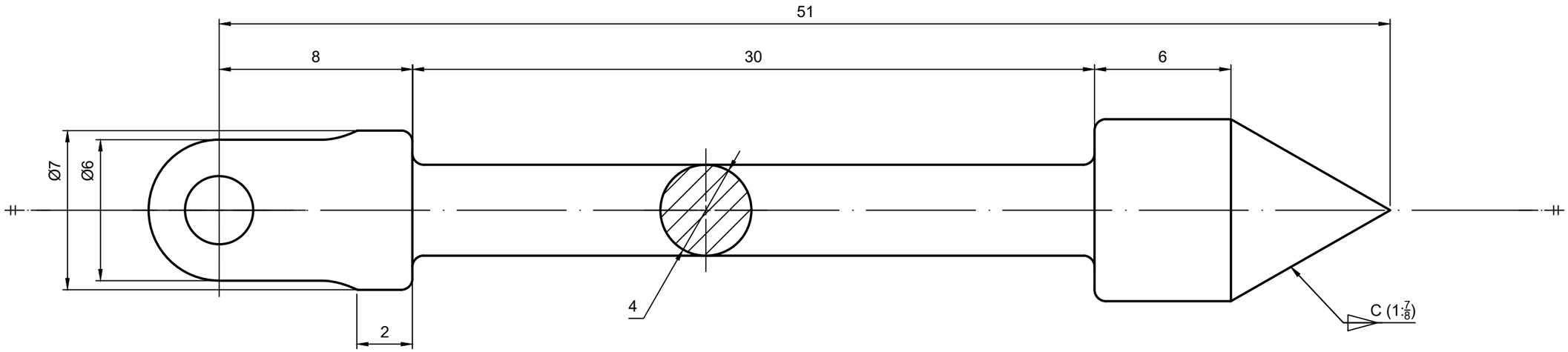
Escala 1:1

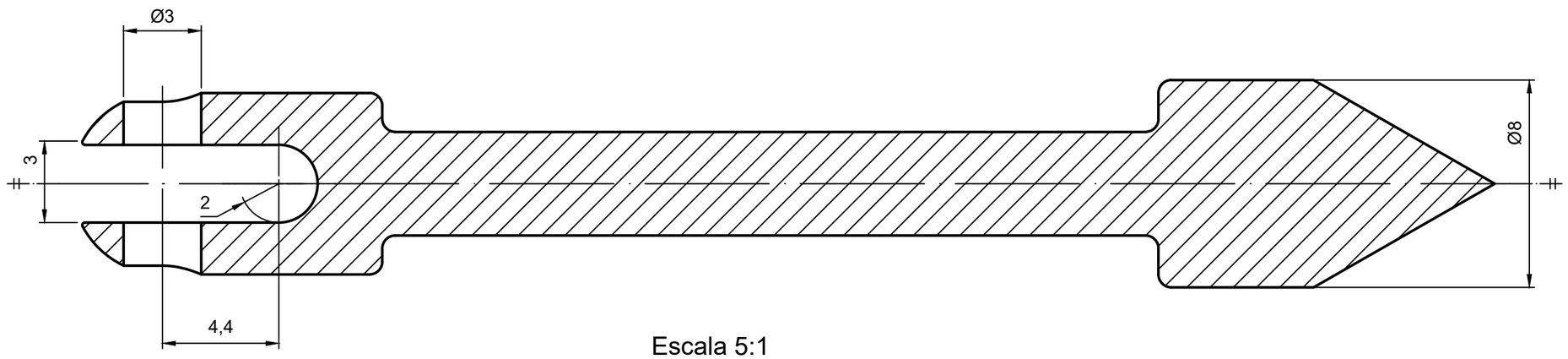


Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1/1:1	Marca 81. Husillo de la válvula de corredera de alta presión		54/73



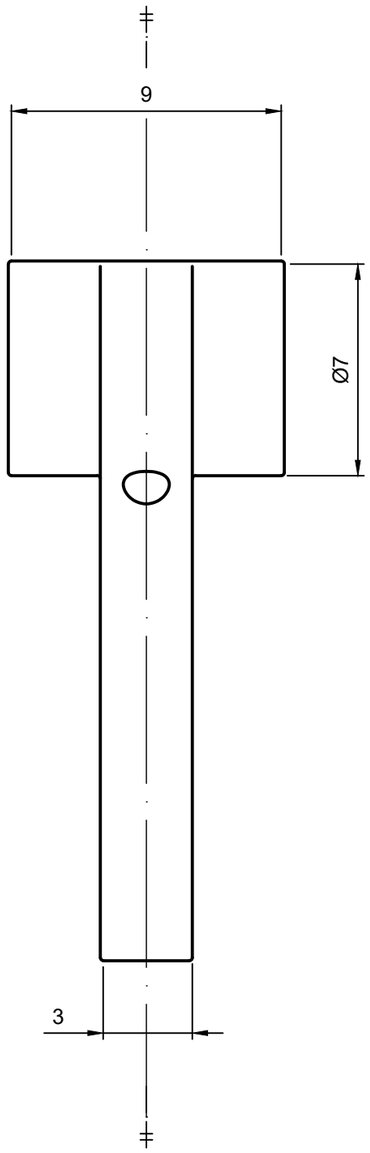
Escala 2:1

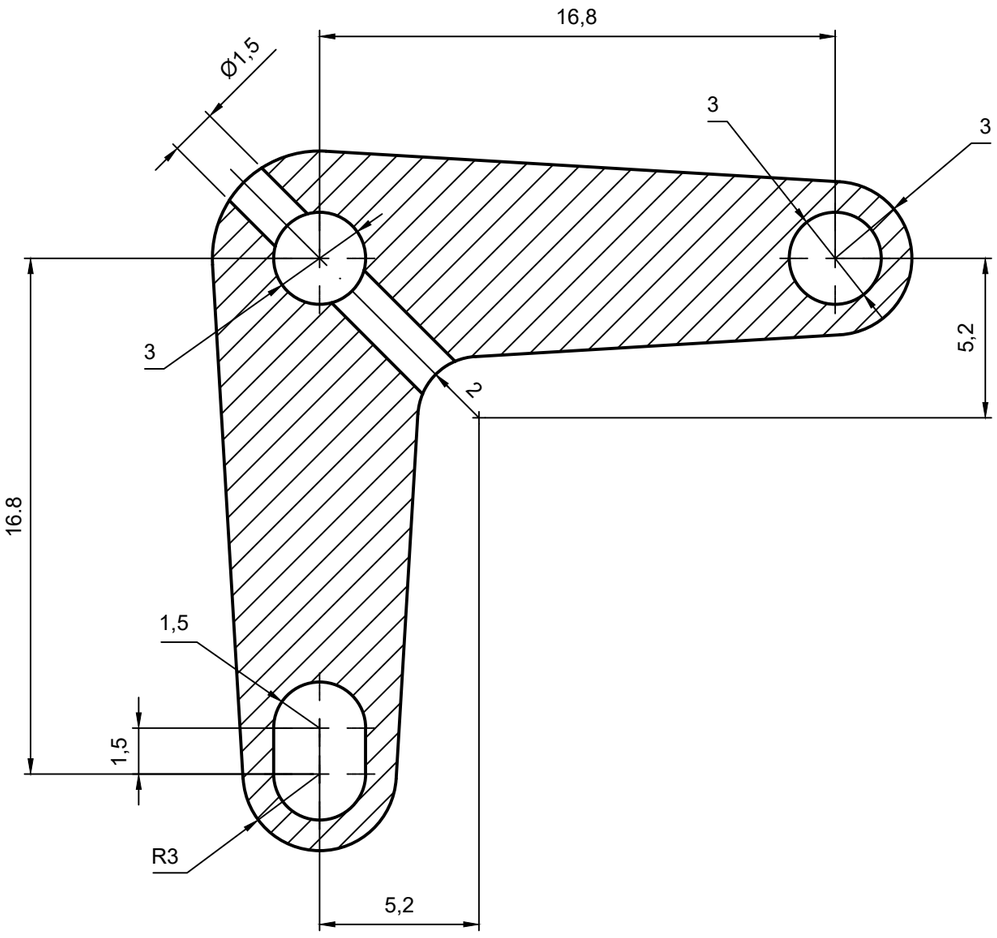


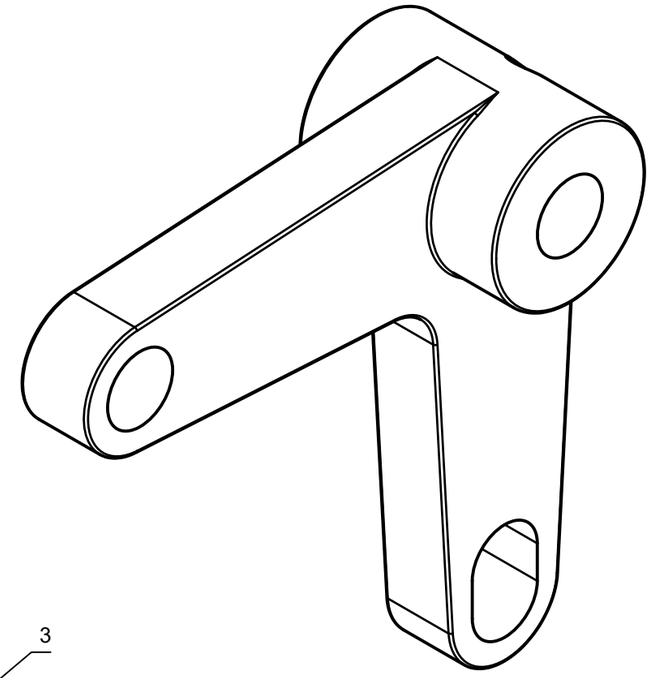


Escala 5:1

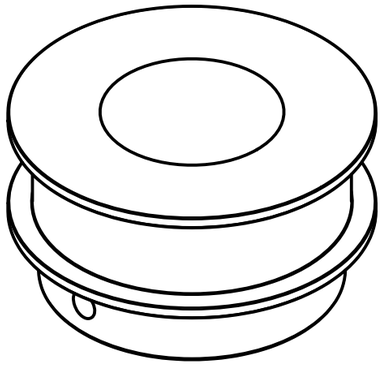
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1/2:1	Marca 58. Válvula de la mariposa		55/73



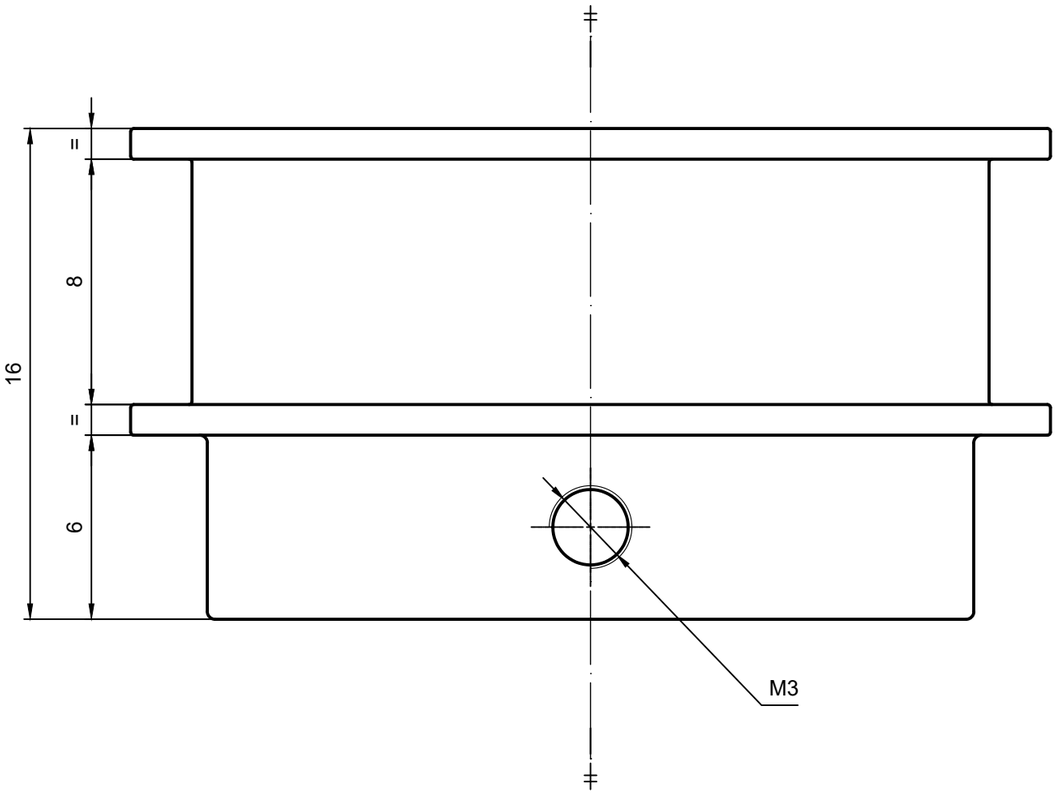


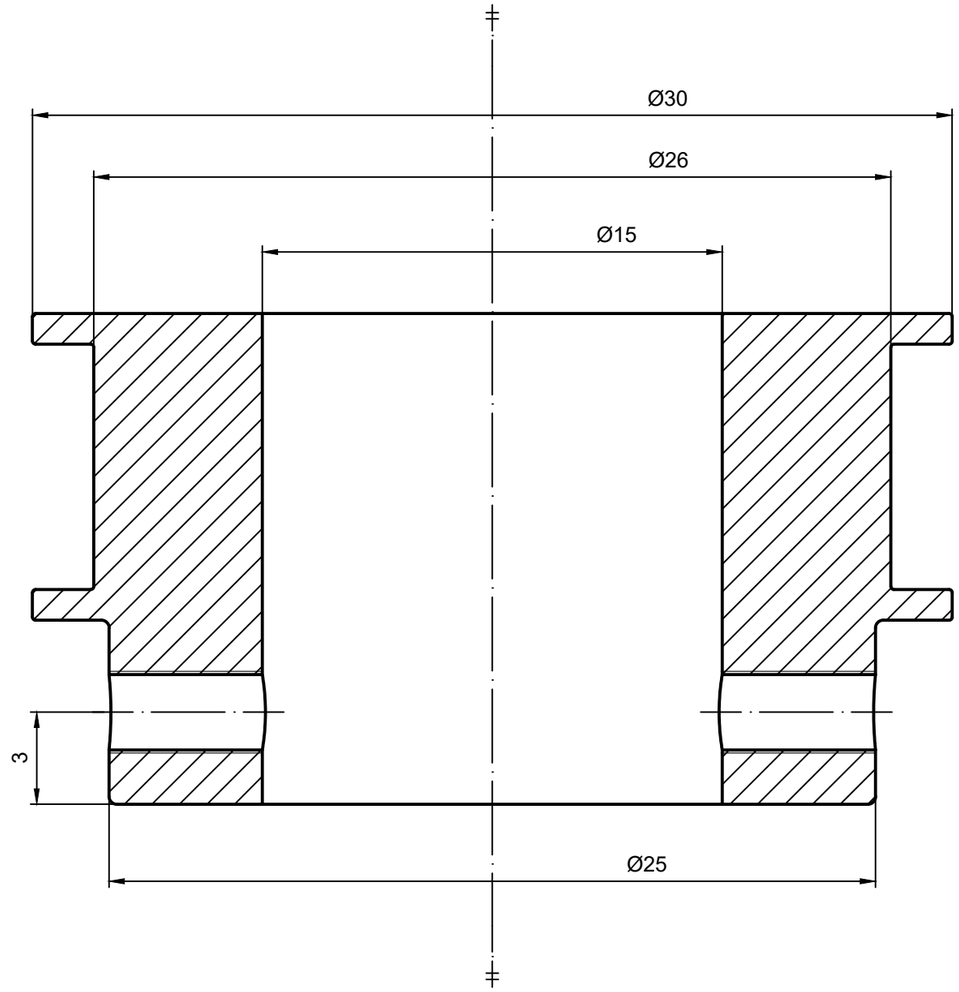


Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 52. Manivela de la válvula de mariposa		56/73

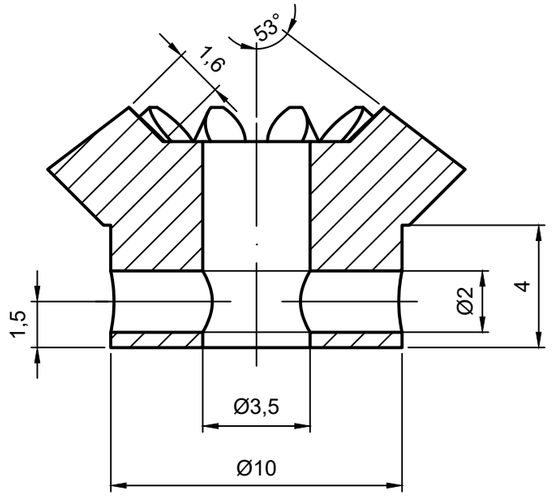


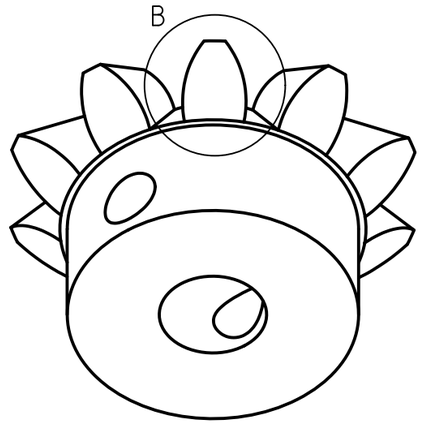
Escala 2:1

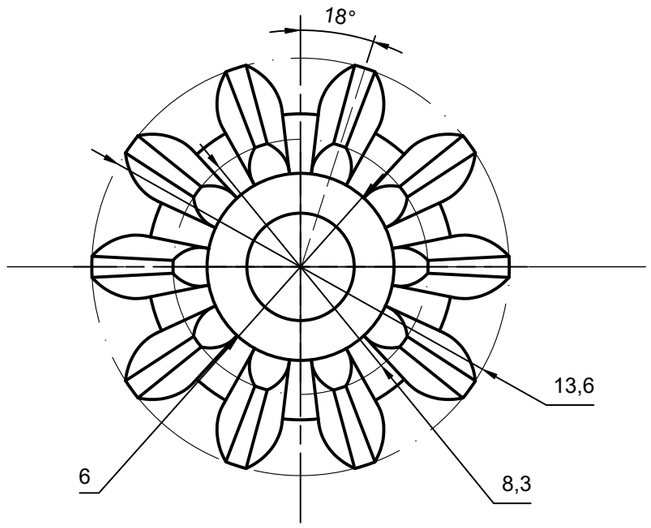


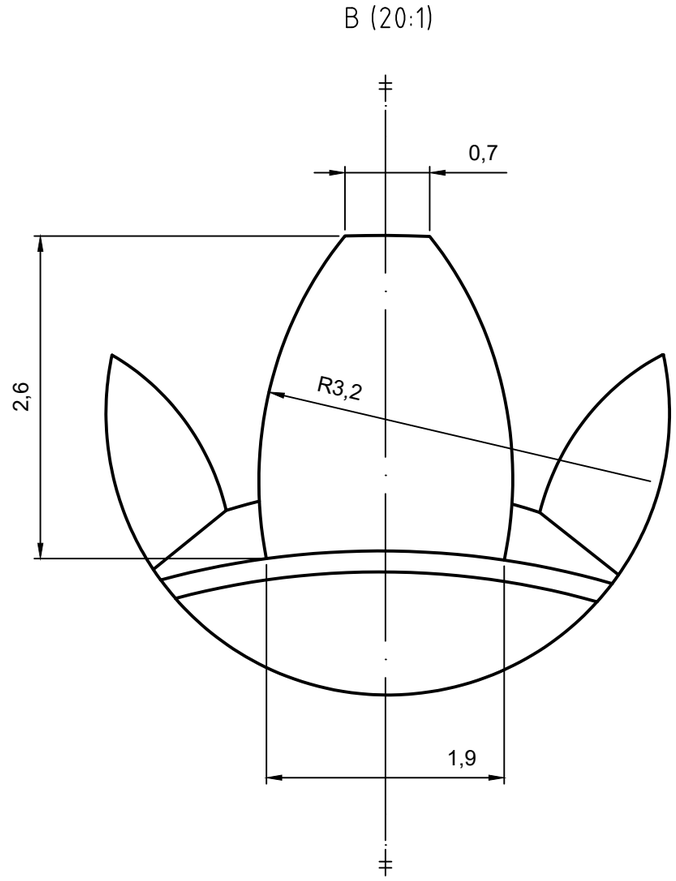


Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1/2:1	Marca 95. Polea de control de velocidad del cigüeñal		57/73

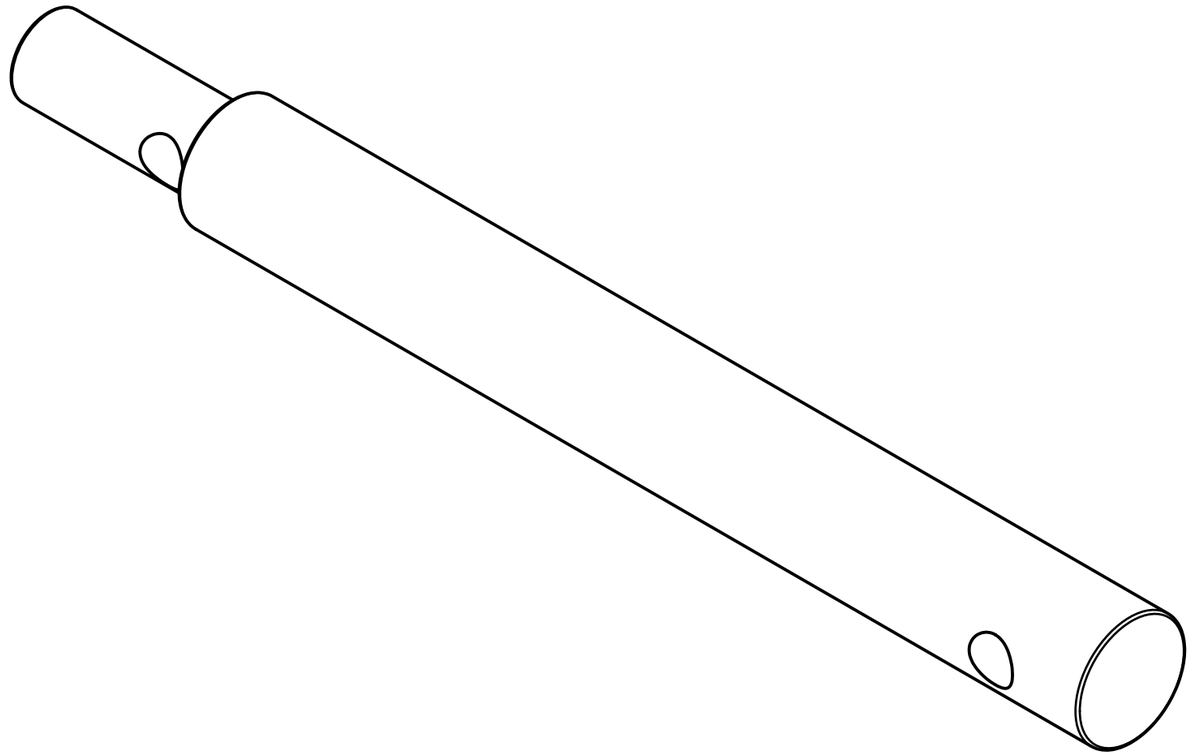


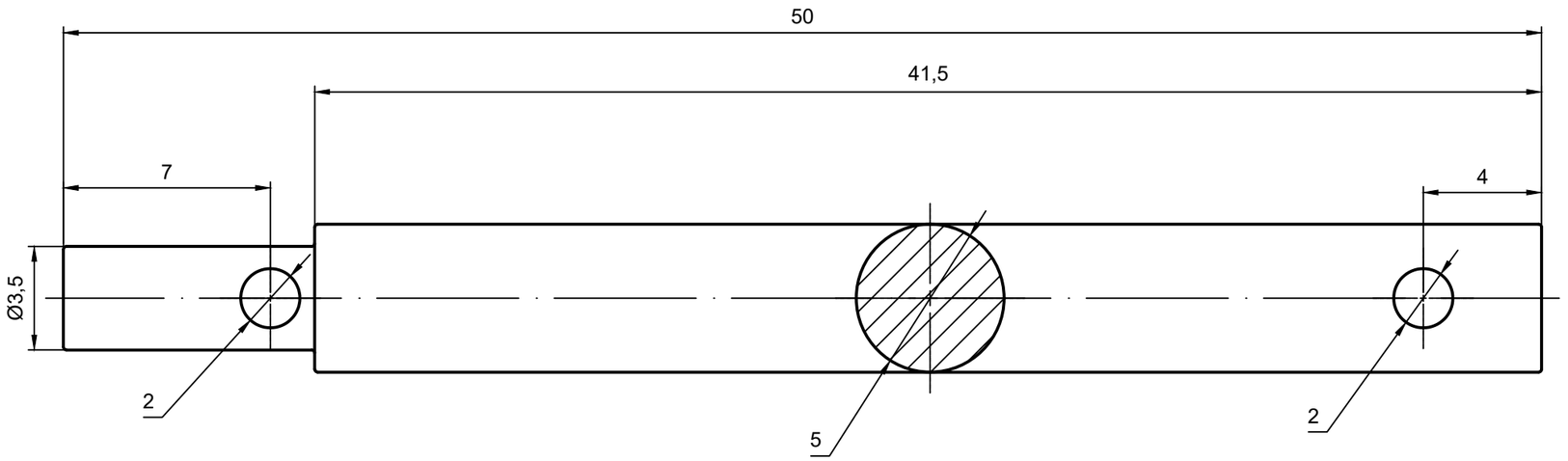




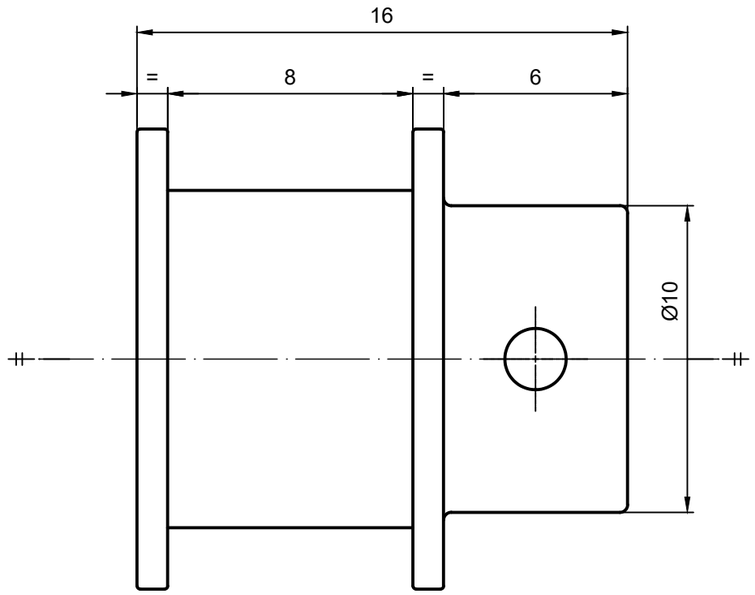


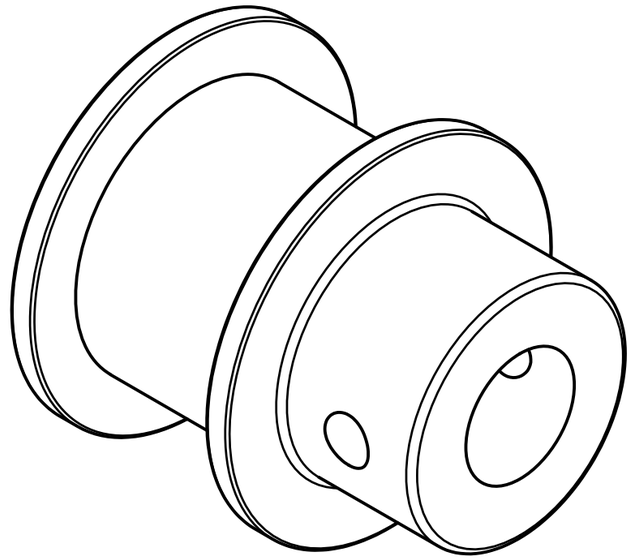
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1/20:1	Marca 34. Husillo de accionamiento del regulador 1		58/73

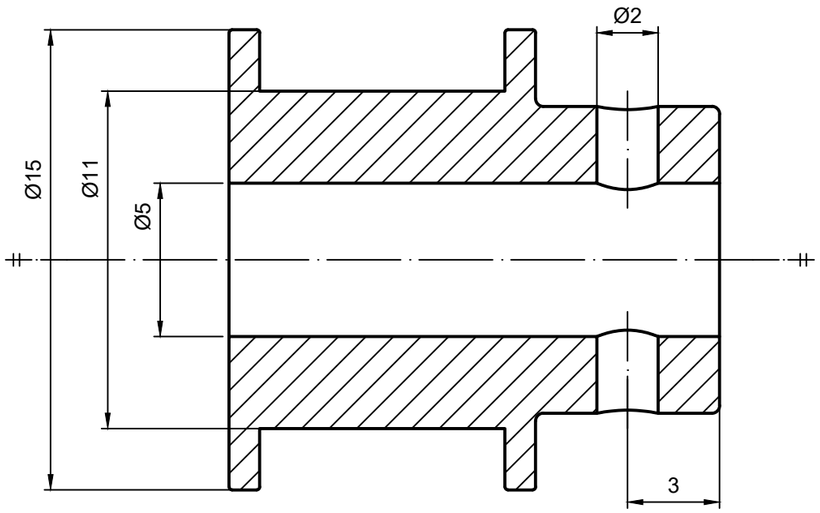




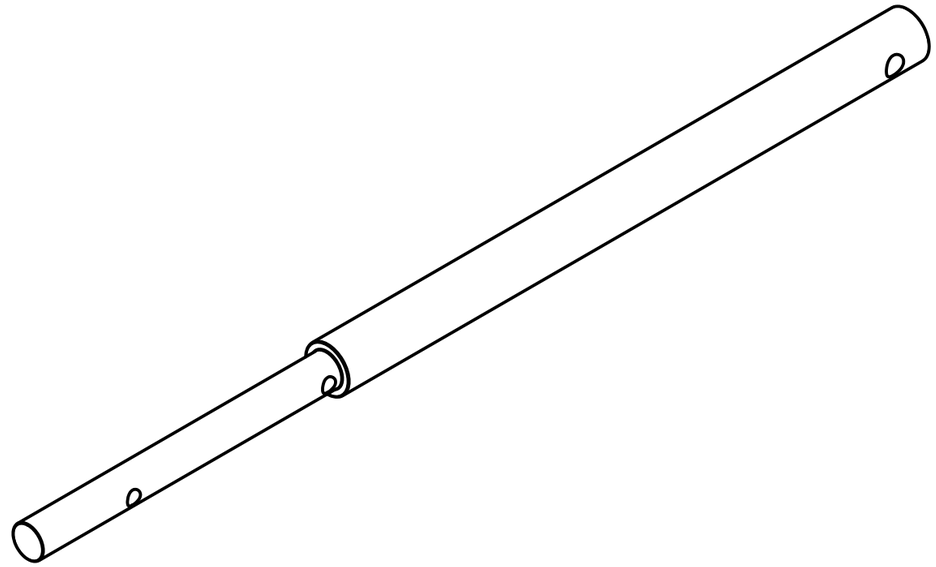
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 102. Eje de transmisión del regulador		59/73

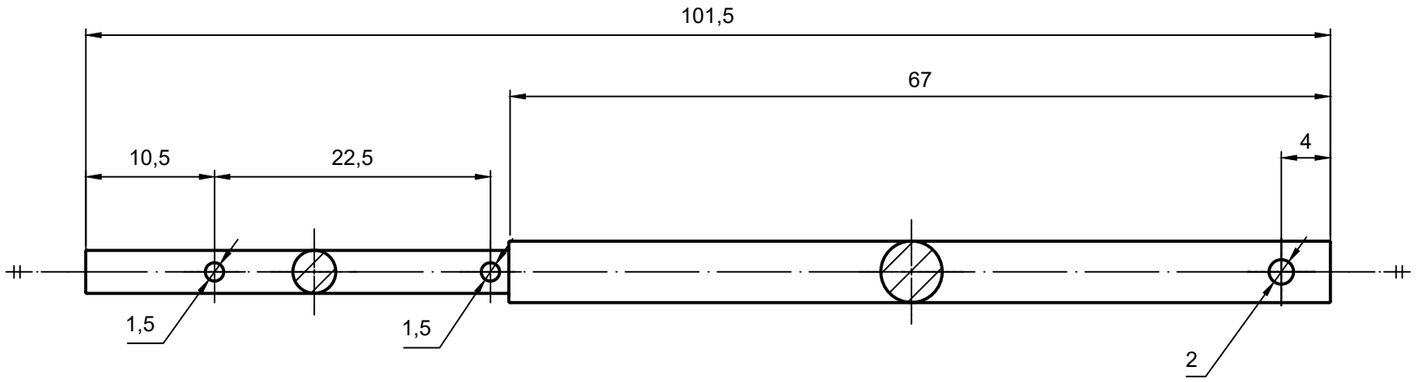




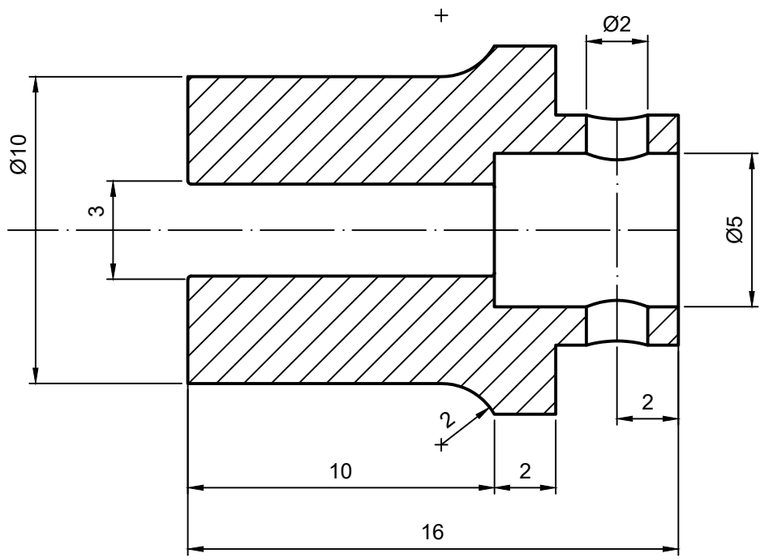


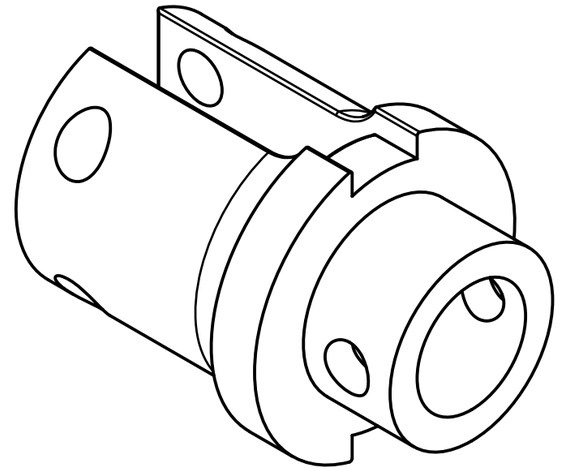
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 30. Polea del regulador		60/73

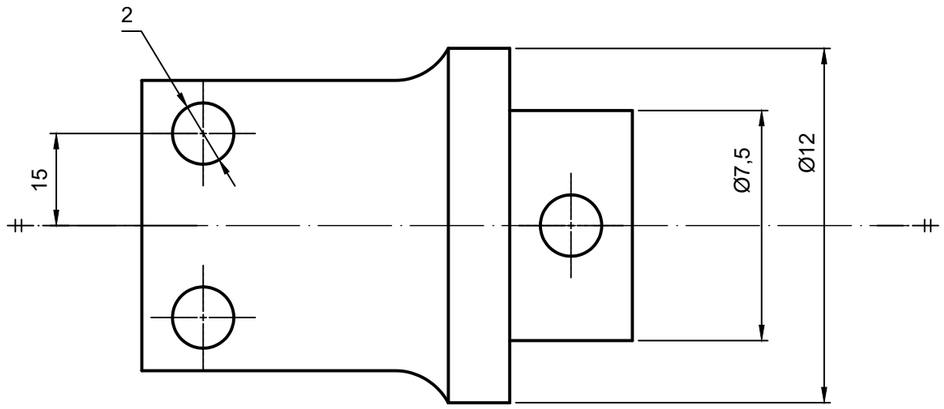




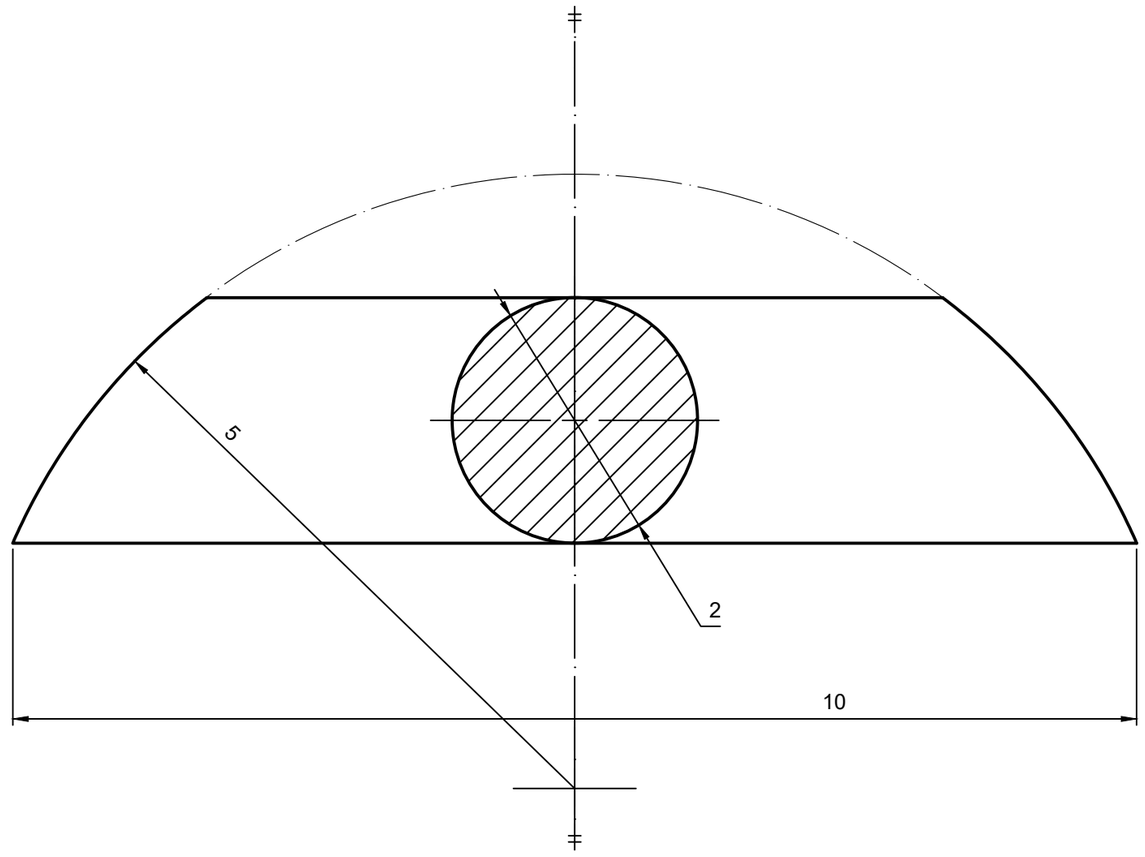
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	
Escala : 2:1	Título : Marca 105. Eje del regulador	Plano : 61/73

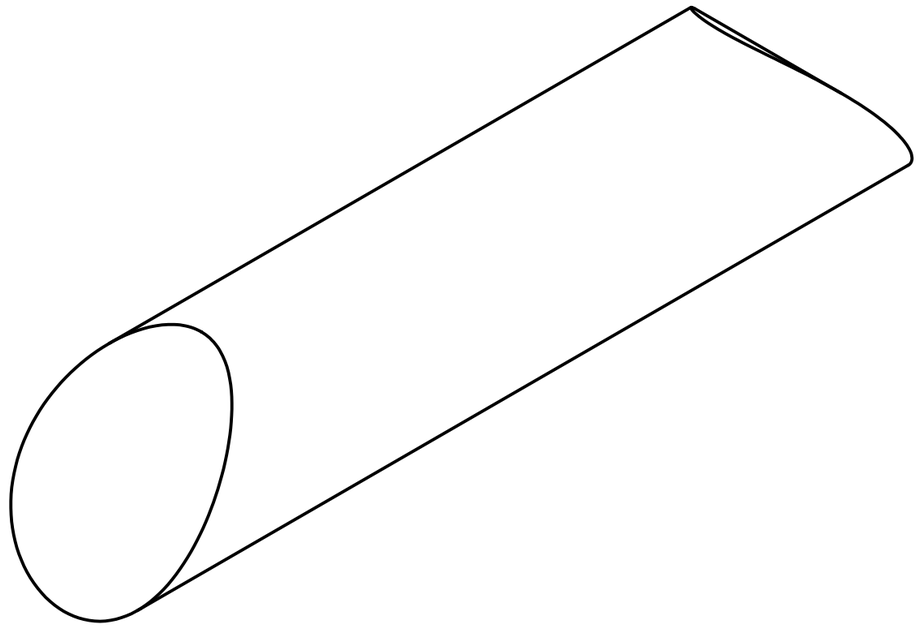




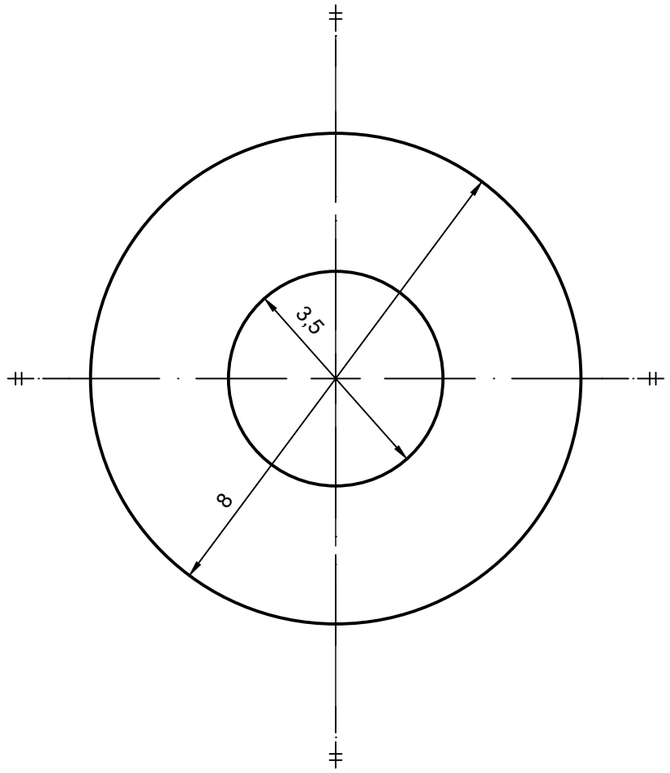


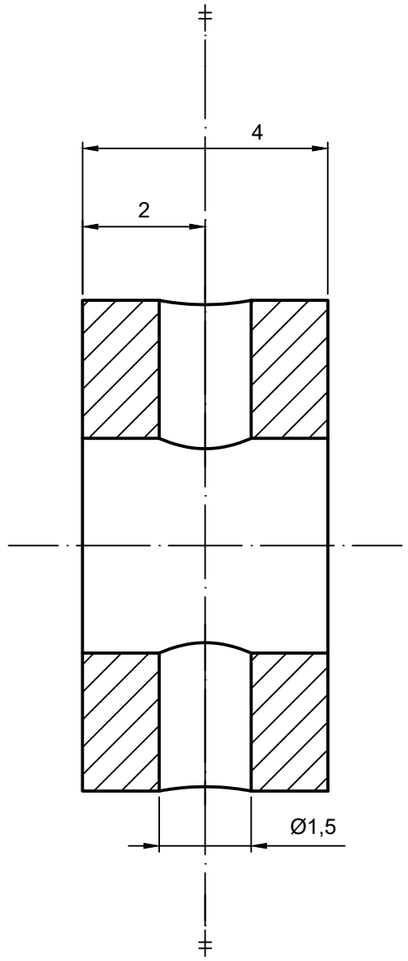
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 45. Fijador superior de brazos del regulador		62/73

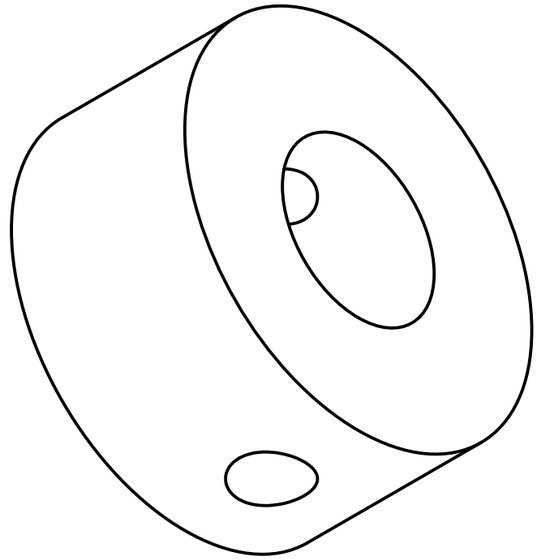




Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
10:1	Marca 98. Bulón del fijador		63/73

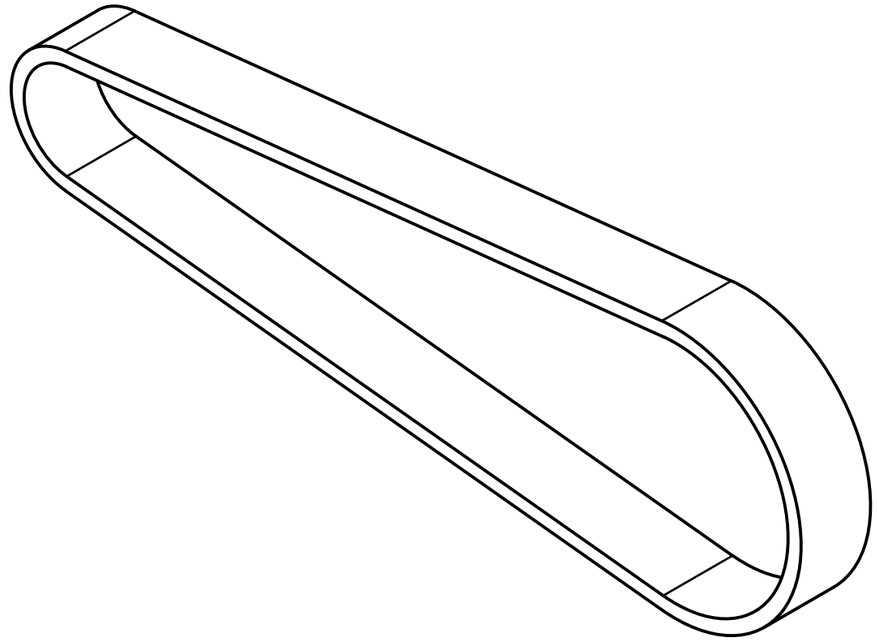


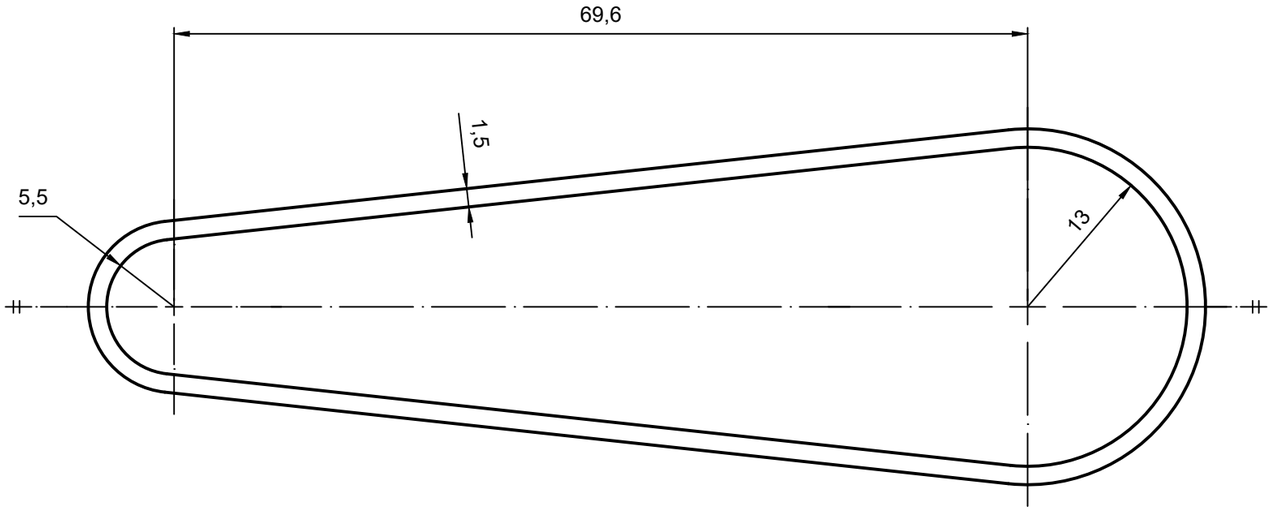




Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	

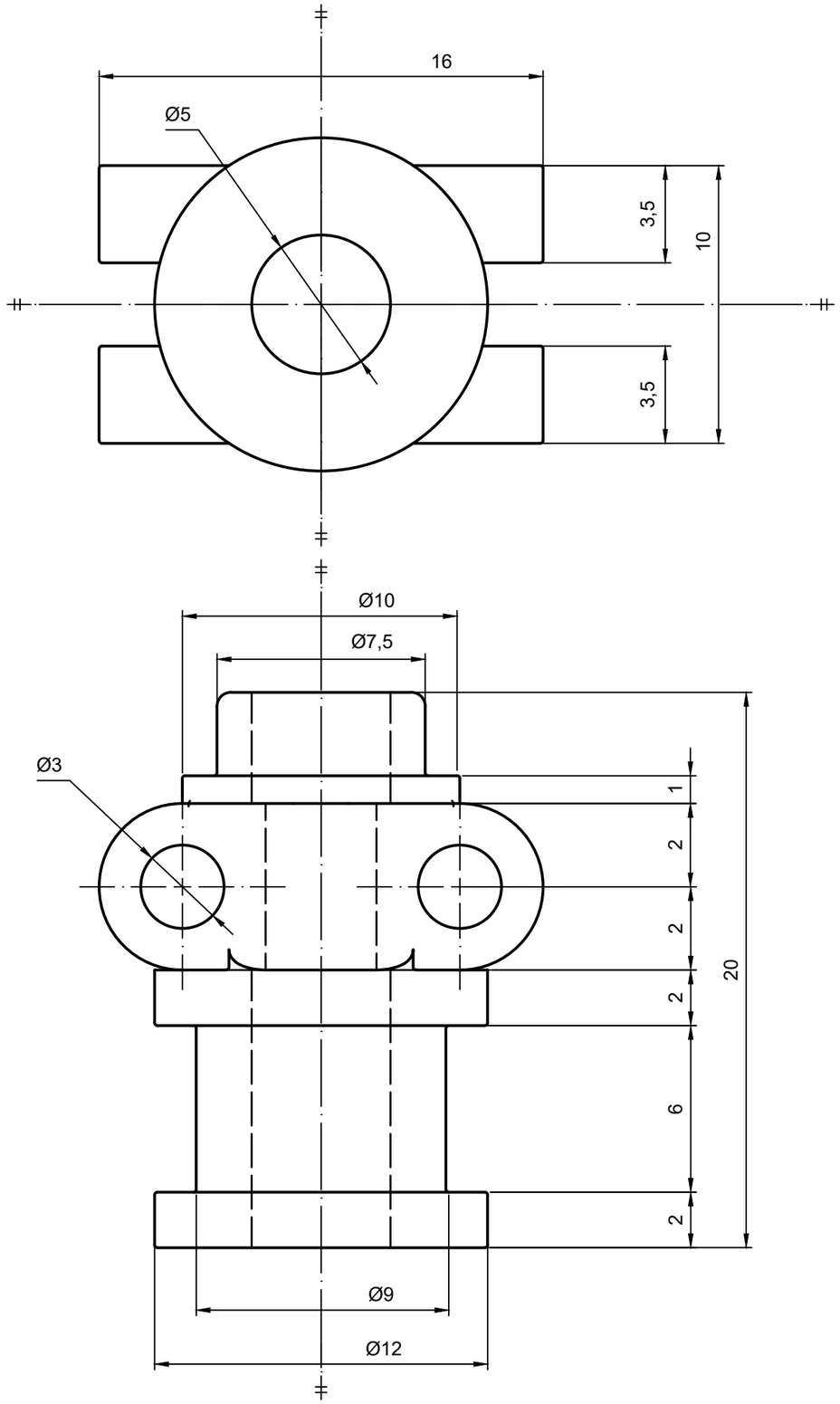
Escala :	Título :	Plano :
10:1	Marca 35. Apoyo del eje del regulador	64/73

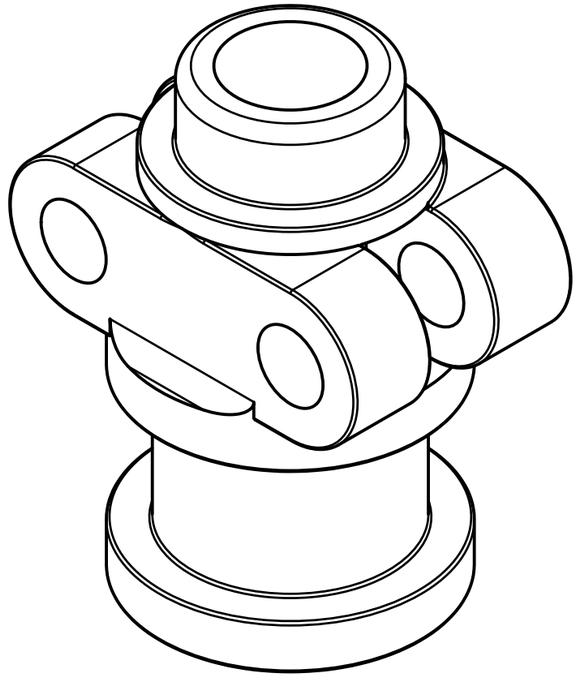




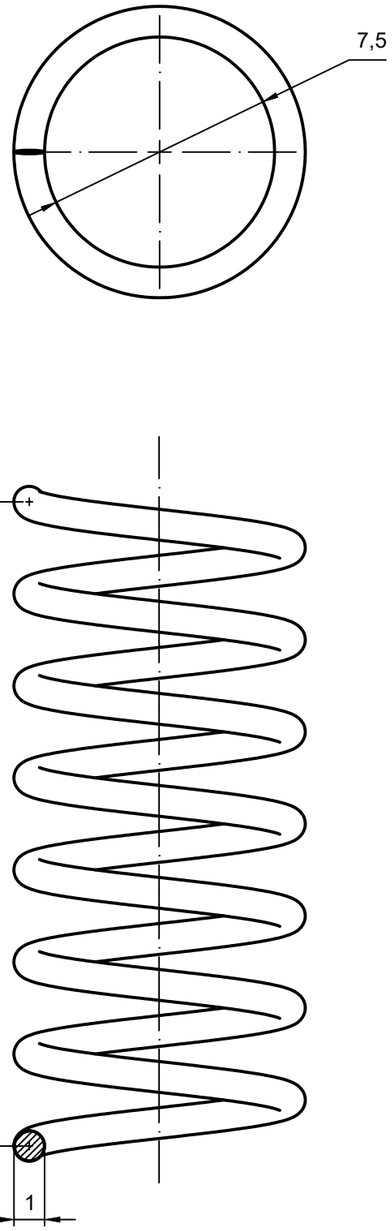
Espesor 8 mm

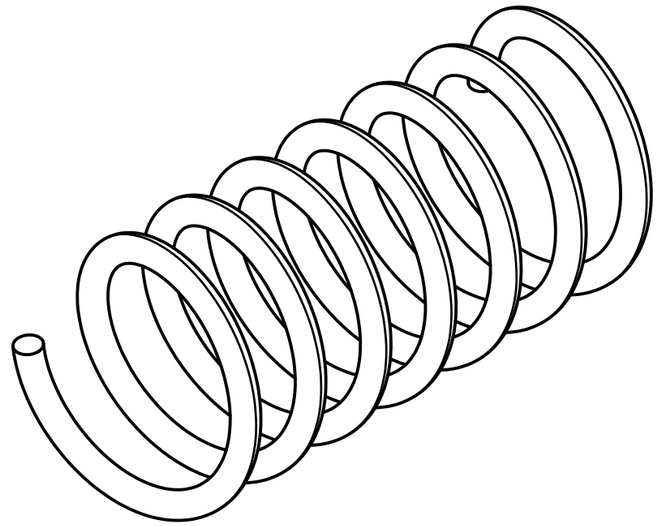
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 31. Correa de transmisión del regulador		65/73



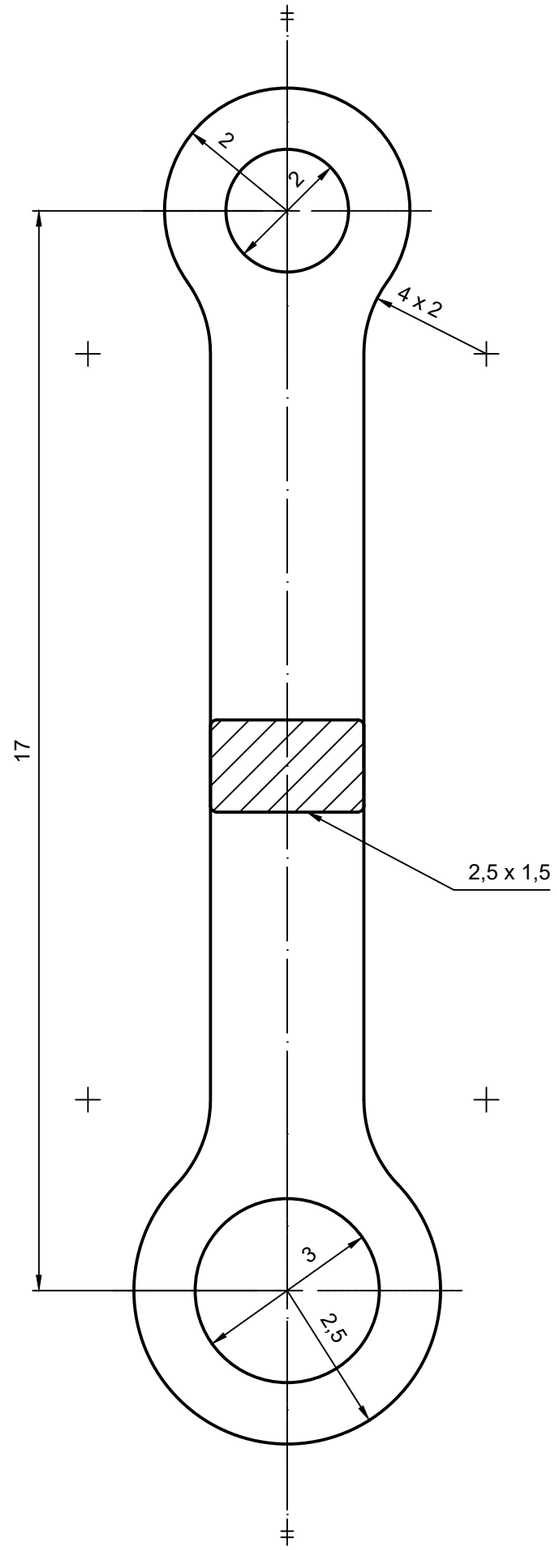


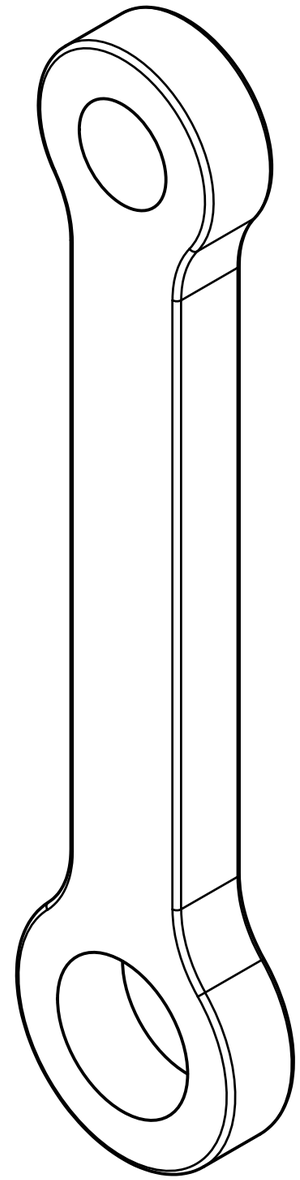
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 64. Carcasa deslizante del regulador		66/73



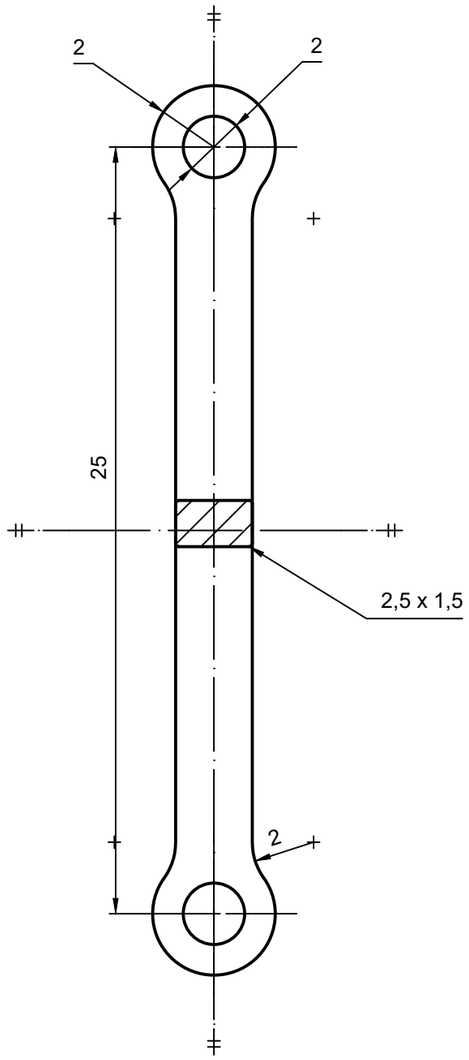


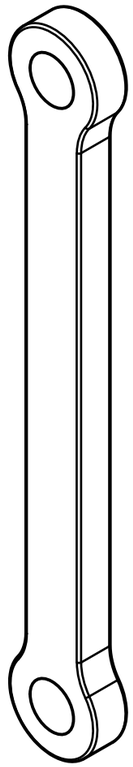
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 60. Resorte del regulador		67/73



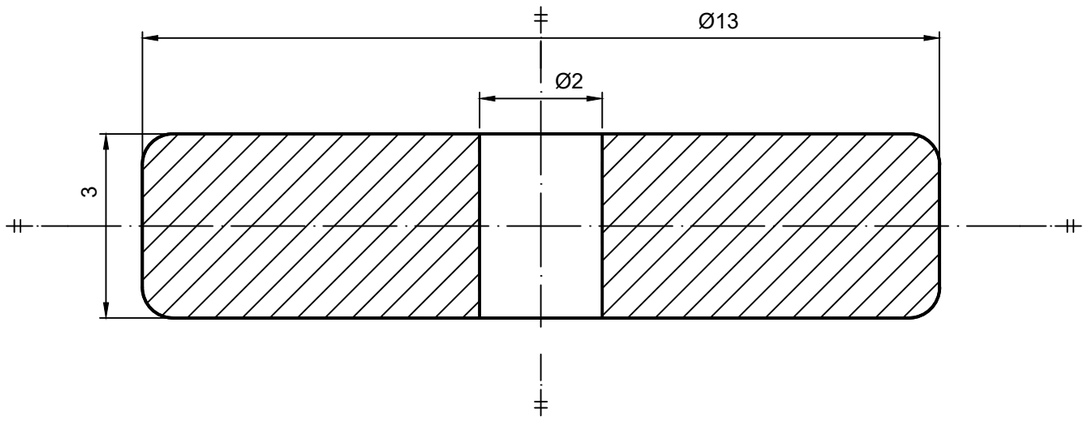


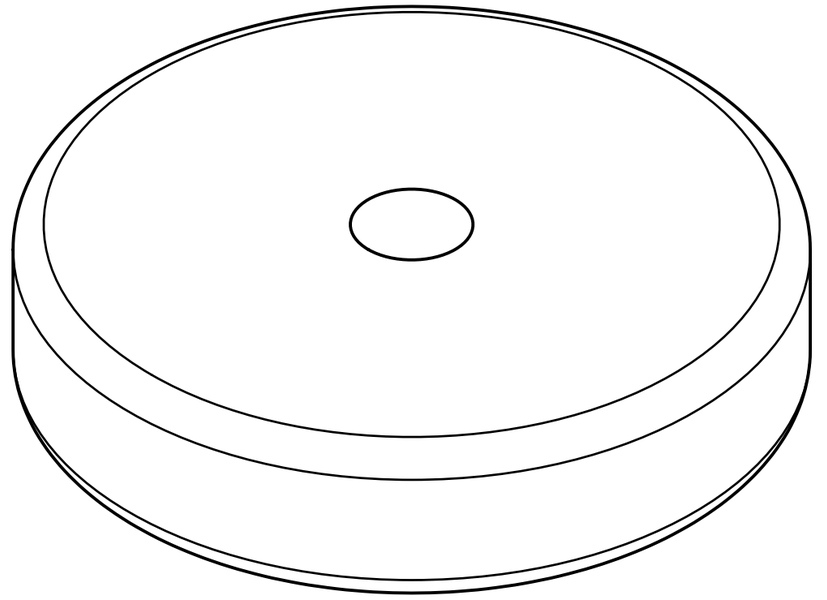
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 62. Brazo inferior		68/73



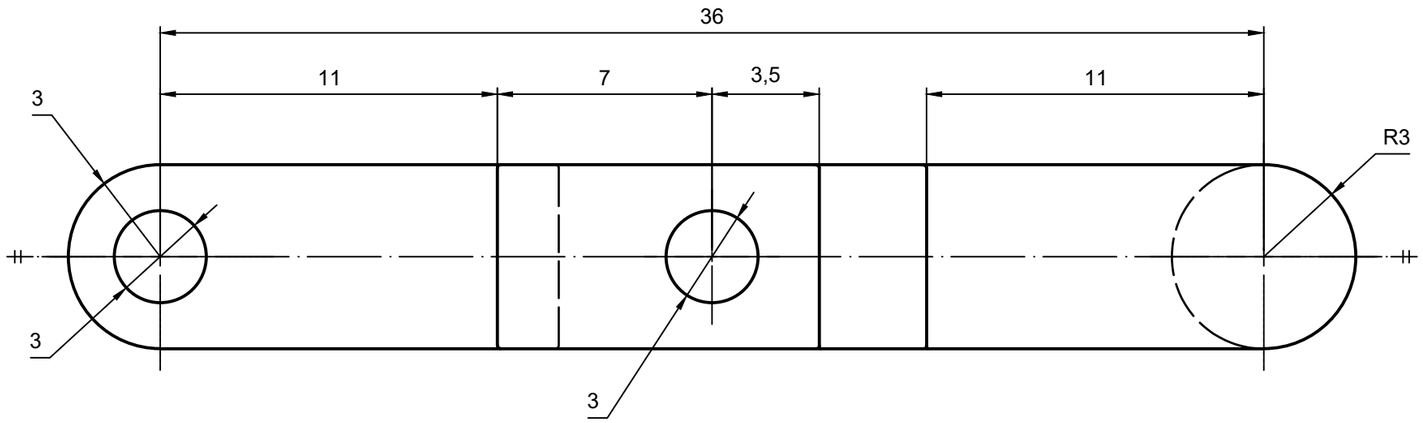


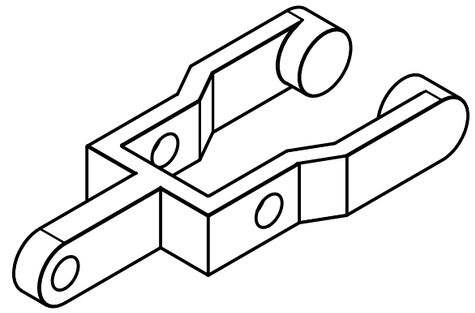
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 44. Brazo superior		69/73



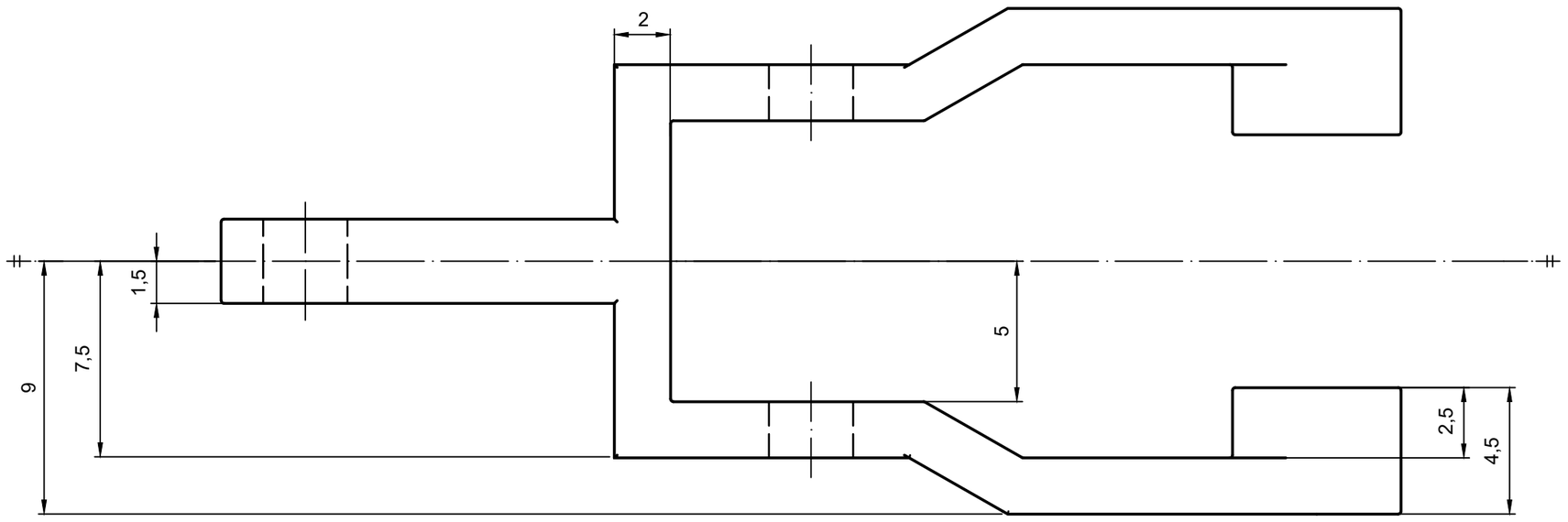


Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
10:1	Marca 61. Peso centrífugo del regulador		70/73

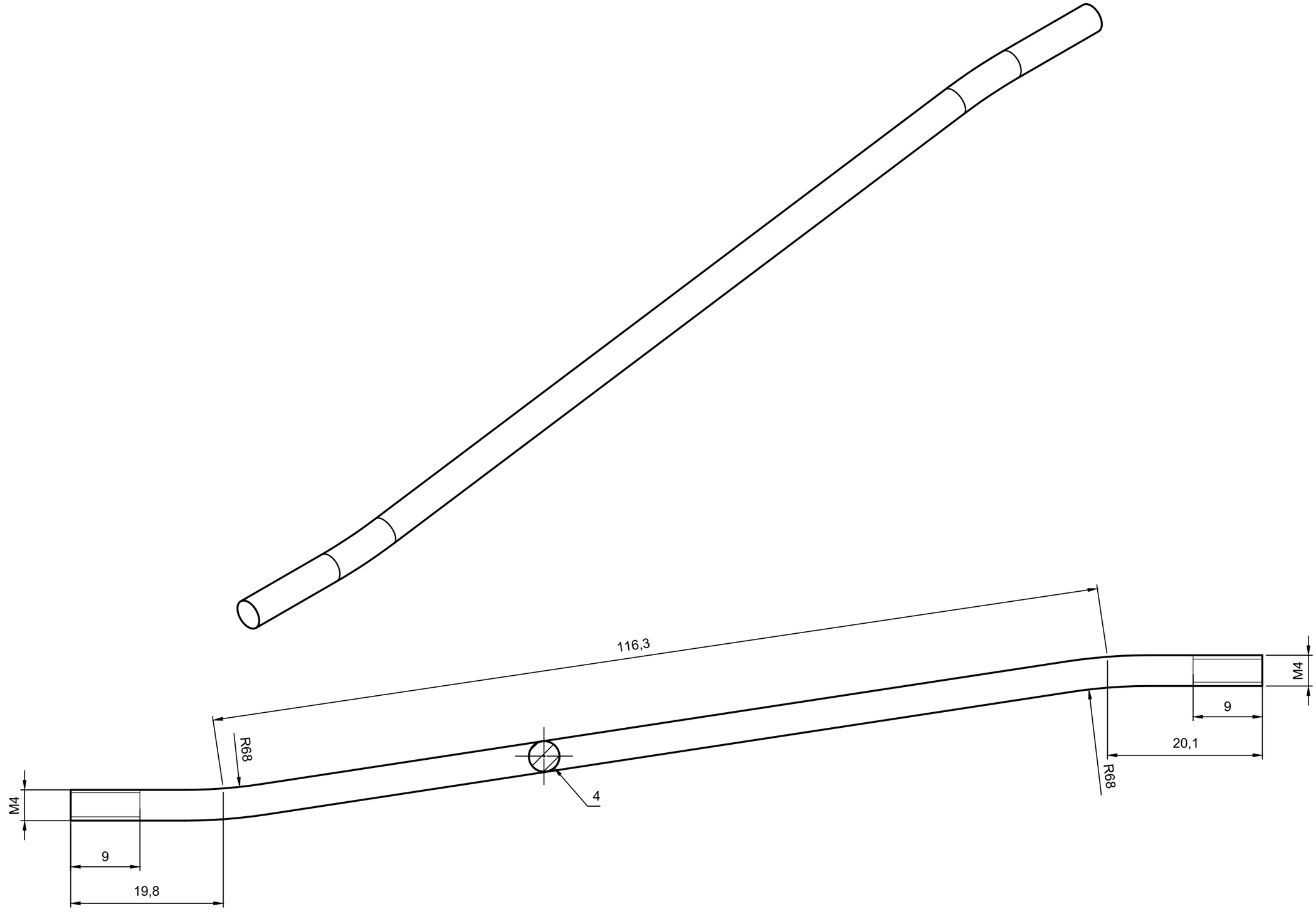




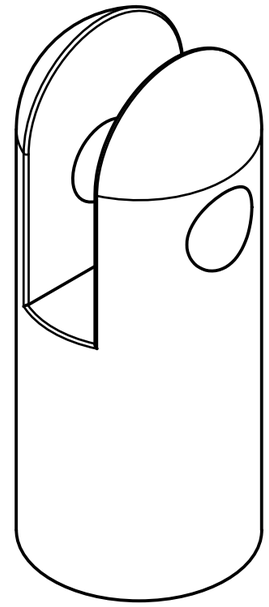
Escala 2:1

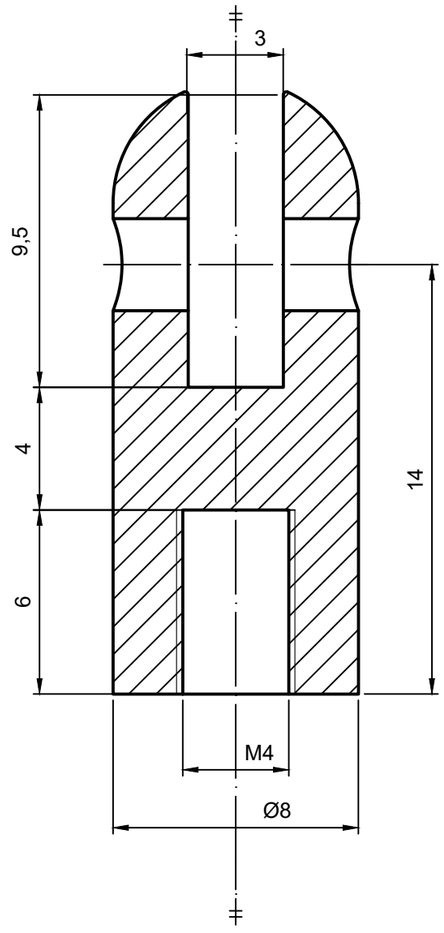


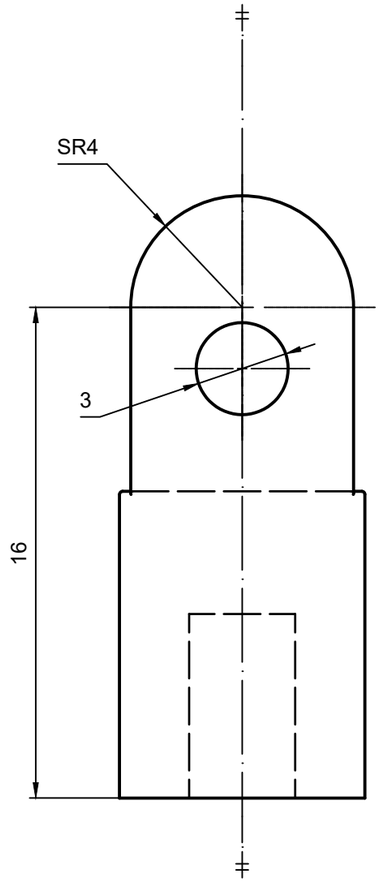
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	
Escala :	Título :	Plano :
5:1/2:1	Marca 42. Yugo y manivela del regulador	71/73



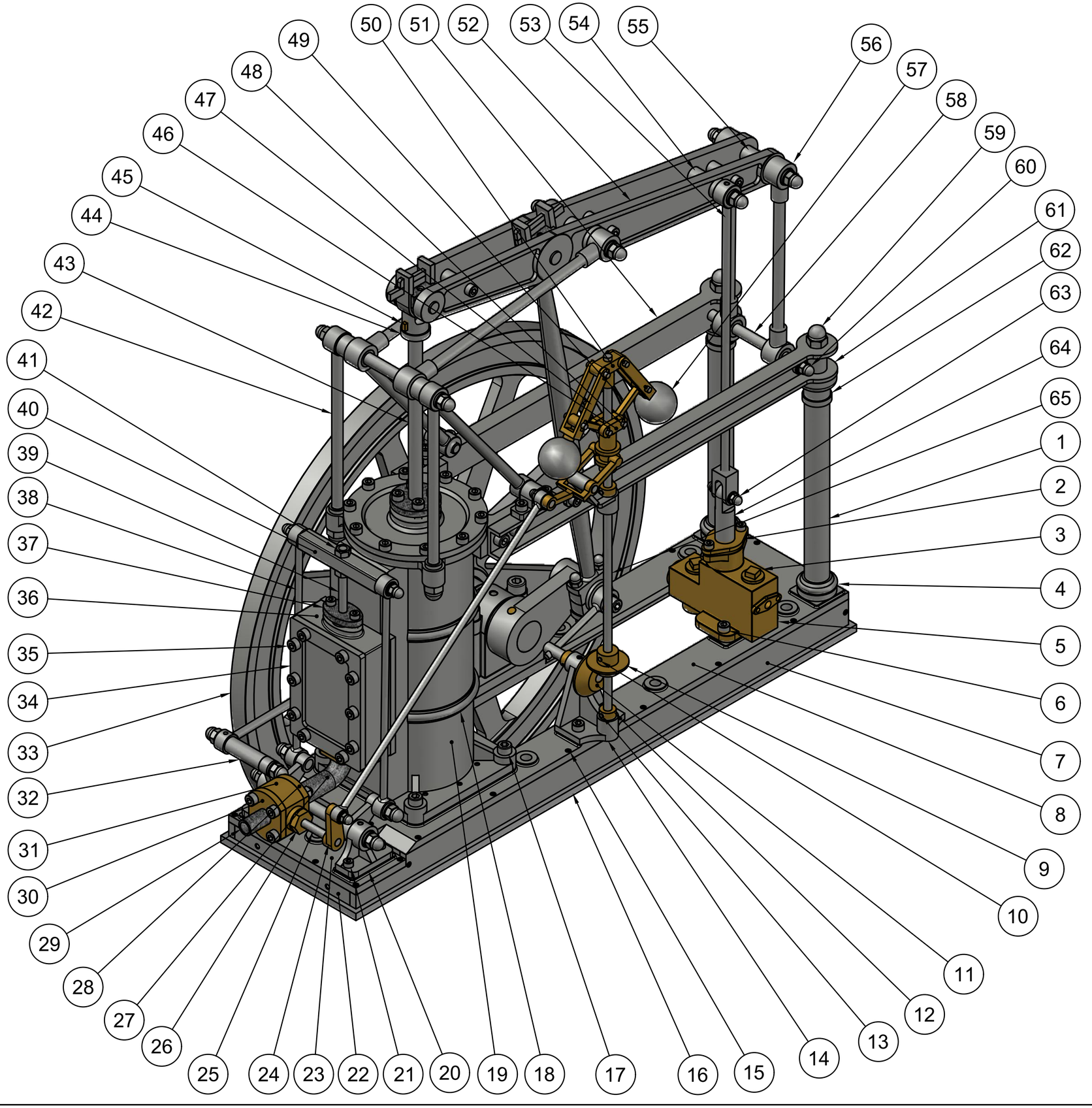
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 46. Varilla de control del regulador		72/73





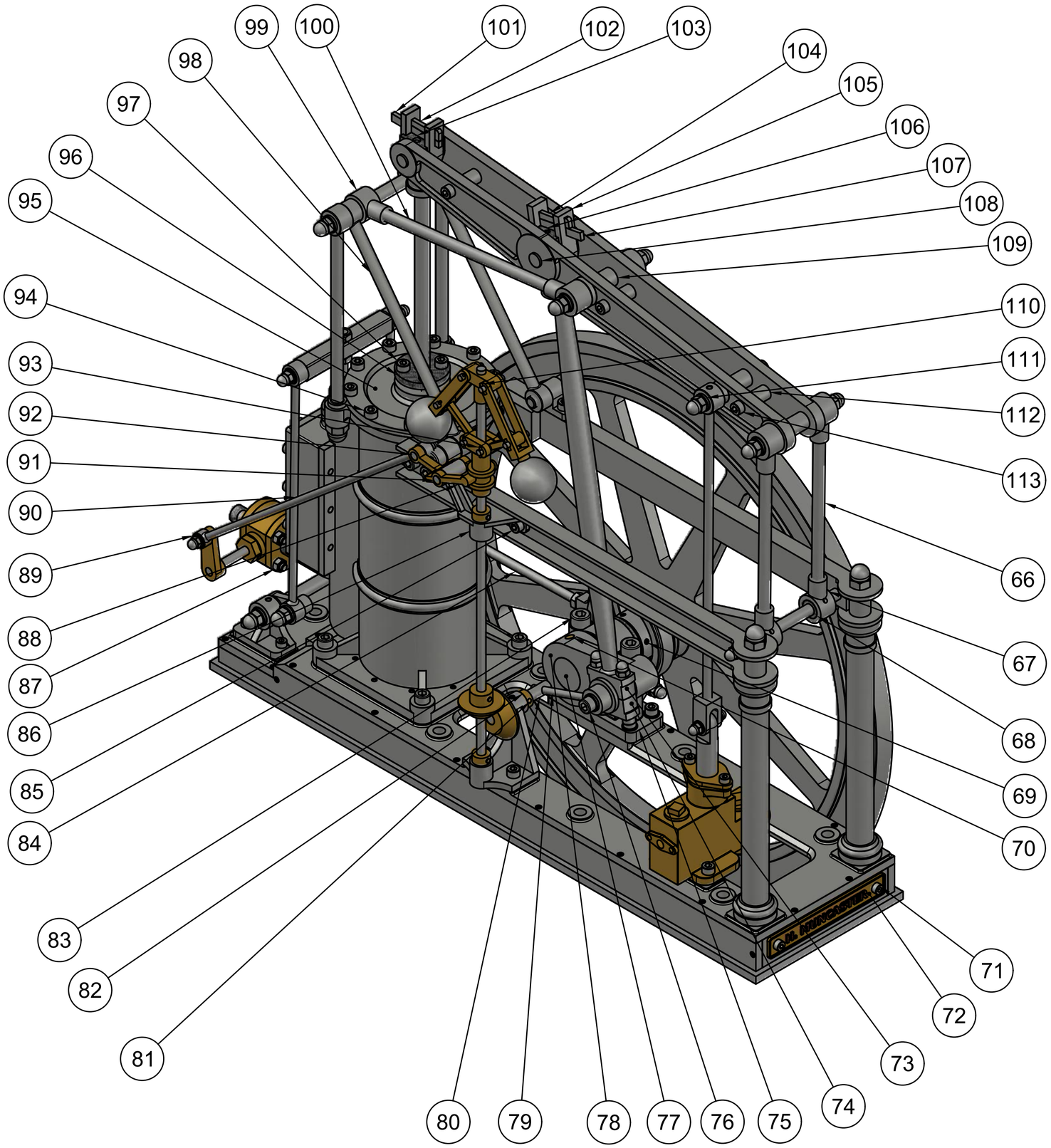


Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 50. Extremo de la varilla de control del regulador		73/73



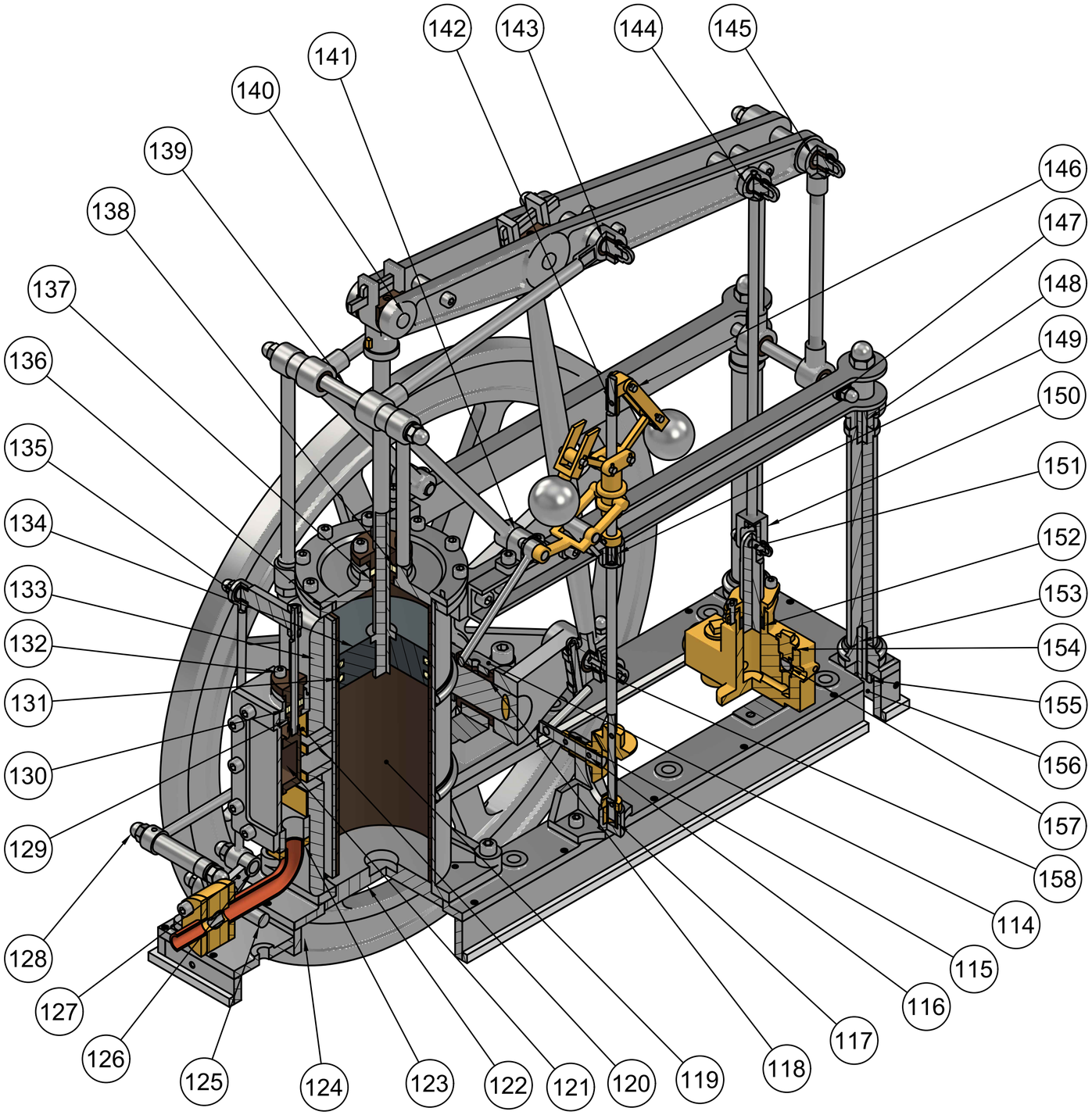
Marca	Cantidad	Denominación	Estandarización	Material
65	1	Eje del husillo vertical del regulador	-	Acero al carbono
64	1	Pistón de la bomba	-	Acero al carbono
63	4	Tuerca de tapa 4	DIN 1587 - M4	Acero inoxidable
62	2	Apoyo superior de la columna de soporte	-	Acero al carbono
61	1	Viga izquierda	-	Acero al carbono
60	8	Tuerca de tapa 3	DIN 15887 - M5	Acero inoxidable
59	4	Tuerca de tapa 1	DIN 1587 - M8	Acero inoxidable
58	1	Eje transversal del soporte trasero	-	Acero al carbono
57	2	Contrapeso del brazo superior del regulador	-	Acero al carbono
56	2	Cabeza 1 de barra estabilizadora móvil de estancia final	-	Acero al carbono
55	1	Barra transversal de acople de barras móviles de estancia extrema	-	Acero al carbono
54	1	Barra transversal de acople de la biela de la bomba	-	Acero al carbono
53	1	Biela del pistón de la bomba	-	Acero al carbono
52	2	Viga de balance o equilibrio	-	Acero al carbono
51	1	Viga derecha	-	Acero al carbono
50	1	Tope superior del husillo vertical del regulador	-	Latón
49	2	Brazo inferior del regulador	-	Latón
48	2	Bulón 9	-	Acero al carbono
47	2	Brazo superior del regulador	-	Latón
46	1	Collar deslizante del regulador	-	Latón
45	1	Pasador rectangular del pistón	-	Latón
44	1	Tapa del vástago del pistón	-	Acero al carbono
43	1	Vástago del pistón	-	Acero inoxidable
42	2	Viga superior 1	-	Acero al carbono
41	3	Tuerca 1	ISO 4032 - M6	Acero inoxidable
40	1	Barra superior de la varilla de la válvula de corredera	-	Acero al carbono
39	1	Varilla de la valvula corredera	-	Acero al carbono
38	2	Biela de la válvula de corredera	-	Acero al carbono
37	1	Casquillo de la varilla de la válvula	-	Bronce
36	1	Bloque del cofre de la válvula de corredera	-	Acero al carbono
35	16	Perno 3	ISO 4762 - M5 x 35	Acero inoxidable
34	1	Tapa del bloque del cofre de válvulas	-	Acero al carbono
33	1	Volante de inercia	-	Acero al carbono
32	1	Eje 3 del eje basculante de la varilla de válvula	-	Acero al carbono
31	1	Carcasa del regulador de vapor de entrada	-	Latón
30	1	Tapa 2 de la carcasa del regulador de vapor de entrada	-	Latón
29	1	Tubo de entrada de vapor	-	Cobre
28	1	Tapa 1 de la carcasa del regulador de vapor de entrada	-	Latón
27	1	Tubo con codo	-	Cobre
26	1	Casquillo del regulador de vapor de entrada	-	Latón
25	1	Válvula de control de suministro de vapor	-	Acero al carbono
24	1	Manivela de la válvula de control de suministro de vapor	-	Latón
23	1	Placa superior 1 de la bancada	-	Acero al carbono
22	1	Placa trasera de la bancada	-	Acero al carbono
21	20	Perno 7	ISO 4762 - M4 x 12	Acero inoxidable
20	2	Soporte del cojinete del tirante excéntrico	-	Acero al carbono
19	1	Cilindro y soporte inferior del cilindro	-	Acero al carbono
18	2	Anillos del cilindro	-	Acero al carbono
17	4	Perno 6	ISO 4762 - M6 x 25	Acero inoxidable
16	1	Marco fijador de partes de la bancada	-	Acero al carbono
15	27	Perno de cabeza perdida 1	ISO 4028 - M3 x 10	Acero inoxidable
14	1	Soporte del cojinete del engranaje del regulador	-	Acero al carbono
13	2	Bulón 7	-	Acero al carbono
12	2	Tope del husillo vertical del regulador	-	Latón
11	1	Engranaje impulsado por el regulador	-	Latón
10	1	Bulón 8	-	Acero al carbono
9	1	Engranaje del husillo vertical del regulador	-	Latón
8	1	Placa superior 2 de la bancada	-	Acero al carbono
7	2	Lateral de bancada	-	Acero al carbono
6	8	Perno 11	ISO 4762 - M5 x 16	Acero inoxidable
5	1	Carcasa de la bomba	-	Latón
4	2	Apoyo inferior de la columna de soporte	-	Acero al carbono
3	2	Tornillo de retención de la válvula	-	Latón
2	1	Casquillo del pistón de la bomba	-	Latón
1	2	Columna de soporte	-	Acero al carbono

Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	
Escala : 1:2	Título : Perspectiva axonométrica del conjunto (marcas 1 a 65)	Plano : 01/116



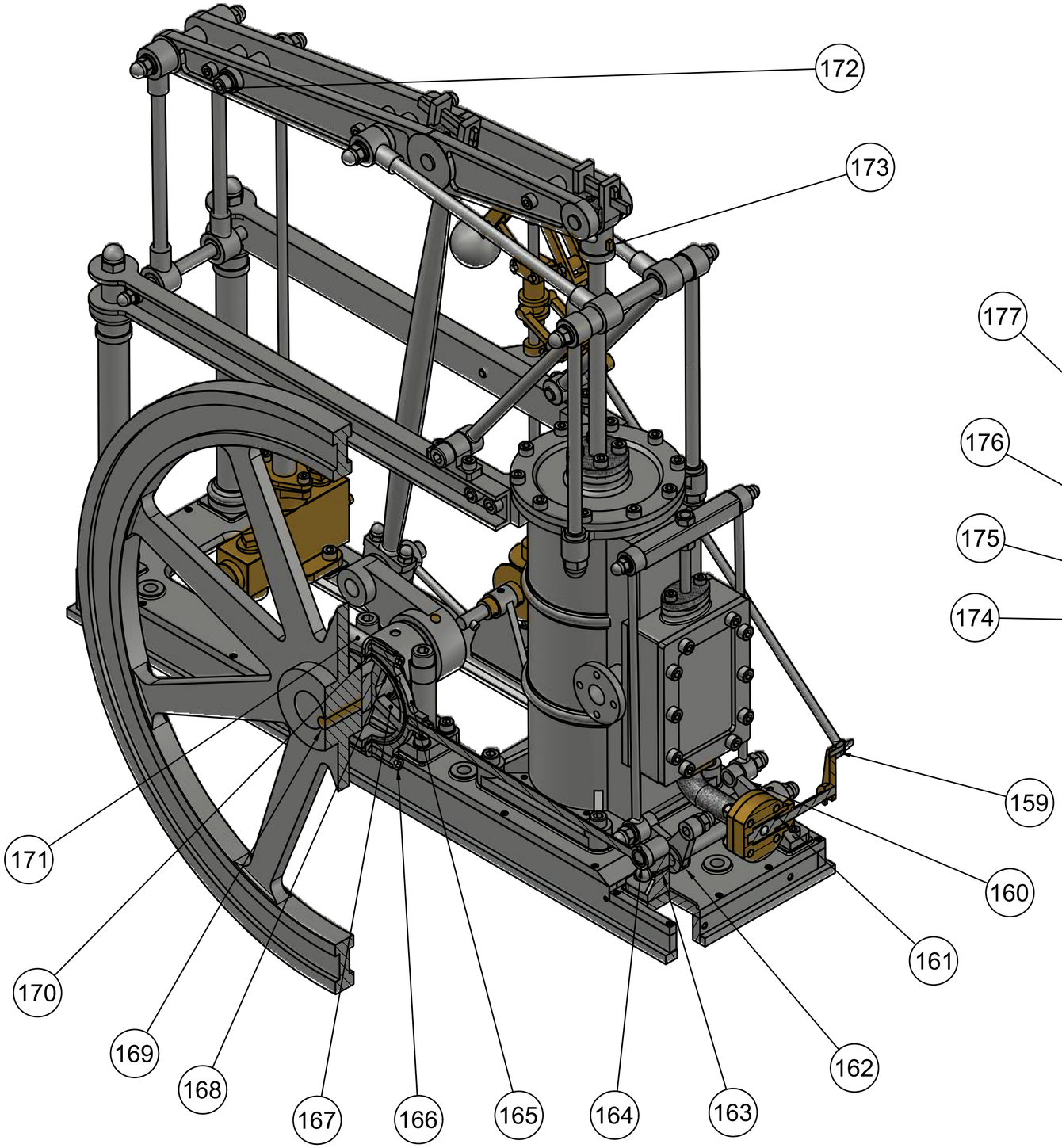
113	10	Perno 9	ISO 4762 - M5 x 10	Acero inoxidable
112	3	Barra transversal de unión de barras de balance	-	Acero al carbono
111	15	Arandela 1	ISO 7089 - 6	Acero inoxidable
110	8	Pasador del bulón 10	-	Latón
109	1	Barra transversal de acople de barra de equilibrio móvil de media estancia	-	Acero al carbono
108	1	Barra transversal de acople de biela	-	Acero al carbono
107	1	Pasador 2 de ajuste a presión del cojinete de tapa de biela	-	Acero al carbono
106	1	Cojinete de la tapa de biela	-	Bronce
105	1	Tapa de biela	-	Acero al carbono
104	1	Pasador 1 de ajuste a presión del cojinete de tapa de biela	-	Acero al carbono
103	1	Cojinete de la tapa del vástago del pistón	-	Bronce
102	1	Pasador 1 de ajuste a presión del cojinete	-	Acero al carbono
101	1	Pasador 2 de ajuste a presión del cojinete	-	Acero al carbono
100	2	Barra estabilizadora móvil de media estancia	-	Acero al carbono
99	4	Cabeza de barra estabilizadora móvil de media estancia	-	Acero al carbono
98	2	Viga superior fija 2	-	Acero al carbono
97	4	Perno 5	ISO 4762 - M5 x 20	Acero inoxidable
96	1	Casquillo del vástago del pistón	-	Bronce
95	1	Tapa superior del cilindro	-	Acero al carbono
94	10	Perno 4	ISO 4762 - M5 x 12	Acero inoxidable
93	4	Pasador del bulón 9	-	Latón
92	1	Bulón roscado 1	-	Acero al carbono
91	1	Bulón 11	-	Acero al carbono
90	1	Biela de la válvula de control de suministro de vapor	-	Acero al carbono
89	3	Arandela 2	ISO 7089 - 4	Acero inoxidable
88	1	Yugo de control del regulador	-	Latón
87	4	Tuerca 2	ISO 4032 - M5	Acero inoxidable
86	1	Soporte del cojinete superior del regulador	-	Acero al carbono
85	2	Perno 13	ISO 4762 - M5 x 8	Acero inoxidable
84	1	Biela de la correa excéntrica	-	Acero al carbono
83	4	Perno 10	ISO 4762 - M8 x 25	Acero inoxidable
82	1	Tope del eje impulsador por el regulador	-	Latón
81	1	Bulón 4	-	Acero al carbono
80	1	Eje impulsado por el regulador	-	Acero al carbono
79	1	Manivela del regulador	-	Acero al carbono
78	1	Biela	-	Acero al carbono
77	1	Eje del cigüeñal	-	Acero al carbono
76	5	Perno 8	ISO 4762 - M6 x 12	Acero inoxidable
75	1	Parte inferior del soporte del cojinete del cigüeñal	-	Acero al carbono
74	1	Cabeza de biela	-	Acero al carbono
73	1	Cuerpo de biela	-	Acero al carbono
72	1	Placa del nombre	-	Latón
71	2	Perno 1	ISO 4762 - M4 x 6	Acero inoxidable
70	1	Bulón 3	-	Latón
69	4	Tornillo de cabeza perdida 3	ISO 4027 - M4 x 8	Acero inoxidable
68	2	Cojinete de la cabeza 2 de la bara estabilizadora móvil de fin de estancia	-	Bronce
67	2	Cabeza 2 de la viga de balance de fin de estancia	-	Acero al carbono
66	2	Viga de balance de fin de estancia	-	Acero al carbono
Marca	Cantidad	Denominación	¡Estandarización	Material

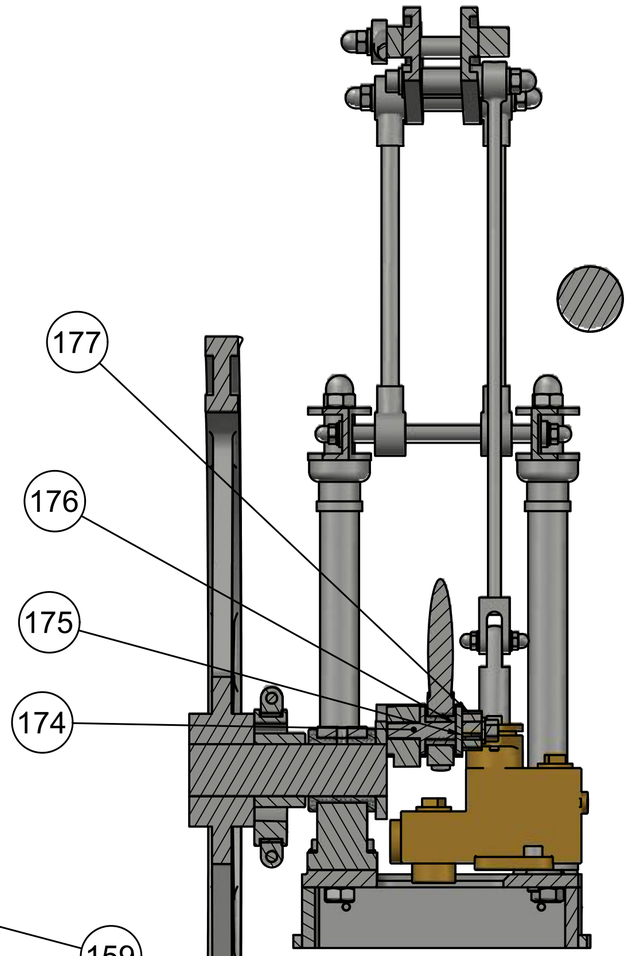
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala : 1:2	Título : Perspectiva axonométrica del conjunto (marcas 66 a 113)		Plano : 02/116



158	1	Cojinete y/o casquillo de biela	-	Bronce
157	2	Válvula de bola de la bomba	-	Acero inoxidable
156	1	Placa transversal 2 de la bancada	-	Acero al carbono
155	2	Tuerca 3	ISO 4032 - M8	Acero inoxidable
154	2	Sello 1	-	Caucho
153	1	Eje roscado inferior de la columna de soporte	-	Acero al carbono
152	1	Sello 2	-	Caucho
151	1	Pasador del pistón de la bomba	-	Acero al carbono
150	1	Cabeza de biela del pistón de la bomba	-	Acero al carbono
149	1	Cojinete superior del regulador	-	Latón
148	1	Eje roscado superior de columna de soporte	-	Acero al carbono
147	4	Arandela 3	ISO 7089 - 5	Acero inoxidable
146	4	Bulón 10	-	Acero al carbono
145	2	Cojinete de la cabeza 1 de la barra estabilizadora móvil de fin de estancia	-	Bronce
144	1	Cojinete de la biela del pistón de la bomba	-	Bronce
143	4	Cojinete de la barra estabilizadora móvil de media estancia	-	Bronce
142	1	Bulón 6	-	Acero al carbono
141	2	Bloque de montaje de la viga fija superior 2	-	Acero al carbono
140	1	Barra transversal de acople del pistón	-	Acero al carbono
139	1	Eje transversal superior 1	-	Acero al carbono
138	1	Sello del vástago del pistón	-	Nylon
137	1	Cojinete de fricción del vástago del pistón	-	Bronce
136	1	Soporte superior del cilindro	-	Acero al carbono
135	4	Cojinete y/o casquillo de la biela de la válvula de corredera	-	Bronce
134	1	Émbolo del pistón	-	Bronce
133	1	Bloque de puerto del cilindro	-	Acero al carbono
132	2	Perno 2	ISO 4762 - M4 x 16	Acero inoxidable
131	2	Segmento del pistón	-	Nylon
130	1	Sello del cofre de válvulas	-	Nylon
129	1	Cojinete de fricción del cofre de válvulas	-	Bronce
128	13	Tuerca de tapa 2	DIN 1587 - M6	Acero inoxidable
127	1	Balancín 1 de la varilla de válvula	-	Acero al carbono
126	1	Eje 2 del eje basculante de la varilla de válvula	-	Acero al carbono
125	1	Eje 1 del eje basculante de la varilla de válvula	-	Acero al carbono
124	1	Placa transversal de la bancada	-	Acero al carbono
123	1	Placa de unión de la carcasa del regulador del vapor de entrada al cofre de válvulas	-	Latón
122	1	Base del cilindro	-	Acero al carbono
121	1	Válvula corredera	-	Bronce
120	1	Placa de deslizamiento de la válvula de corredera	-	Latón
119	1	Camisa del cilindro	-	Bronce
118	1	Cojinete del cigüeñal	-	Bronce
117	1	Cojinete 2 del soporte del engranaje del regulador	-	Latón
116	1	Bulón 5	-	Acero al carbono
115	1	Cojinete 1 del soporte del engranaje del regulador	-	Latón
114	1	Parte superior del soporte del cojinete del cigüeñal	-	Acero al carbono
Marca	Cantidad	Denominación	Estandarización	Material

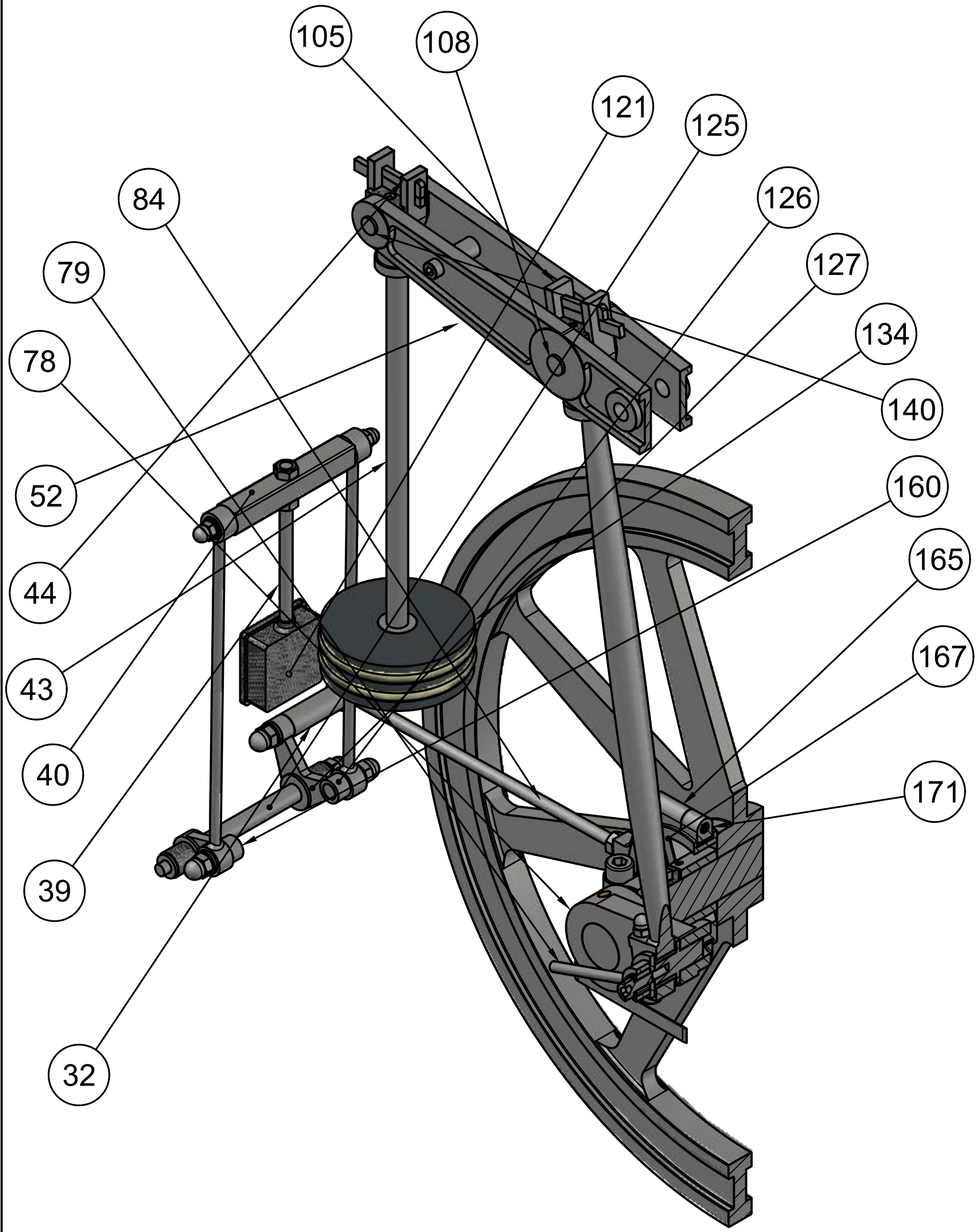
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Enero de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:2	Perspectiva axonométrica del conjunto (marcas 114 a 158)		03/116

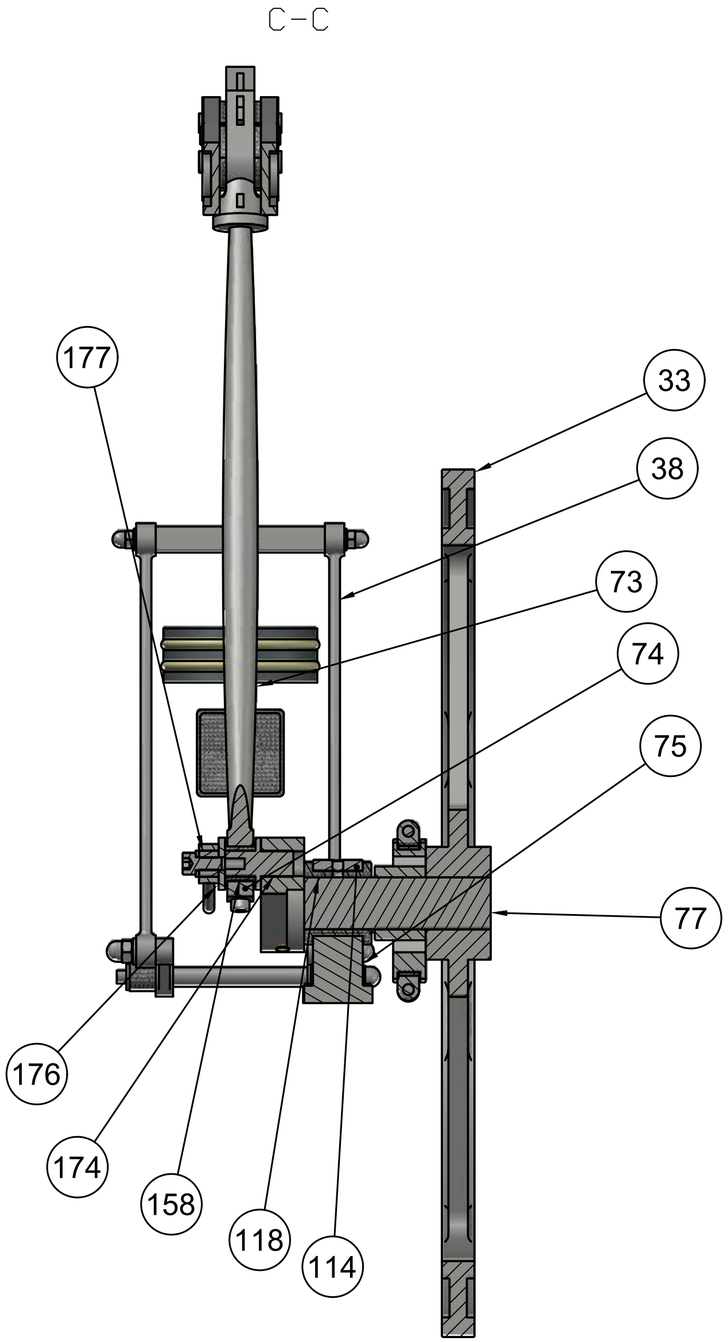


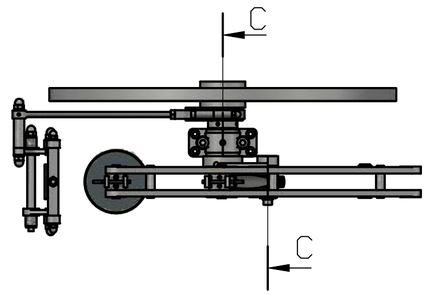


177	1	Conector biela-manivela del regulador	-	Acero al carbono
176	1	Tope del codo de biela	-	Acero al carbono
175	1	Bulón 2	-	Latón
174	1	Codo de biela	-	Acero al carbono
173	1	Pasador rectangular del vástago del pistón 2	-	Acero al carbono
172	1	Perno 14	ISO 4762 - M6 x 16	Acero inoxidable
171	1	Parte inferior de la cabeza de la correa excéntrica	-	Acero al carbono
170	1	Casquillo de la correa excéntrica (Parte inferior)	-	Bronce
169	1	Bulón 1	-	Latón
168	1	Casquillo de la correa excéntrica (Parte superior)	-	Bronce
167	1	Roldana excéntrica	-	Acero al carbono
166	2	Perno 12	ISO 4762 - M5 x 50	Acero inoxidable
165	1	Parte superior de la cabeza de la correa excéntrica	-	Acero al carbono
164	1	Cojinete de la cabeza de biela de la correa excéntrica	-	Bronce
163	2	Cojinete del tirante excéntrico	-	Bronce
162	2	Perno de cabeza perdida 2	ISO 4027 - M3 x 12	Acero inoxidable
161	1	Sello de la carcasa	-	Caucho
160	1	Balancín 2 de la varilla de válvula	-	Acero al carbono
159	1	Bulón roscado 2	-	Acero al carbono
Marca	Cantidad	Denominación	Estandarización	Material

Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:2	Perspectiva axonométrica del conjunto y sección parcial (marcas 159 a 177)		04/116



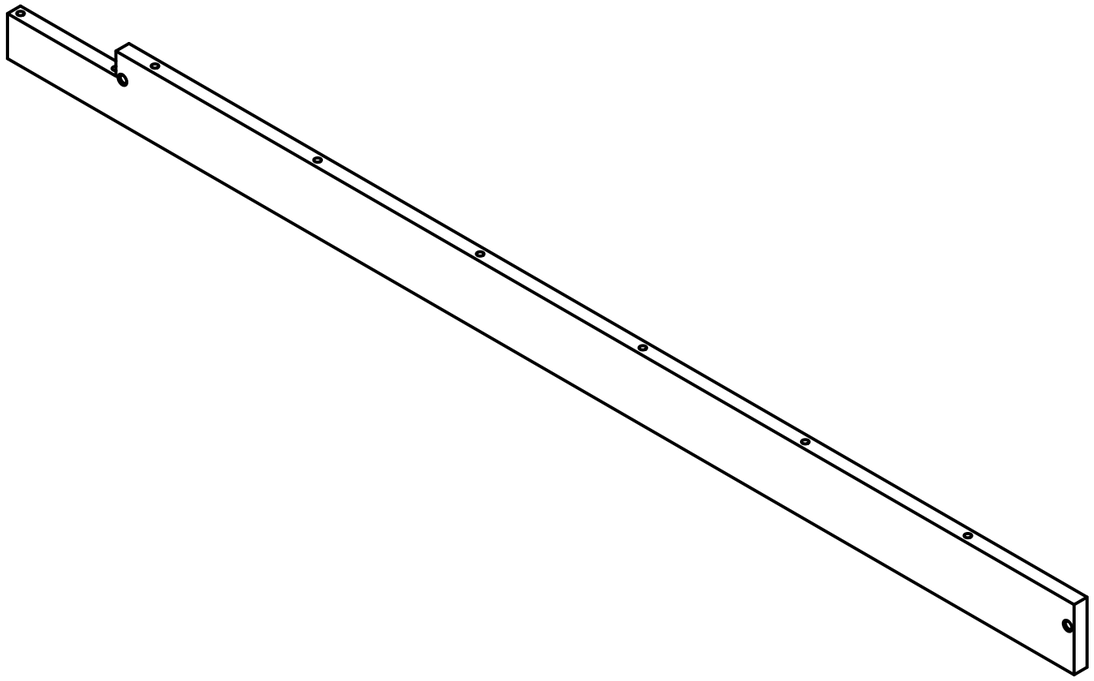


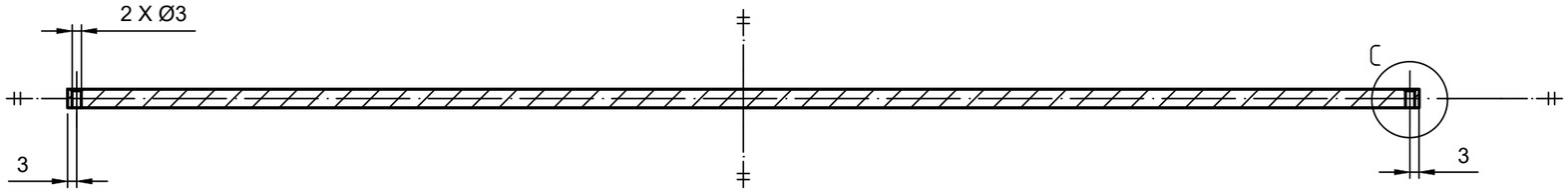


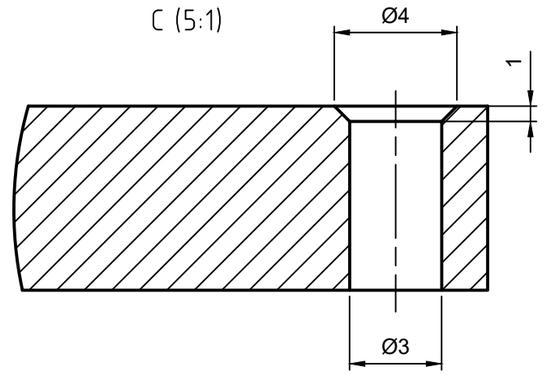
Scale 1:5

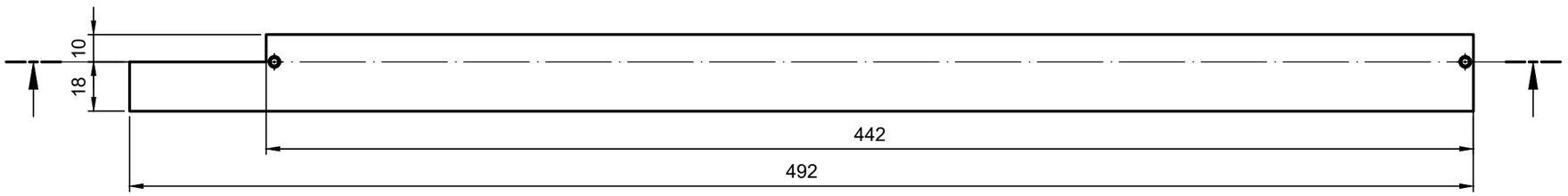
177	1	Conector biela-manivela del regulador	-	Acero al carbono
176	1	Tope del codo de biela	-	Acero al carbono
174	1	Codo de biela	-	Acero al carbono
171	1	Parte inferior de la cabeza de la correa excéntrica	-	Acero al carbono
167	1	Roldana excéntrica	-	Acero al carbono
165	1	Parte superior de la cabeza de la correa excéntrica	-	Acero al carbono
160	1	Balancín 2 de la varilla de válvula	-	Acero al carbono
158	1	Cojinete y/o casquillo de biela	-	Bronce
140	1	Barra transversal de acople del pistón	-	Acero al carbono
134	1	Piston plunger	-	Bronce
127	1	Balancín 1 de la varilla de válvula	-	Acero al carbono
126	1	Eje 2 del eje basculante de la varilla de válvula	-	Acero al carbono
125	1	Eje 1 del eje basculante de la varilla de válvula	-	Acero al carbono
121	1	Válvula corredera	-	Bronce
118	1	Cojinete del cigüeñal	-	Bronce
114	1	Parte superior del soporte del cojinete del cigüeñal	-	Acero al carbono
108	1	Barra transversal de acople de biela	-	Acero al carbono
105	1	Tapa de biela	-	Acero al carbono
84	1	Biela de la correa excéntrica	-	Acero al carbono
79	1	Manivela del regulador	-	Acero al carbono
78	1	Biela	-	Acero al carbono
77	1	Eje del cigüeñal	-	Acero al carbono
75	1	Parte inferior del soporte del cojinete del cigüeñal	-	Acero al carbono
74	1	Cabeza de biela	-	Acero al carbono
73	1	Cuerpo de biela	-	Acero al carbono
52	2	Viga de equilibrio	-	Acero al carbono
44	1	Tapa del vástago del pistón	-	Acero al carbono
43	1	Vástago del pistón	-	Acero al carbono
40	1	Barra superior de la varilla de la válvula de corredera	-	Acero al carbono
39	1	Varilla de la valvula corredera	-	Acero al carbono
38	2	Biela de la válvula de corredera	-	Acero al carbono
33	1	Volante de inercia	-	Acero al carbono
32	1	Eje 3 del eje basculante de la varilla de válvula	-	Acero al carbono
Mark	quantity	Denomination	Standard	Material

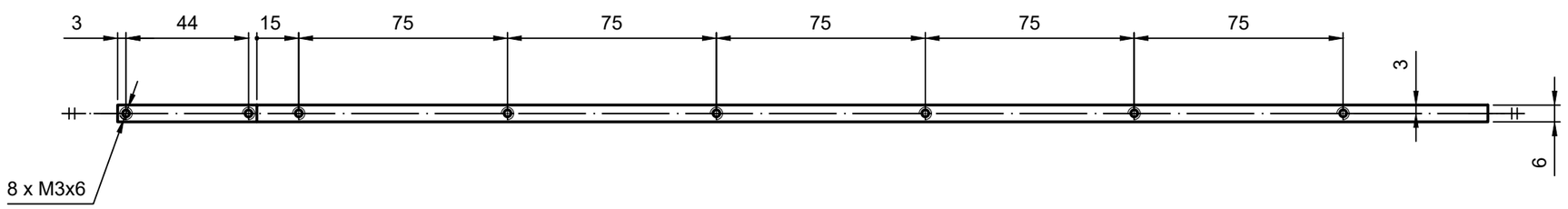
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:2/5:1	Vista de subconjunto cigueñal y eslabonamiento principal		05/116



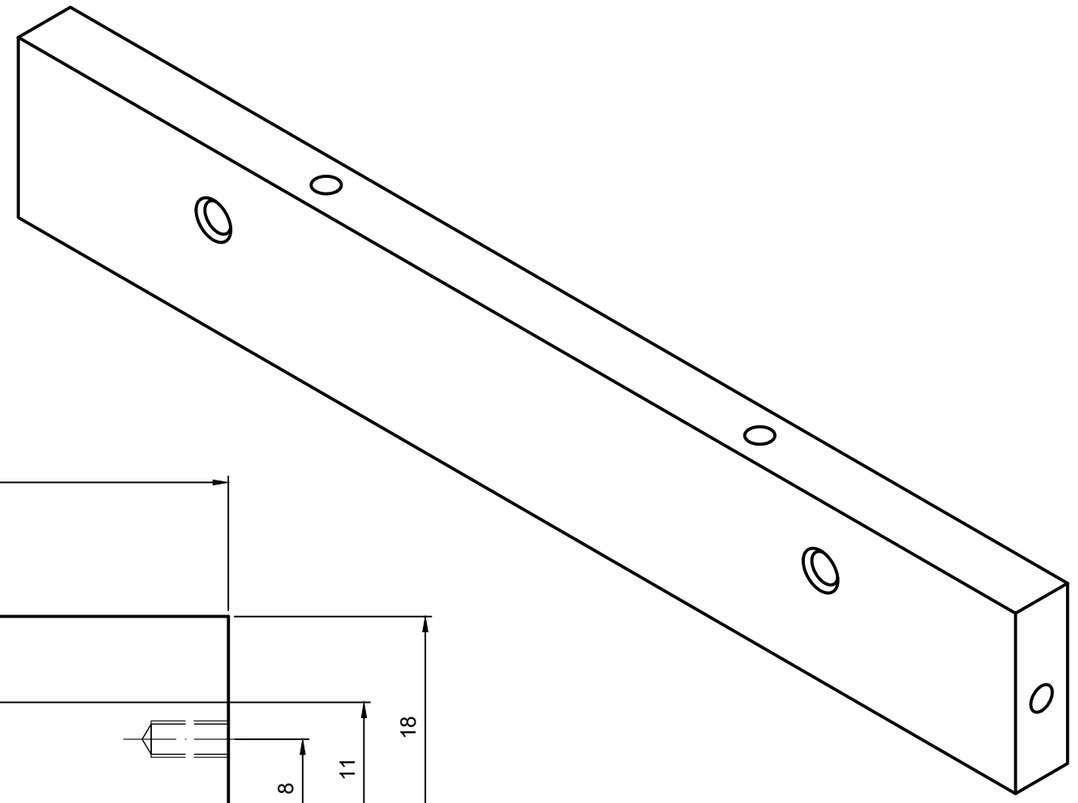


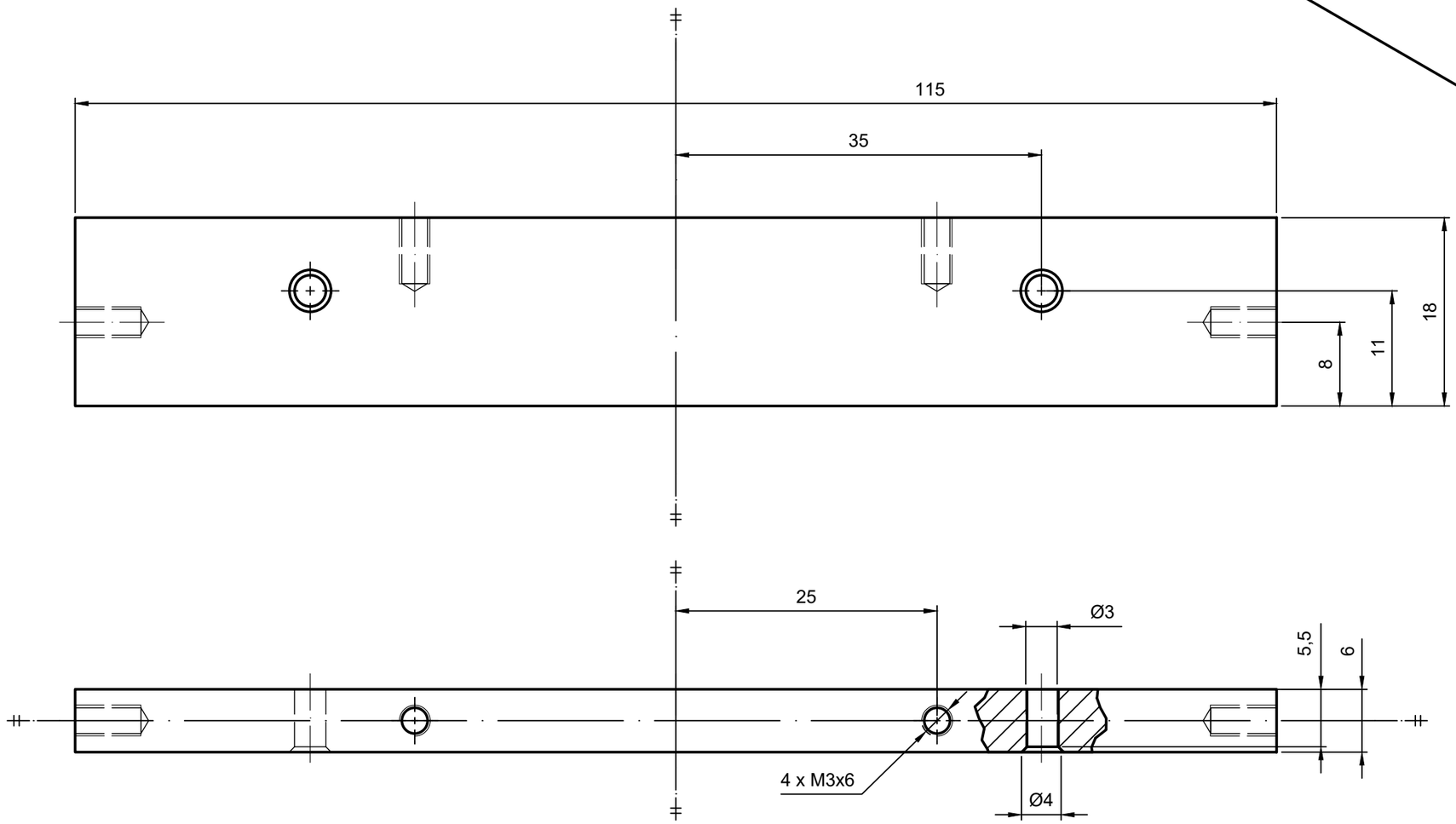




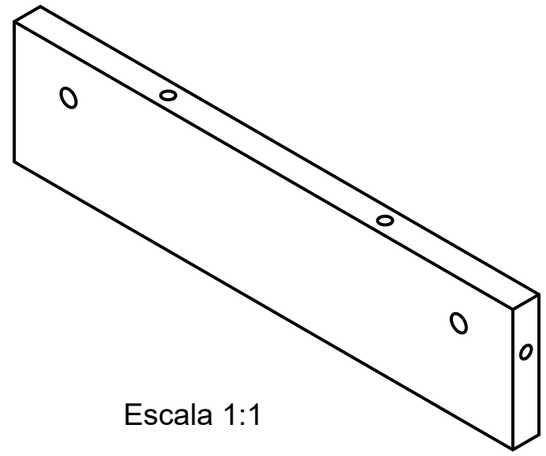


Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:2	Marca 7. Lateral de bancada		06/116

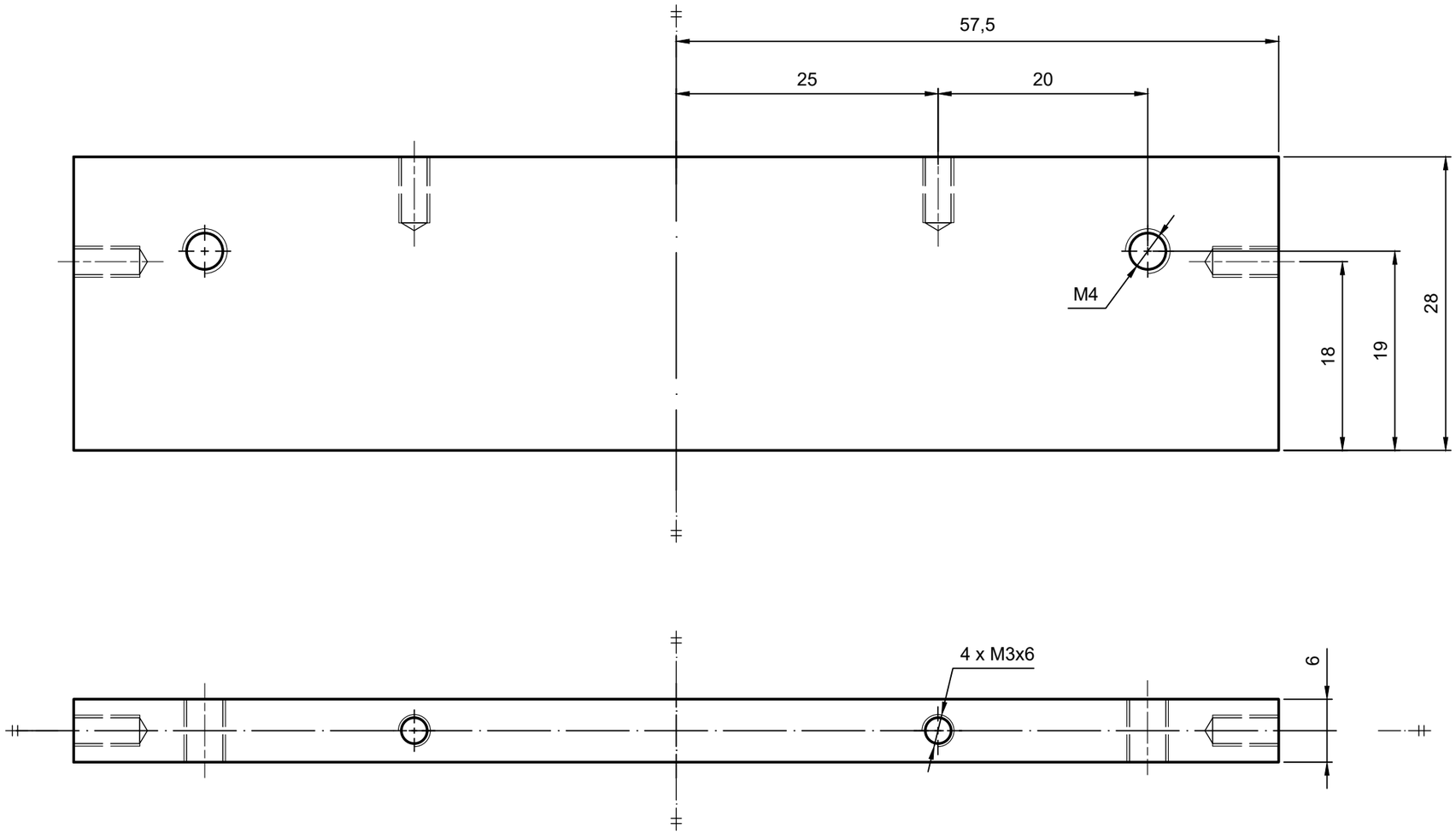




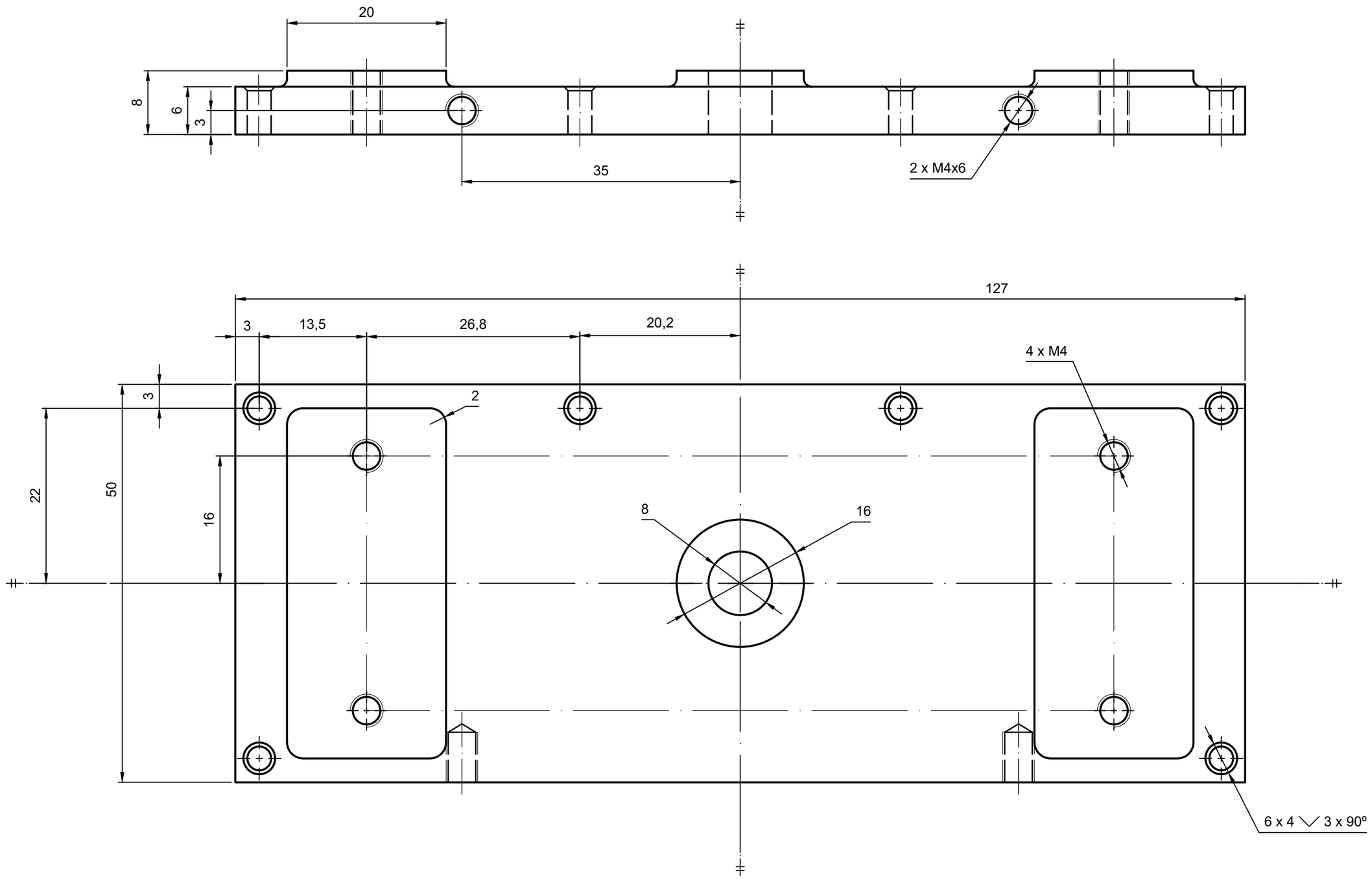
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 124. Placa transversal de la bancada		07/116



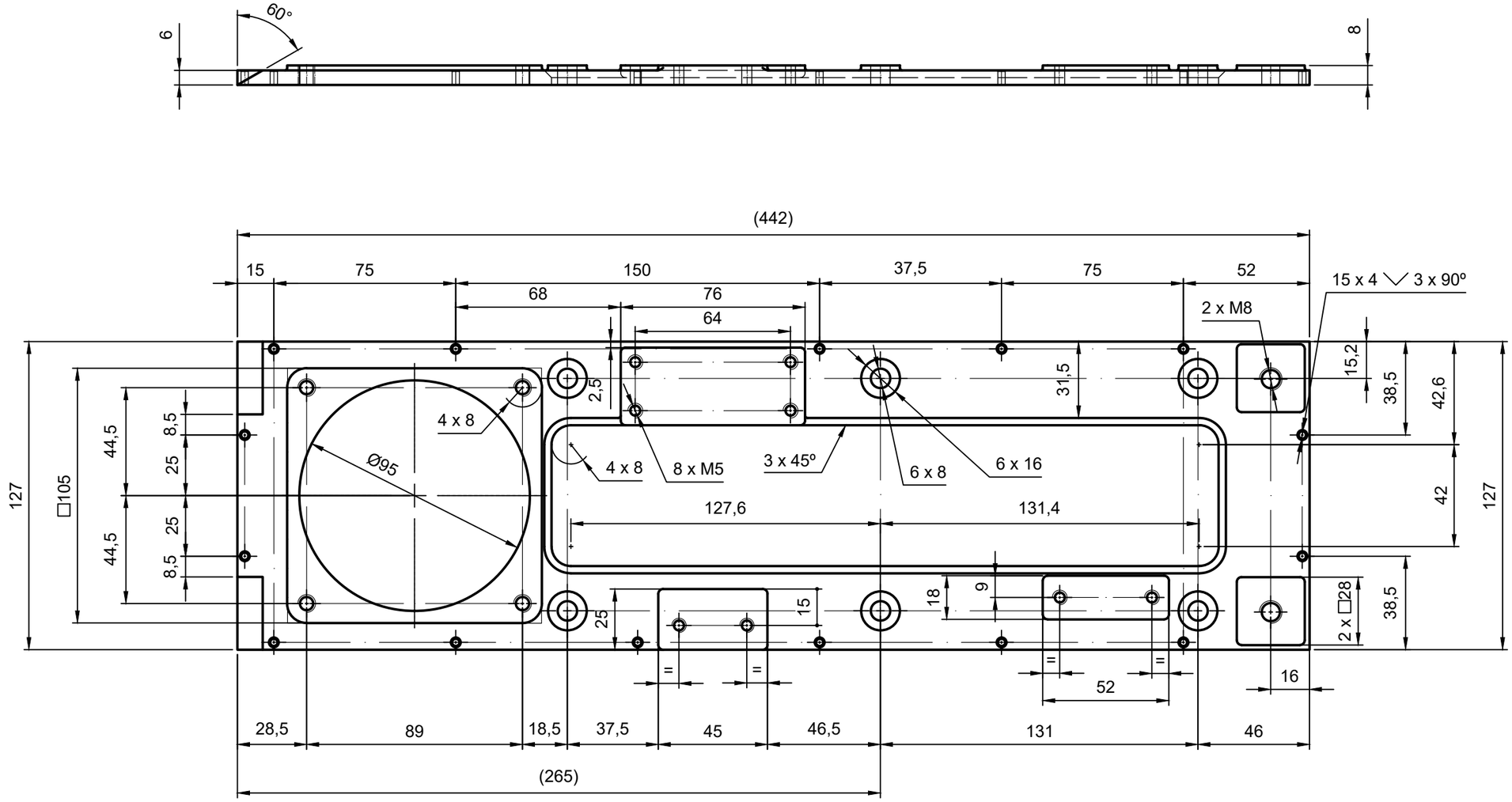
Escala 1:1



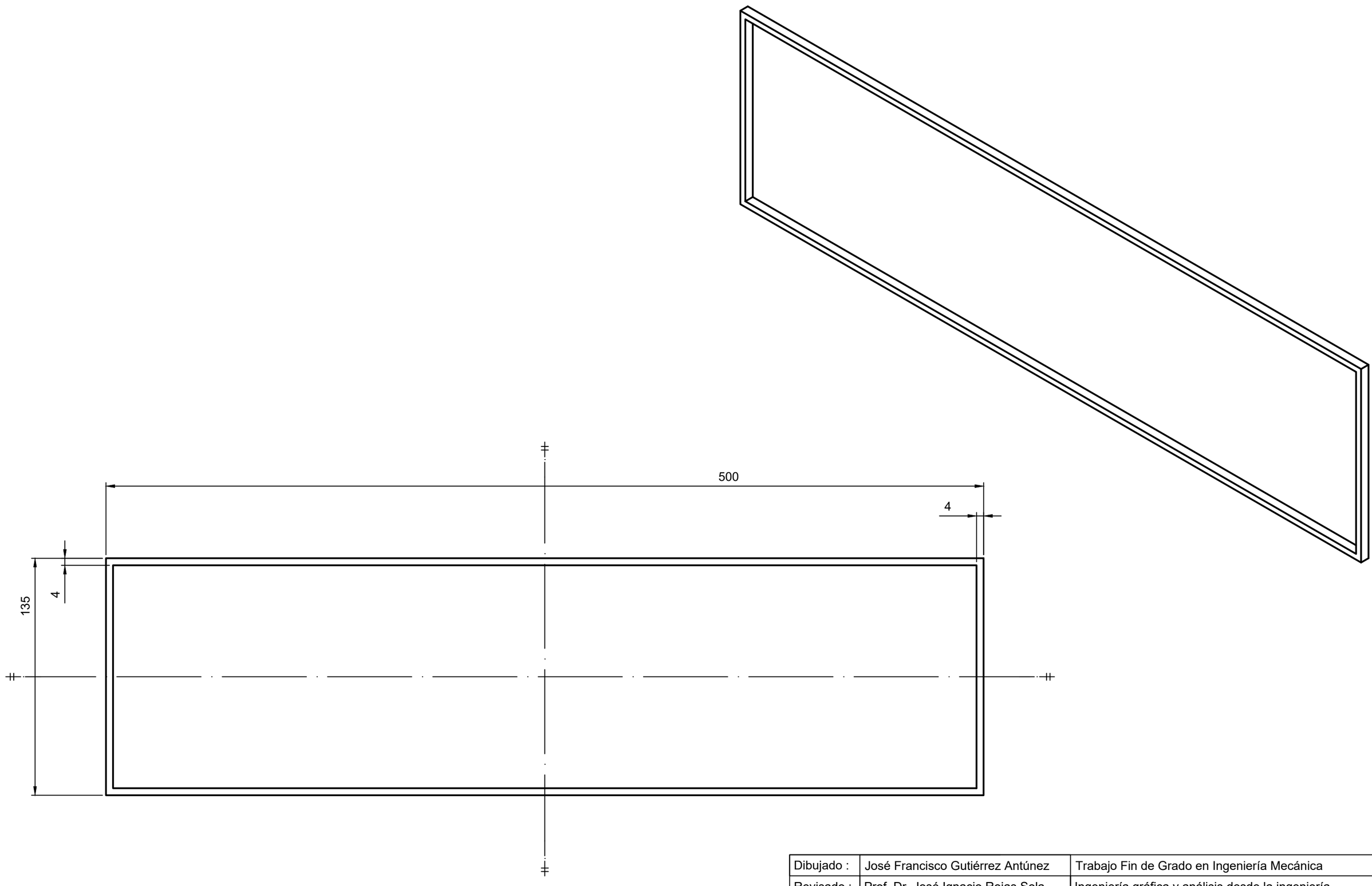
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1/1:1	Marca 156. Placa transversal 2 de bancada		08/116



Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 23. Placa superior 1 de la bancada		09/116

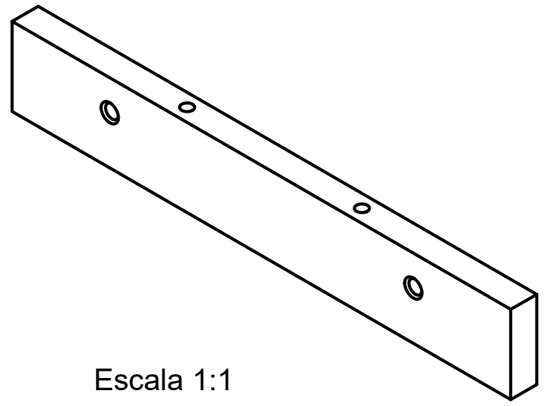


Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:2	Marca 8. Placa superior 2 de bancada		10/116

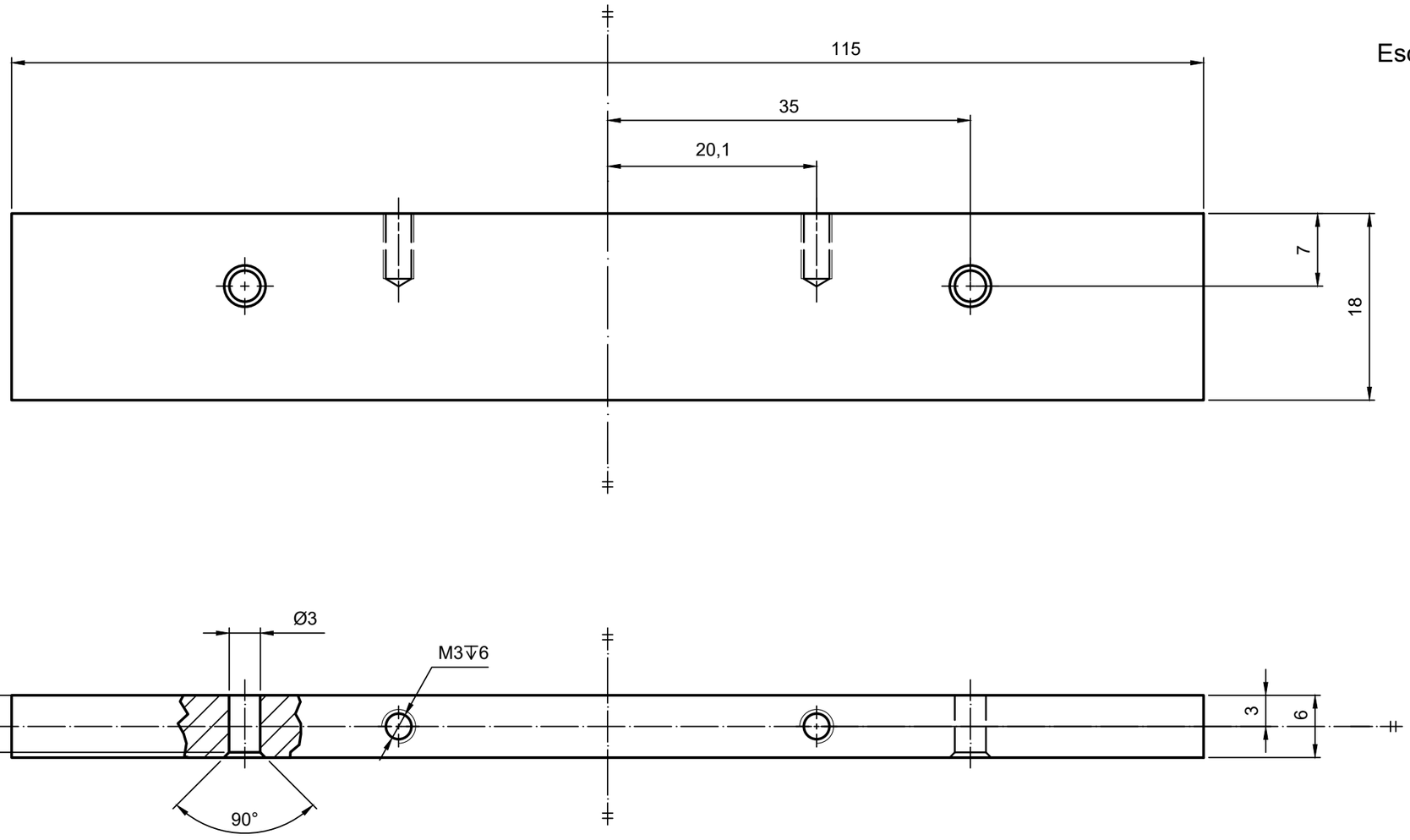


Espesor 10 mm

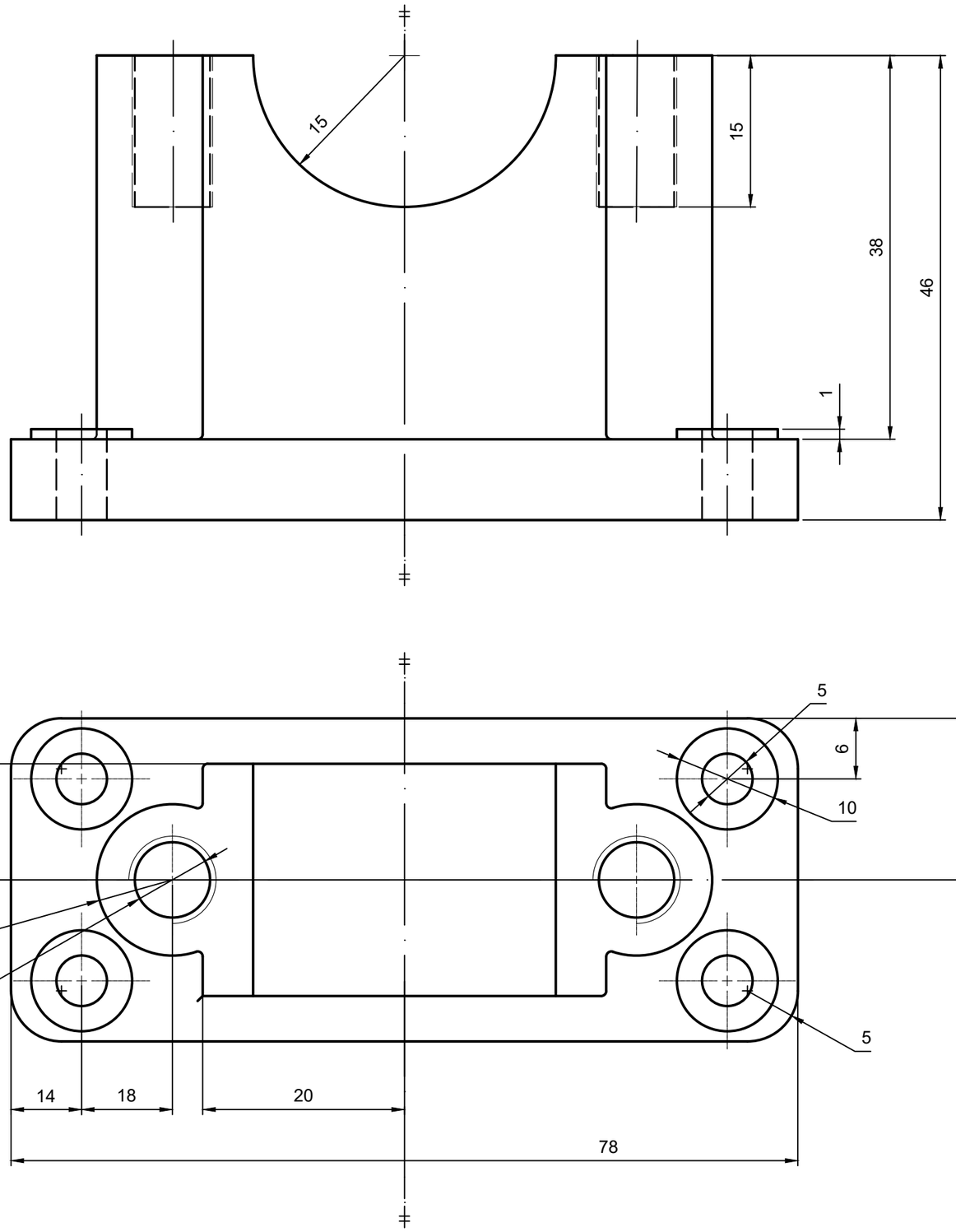
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:2	Marca 16. Marco fijador de partes de la bancada		11/116

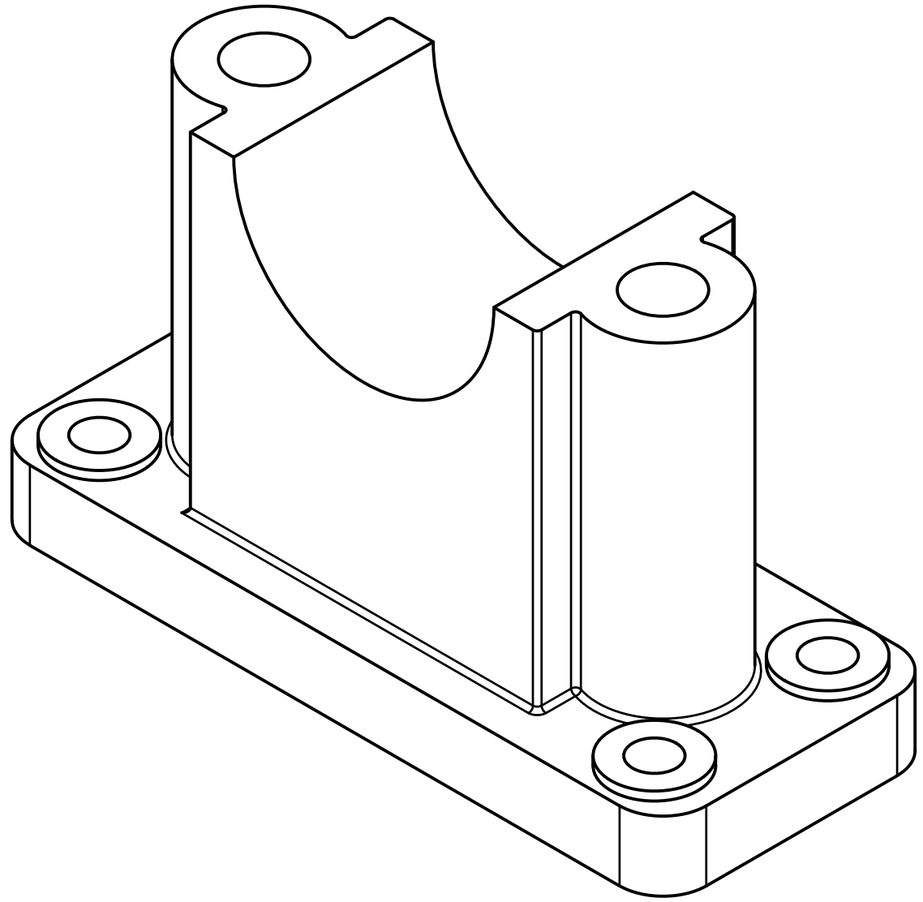


Escala 1:1

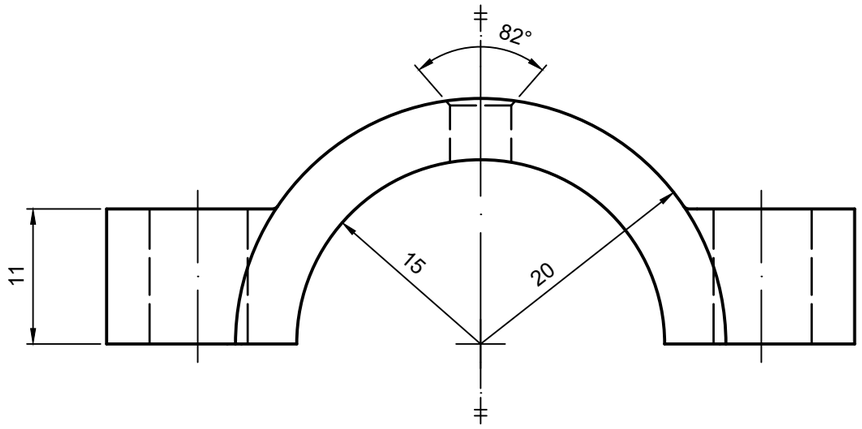


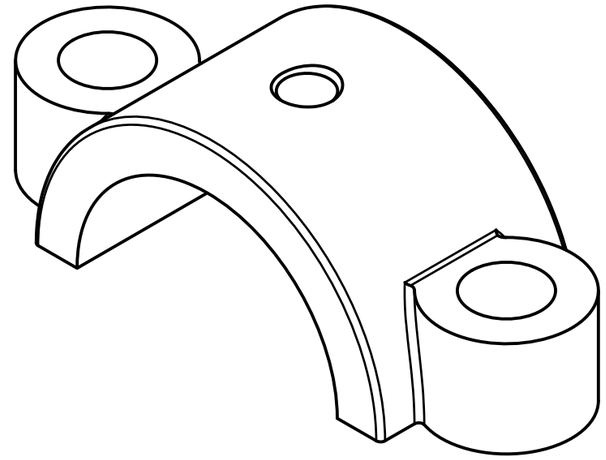
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1/1:1	Marca 22. Placa trasera de la bancada		12/116

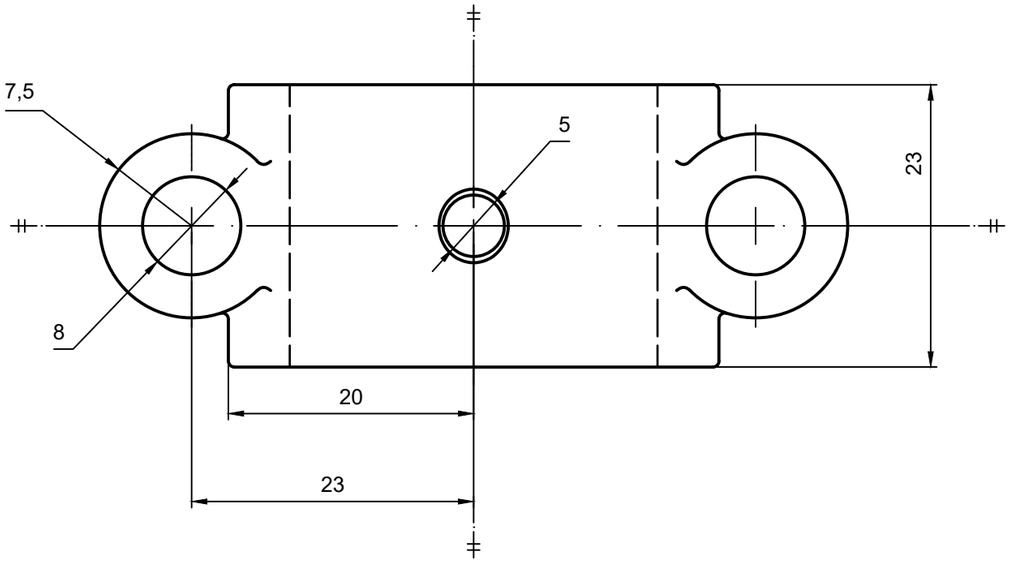




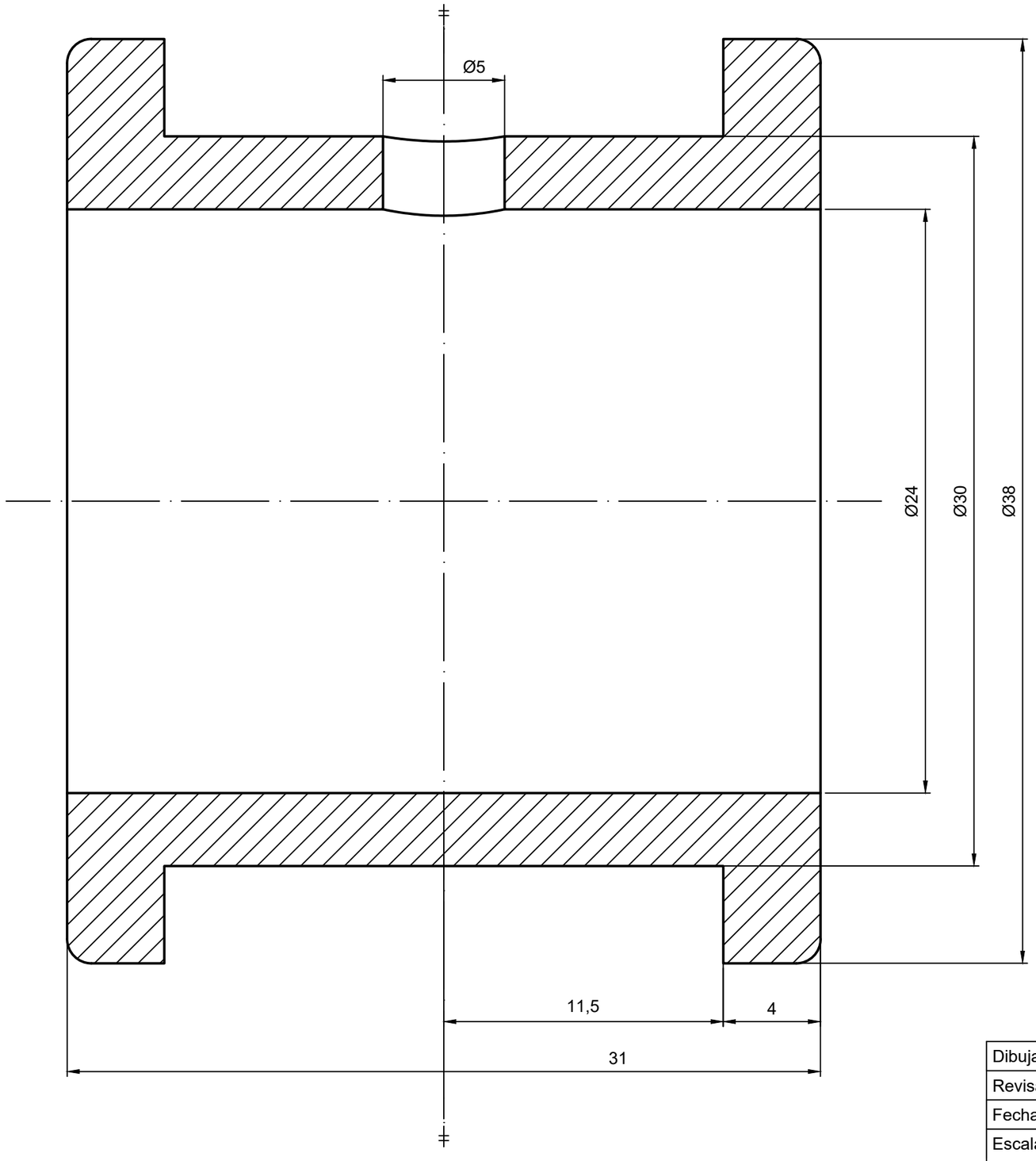
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 75. Parte inferior del soporte del cojinete del cigüeñal		13/116

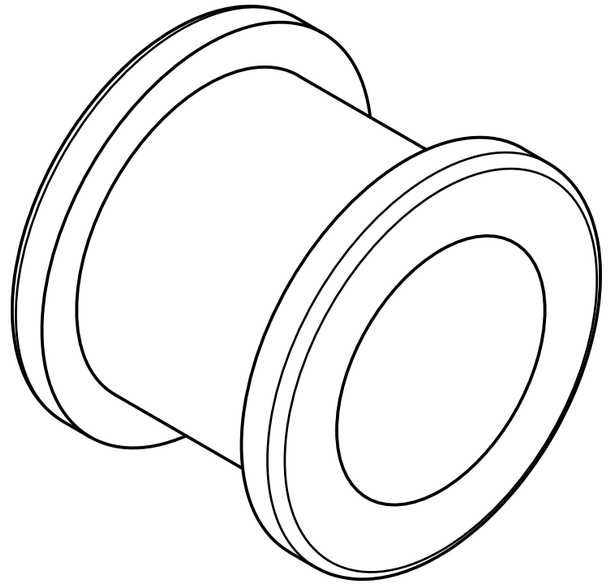






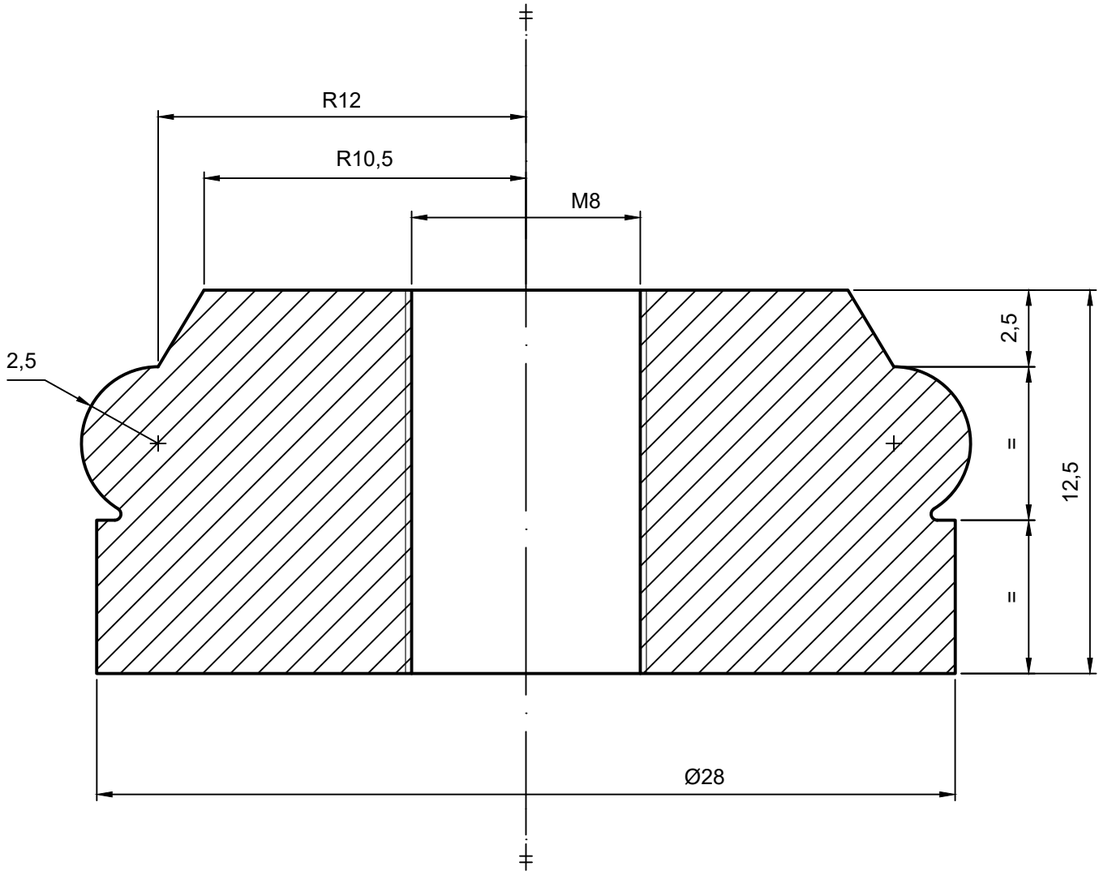
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 114. Parte superior del soporte del cojinete del cigüeñal		14/116

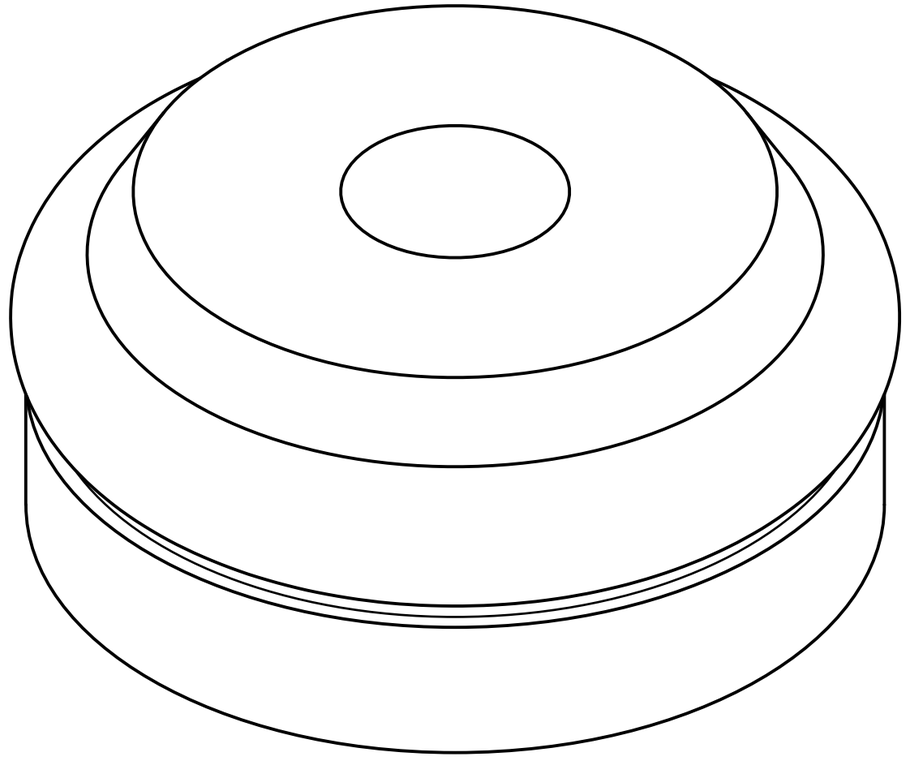




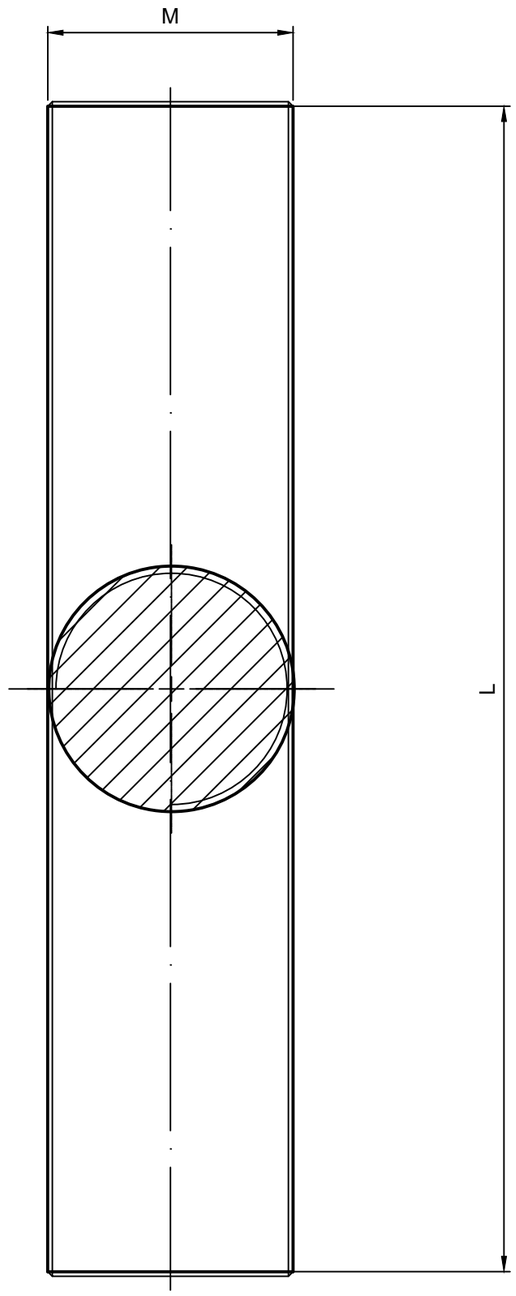
Escala 2:1

Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1/2:1	Marca 118. Cojinete del cigüeñal		15/116





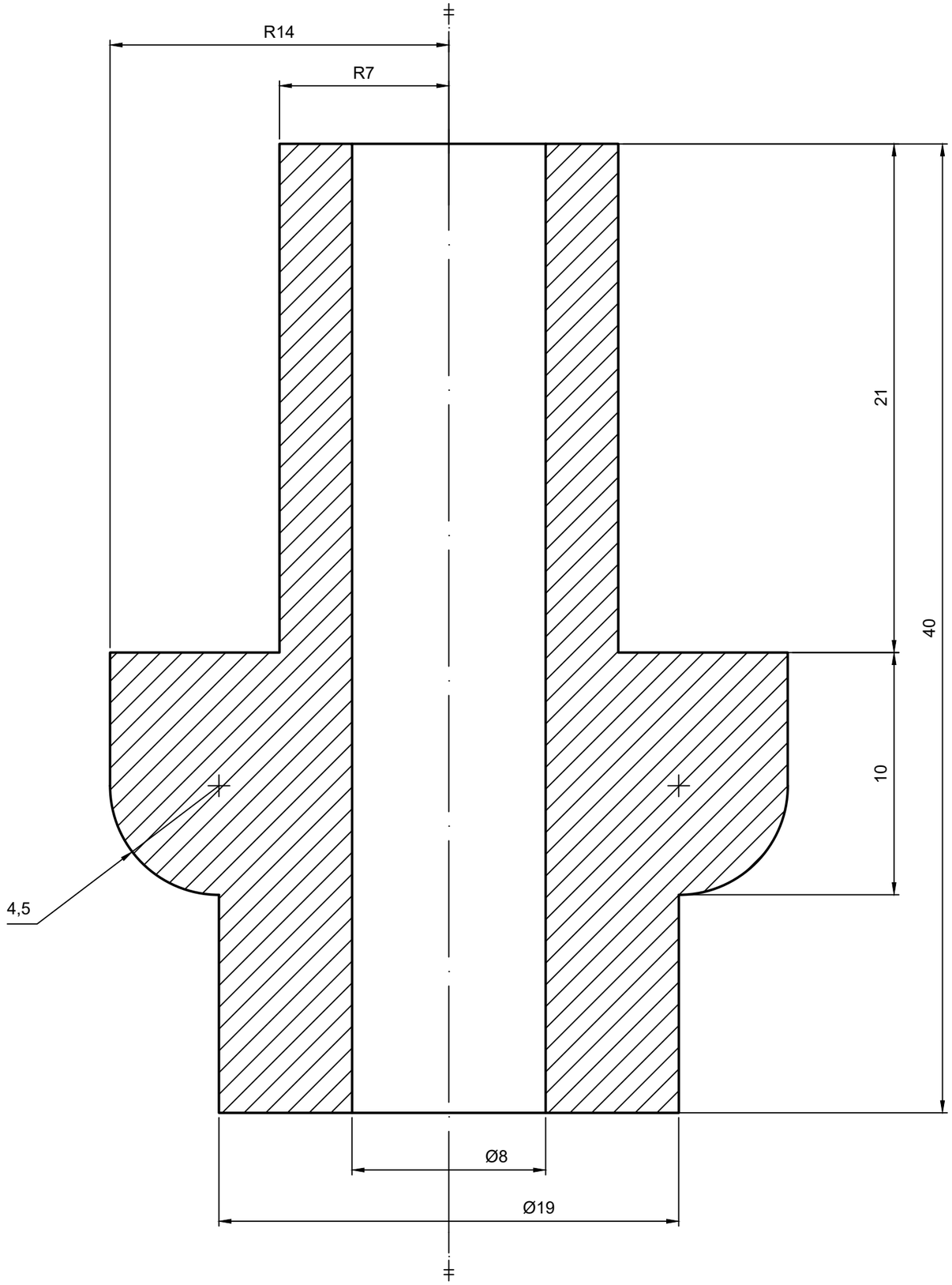
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 4. Apoyo inferior de la columna de soporte		16/116

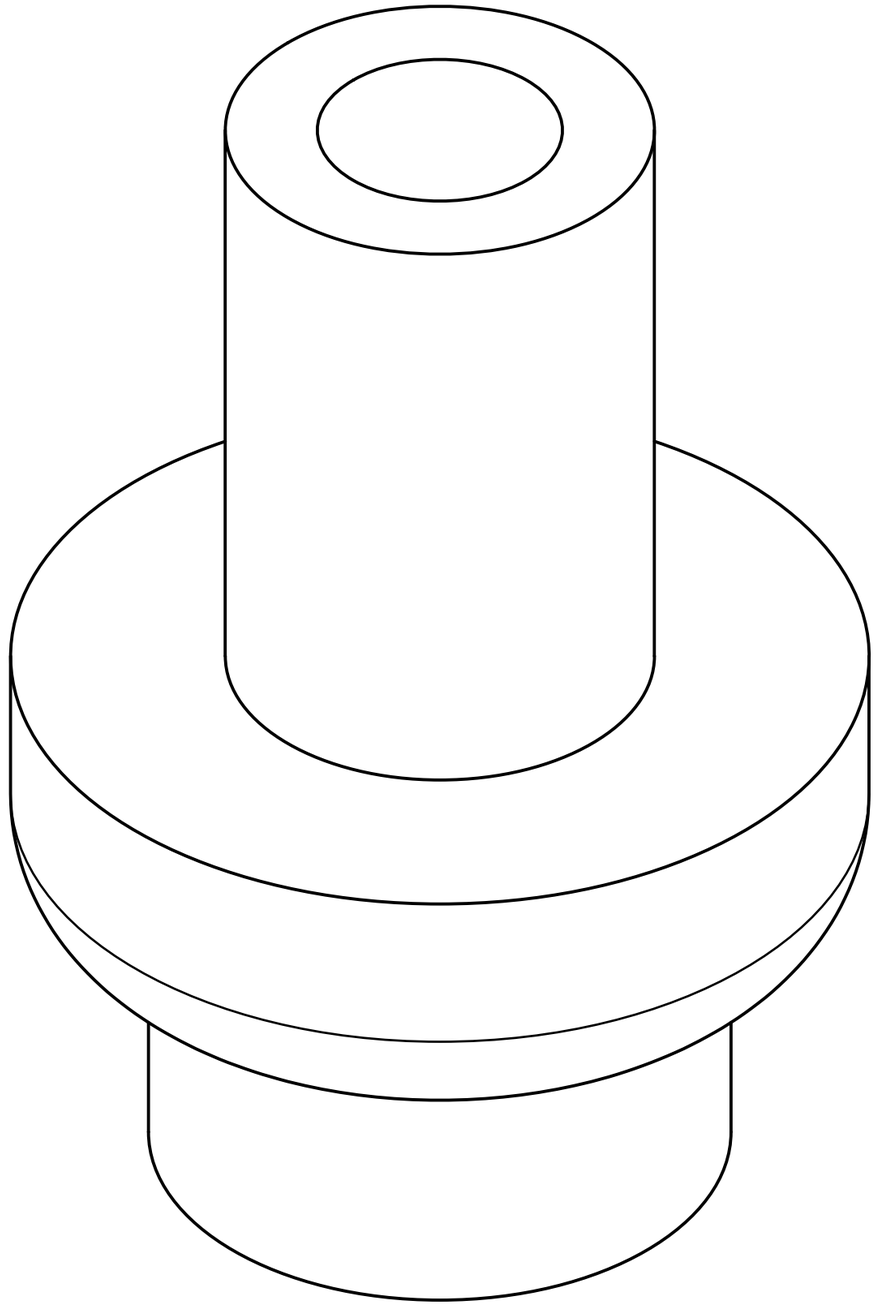


153	Eje roscado inferior de la columna de soporte	M8	38
148	Eje roscado superior de la columna de soporte	M8	62
Marca	Denominación	M (Métrica ISO)	L (mm)

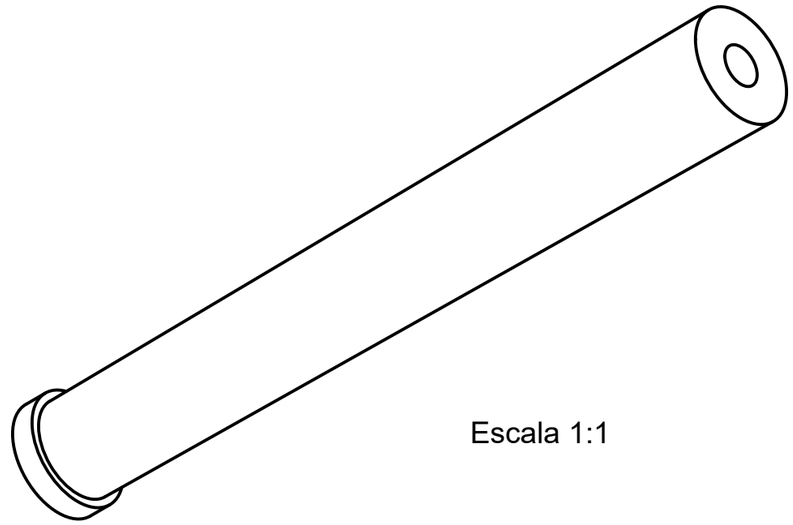
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	

Escala :	Título :	Plano :
1:1	Ejes roscados	17/116

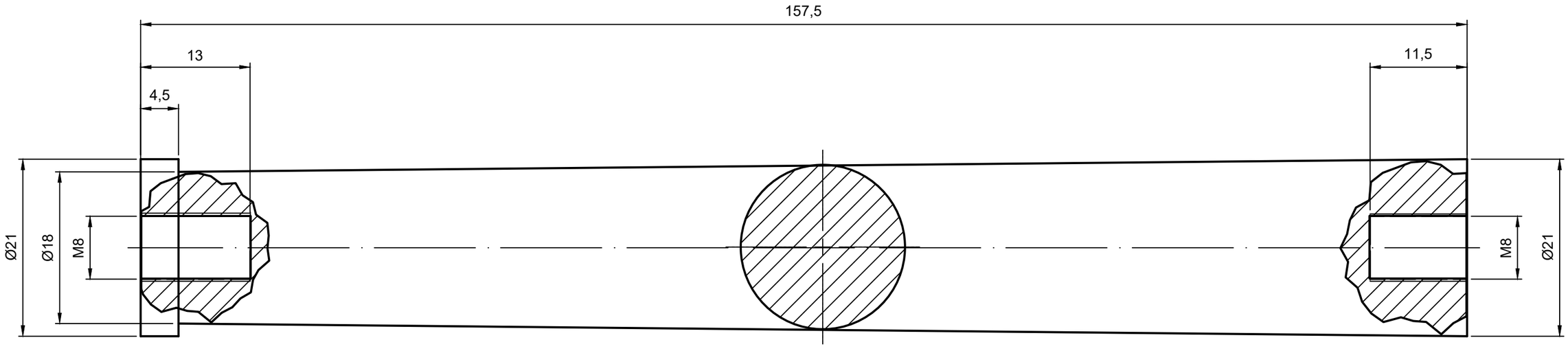




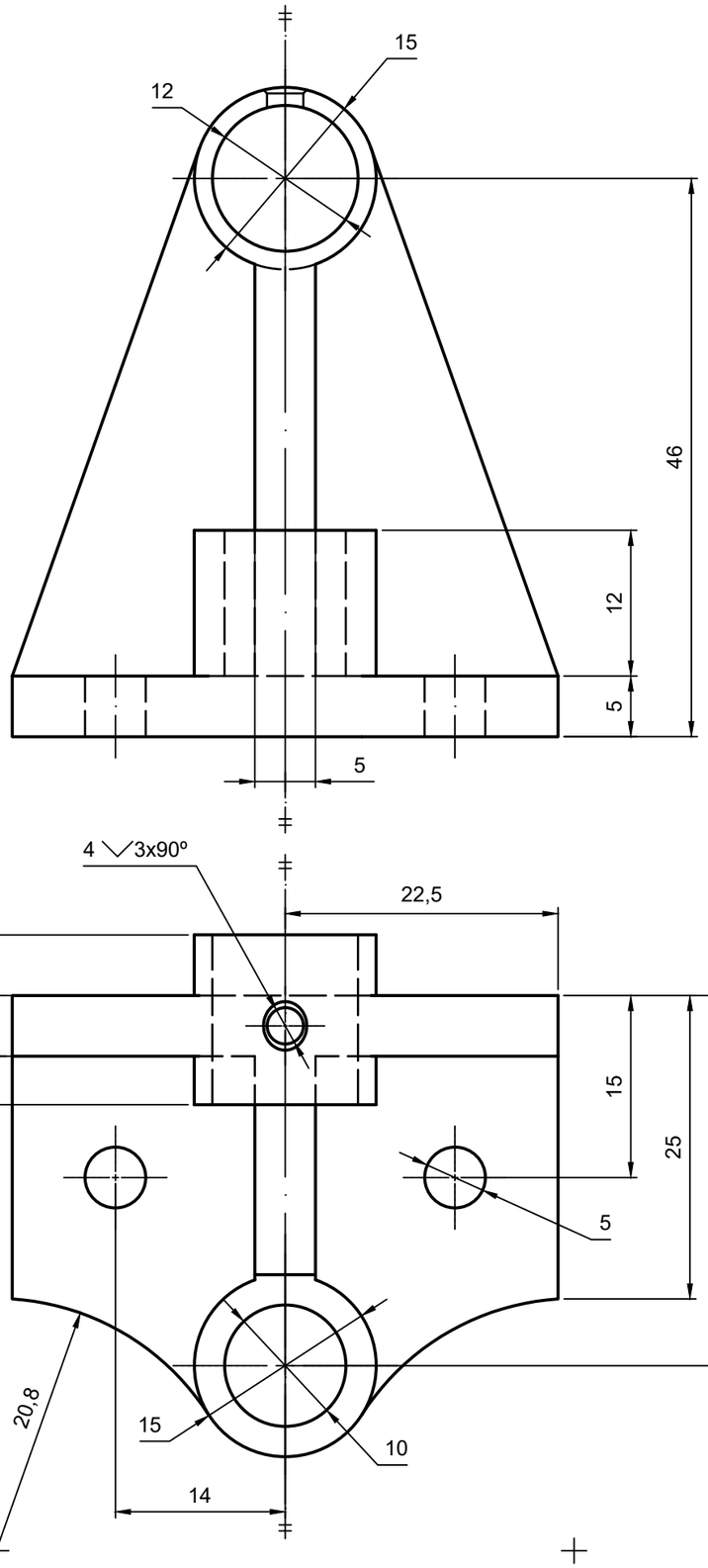
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 62. Apoyo superior de la columna de soporte		18/116

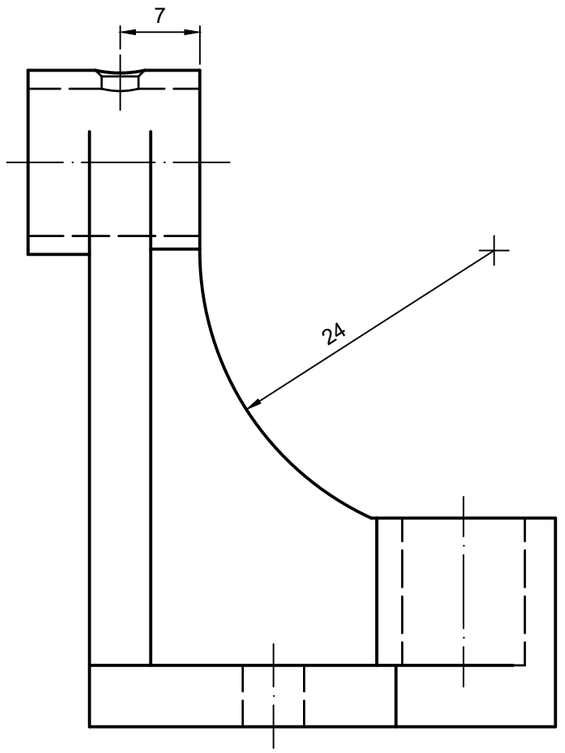


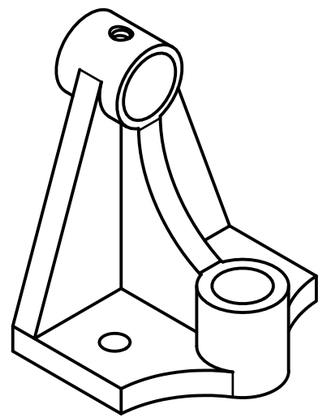
Escala 1:1



Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1/2:1	Marca 1. Columna de soporte		19/116

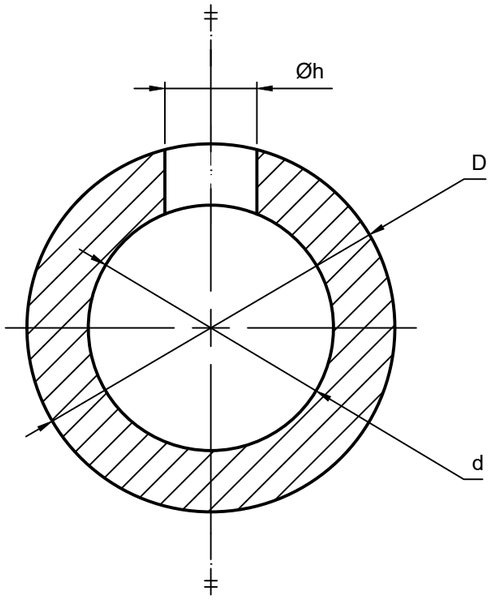


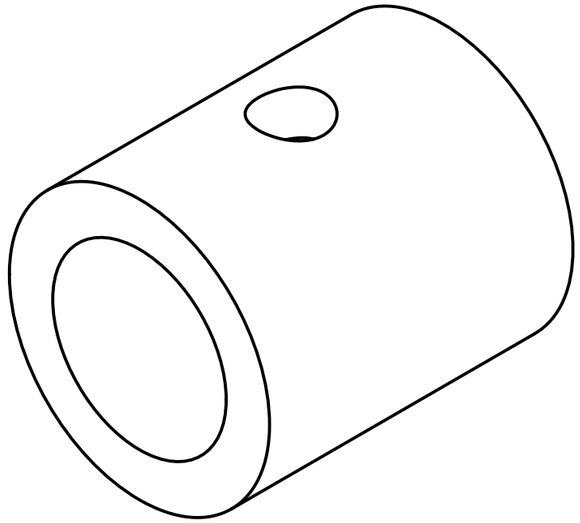


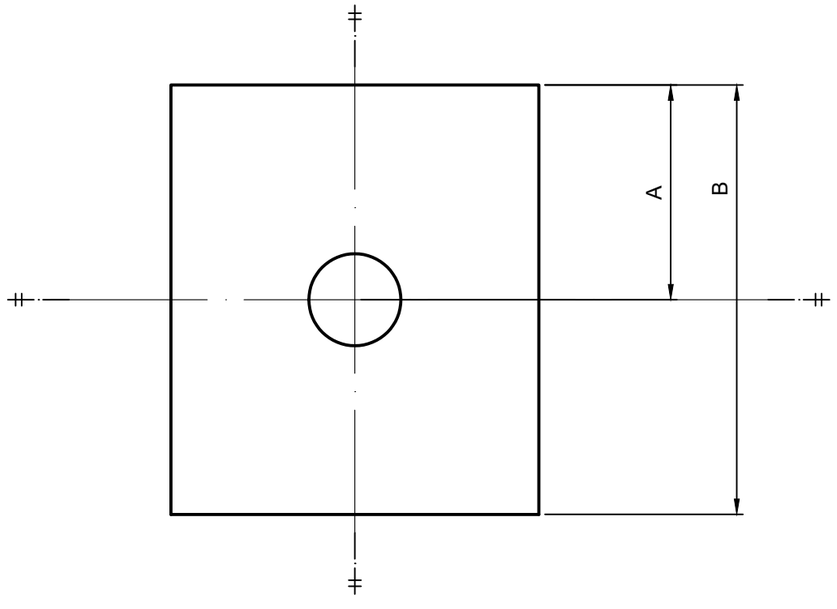


Escala 1:1

Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1/2:1	Marca 14. Soporte del cojinete del engranaje del regulador		20/116

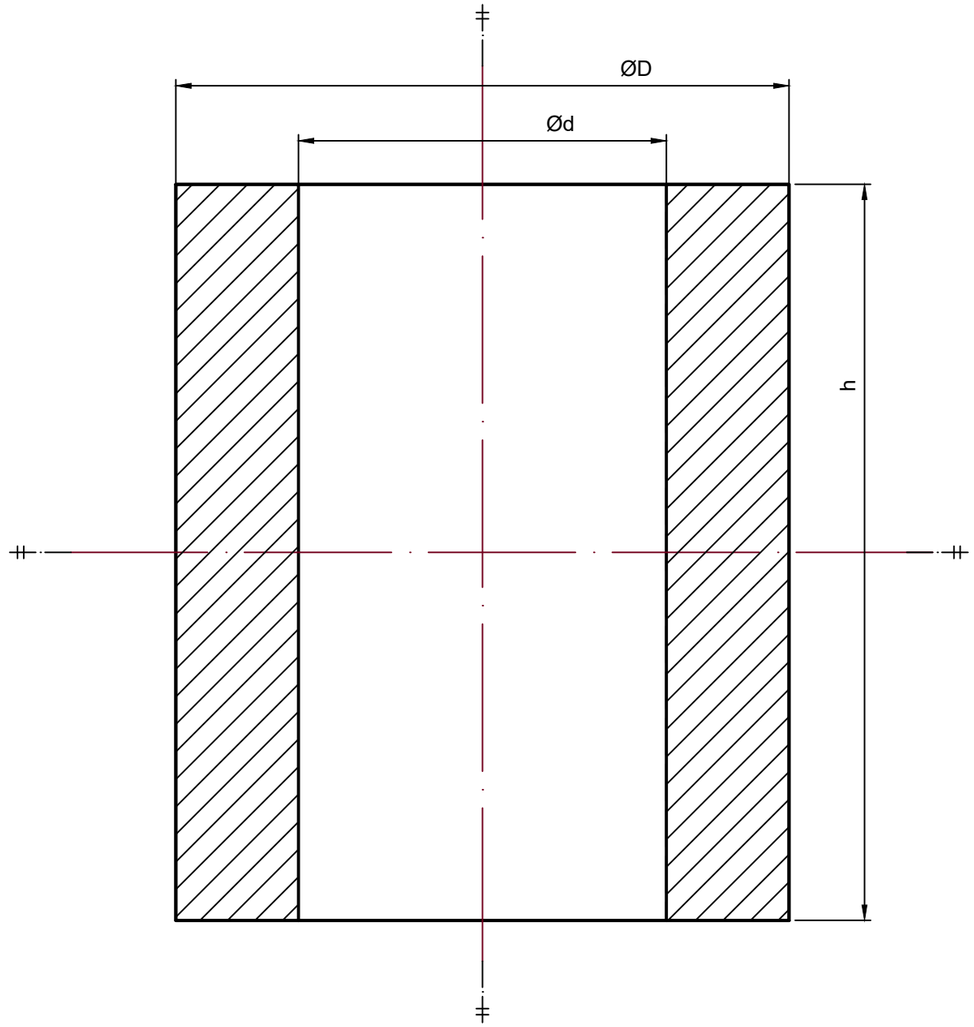


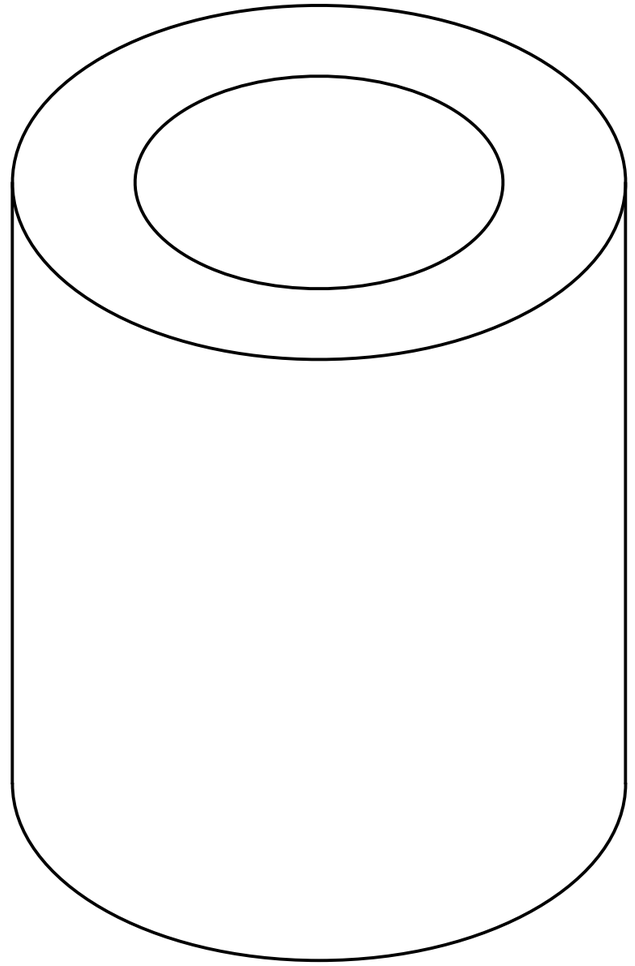




164	Cojinete de la cabeza de biela de la correa excéntrica	4,5	9,0	3,0	11,0	8,0
163	Cojinete del tirante excéntrico	8,0	12,0	3,0	13,0	9,0
145	Cojinete de la cabeza 1 de la barra estabilizadora móvil de fin de estancia	7,0	14,0	3,0	13,0	8,0
144	Cojinete de la biela del pistón de la bomba	5,5	11,0	3,0	12,0	9,0
143	Cojinete de la barra estabilizadora móvil de media estancia	7,0	14,0	4,0	13,0	9,0
115	Cojinete 1 del soporte del engranaje del regulador	7,0	14,0	3,0	12,0	8,0
68	Cojinete de la cabeza 2 de la barra estabilizadora móvil de fin de estancia	7,0	14,0	3,0	13,0	8,0
Marca	Denominación	A (mm)	B (mm)	h (mm)	D (mm)	d (mm)

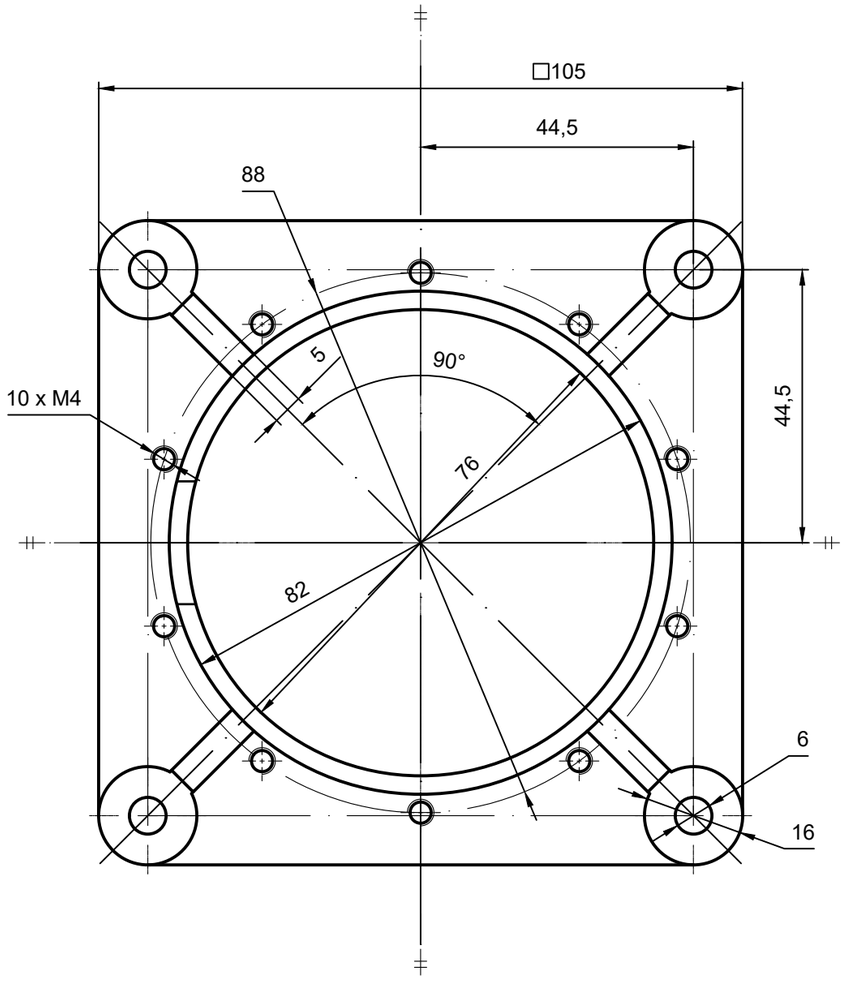
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	
Escala : 1:1	Título : Cojinetes con agujero para lubricación	Plano : 21/116



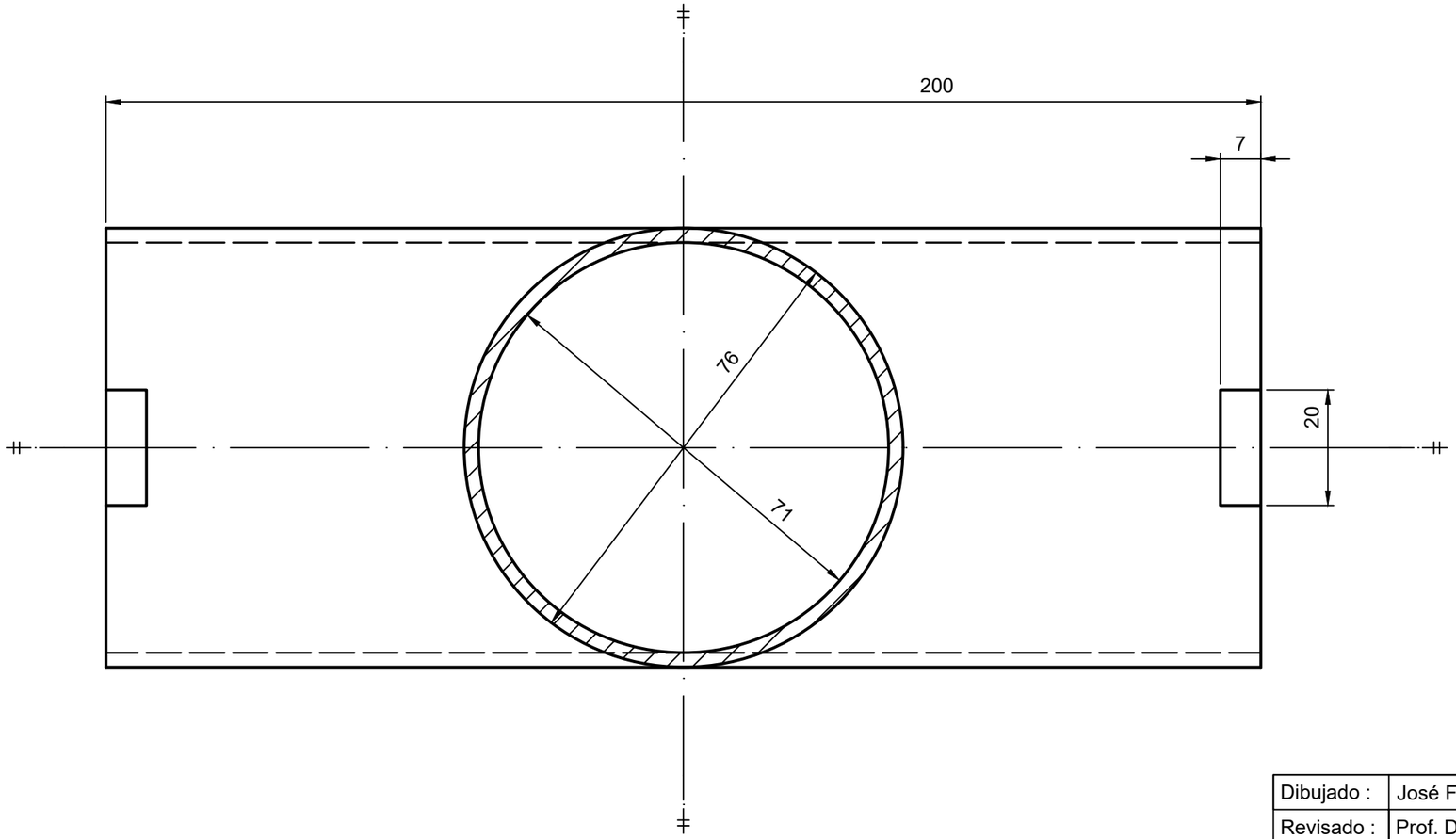


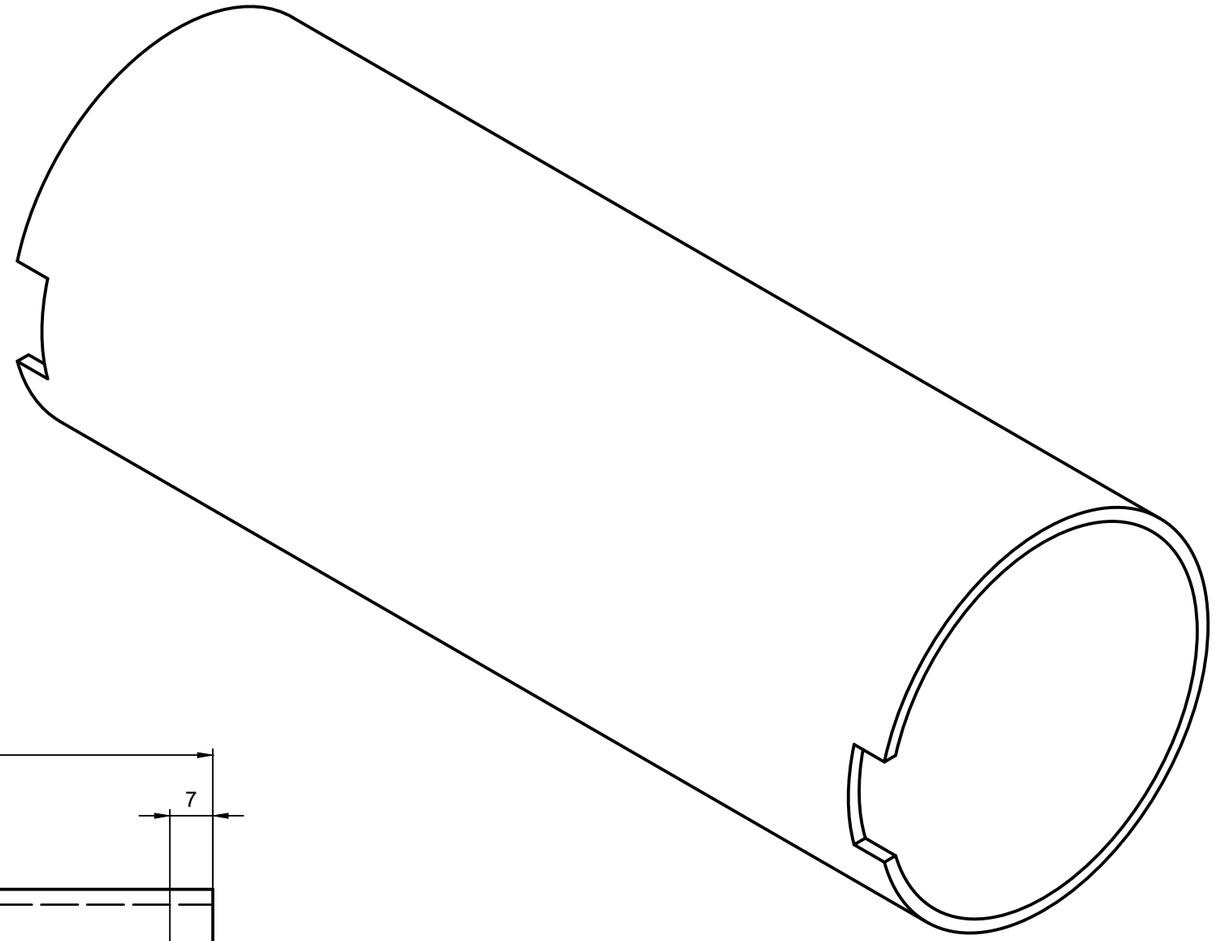
161	Sello de la carcasa	12	6	1
154	Sello 1	16	12	1
152	Sello 2	20	14	8
149	Cojinete superior del regulador	9	6	14
138	Sello del vástago del pistón	19	10	5
135	Cojinete de la biela de la válvula de corredera	11	8	9
130	Sello del cofre de válvulas	15	6	5
117	Cojinete 2 del soporte del engranaje del regulador	10	6	12
Marca	Denominación	D (mm)	d (mm)	h (mm)

Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1	Cojinetes cilíndricos huecos y sellos		22/116

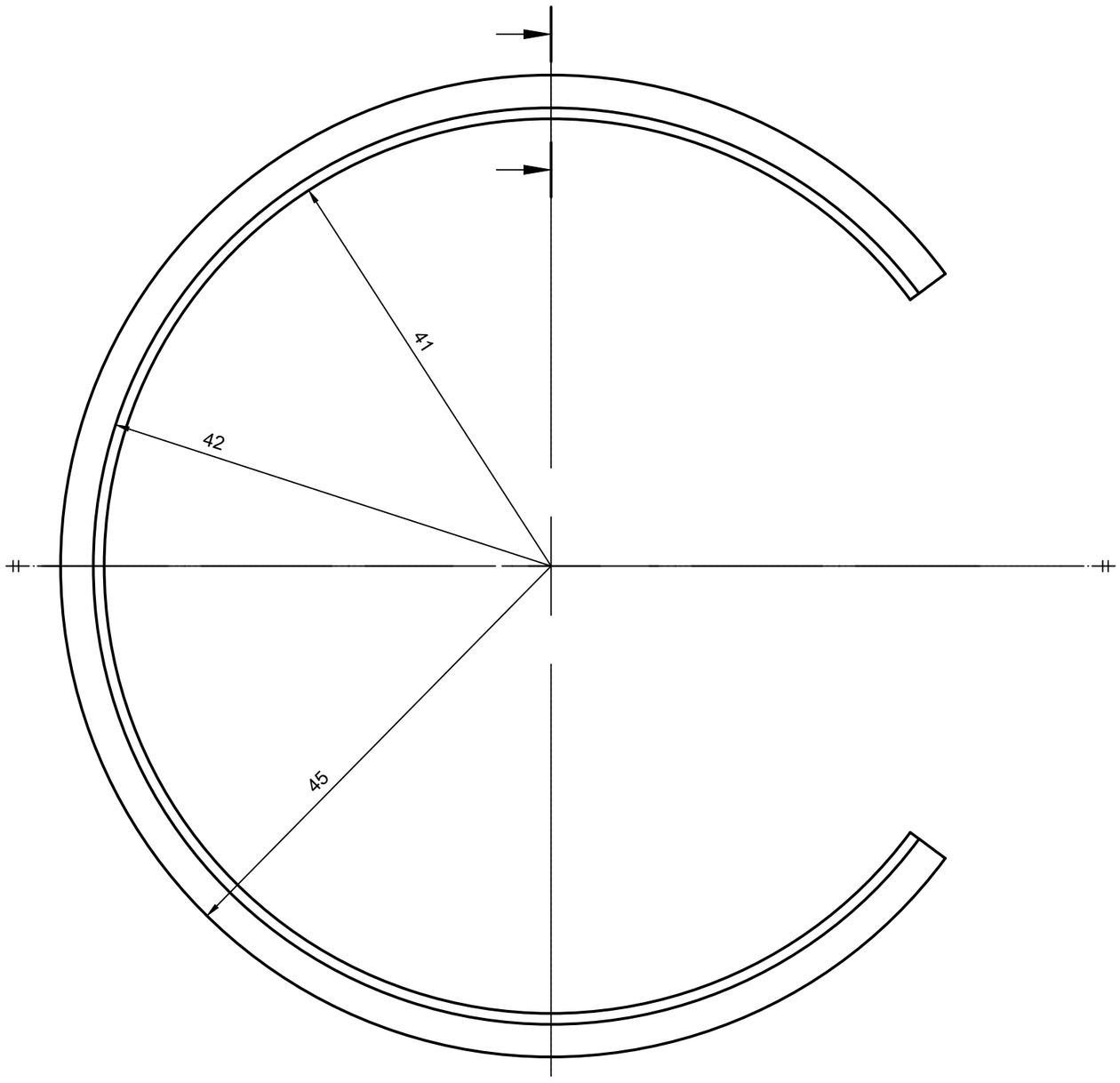


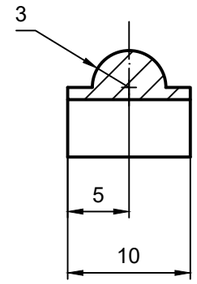
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1	Marca 19. Cilindro y soporte inferior del cilindro		23/116

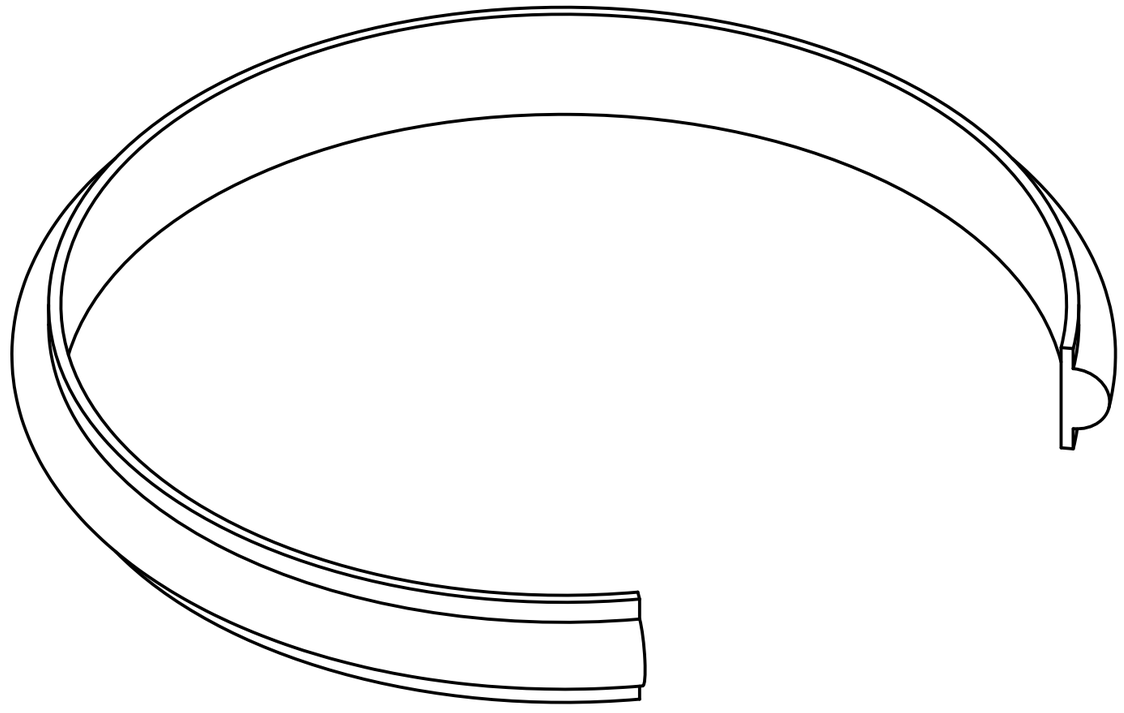




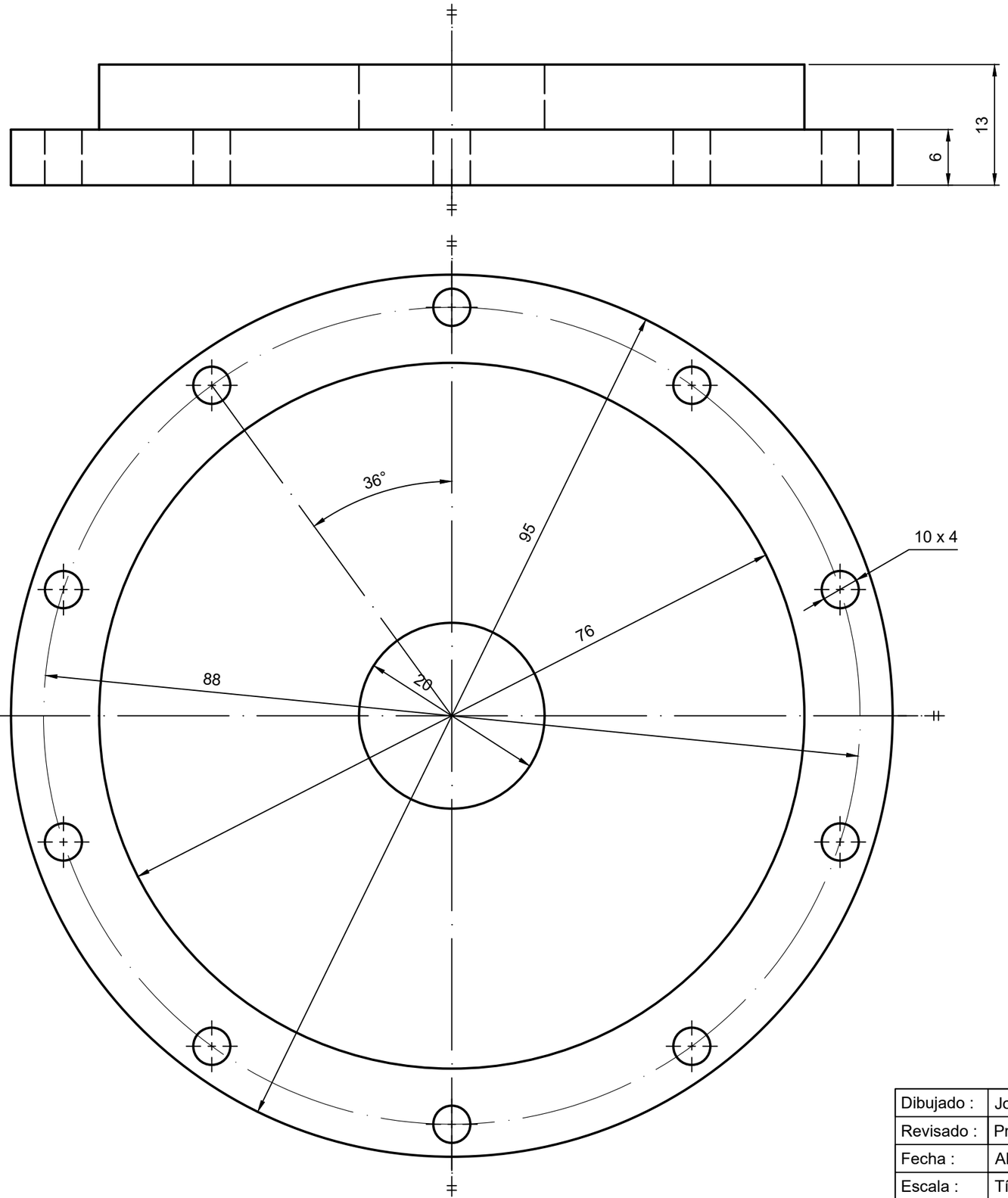
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1	Marca 119. Camisa del cilindro		24/116

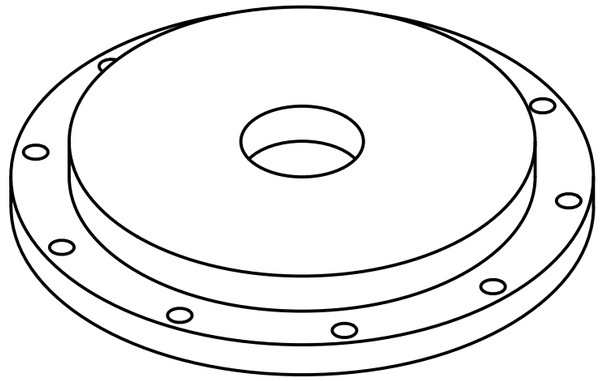






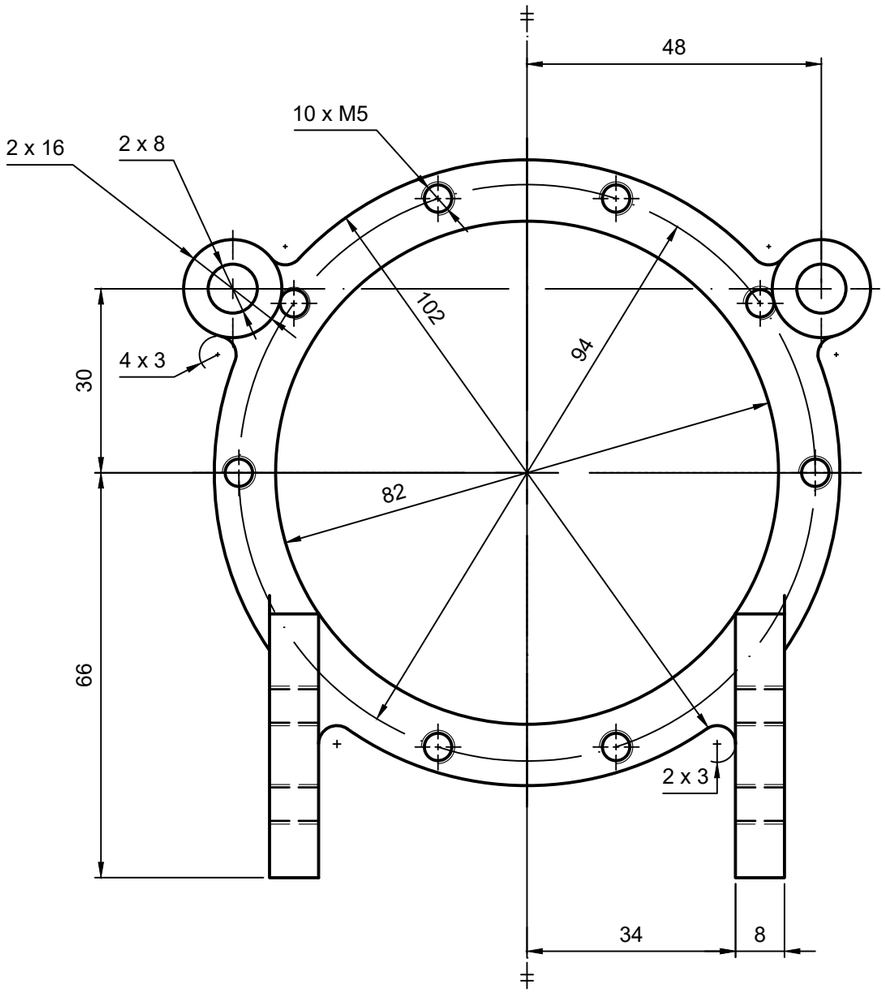
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 18. Anillos del cilindro		25/116

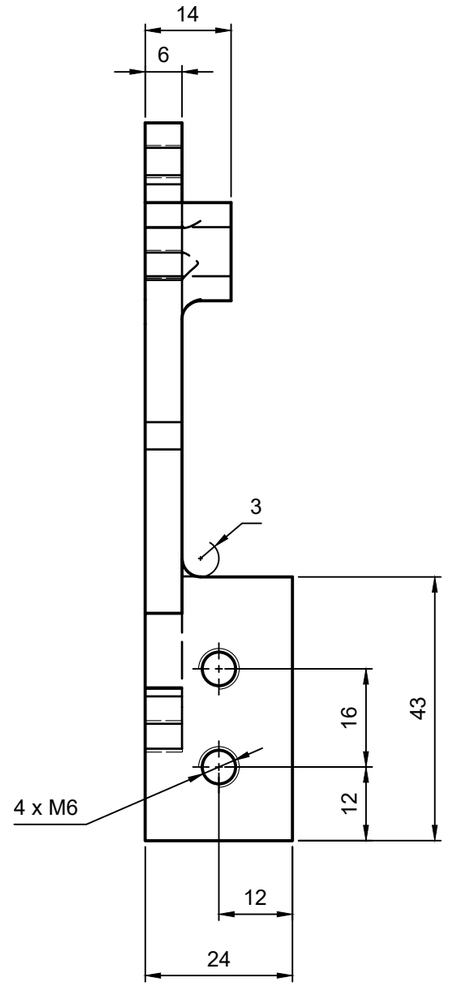


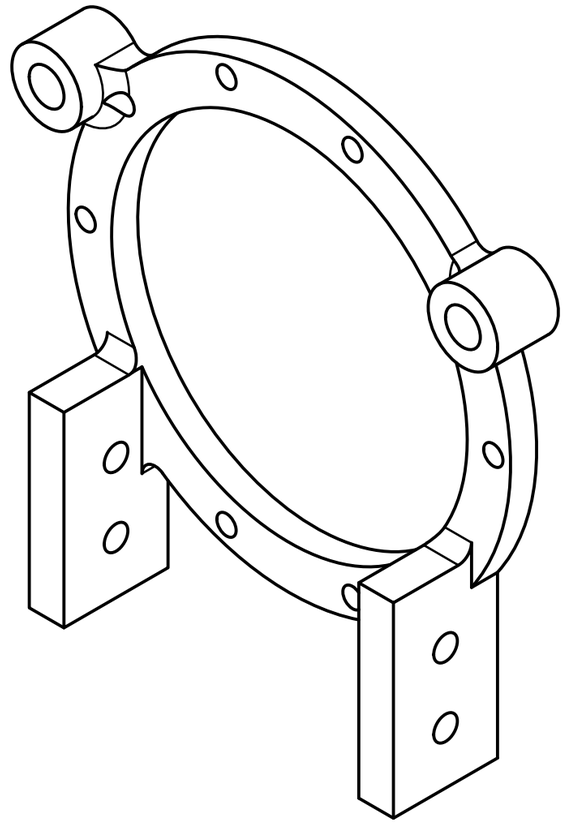


Escala 1:1

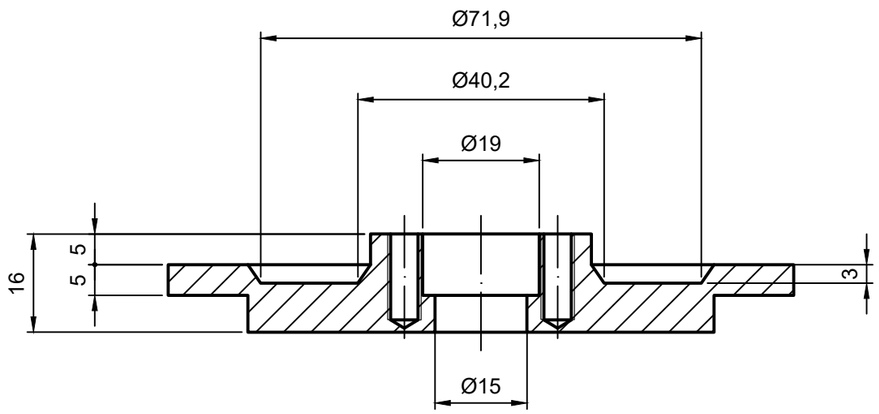
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1/1:1	Marca 122. Base del cilindro		26/116

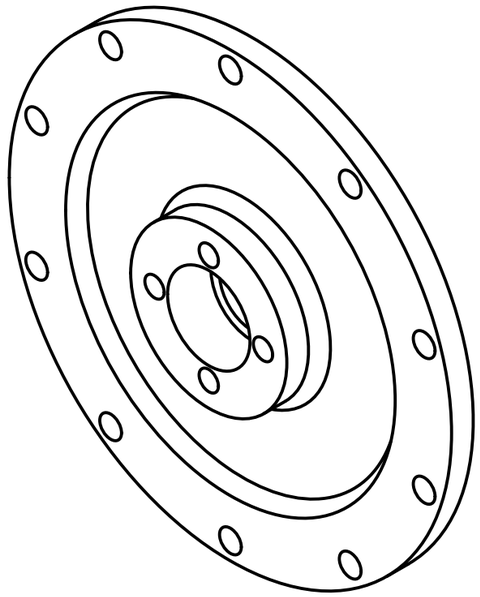


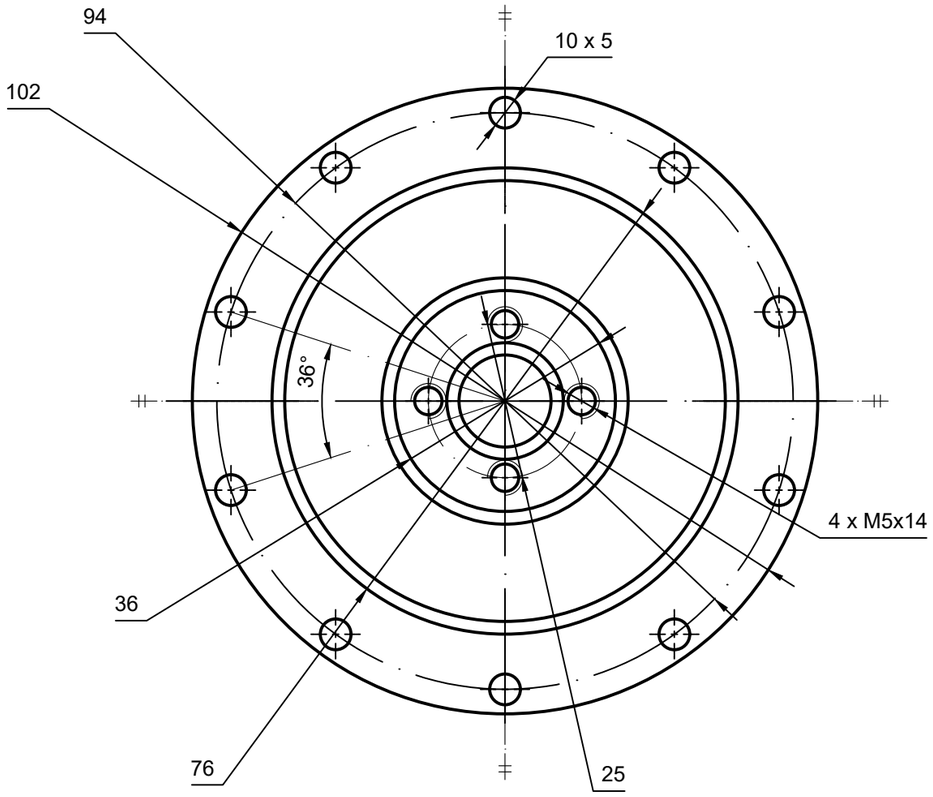




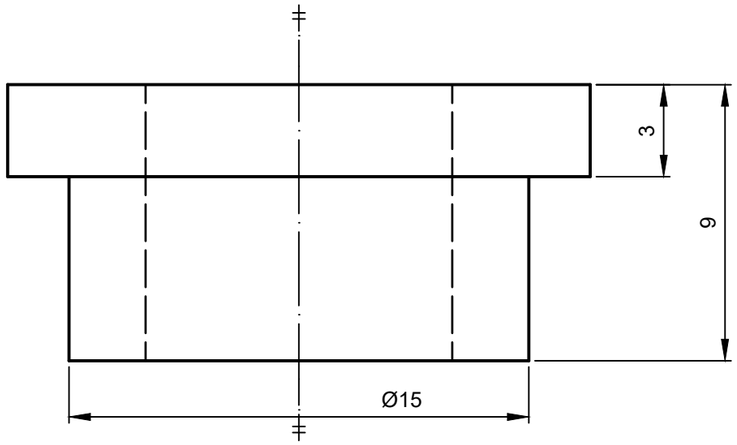
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1	Marca 136. Soporte superior del cilindro		27/116

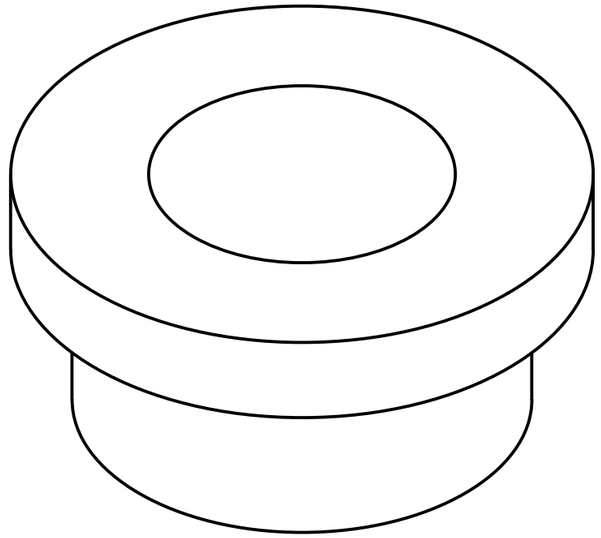


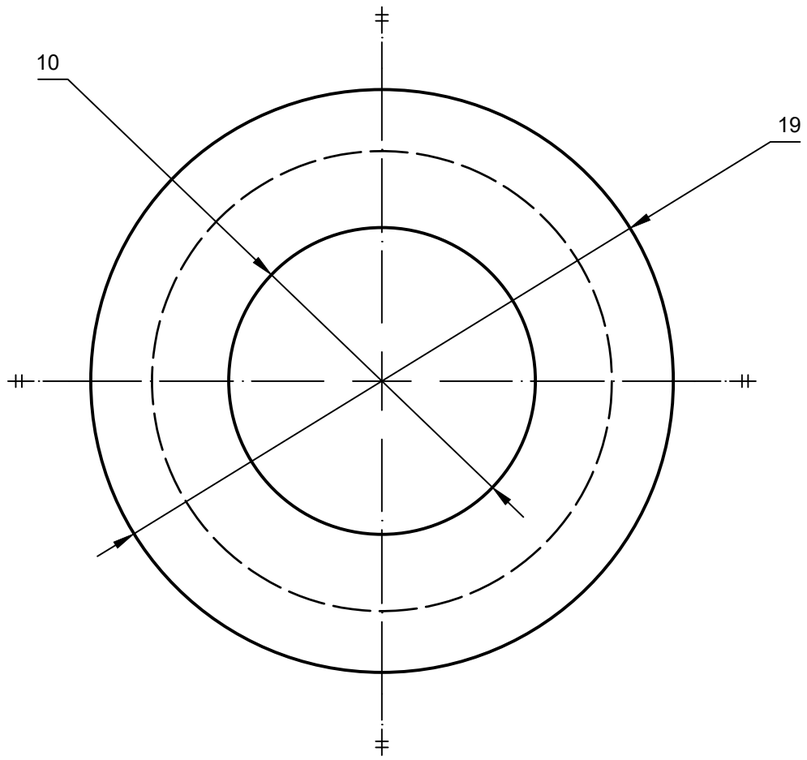




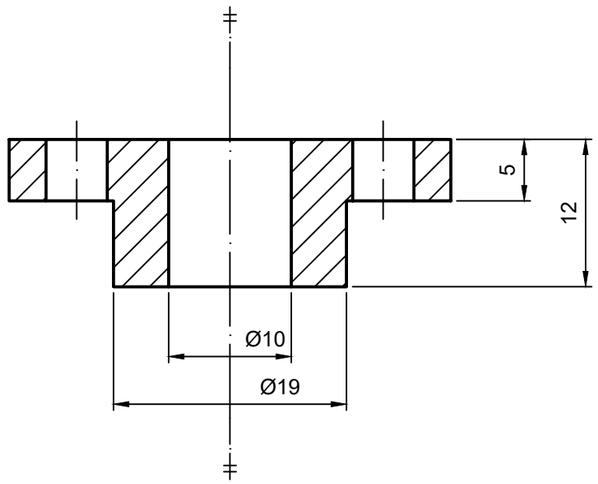
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1	Marca 95. Tapa superior del cilindro		28/116

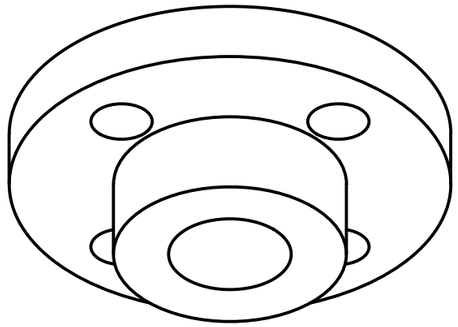


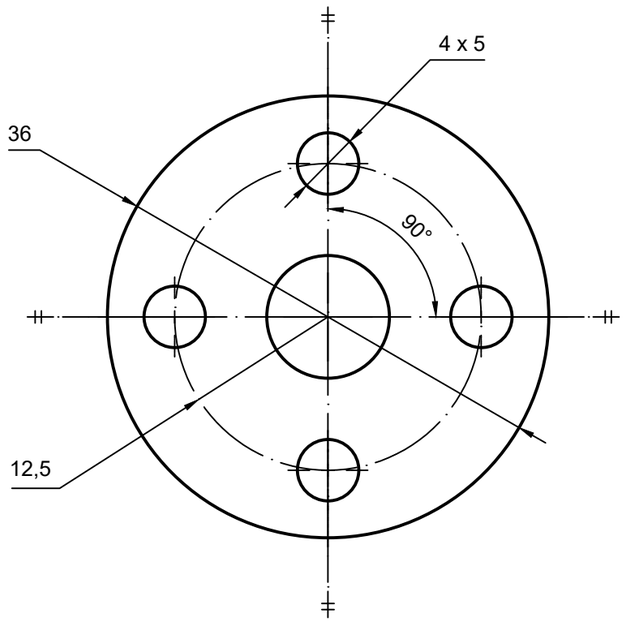




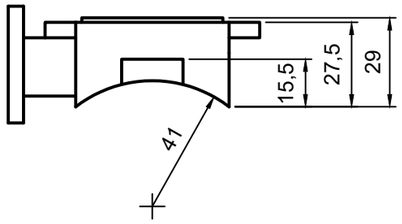
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 137. Cojinete de fricción del vástago del pistón		29/116

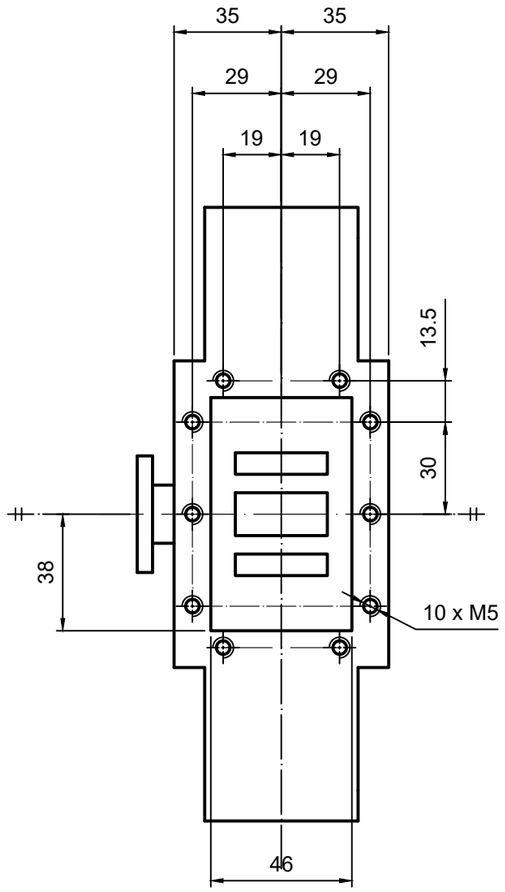


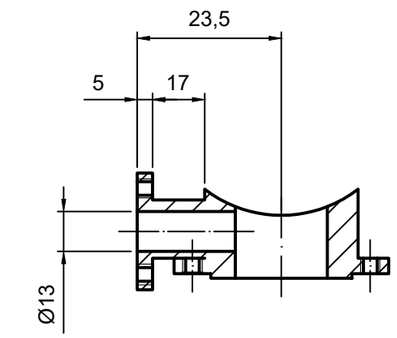


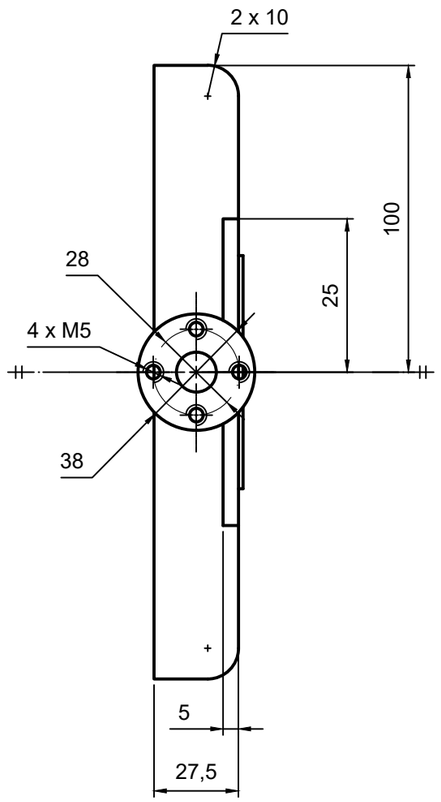


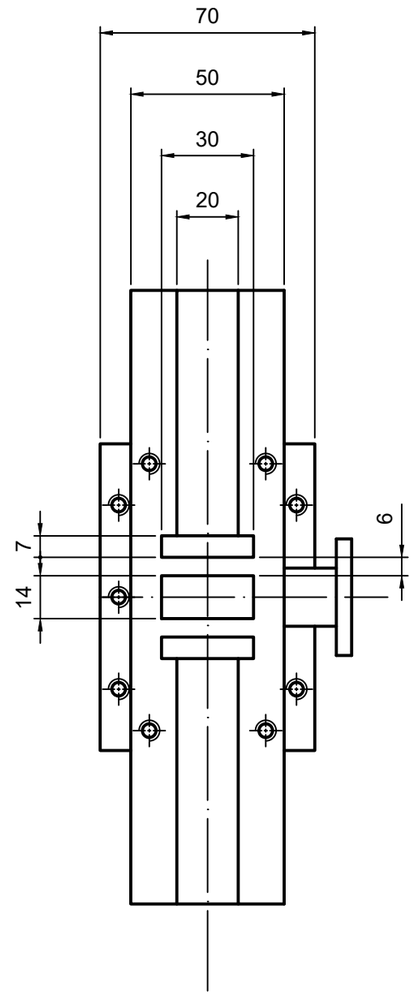
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 96. Casquillo del vástago del pistón		30/116

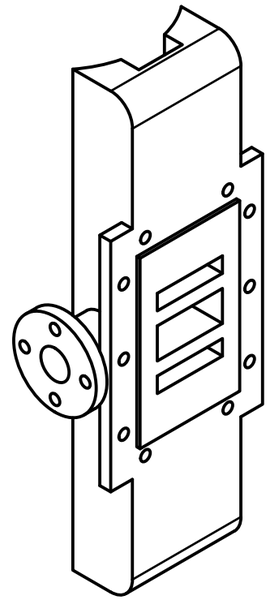




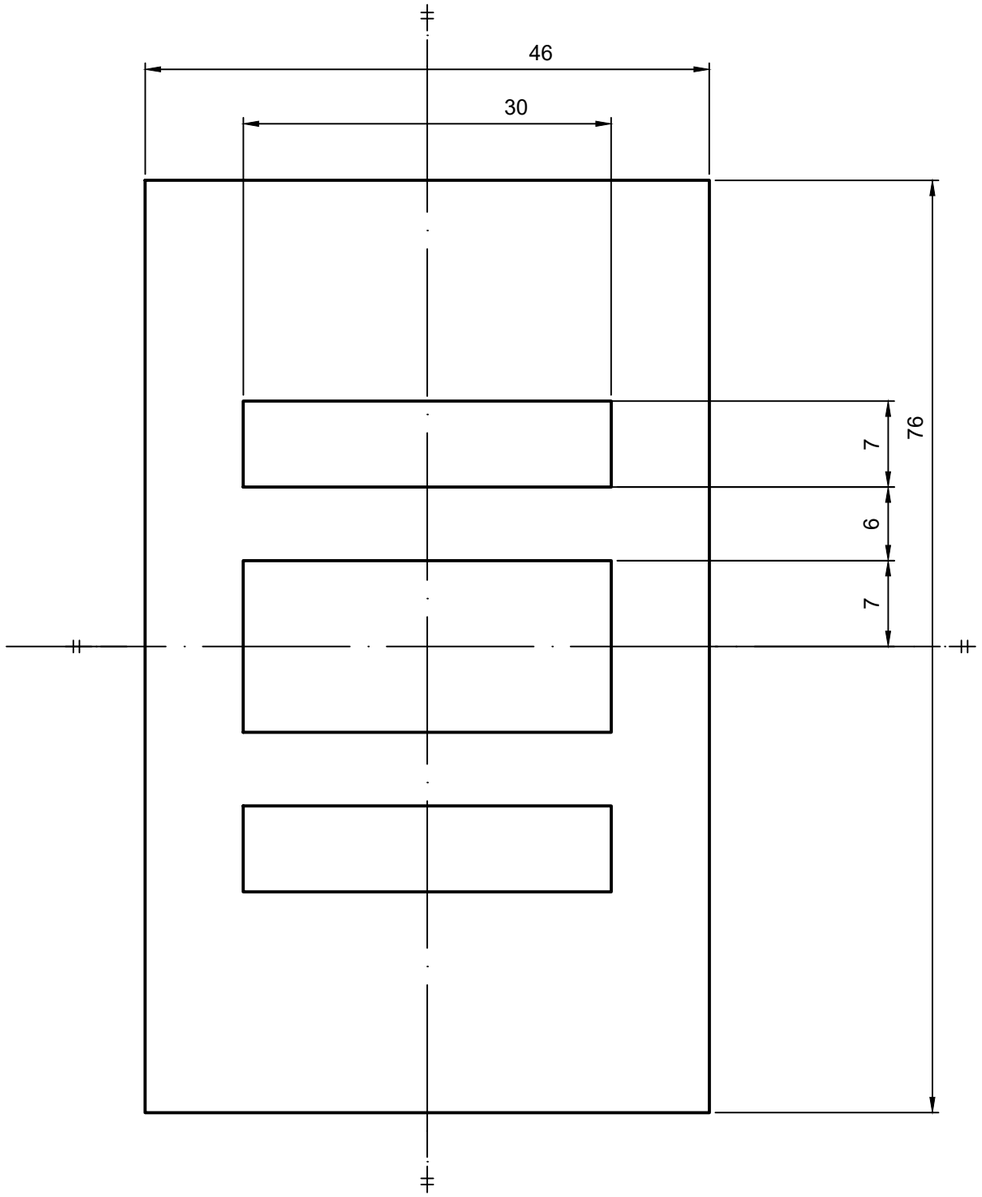


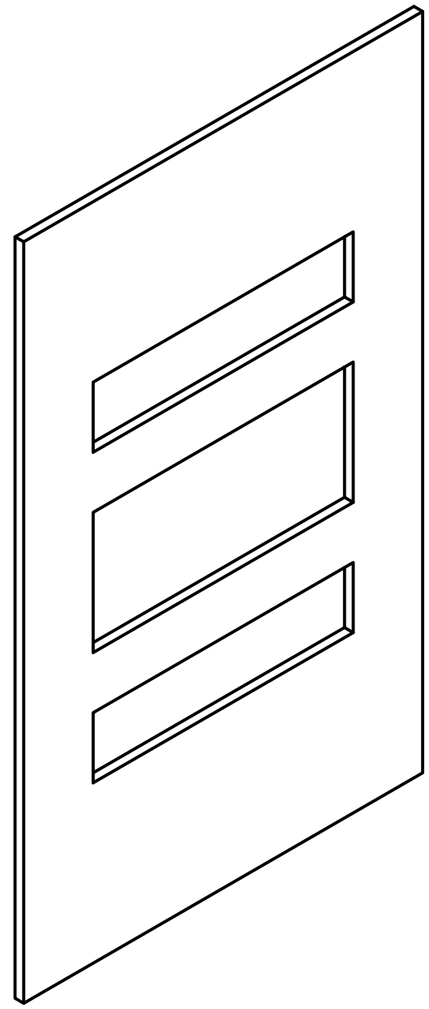






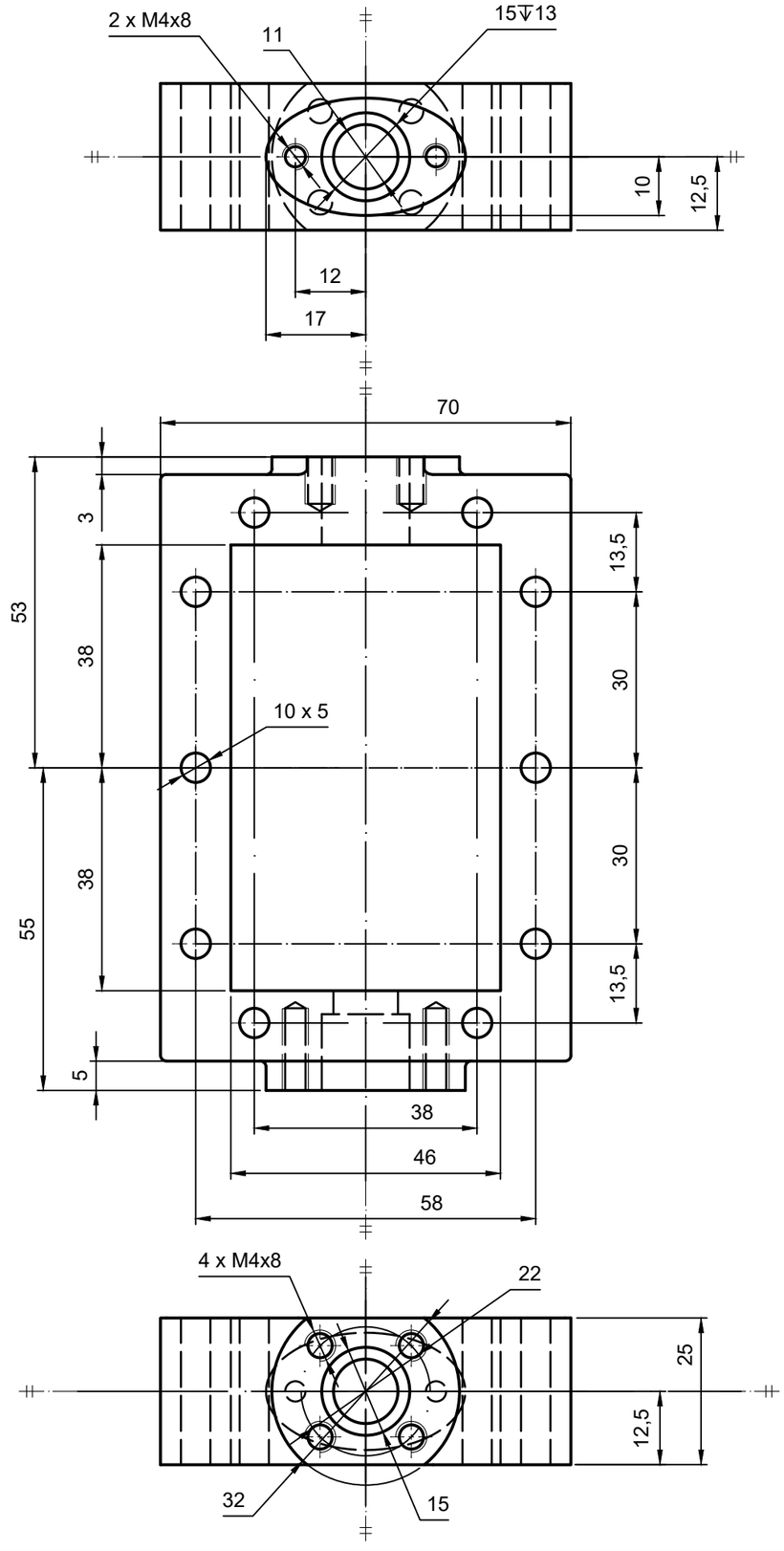
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1	Marca 133. Bloque de puerto del cilindro		31/116

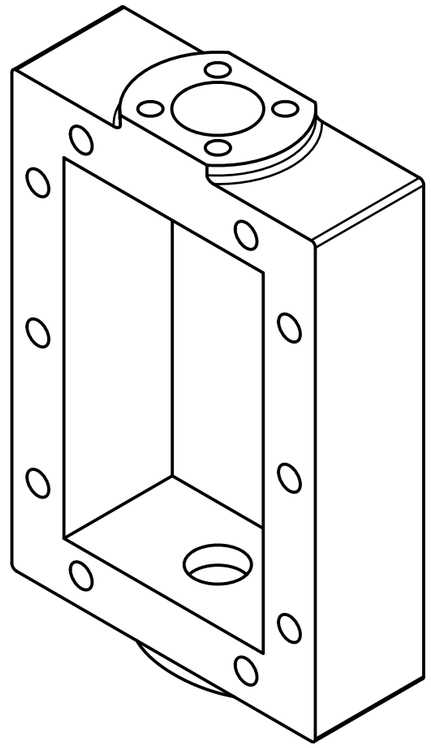




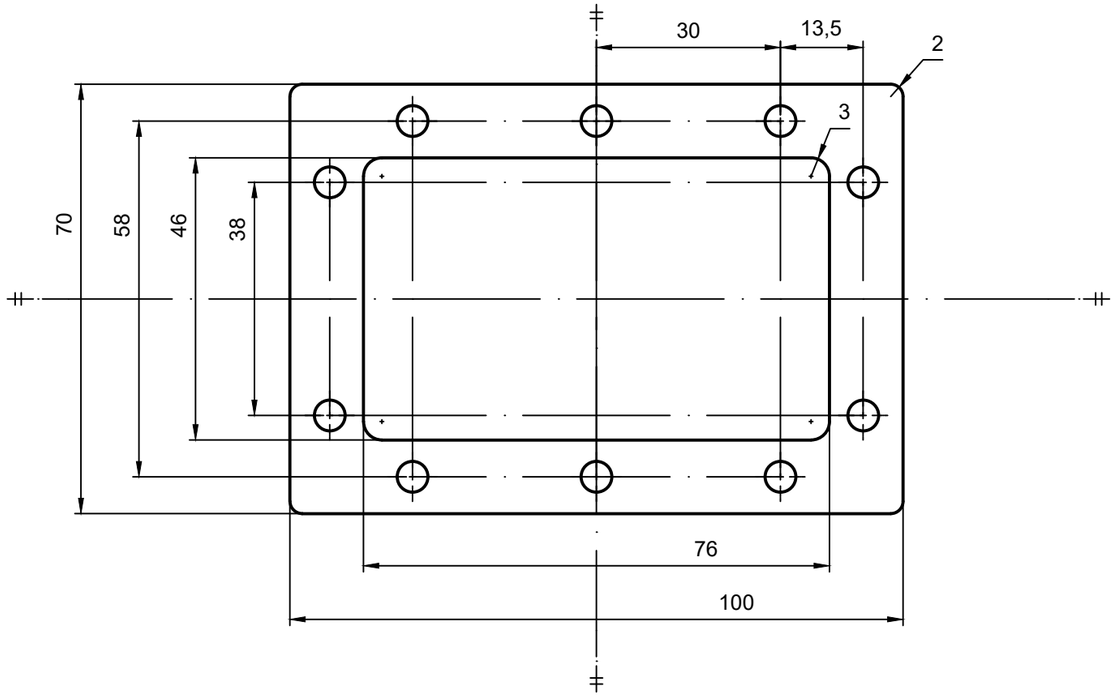
Espesor 1 mm

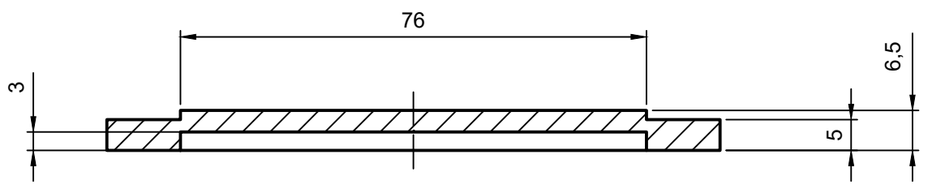
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 120. Placa de deslizamiento de la válvula de corredera		32/116

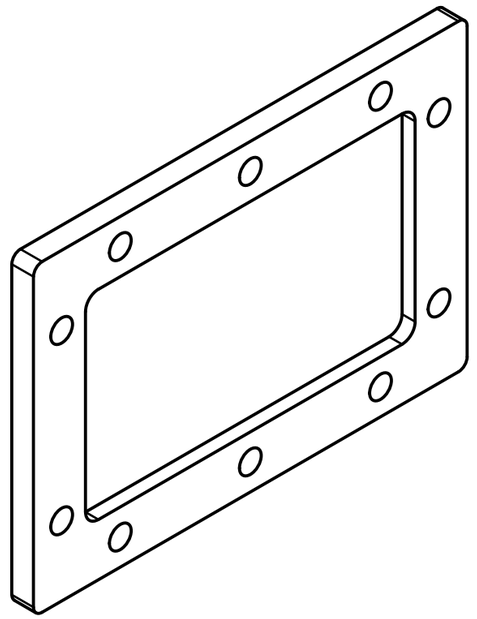




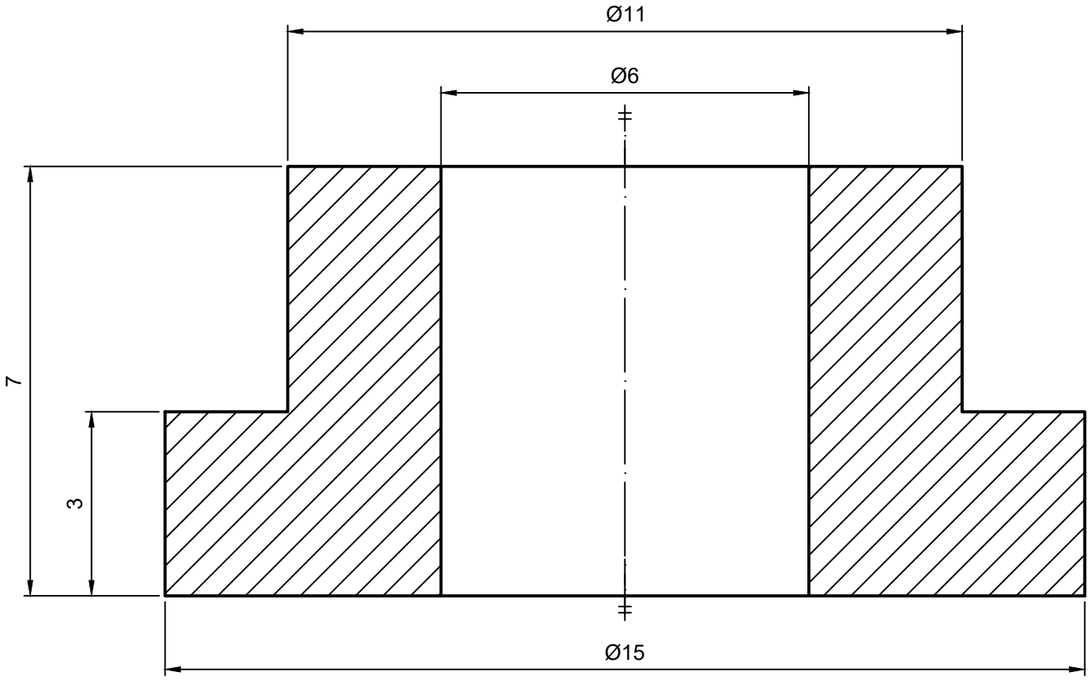
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1	Marca 36. Bloque del cofre de válvulas de corredera		33/116

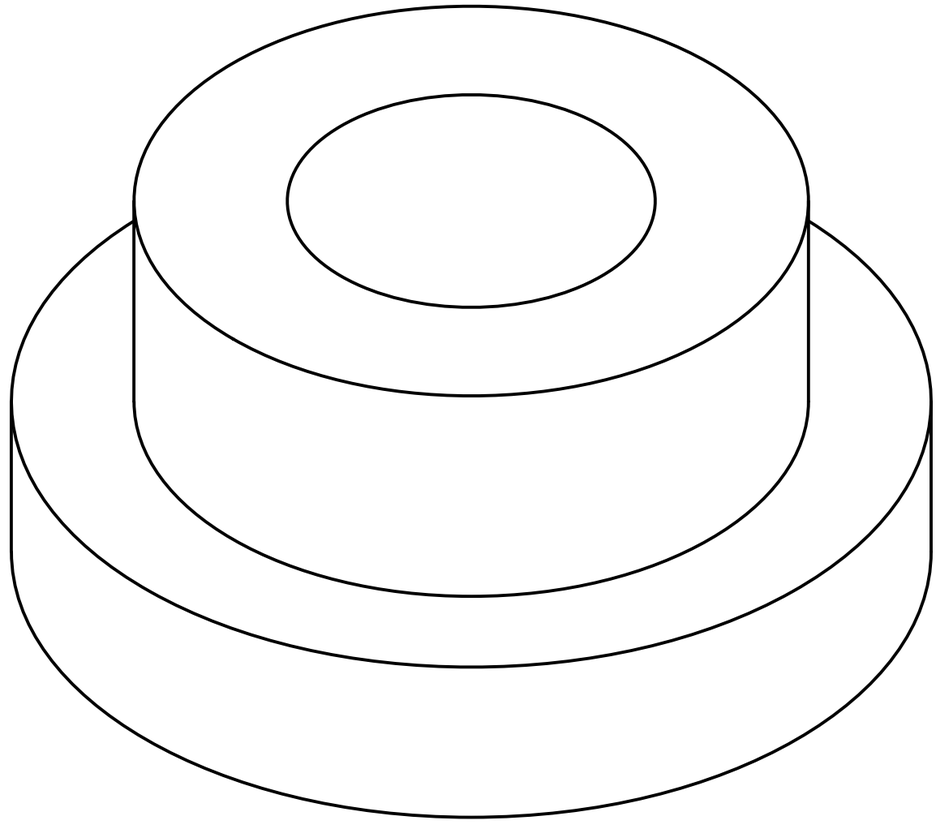




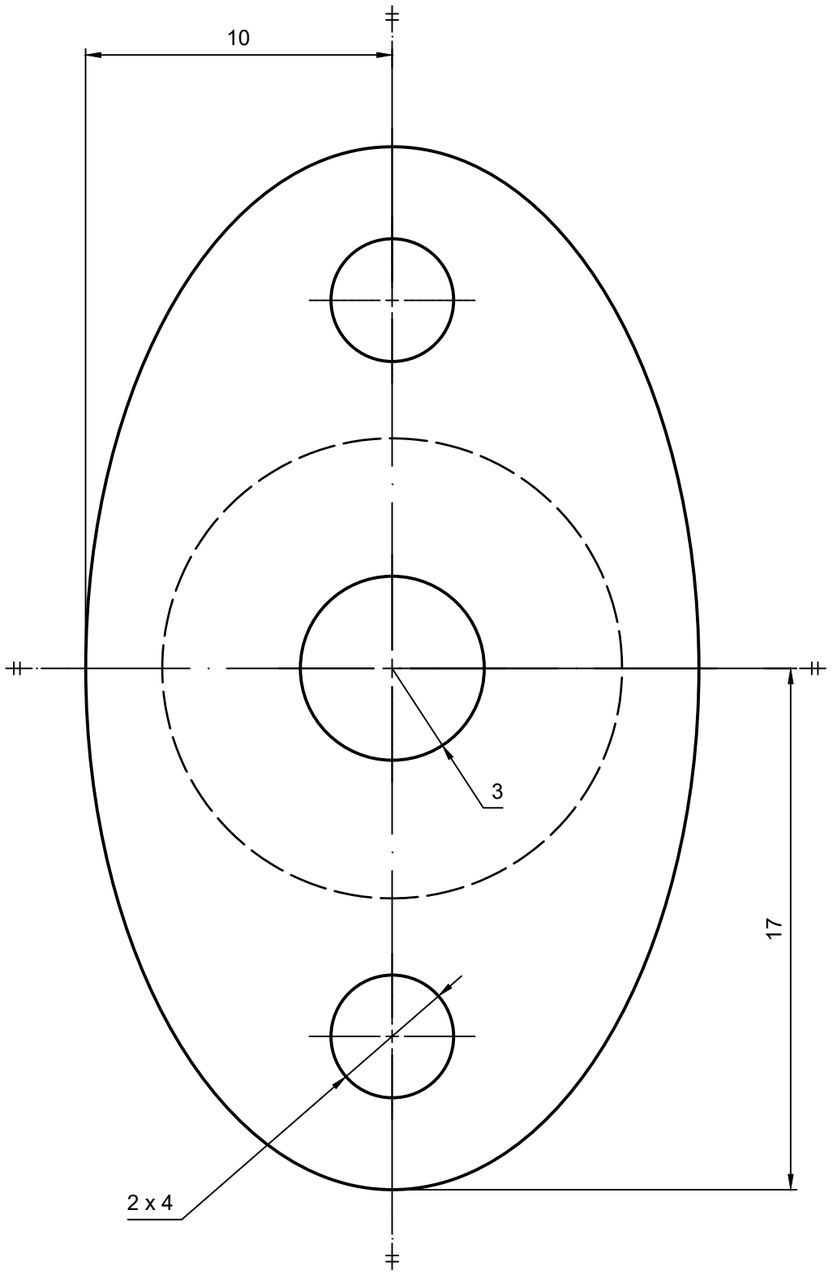


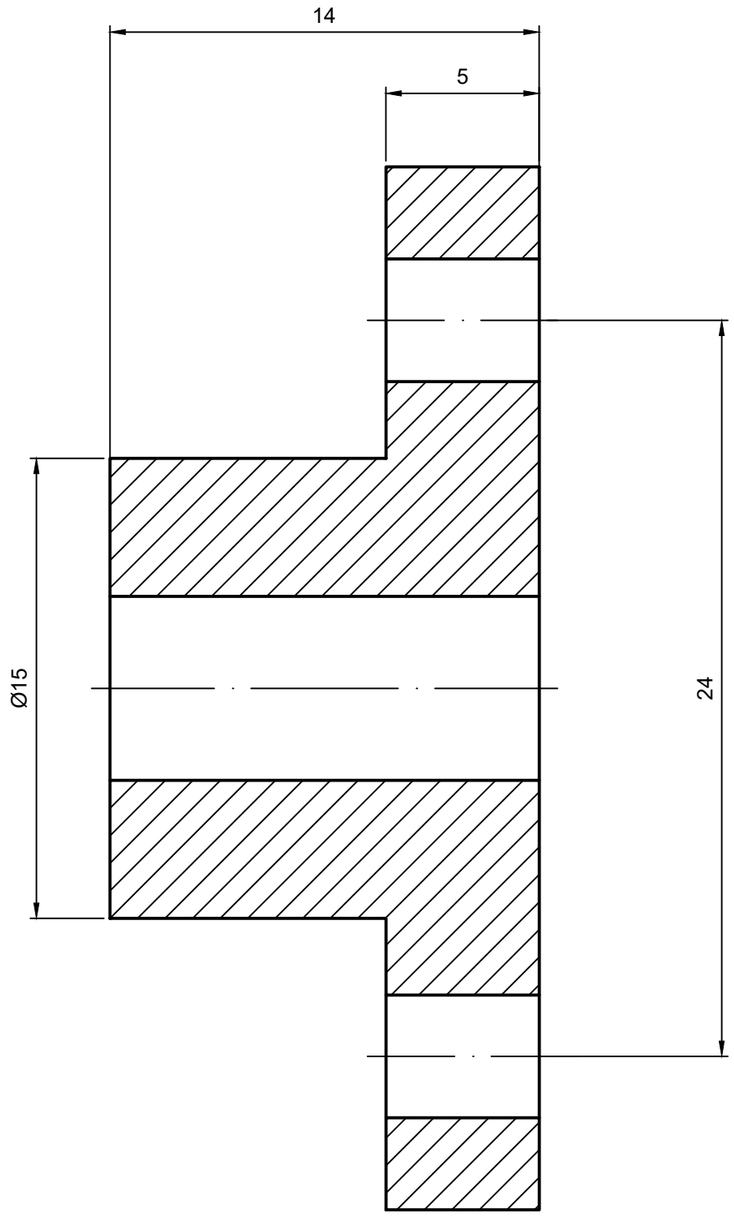
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1	Marca 34. Tapa del bloque del cofre de válvulas		34/116



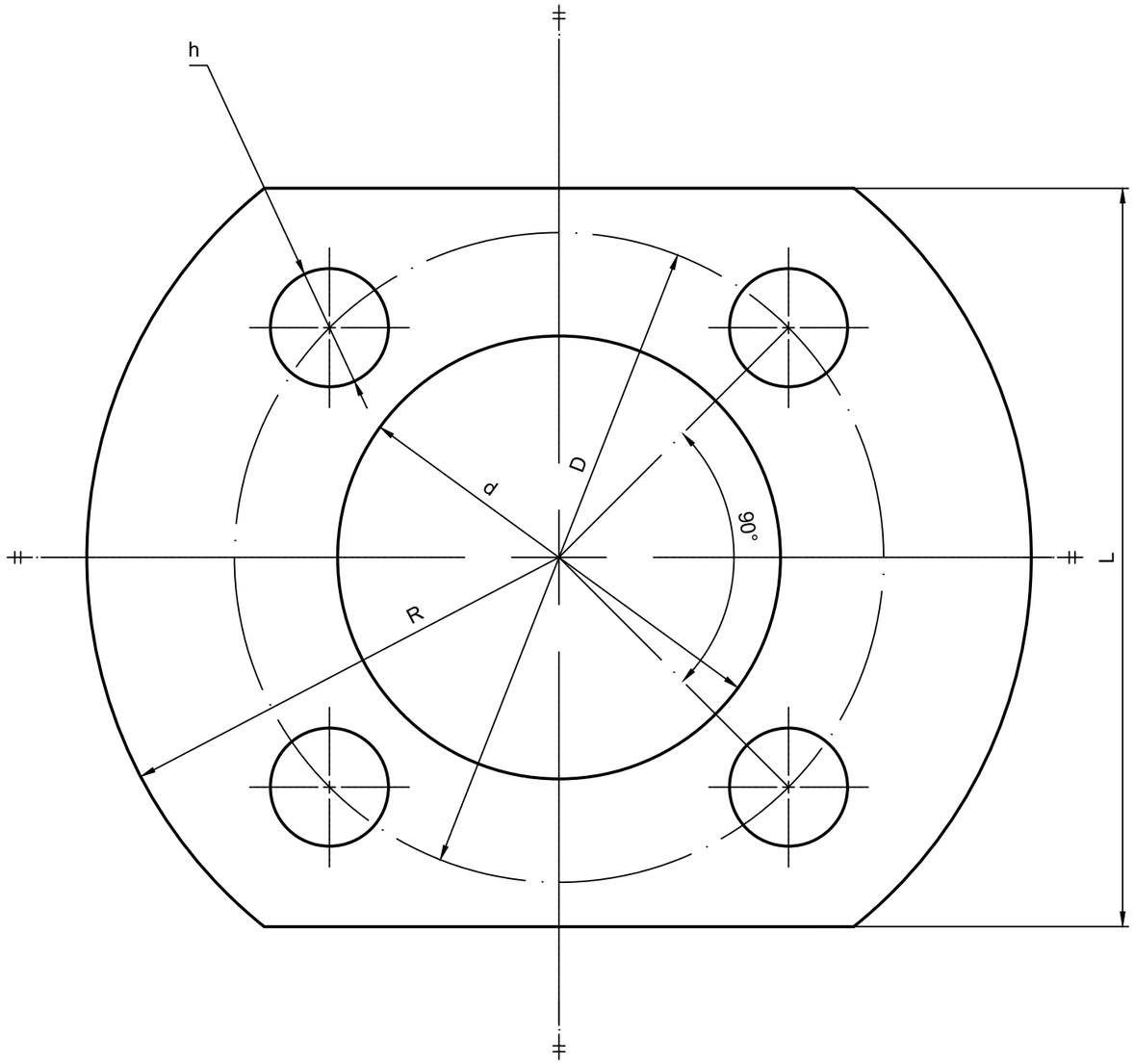


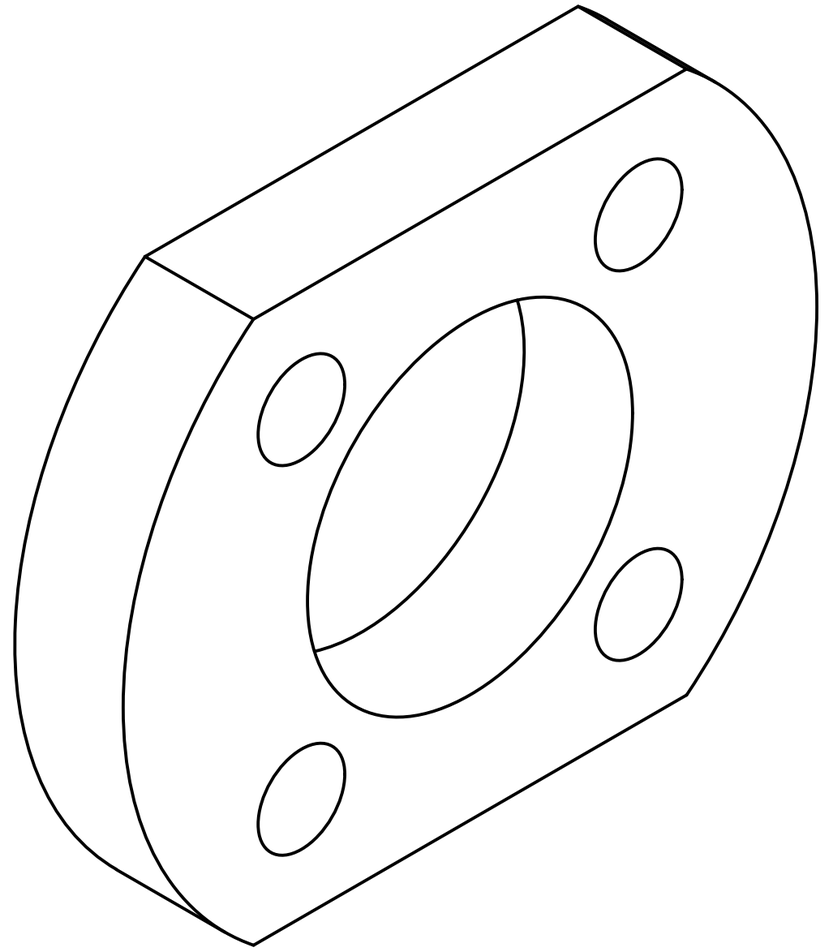
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
10:1	Marca 129. Cojinete de fricción del cofre de válvulas		35/116





Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 37. Casquillo de la varilla de válvula		36/116

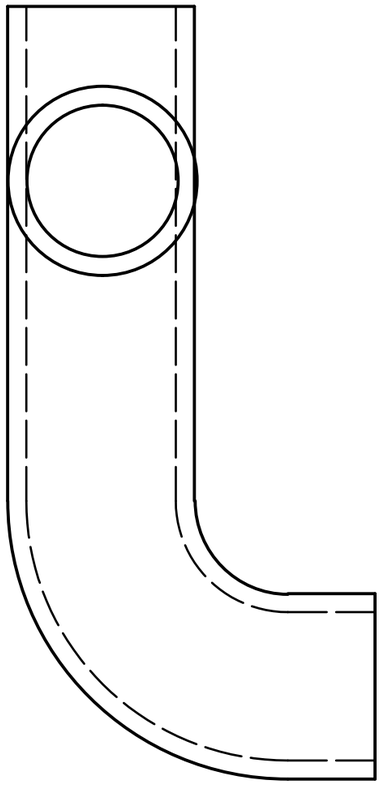


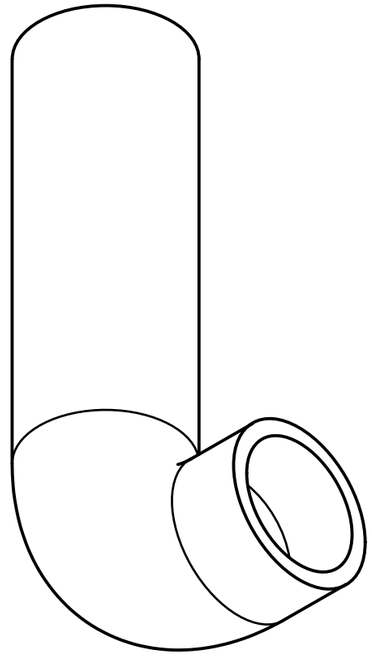


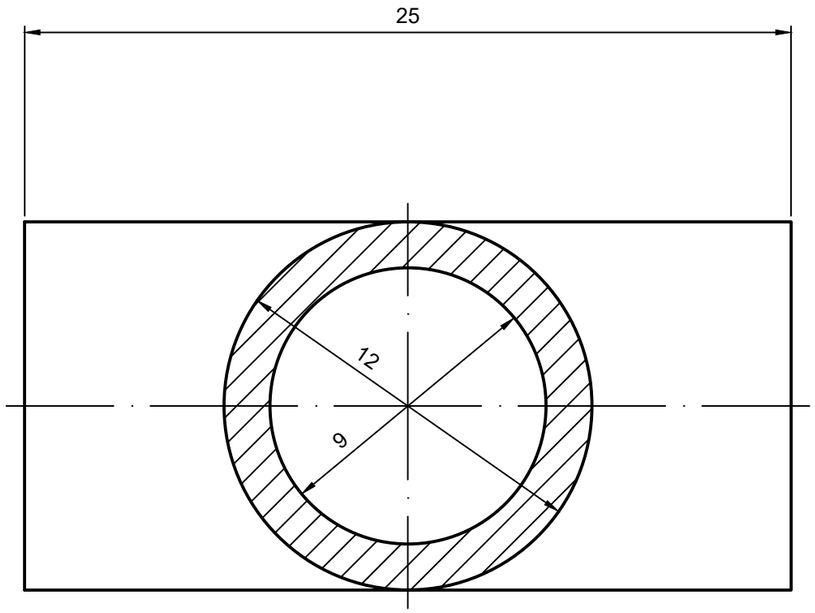
Espesor 5 mm

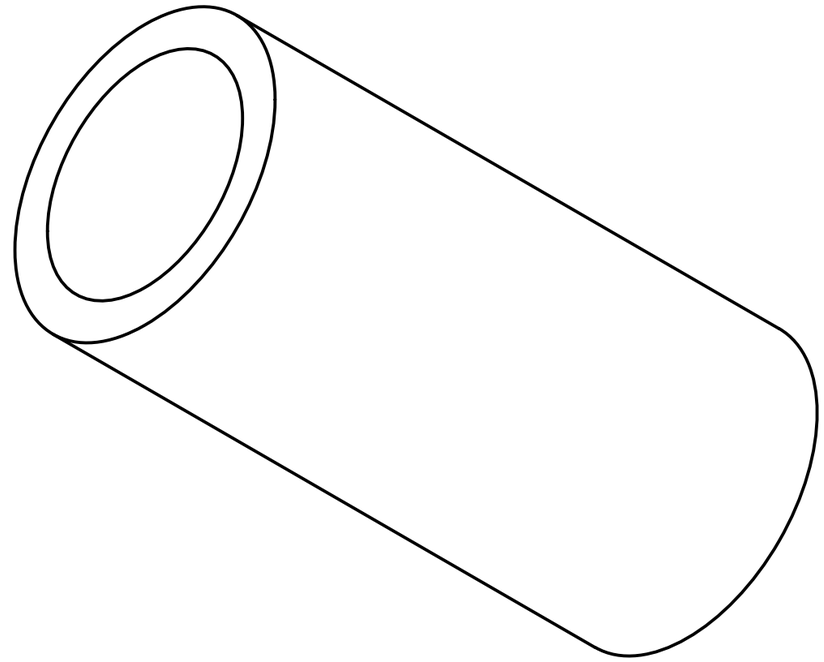
123	Placa de unión de la carcasa del regulador del vapor de entrada al cofre de válvulas	15	30	16	4	25
30	Tapa 2 de la carcasa del regulador de vapor de entrada	15	30	20	5	32
28	Tapa 1 de la carcasa del regulador de vapor de entrada	15	30	20	5	32
Marca	Denominación	d (mm)	D(mm)	R (mm)	h (mm)	L (mm)

Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Placas de unión de la carcasa de entrada de vapor		37/116

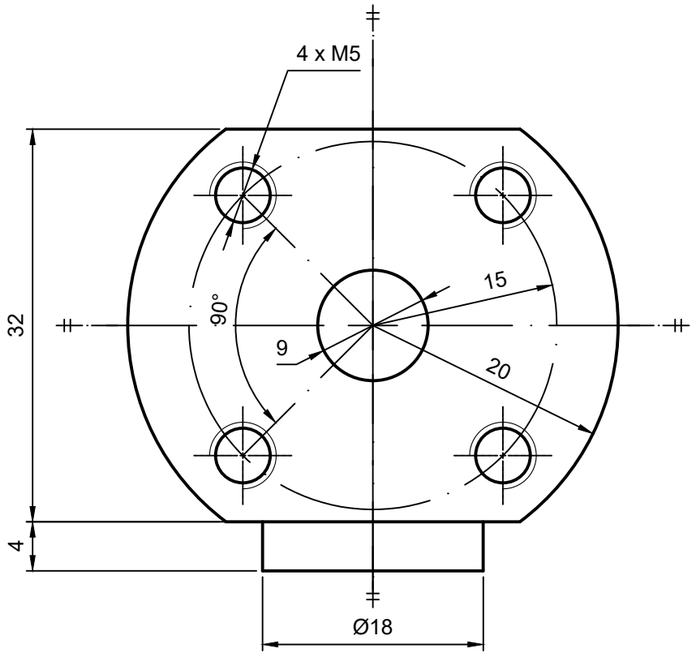


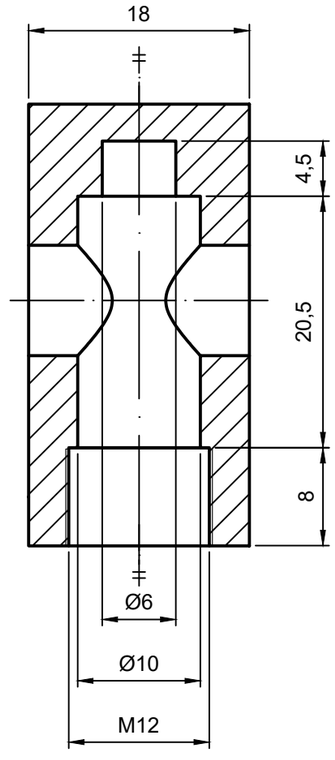


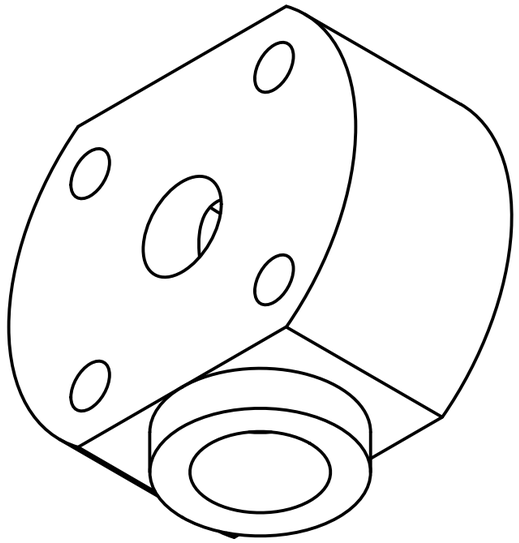




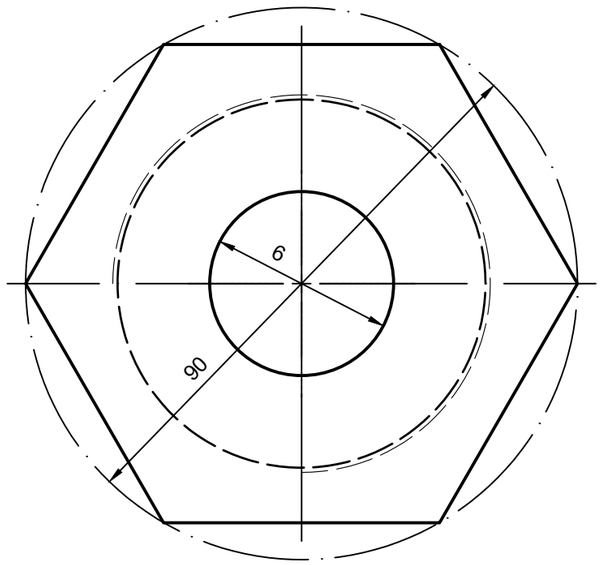
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 29. Tubo de entrada de vapor		39/116

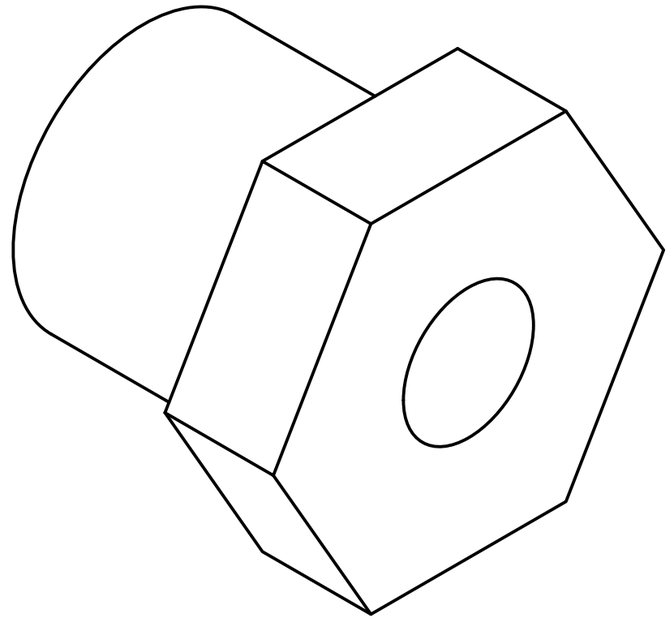


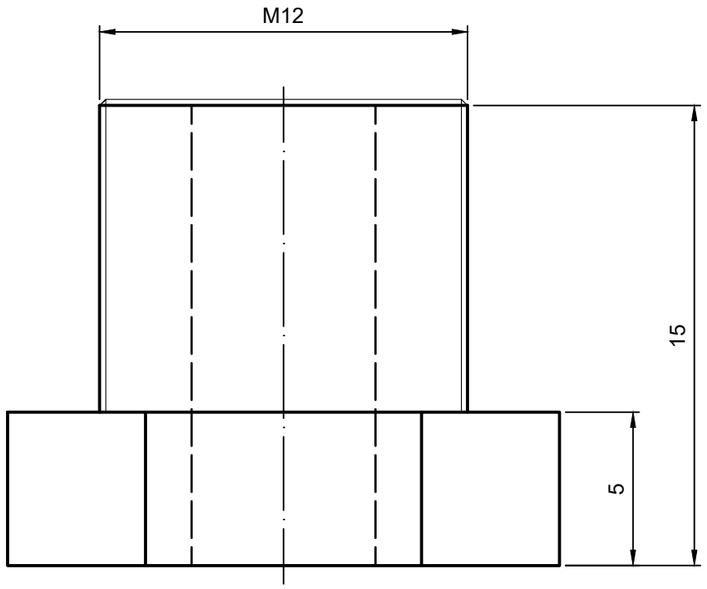




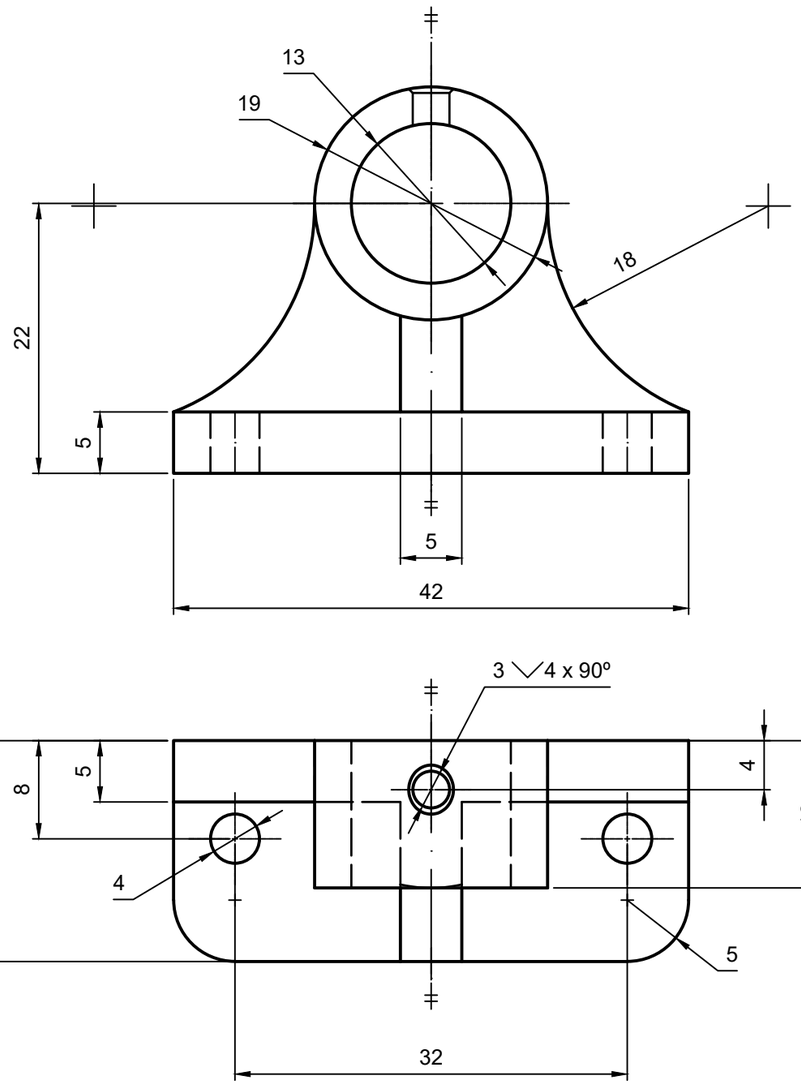
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 31. Carcasa del regulador del vapor de entrada		40/116

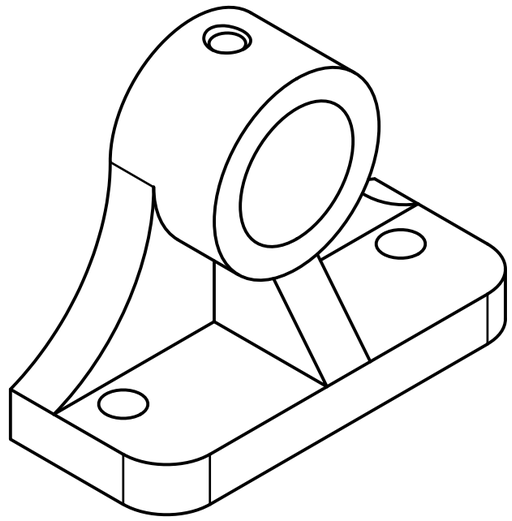




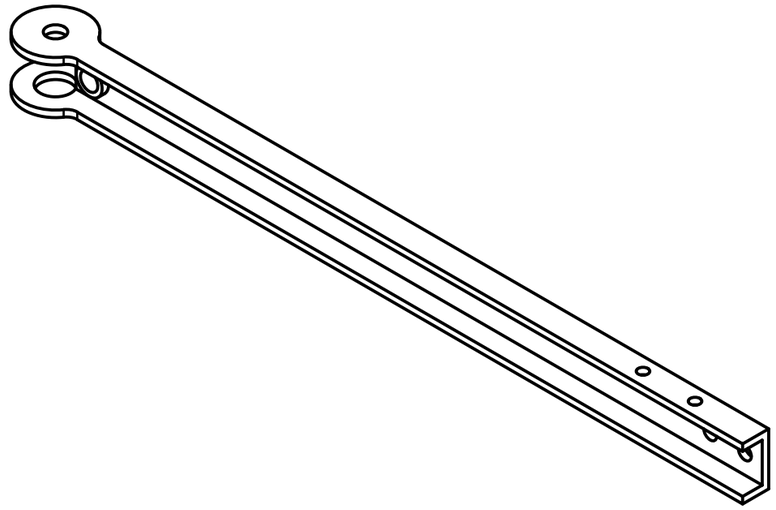


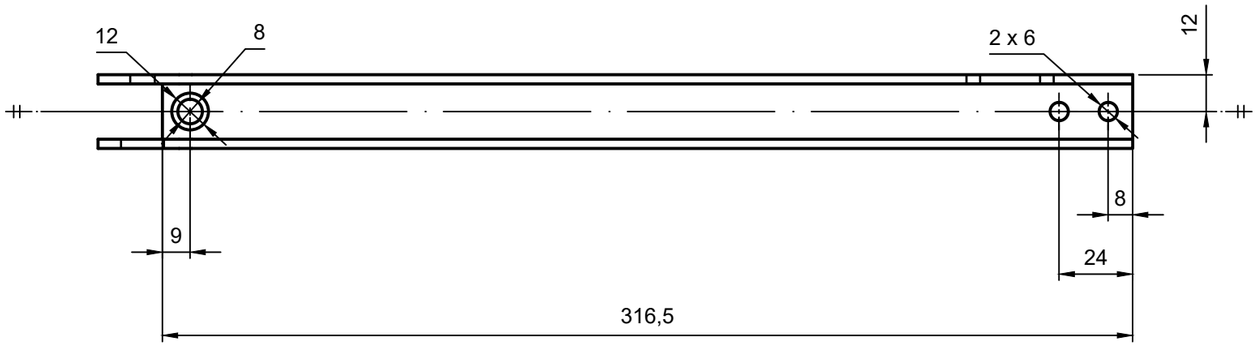
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 26.Casquillo del regulador de vapor de entrada		41/116

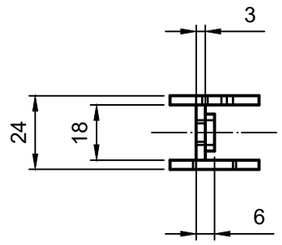




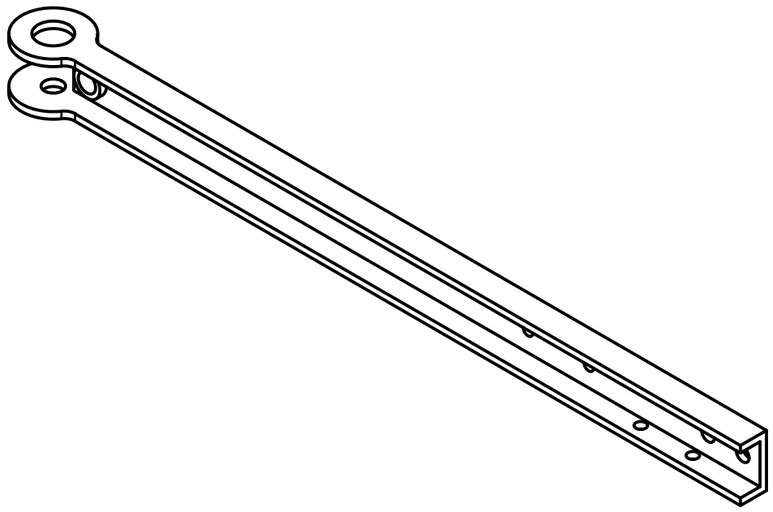
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 20. Soporte del cojinete del tirante excéntrico		42/116

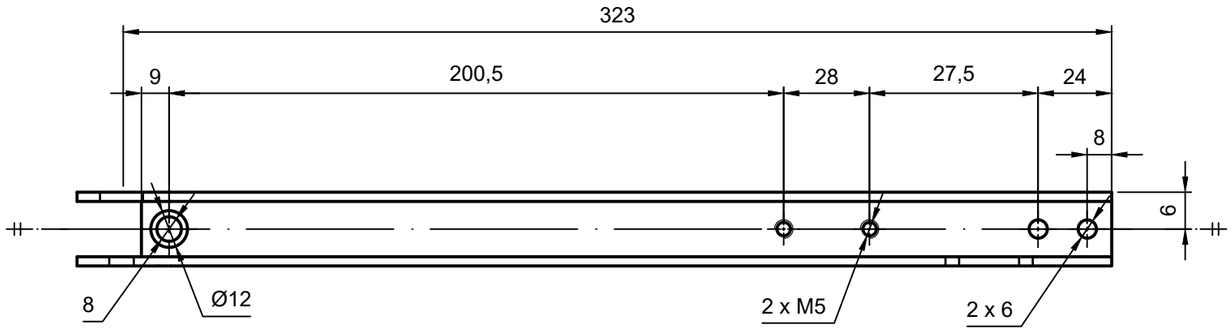


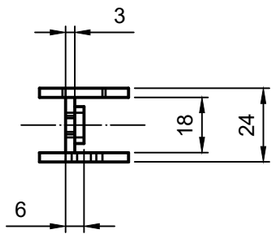


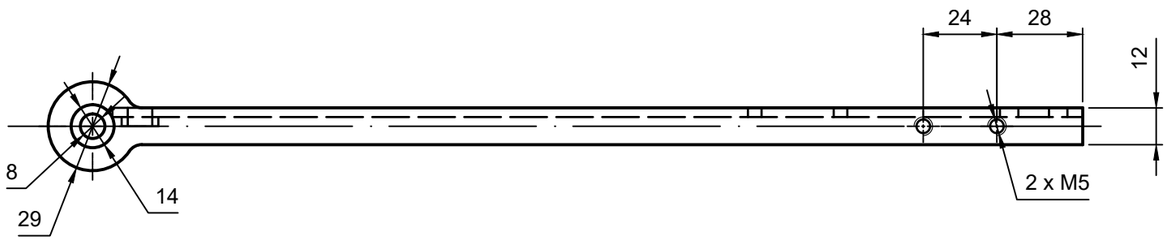


Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:2	Marca 51. Viga derecha		43/116

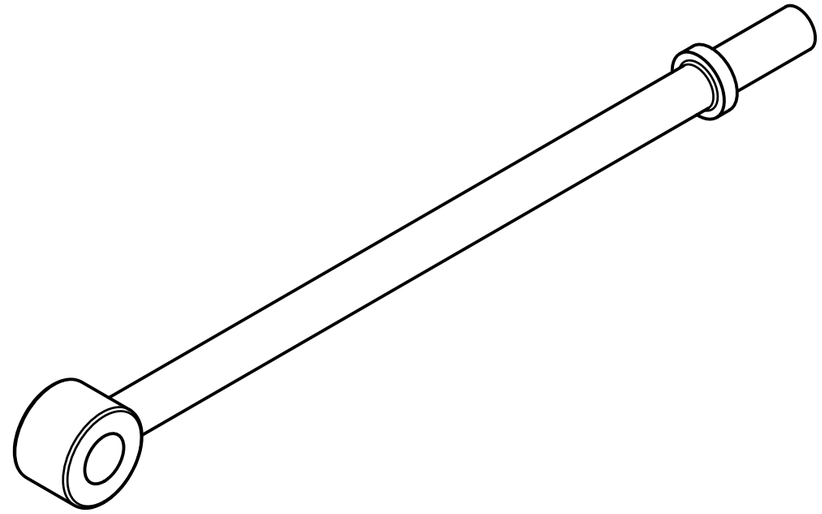


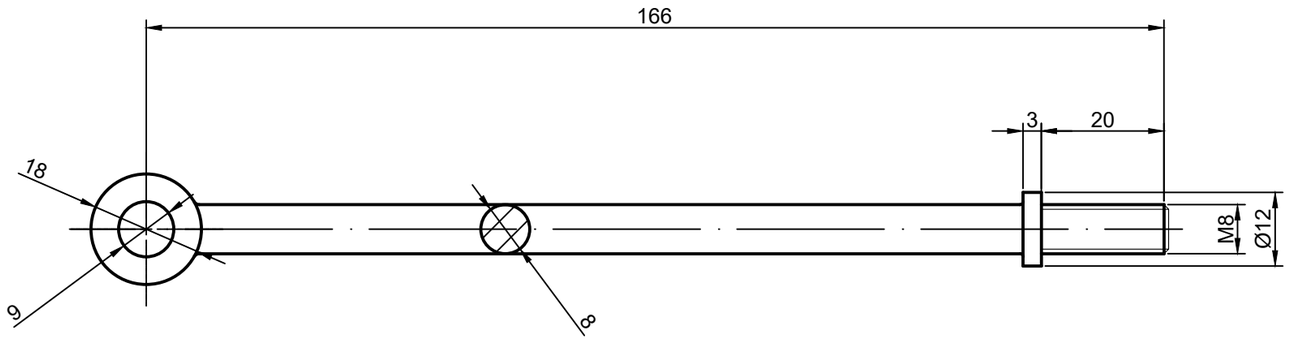


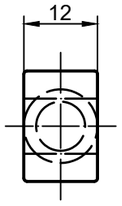




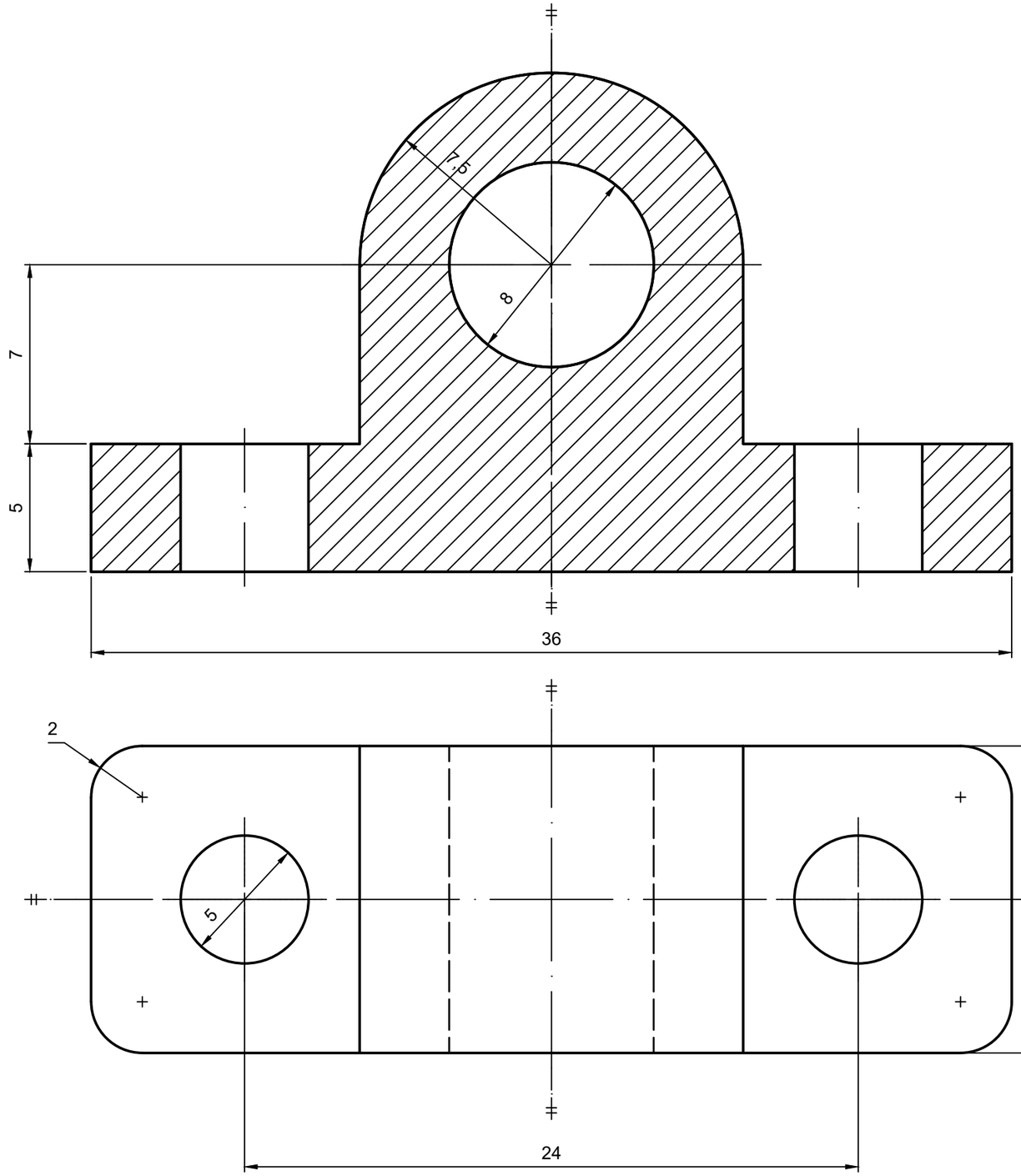
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:2	Marca 61. Viga izquierda		44/116

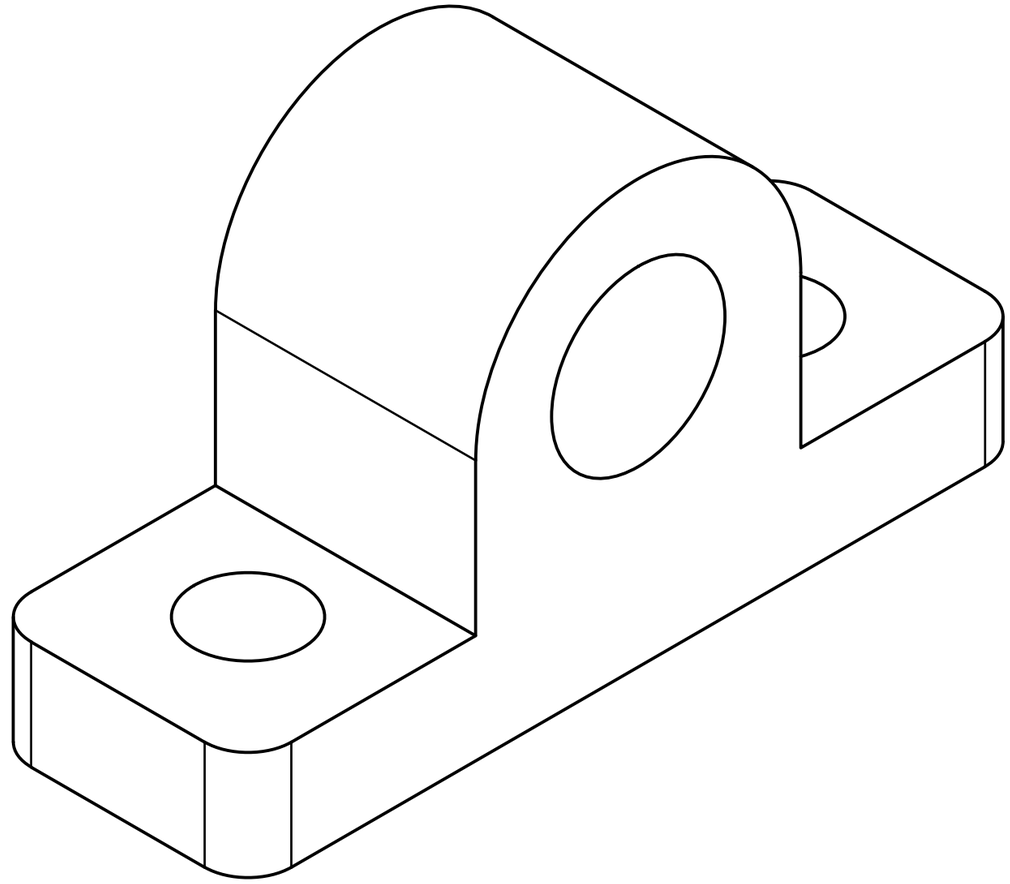




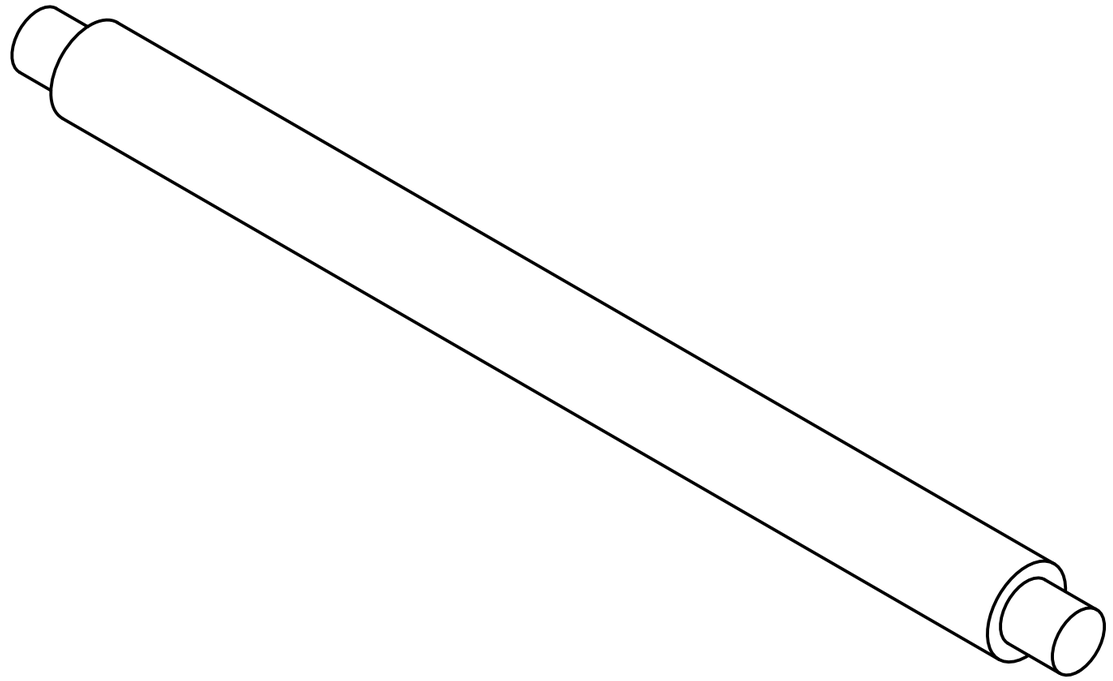


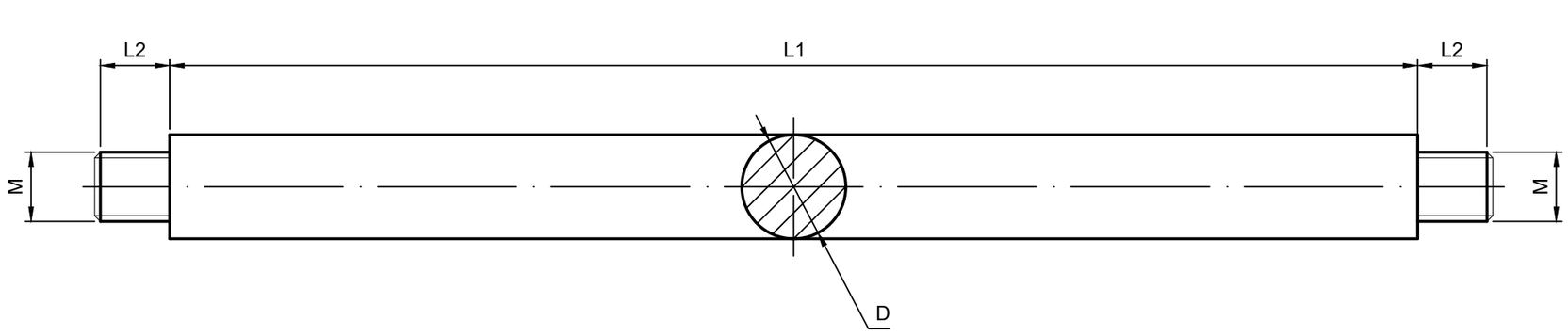
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1	Marca 42. Viga fija superior 1		45/116





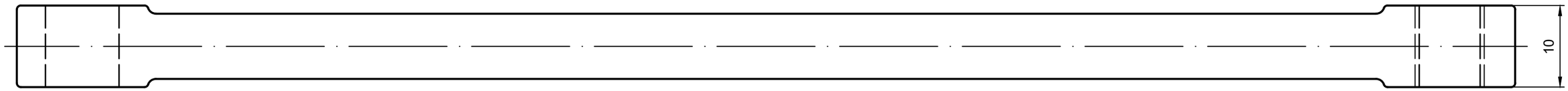
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 141. Bloque de montaje de la viga fija superior 2		46/116

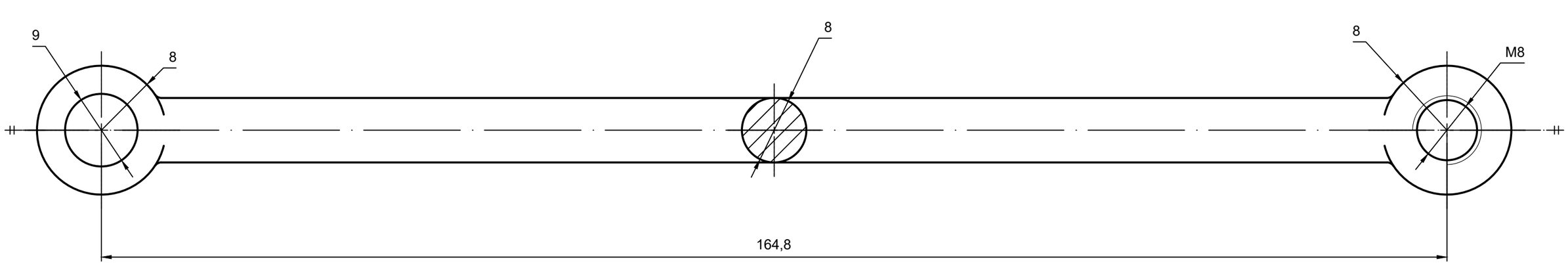




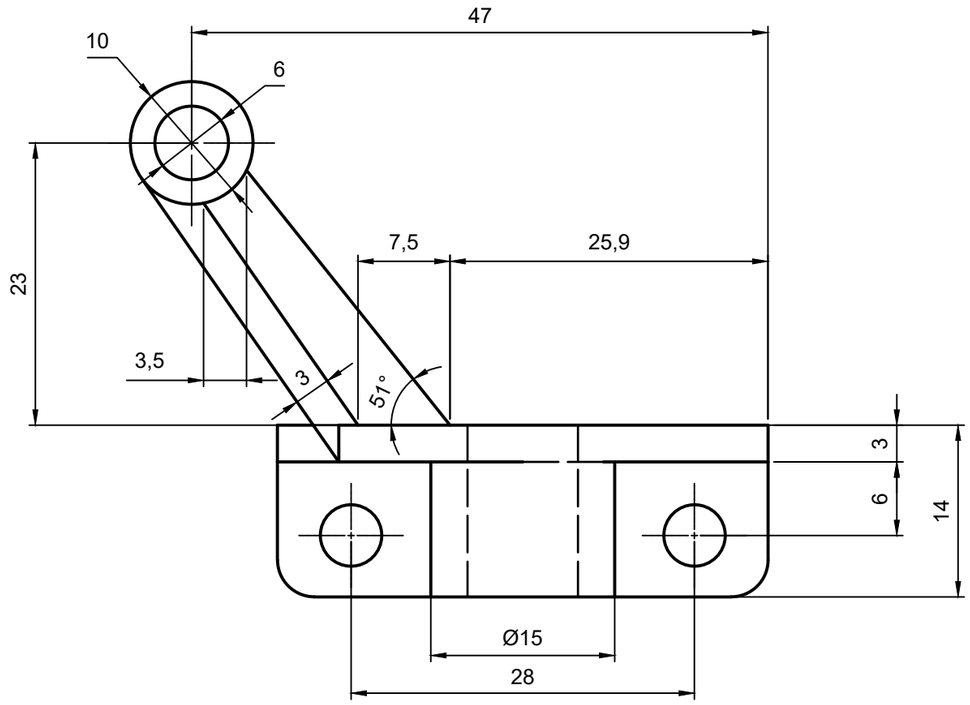
151	Pasador del pistón de la bomba	14	4	6	M4
139	Eje transversal superior 1	108	6	6	M6
100	Barra estabilizadora móvil de media estancia	147	14	8	M8
66	Barra estabilizadora móvil de fin de estancia	95	20	8	M8
58	Eje transversal del soporte trasero	96	5	8	M5
Marca	Denominación	L1 (mm)	L2 (mm)	D(mm)	M (ISO)

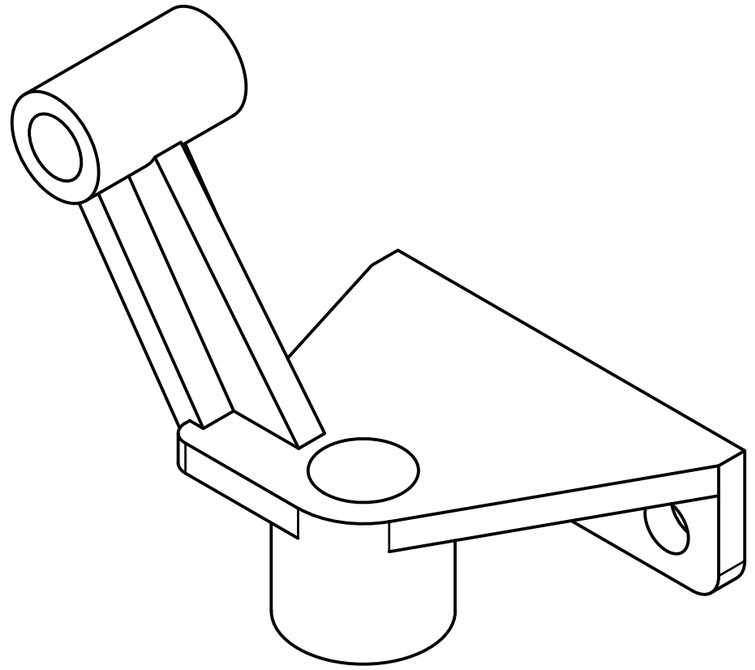
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	
Escala :	Título :	Plano :
1:1	Ejes y/o varillas con extremos roscados	47/116

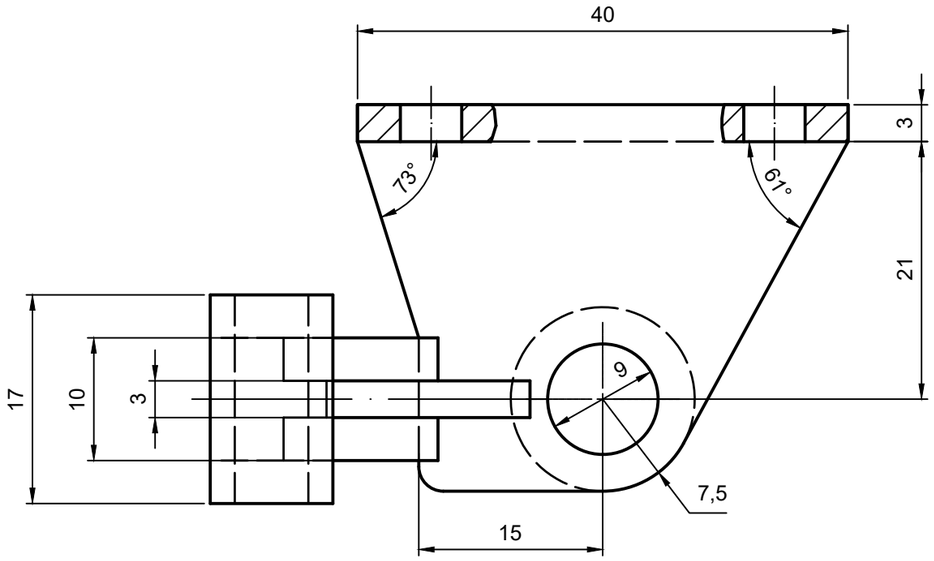




Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 98. Viga fija superior 2		48/116

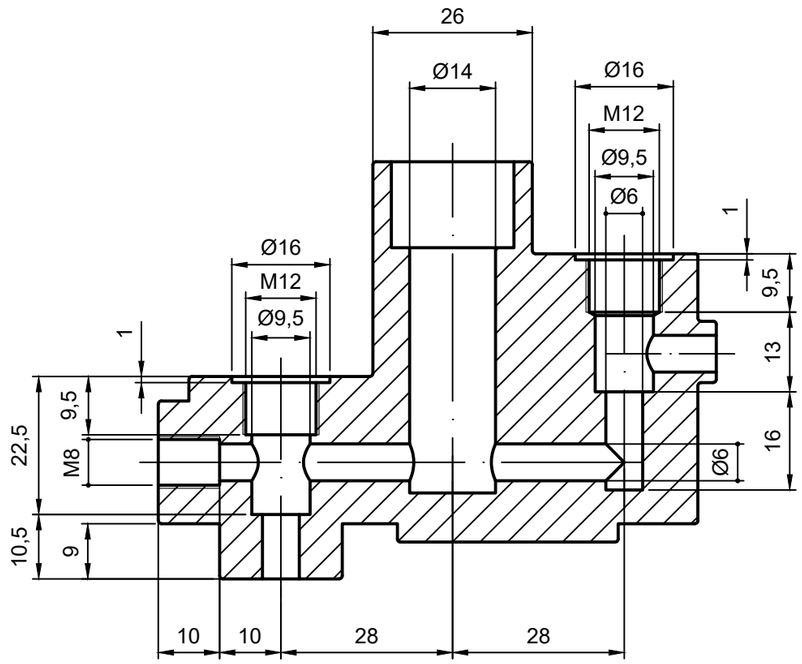


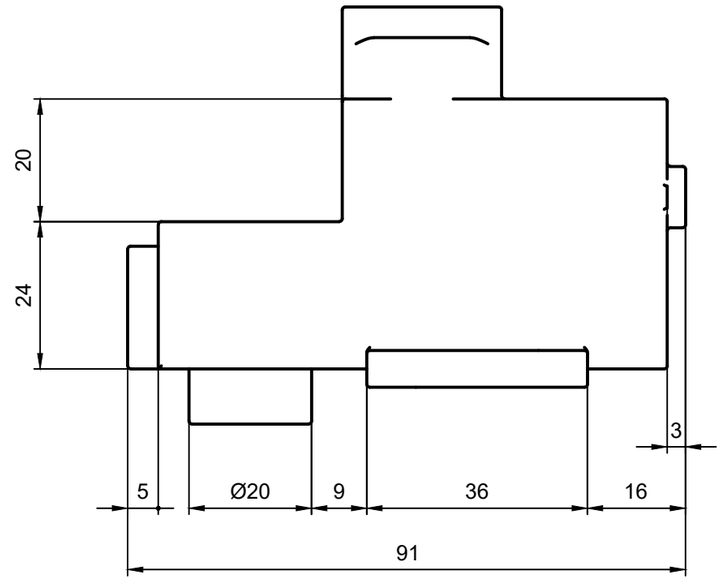


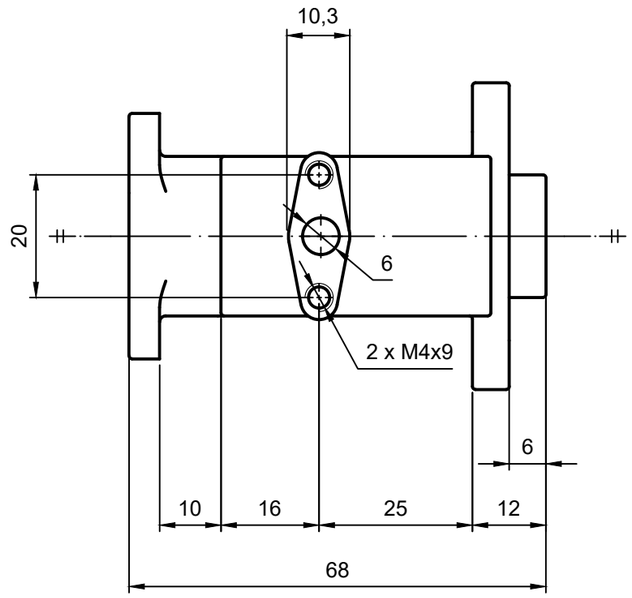


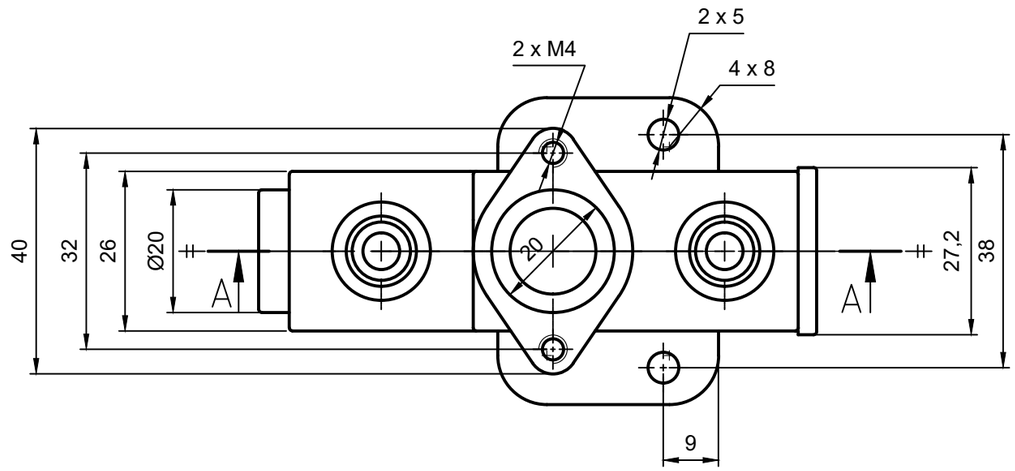
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 86. Soporte del cojinete superior del regulador		49/116

A – A

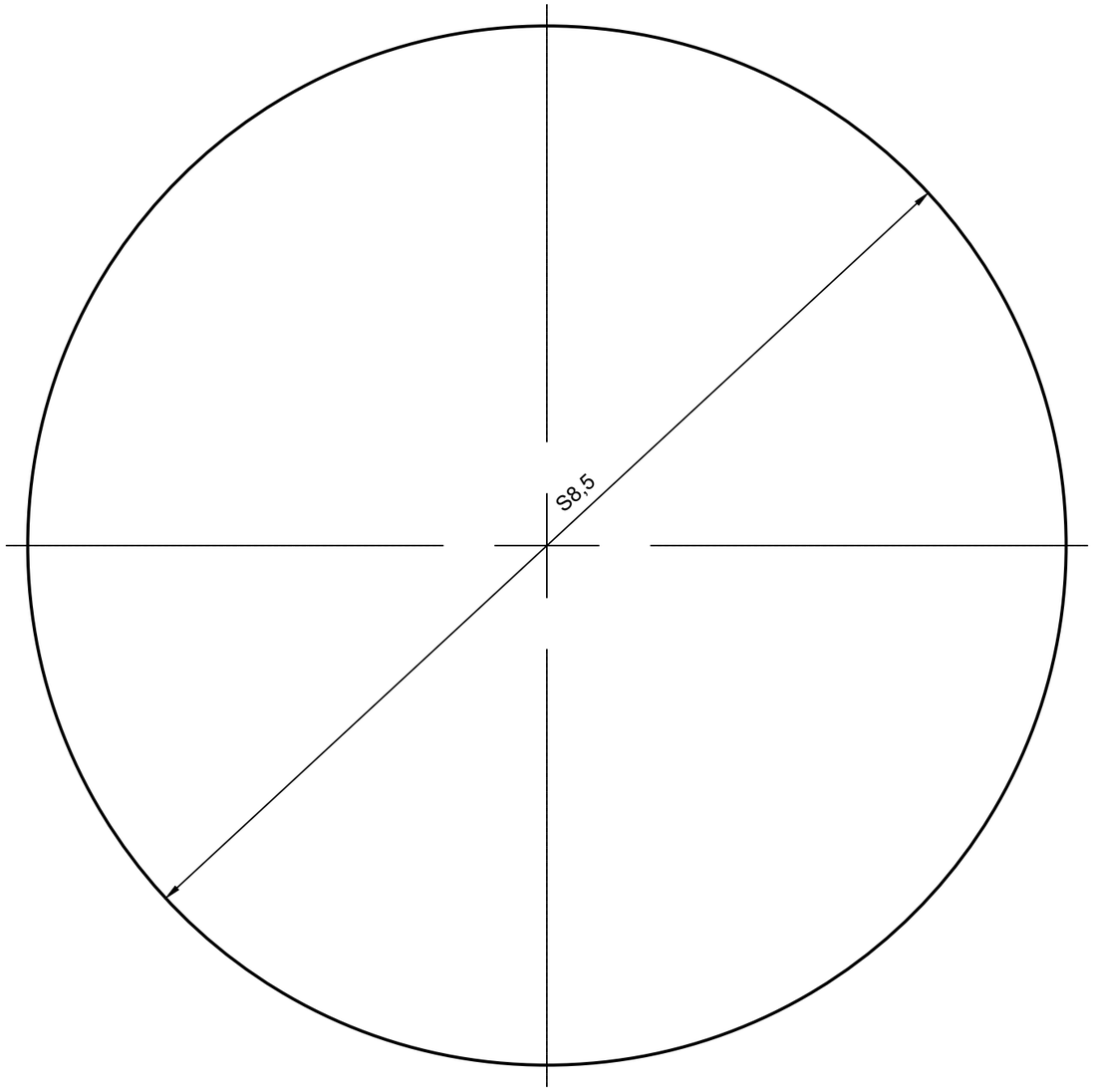




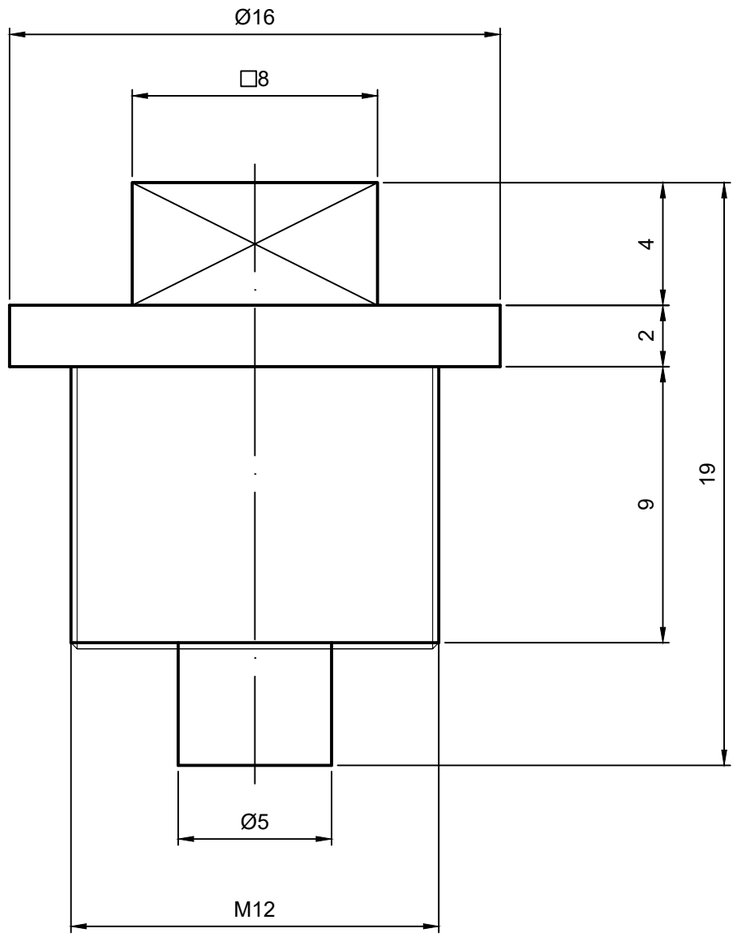


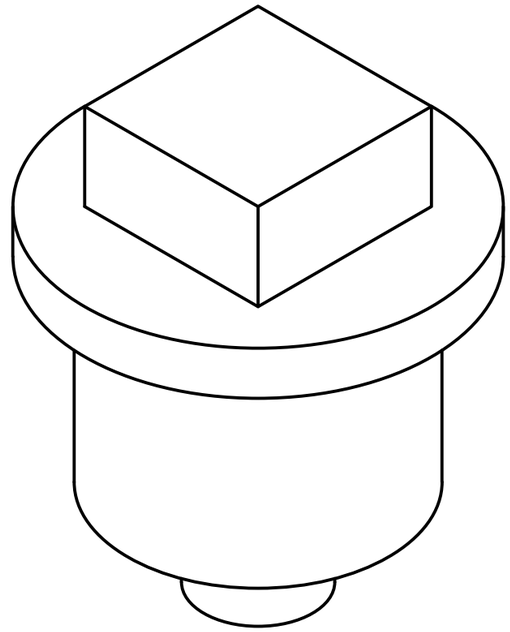


Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 5. Carcasa de la bomba		50/116

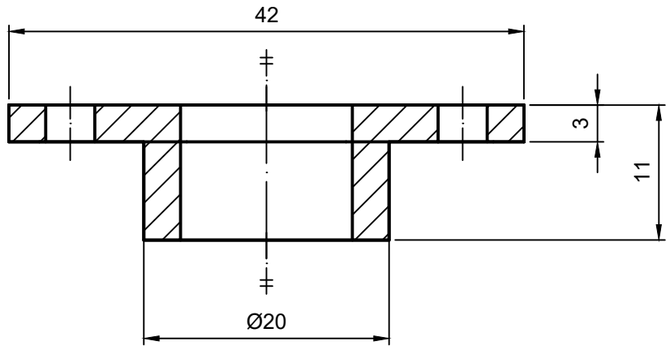


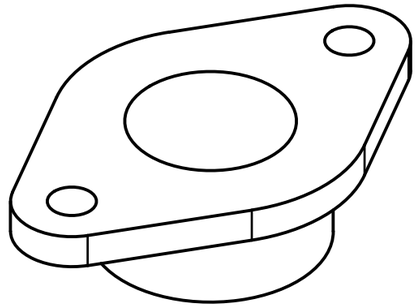
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
20:1	Marca 157. Válvula de bola de la bomba		51/116

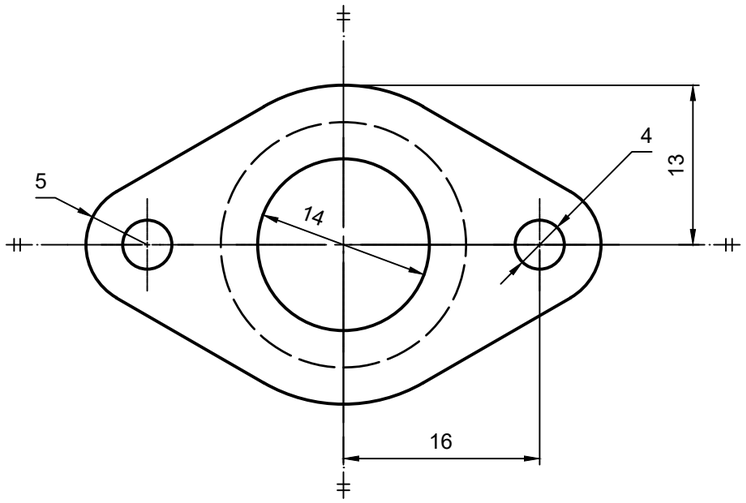




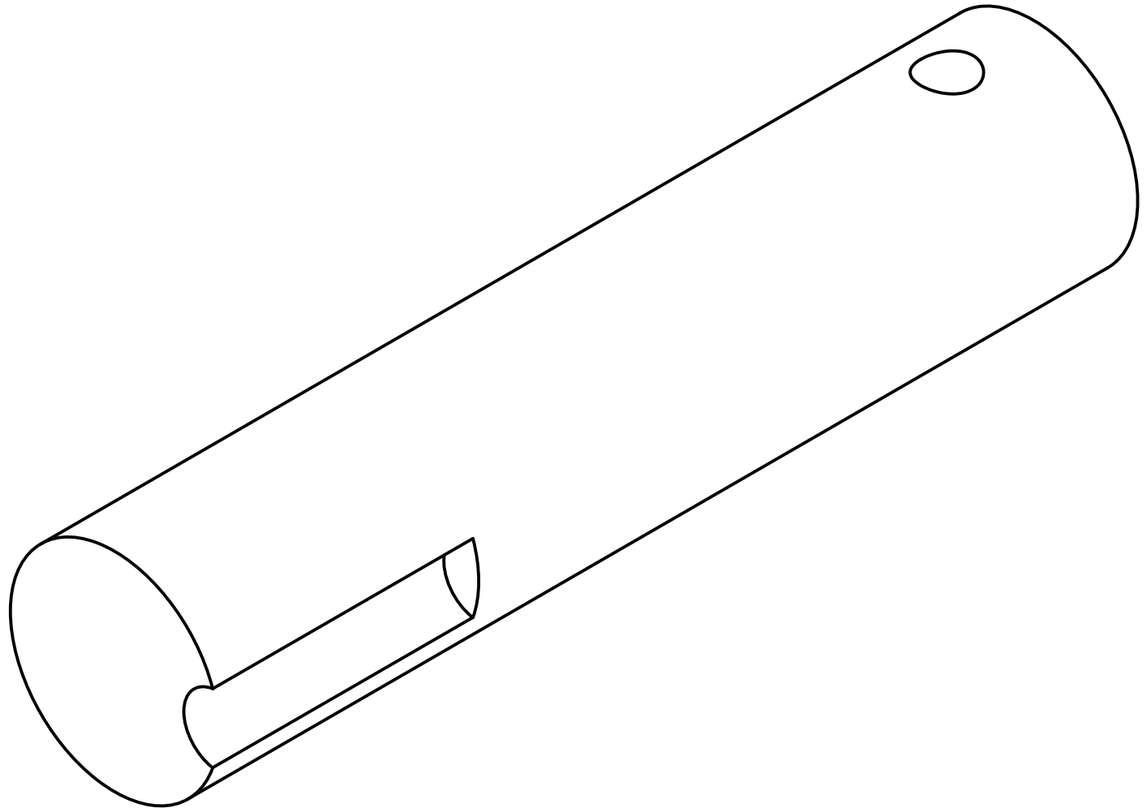
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 3. Tornillo de retención de la válvula de bola		52/116



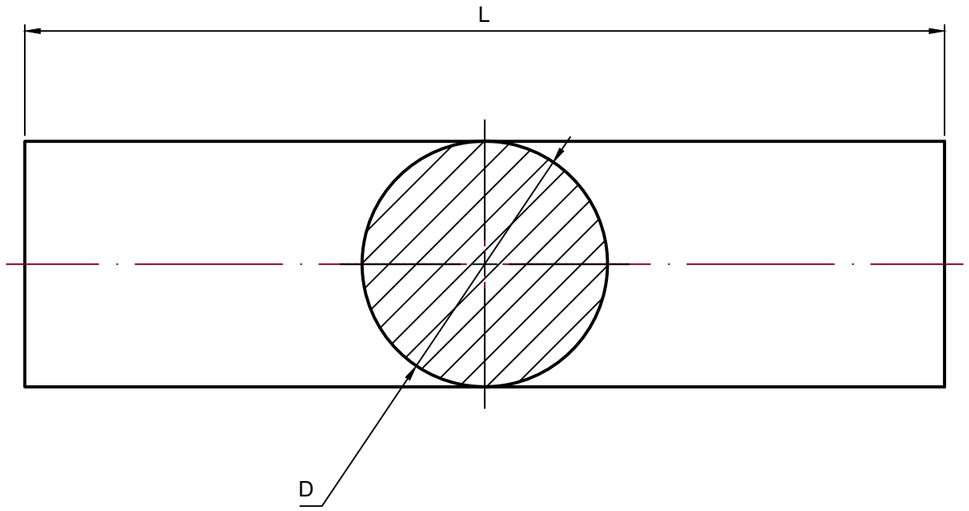


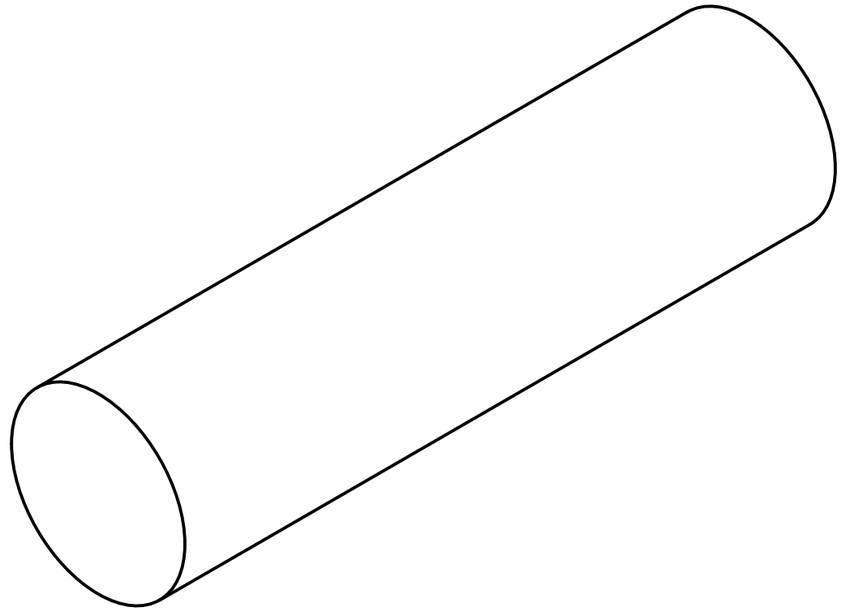


Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 2. Casquillo del pistón de la bomba		53/116



Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 77. Eje del cigüeñal		54/116

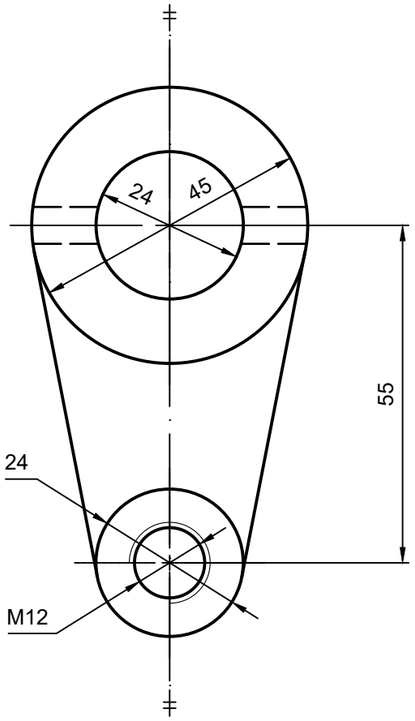


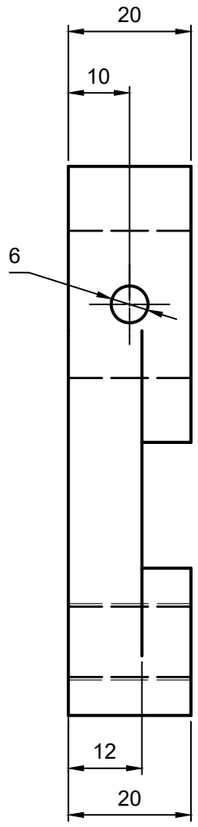


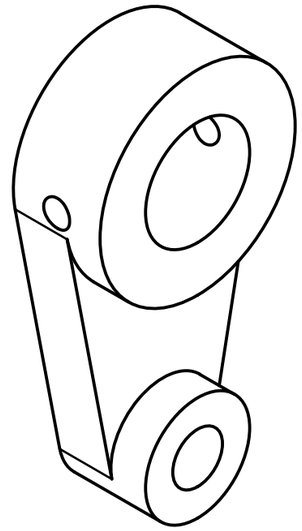
175	Bulón 2	3	9
169	Bulón 1	8	30
142	Bulón 6	3	10
116	Bulón 5	3	15
110	Pasador del bulón 10	1,5	8
93	Pasador del bulón 9	1,5	8
91	Bulón 11	6,0	28
81	Bulón 4	3	12
70	Bulón 3	6	45
13	Bulón 7	3	13
10	Bulón 8	3	16
Marca	Denominación	D (mm)	L (mm)

Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	

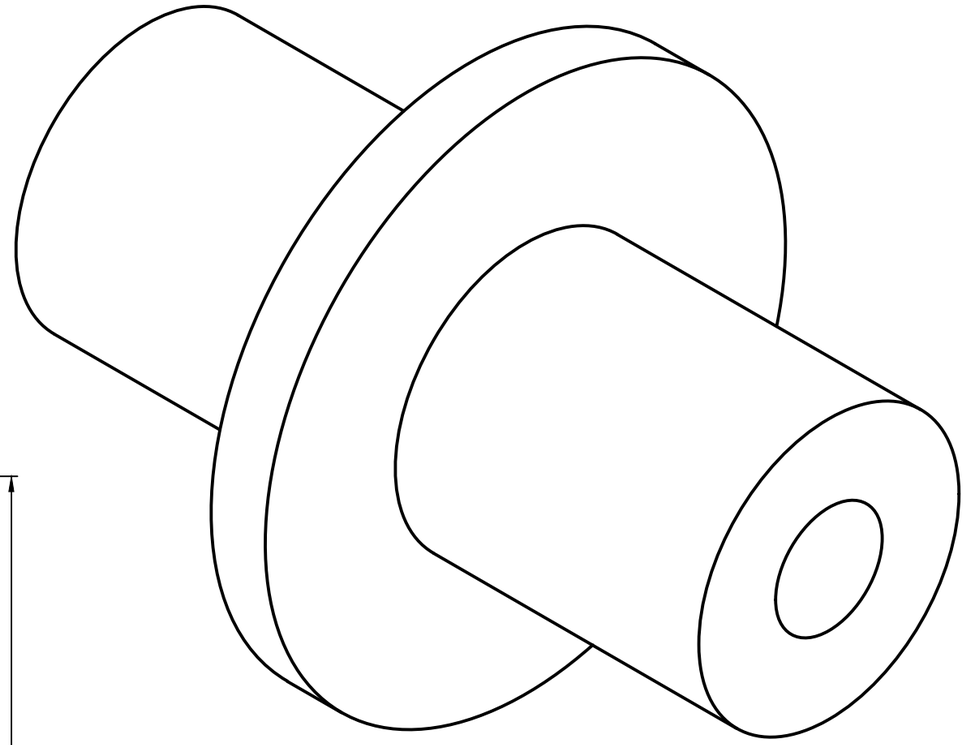
Escala :	Título :	Plano :
1:1	Bulones y pasadores	55/116

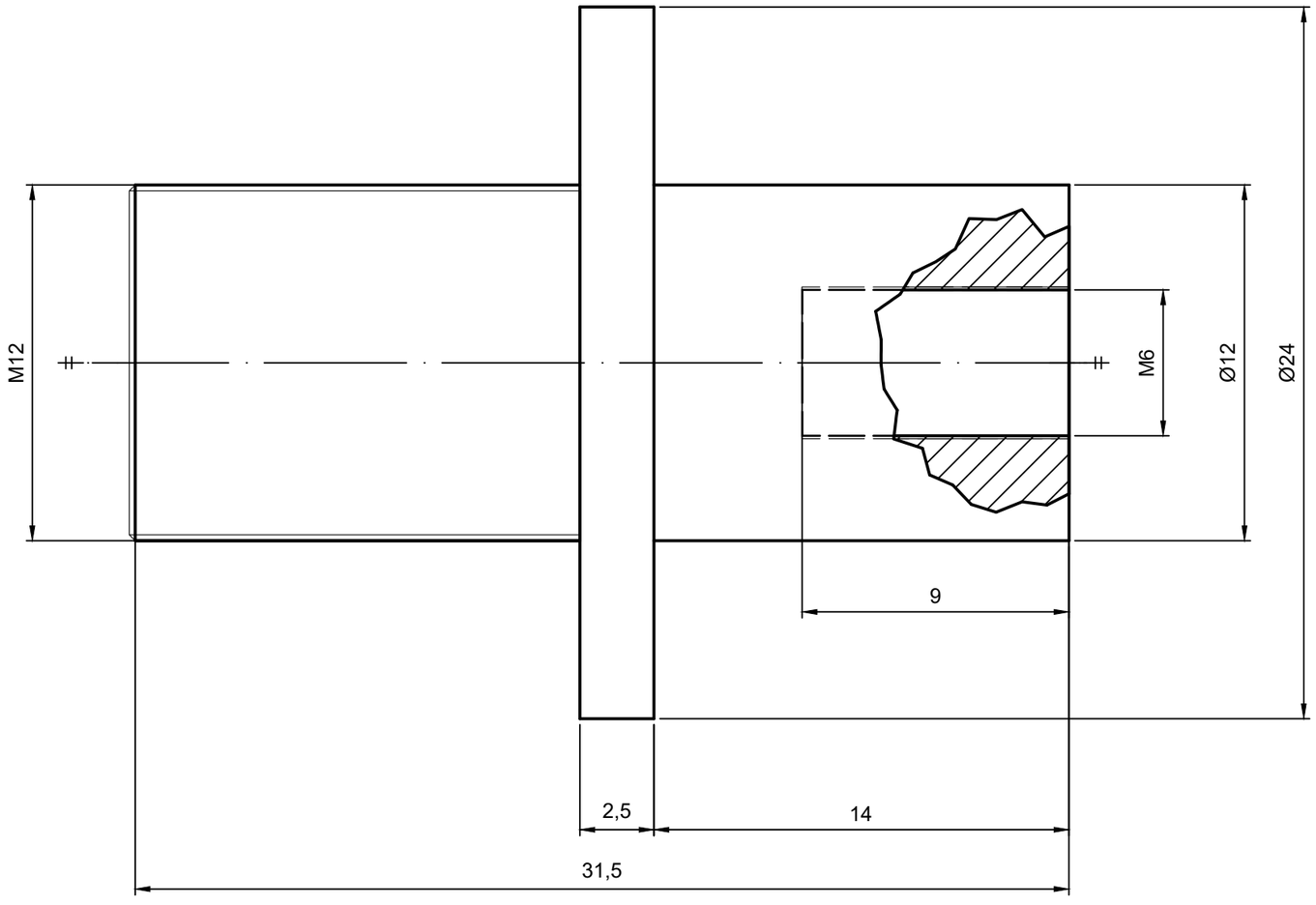




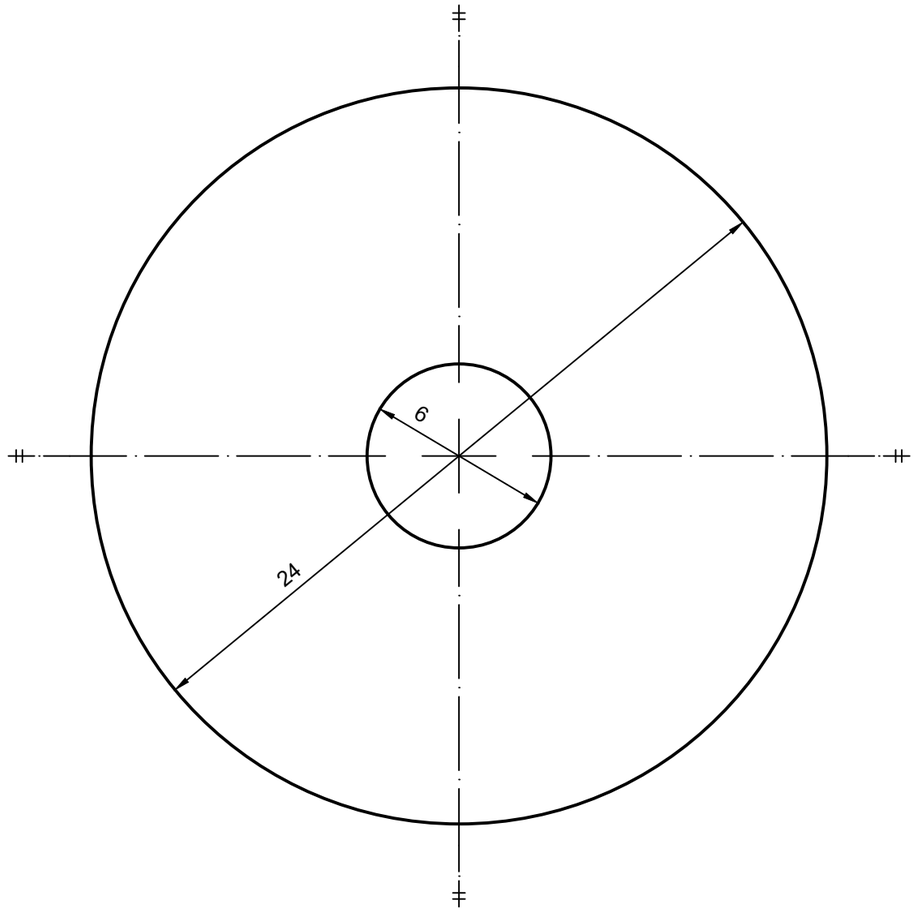


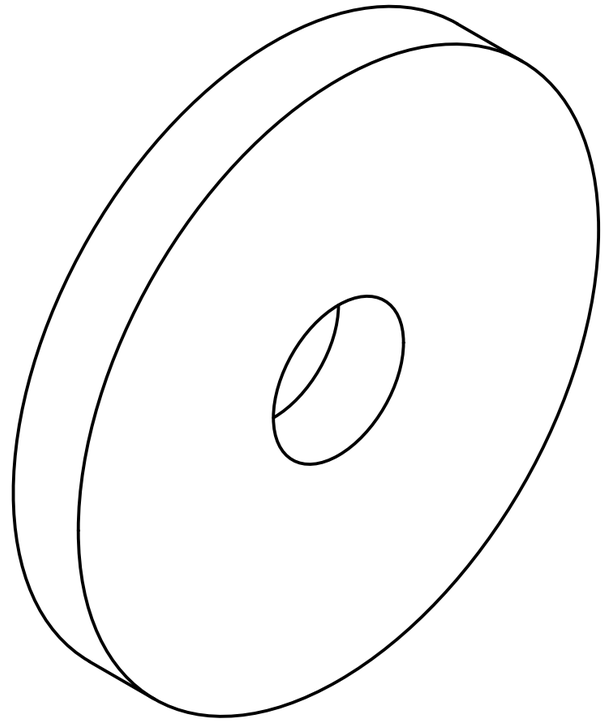
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1	Marca 78. Biela		56/116





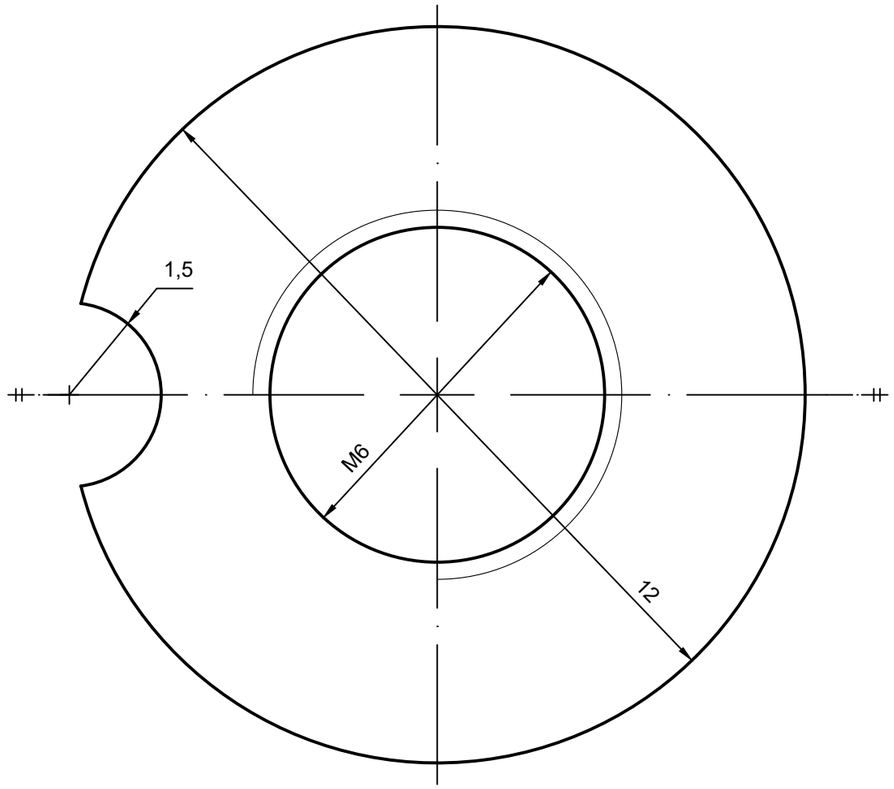
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	
Escala :	Título :	Plano :
5:1	Marca 174. Codo de biela	57/116

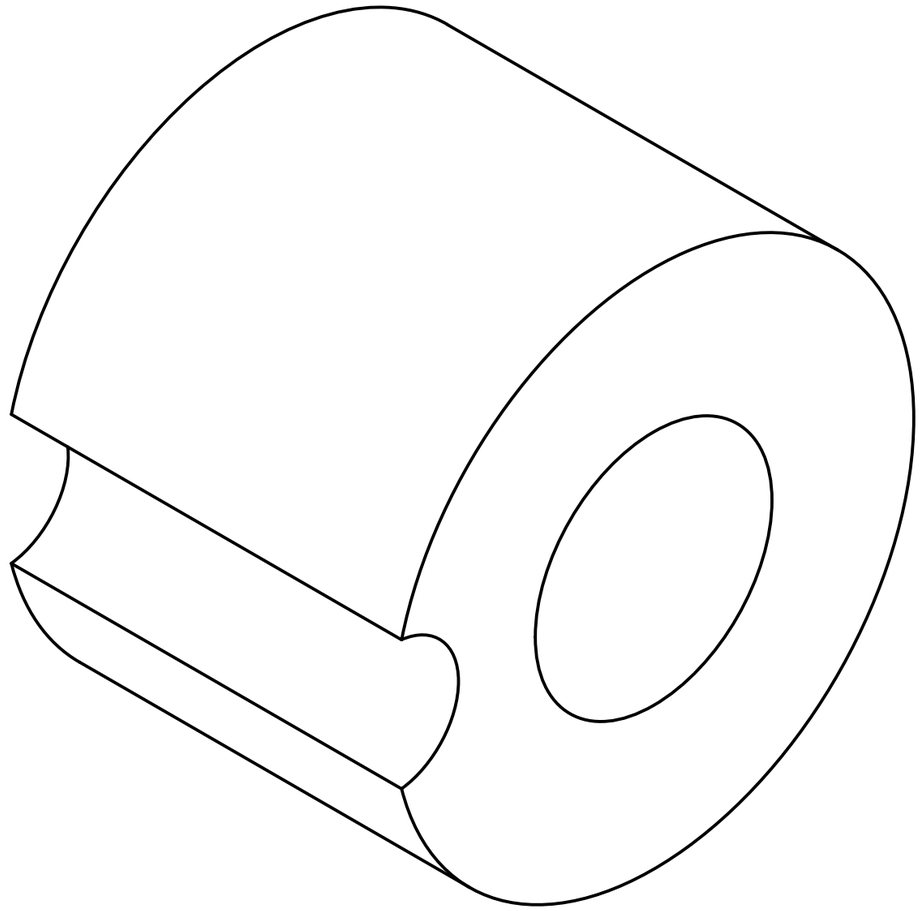




Espesor 3 mm

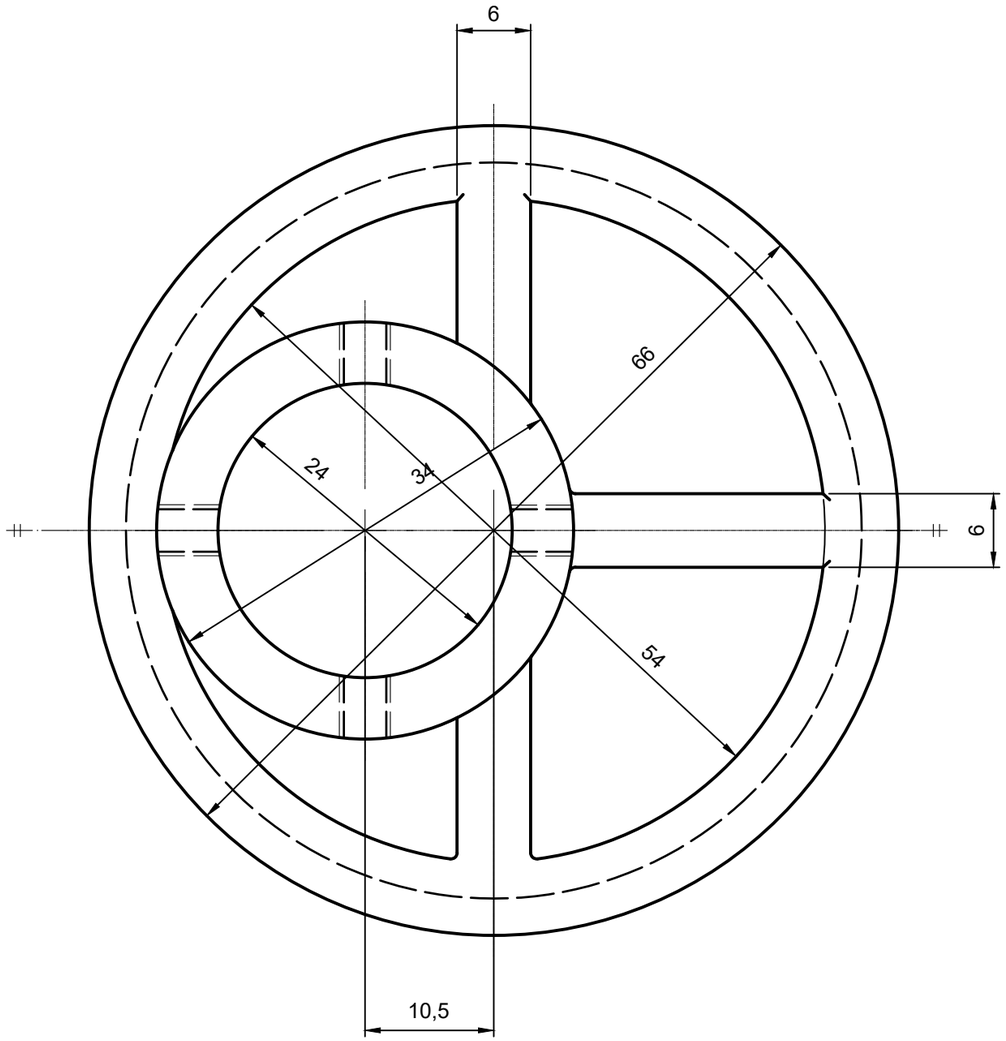
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 176. Tope del codo de biela		58/116

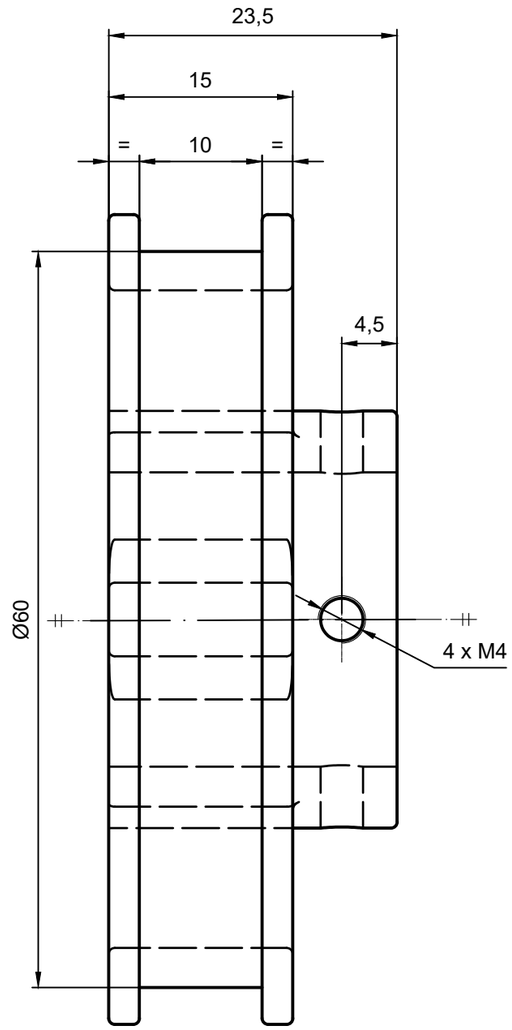


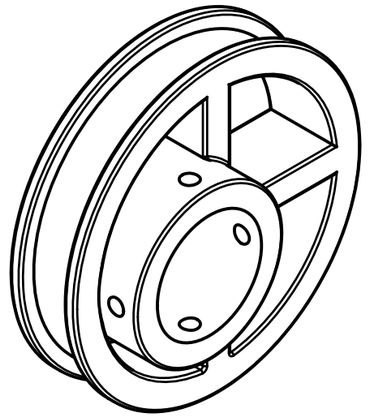


Espesor 9 mm

Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
10:1	Marca 177. Conector biela-manivela del regulador		59/116

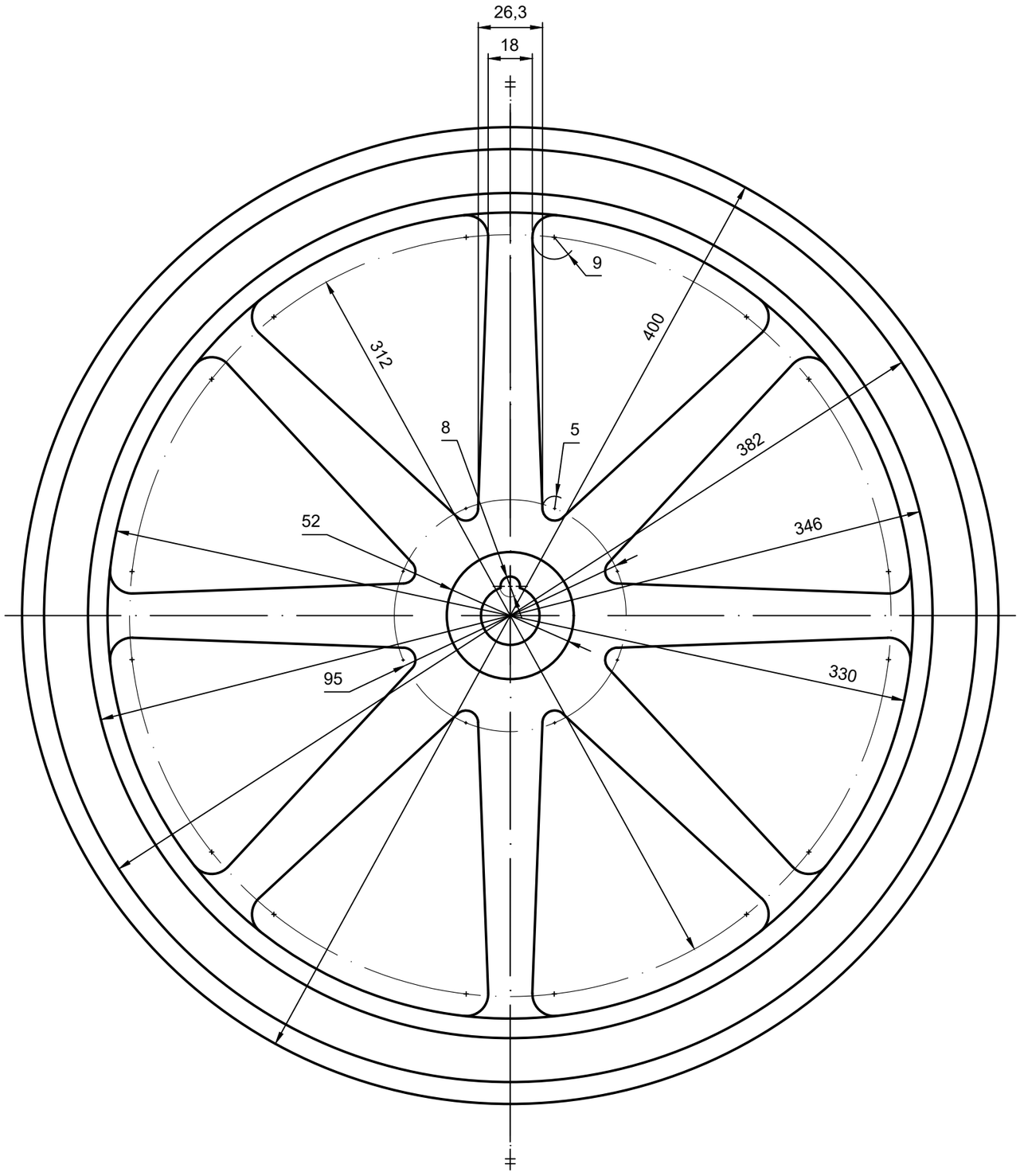


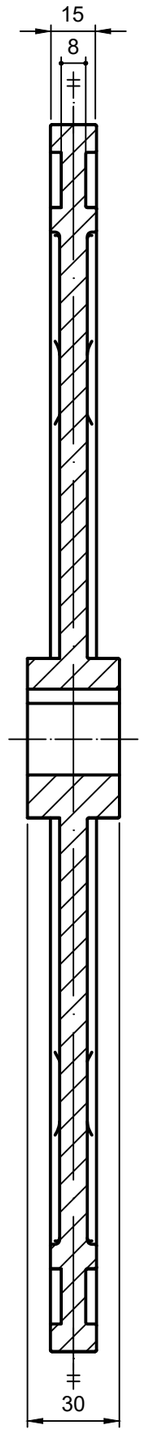


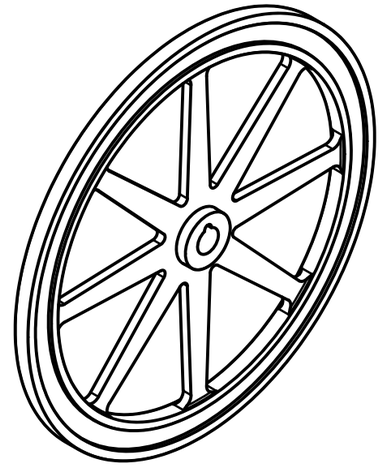


Escala 1:1

Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1/1:1	Marca 167. Roldana excéntrica		60/116

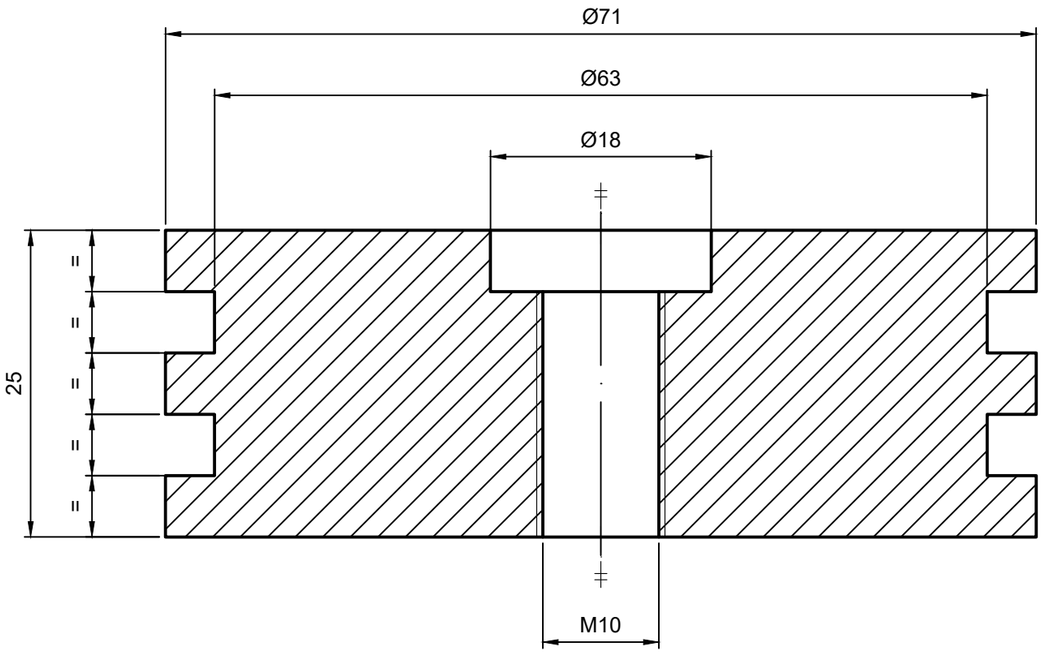


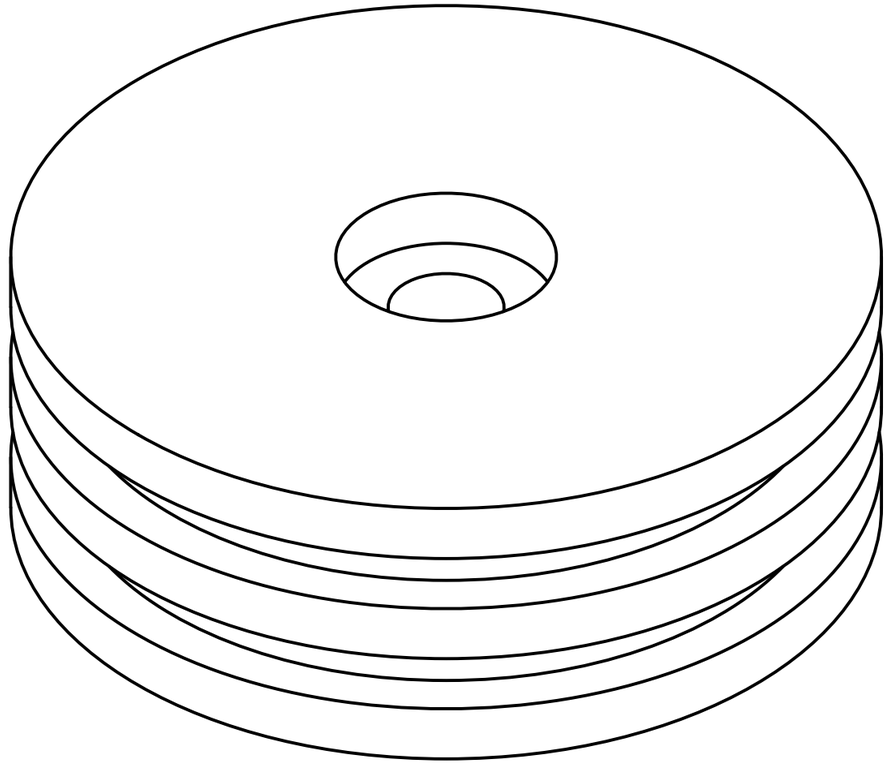




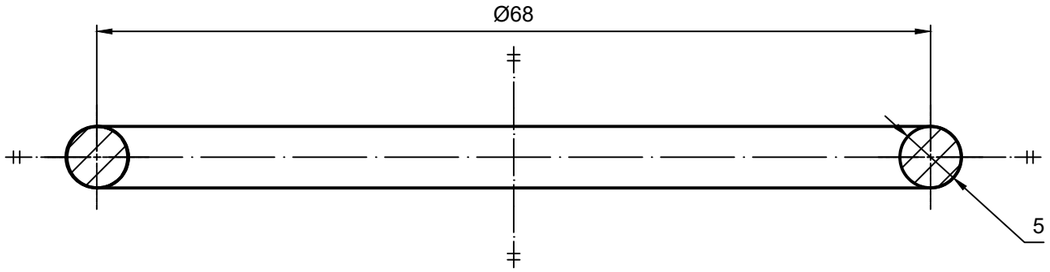
Escala 1:5

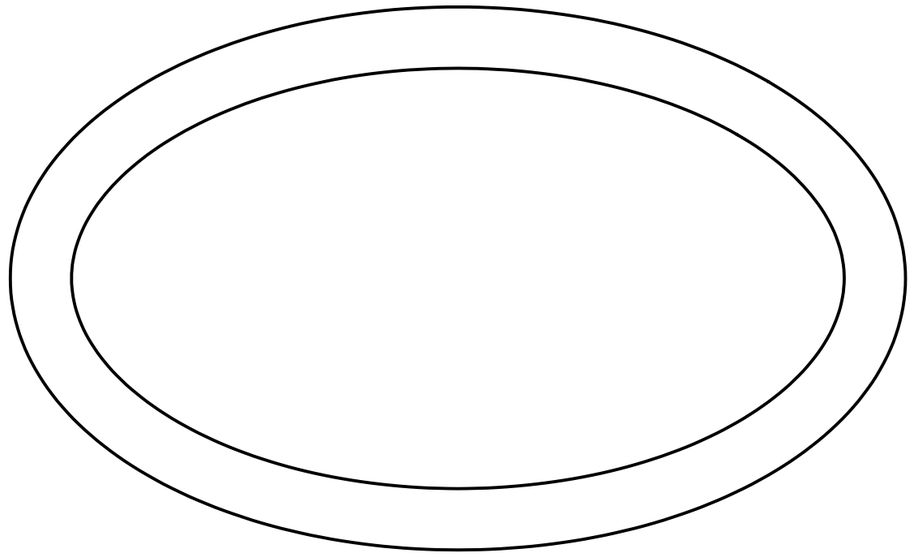
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:2/1:5	Marca 33. Volante de inercia		61/116



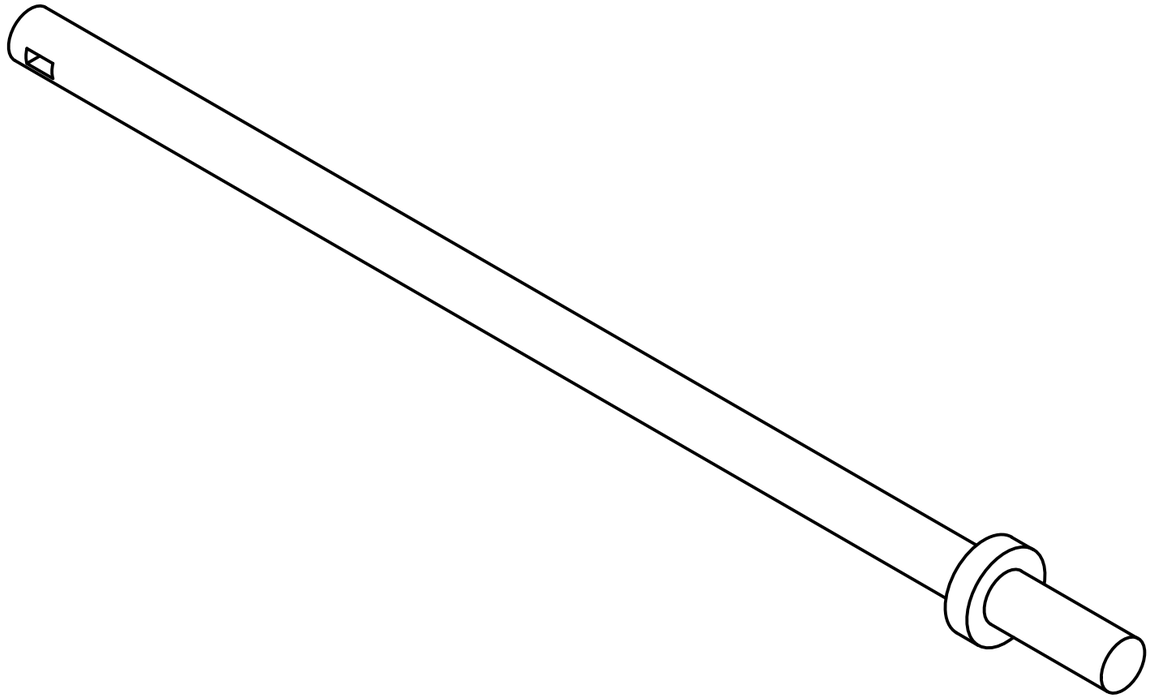


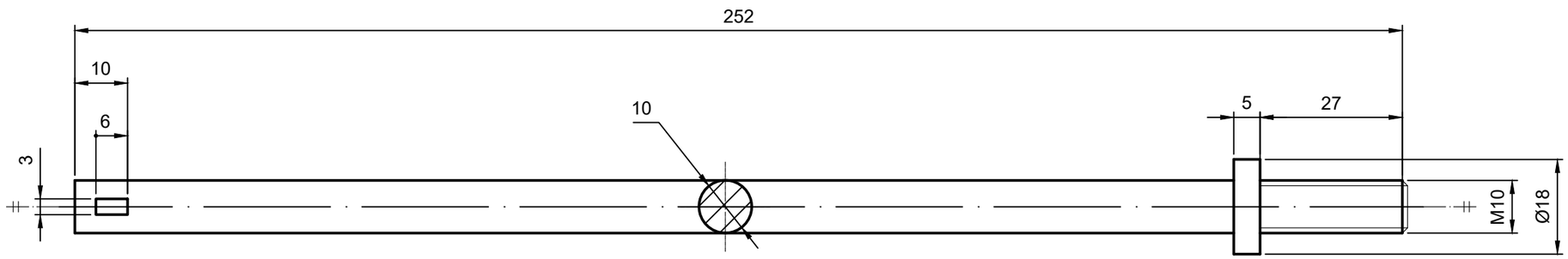
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 134. Émbolo del piston		62/116



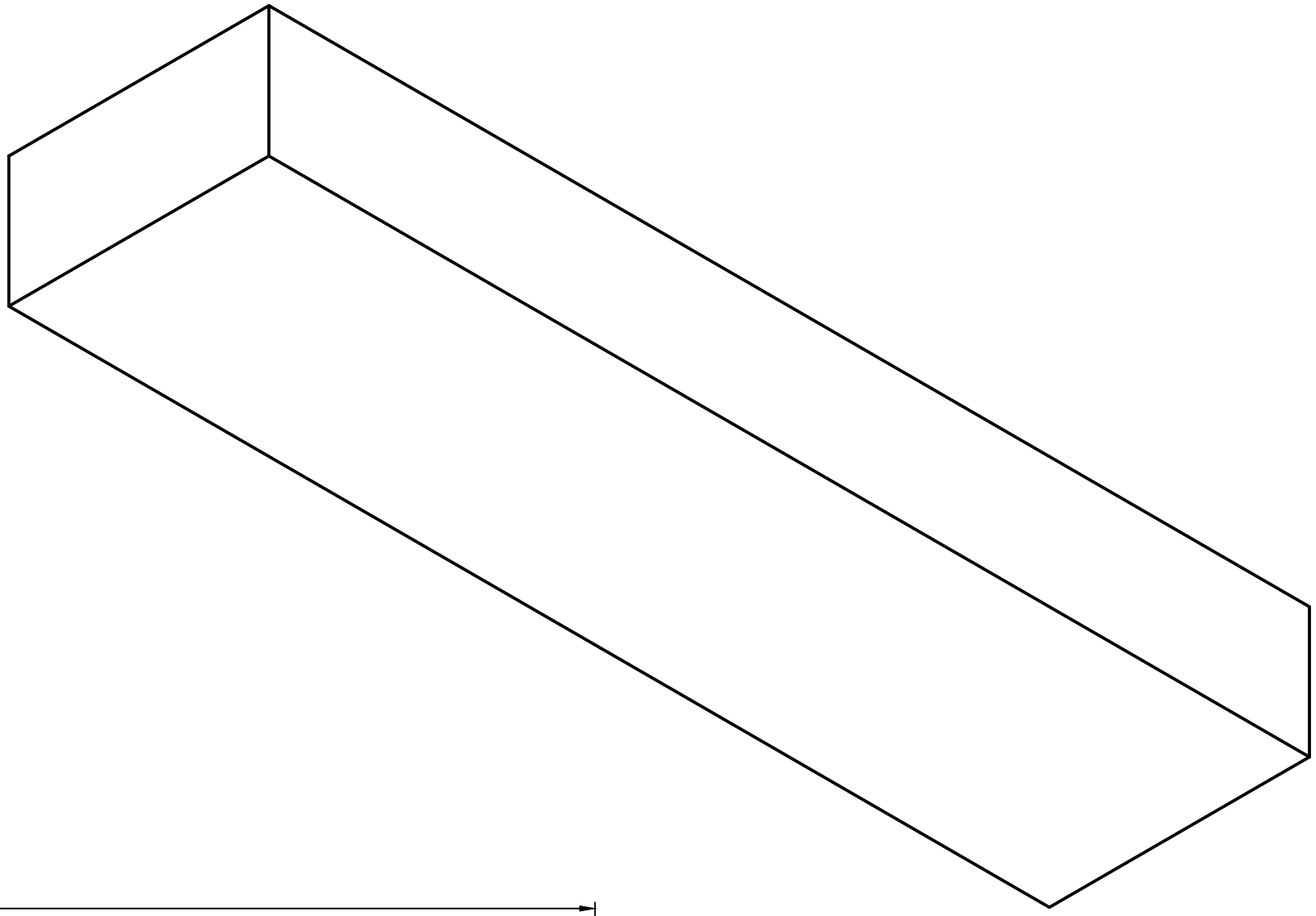


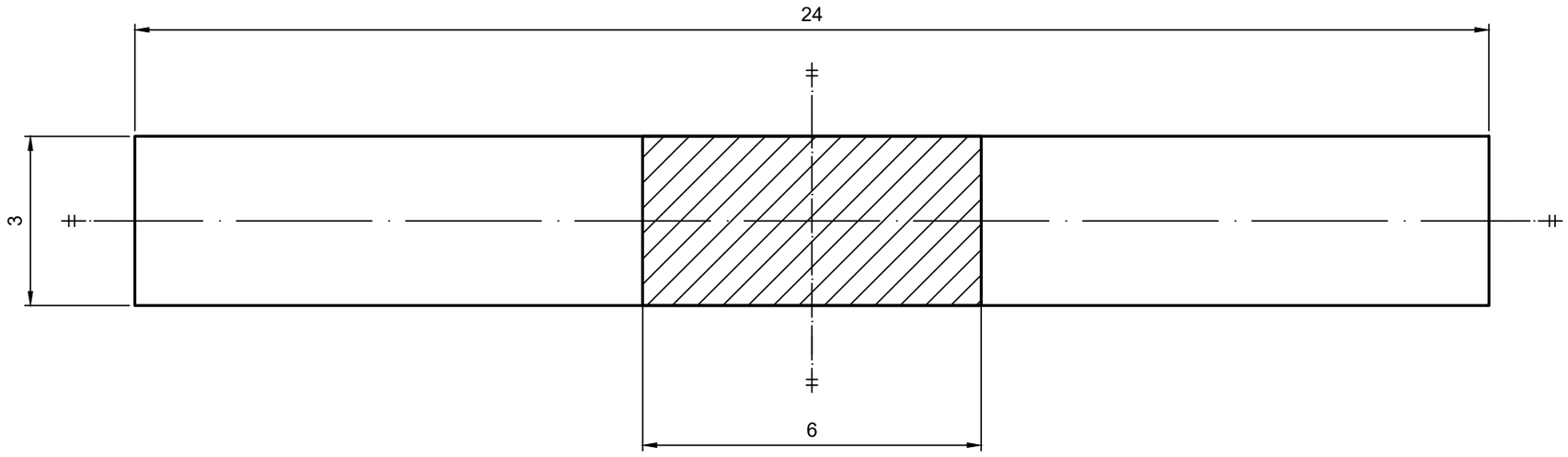
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 131. Segmento del pistón		63/116



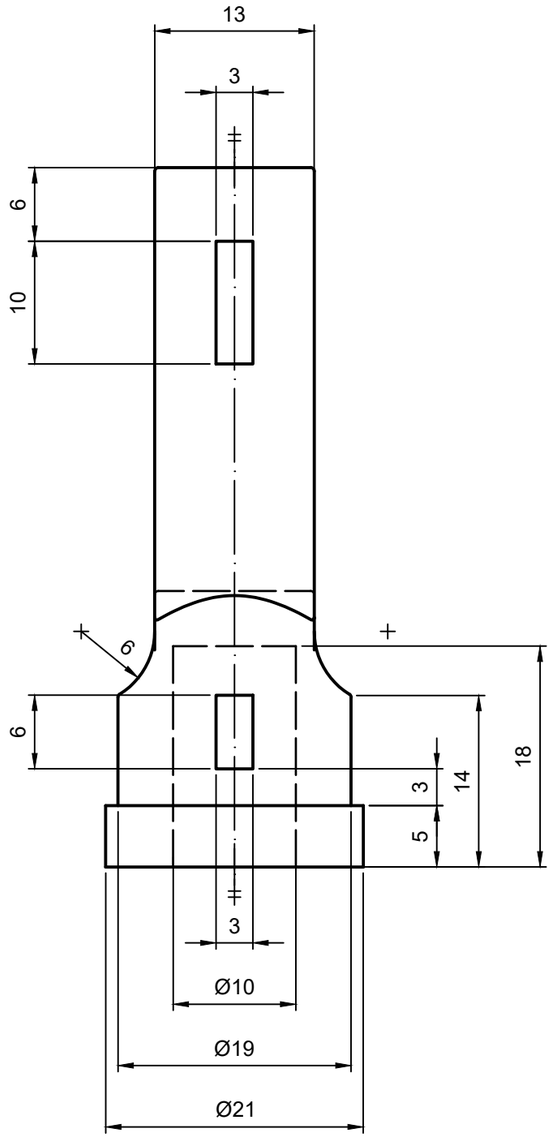


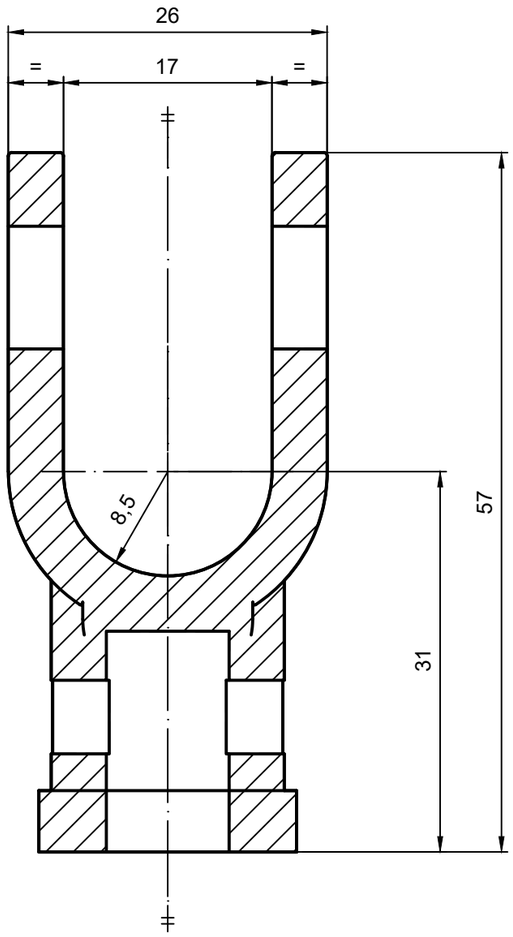
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:2	Marca 43. Vástago del pistón		64/116

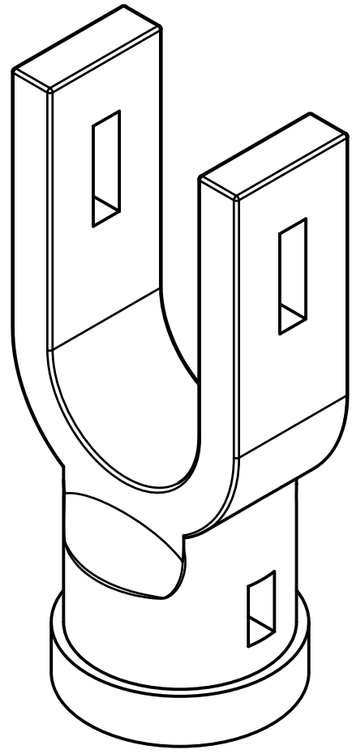




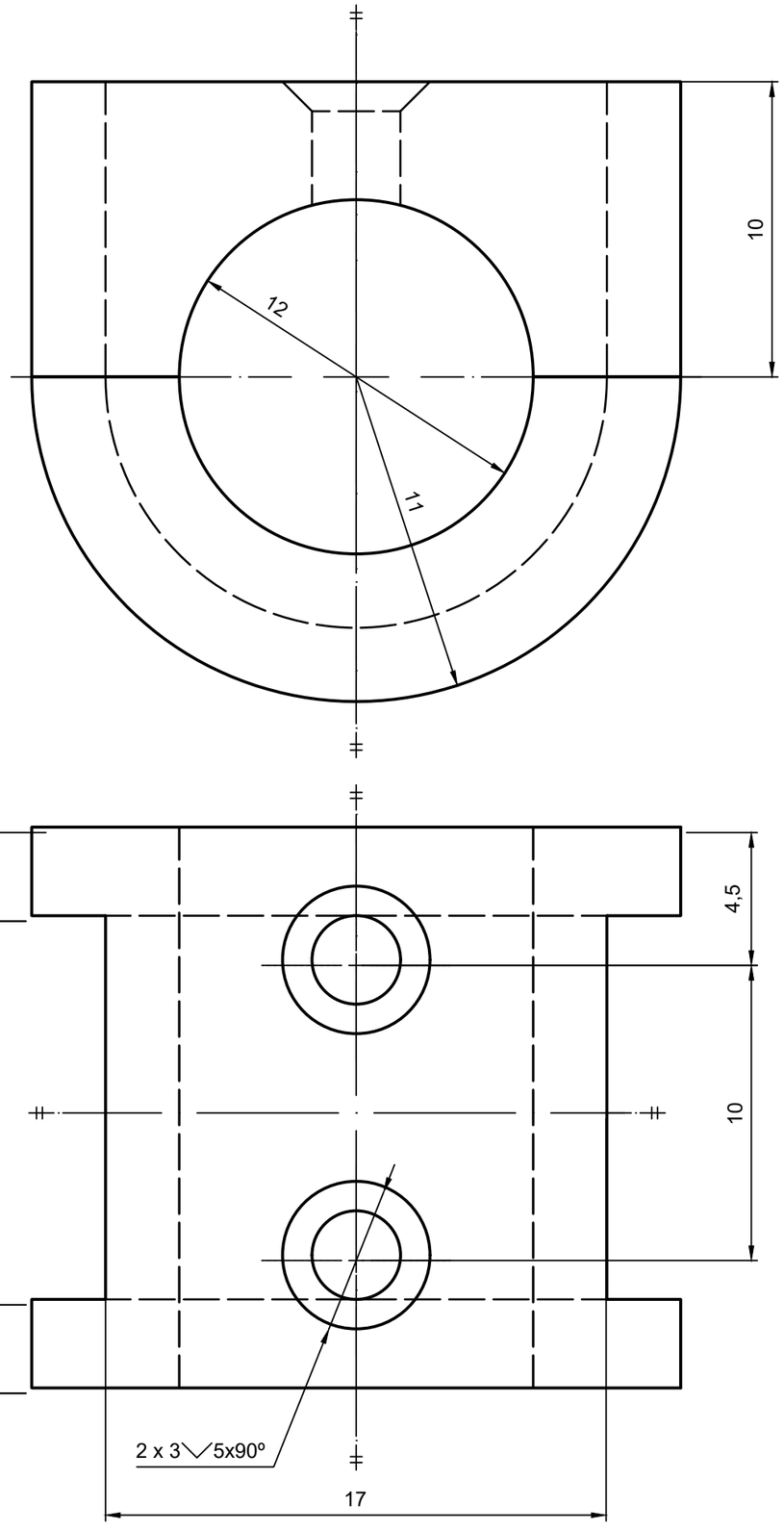
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
10:1	Marca 45. Pasador rectangular 1 del vástago del pistón		65/116

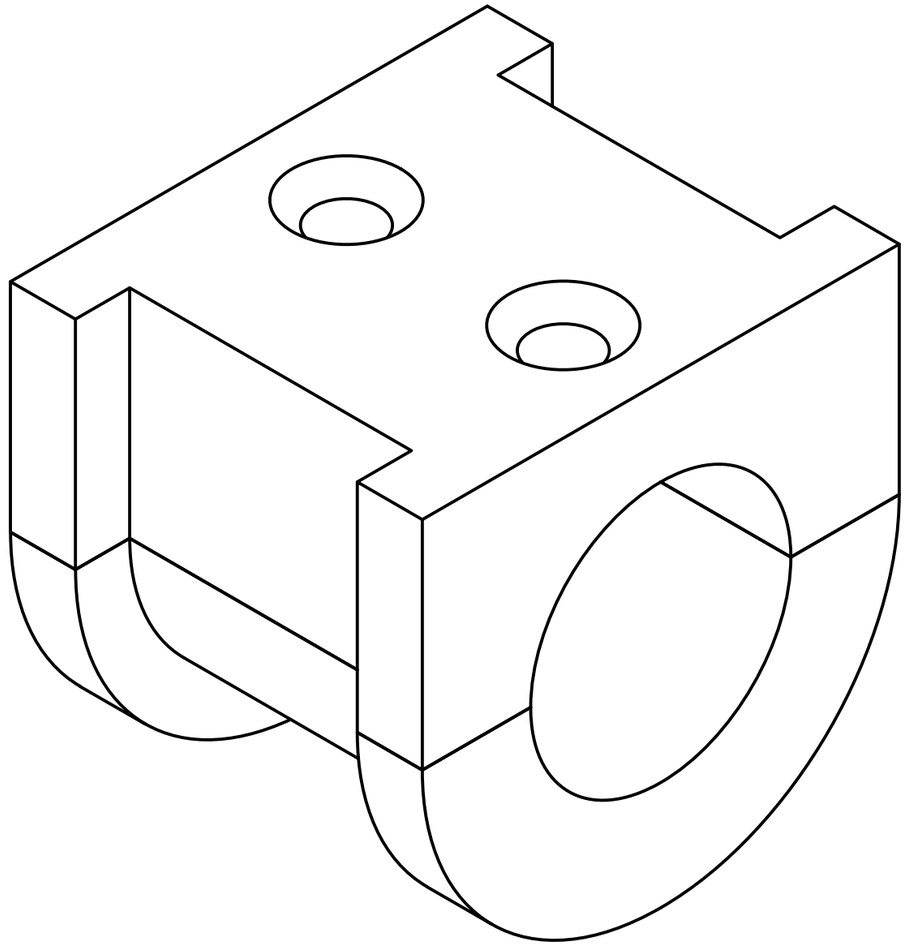




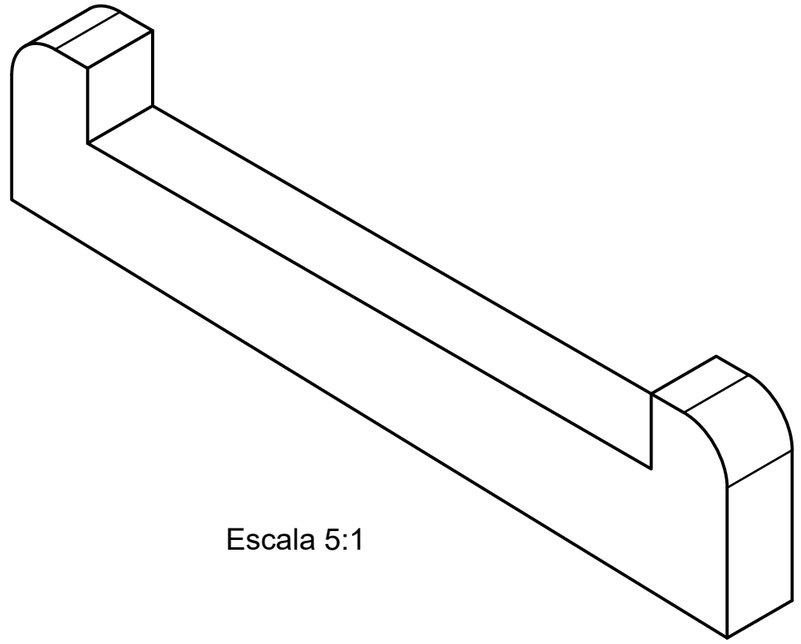


Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 44. Tapa del vástago del pistón		66/116

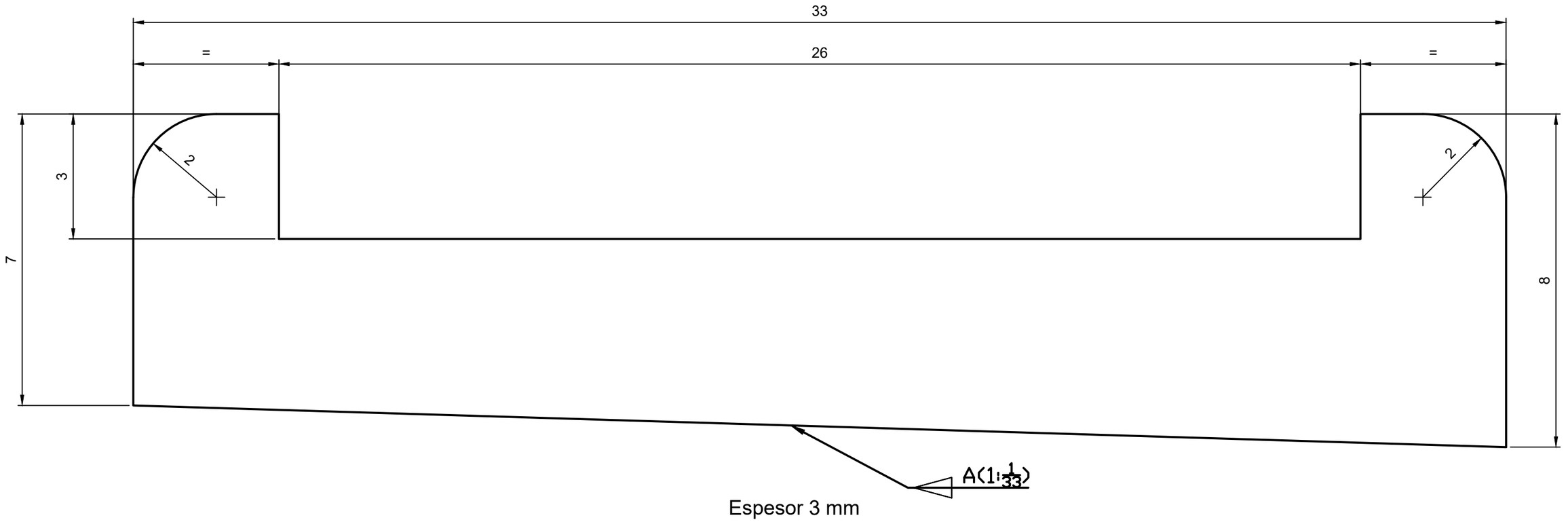




Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 103. Cojinete de la tapa del vástago del pistón		67/116

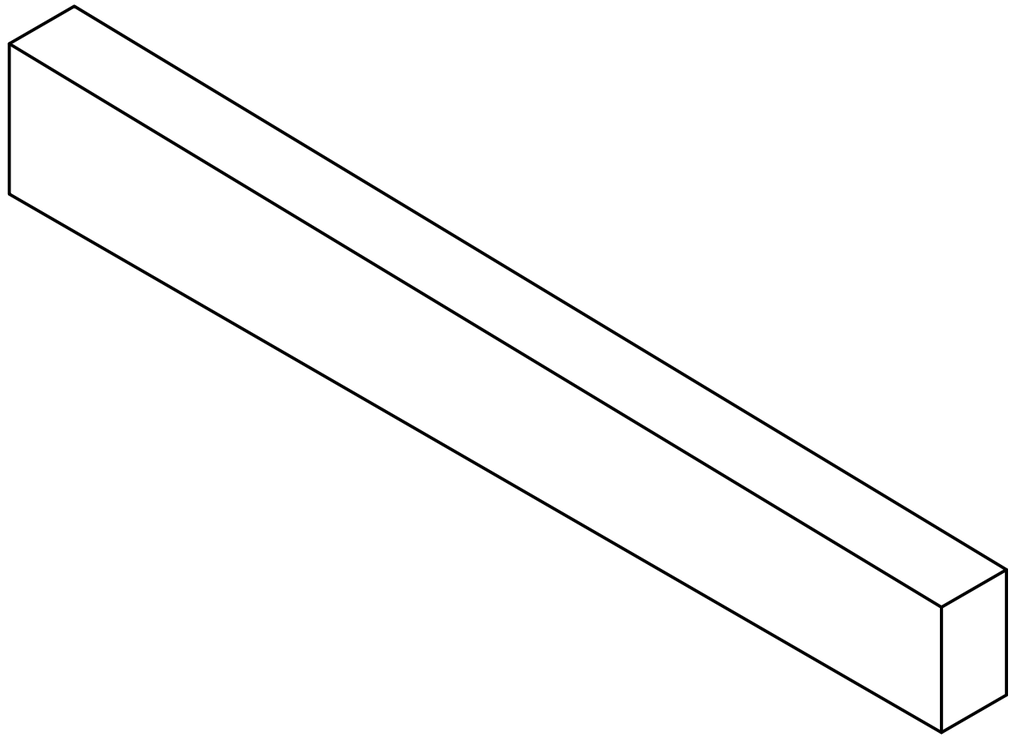


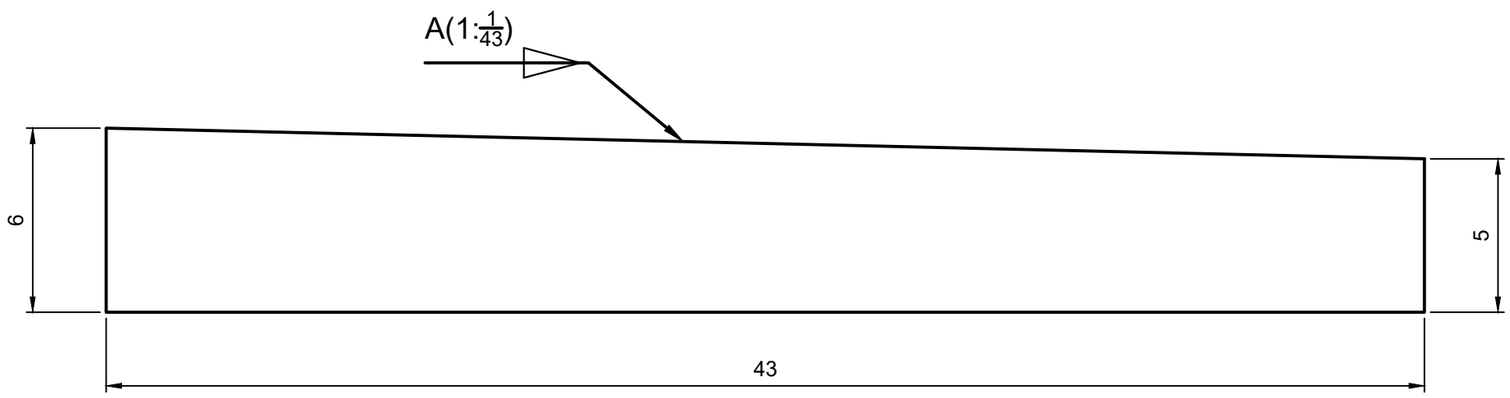
Escala 5:1



Espesor 3 mm

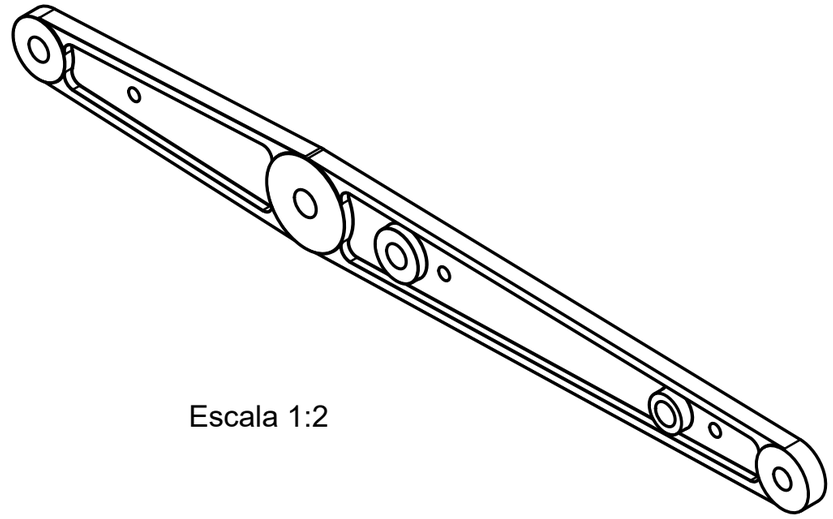
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
10:1/5:1	Marca 102. Pasador 1 de ajuste a presión del cojinete		68/116



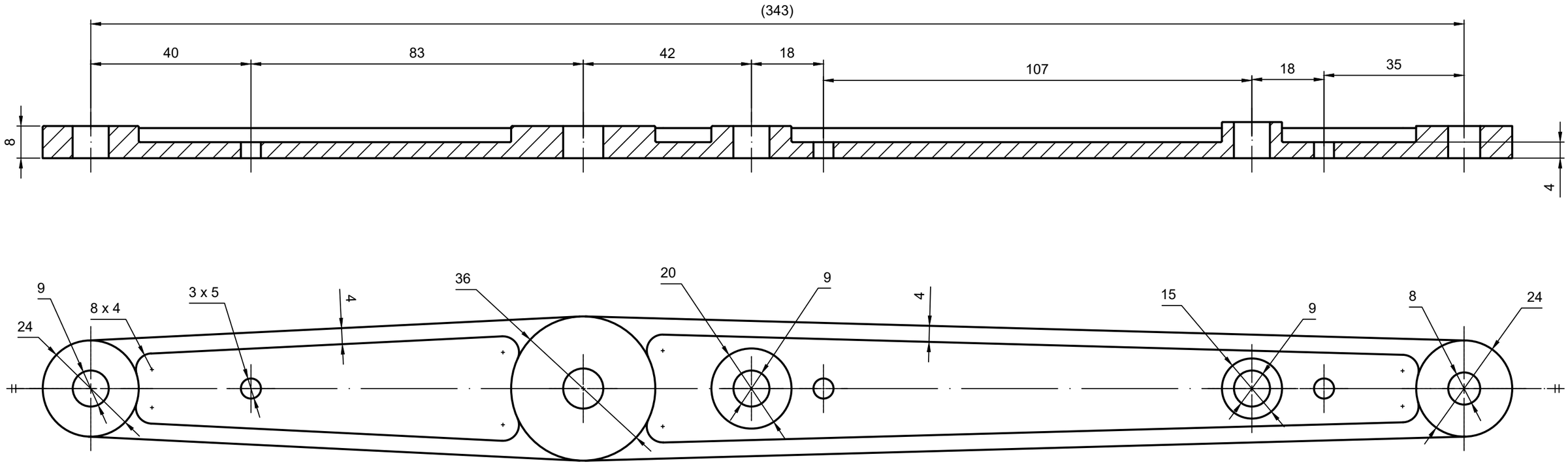


Espesor 3 mm

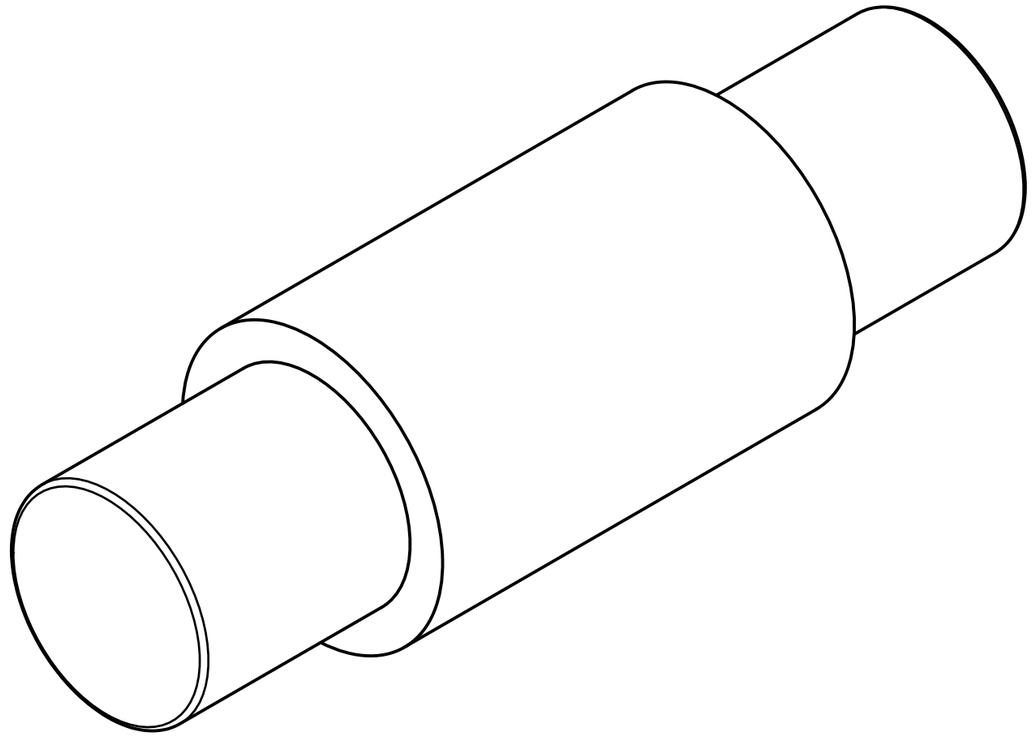
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 101. Pasador 2 de ajuste a presión del cojinete		69/116

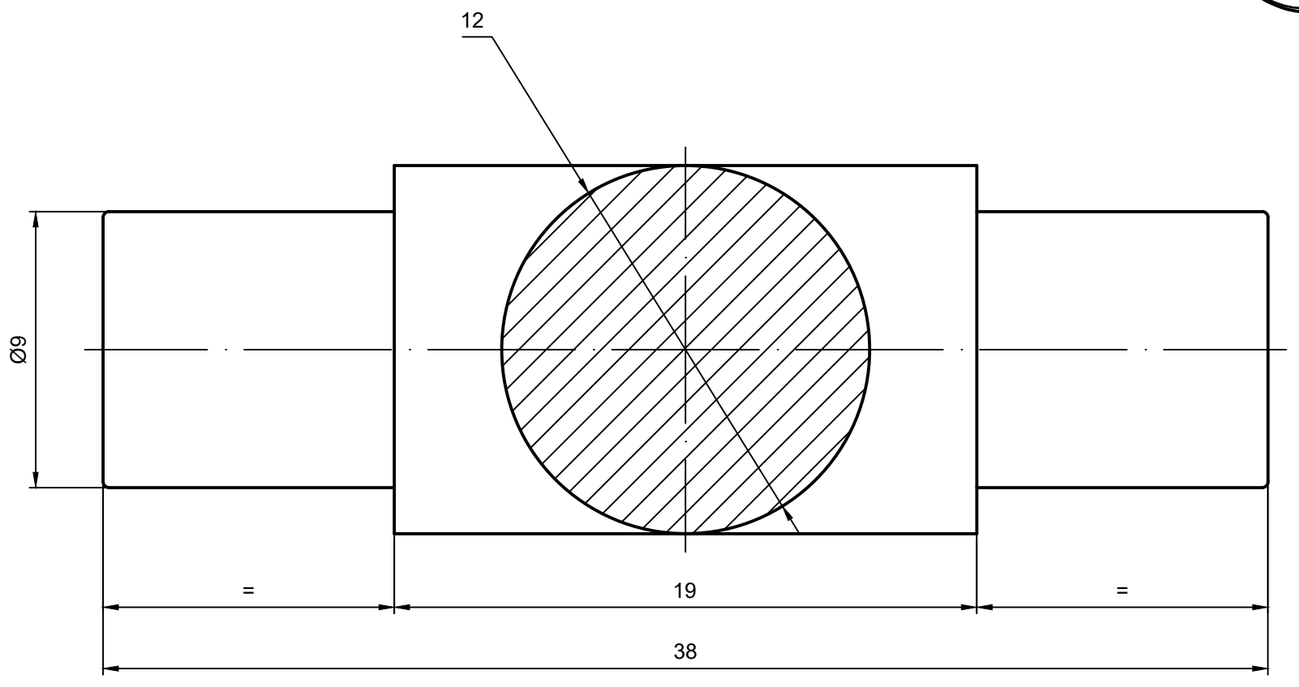


Escala 1:2

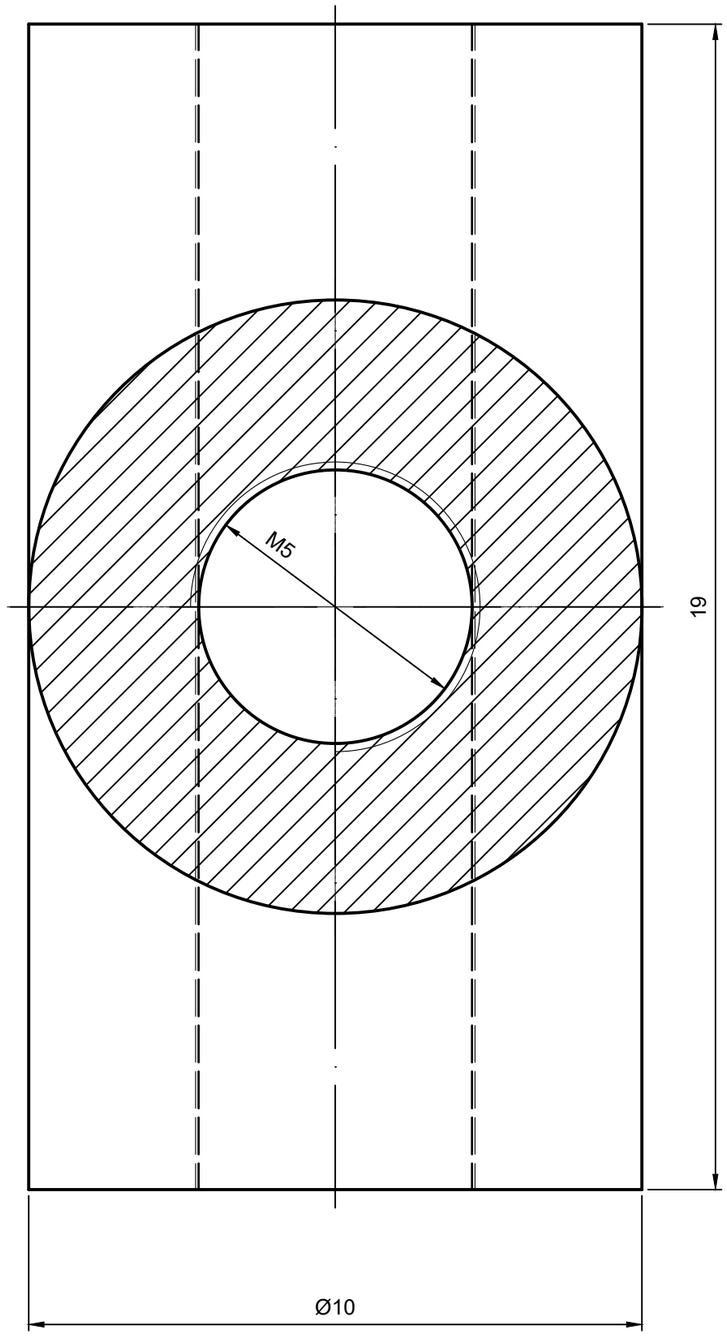


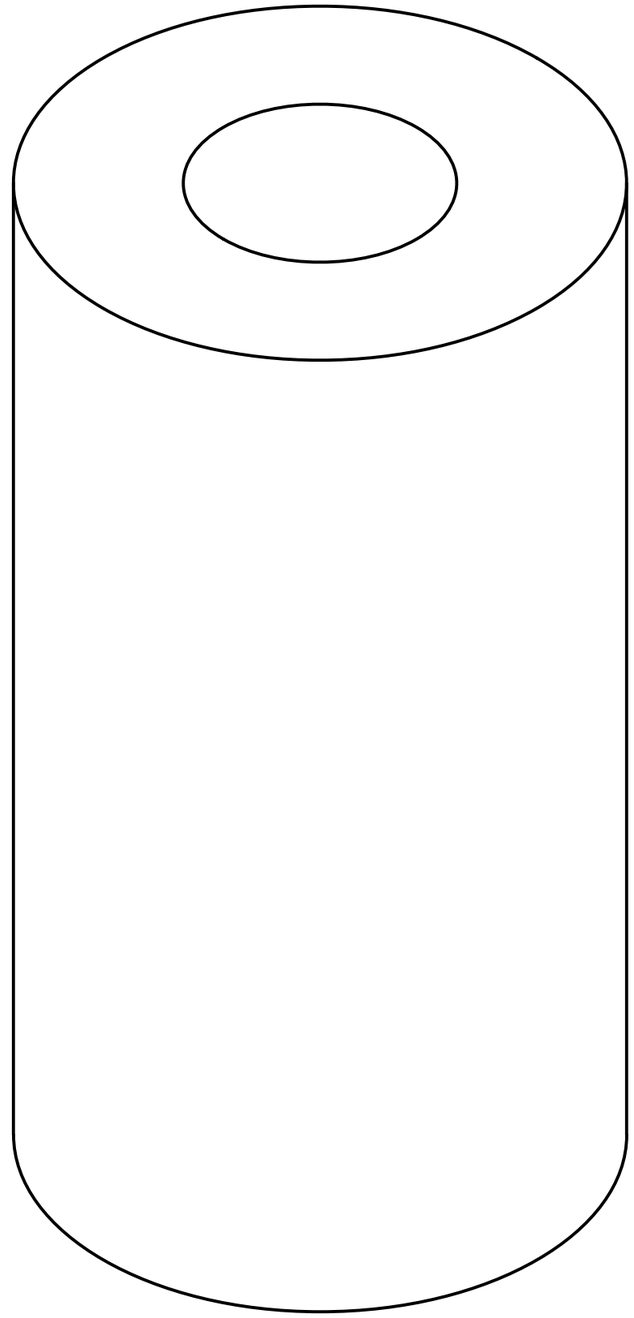
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1/1:2	Marca 52. Barra de balance (balancín)		70/116



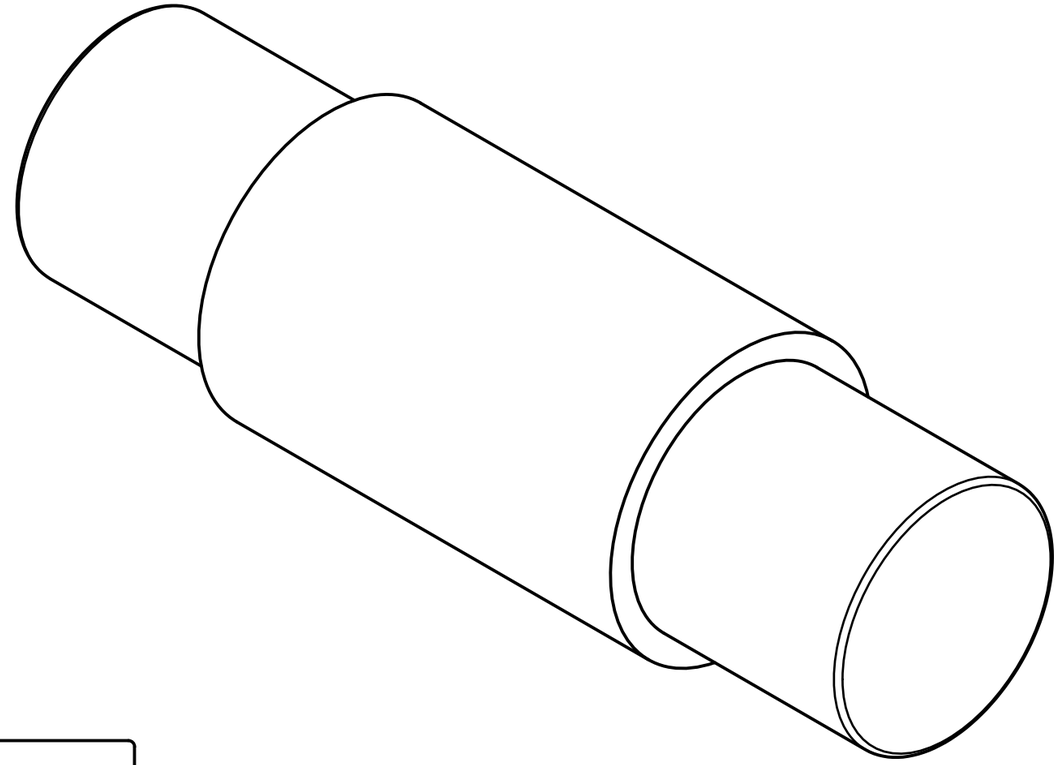


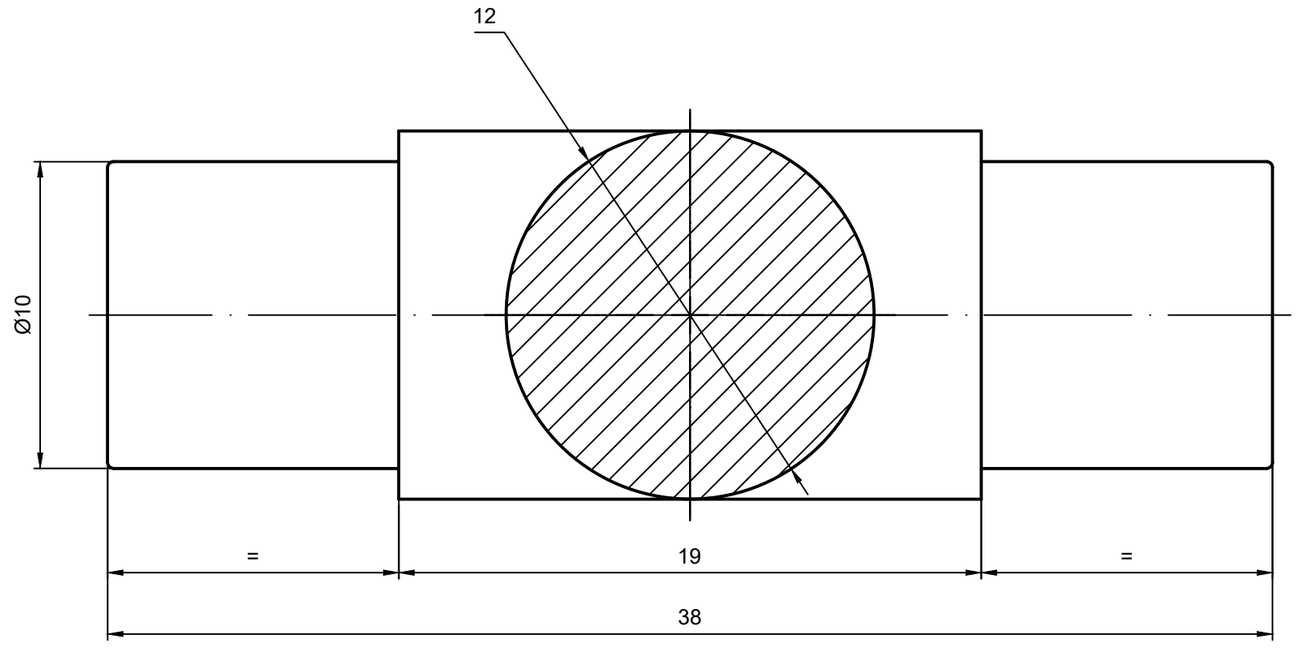
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	
Escala :	Título :	Plano :
5:1	Marca 140. Barra transversal de acople del pistón	71/116



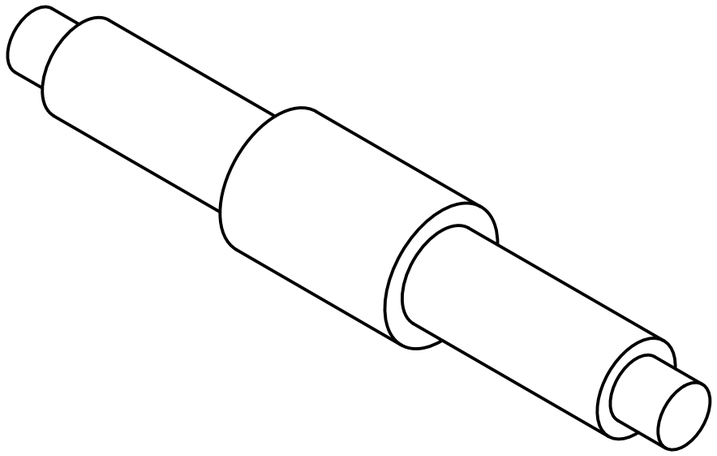


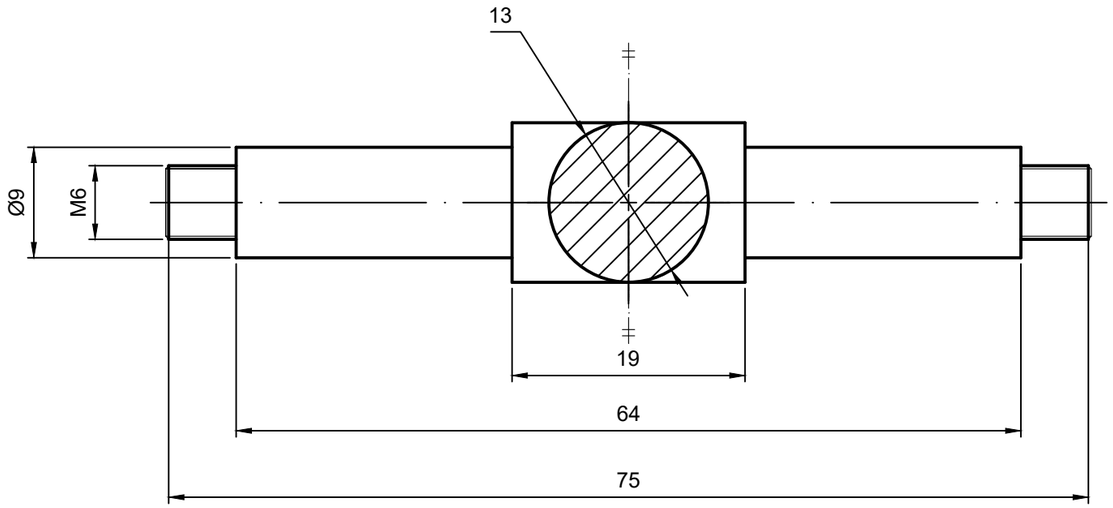
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
10:1	Marca 112. Barra transversal de unión de barras de balance		72/116



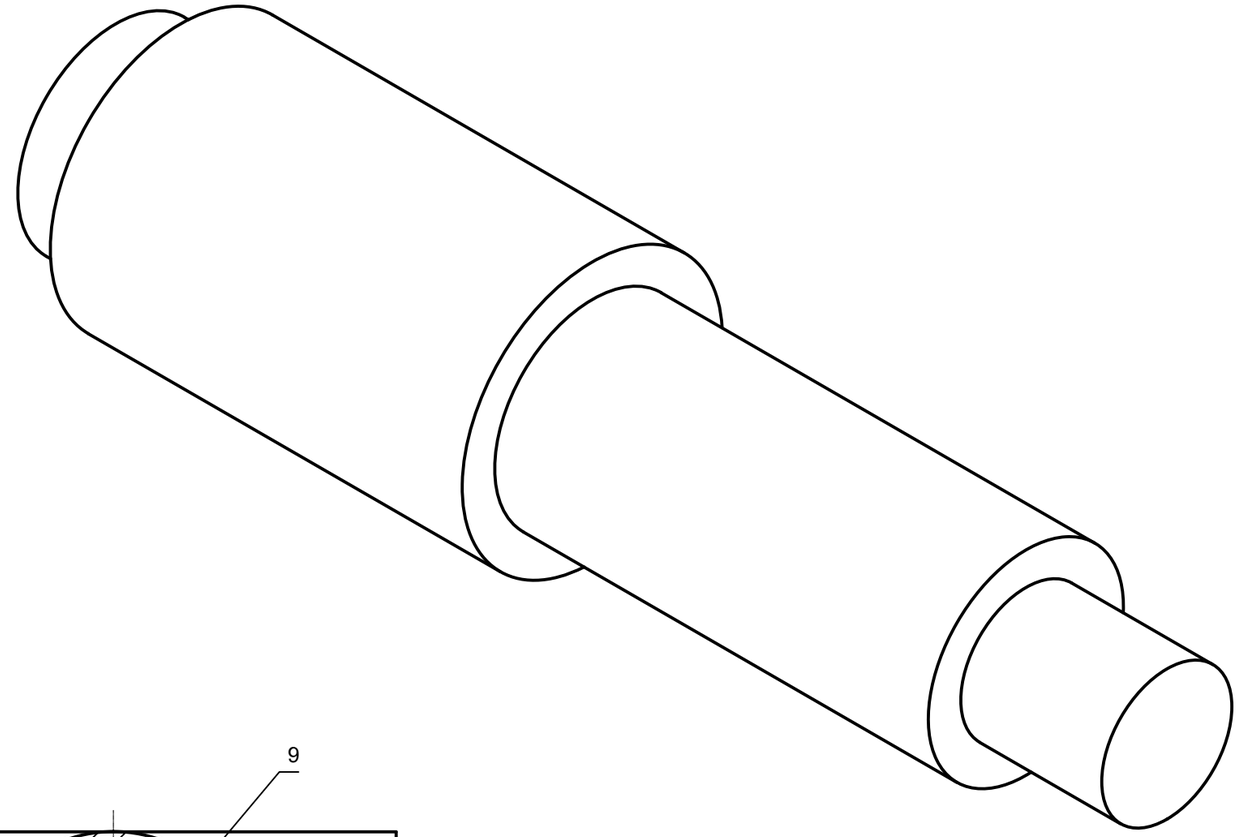


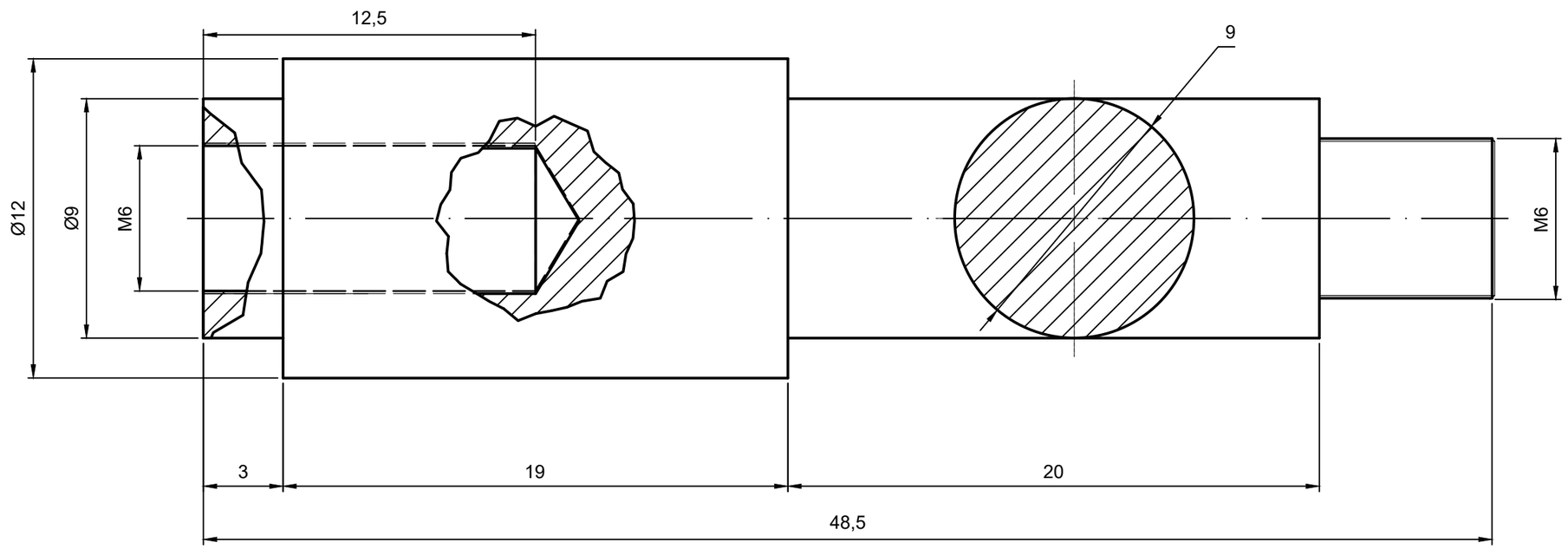
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 108. Barra transversal de acople de biela		73/116



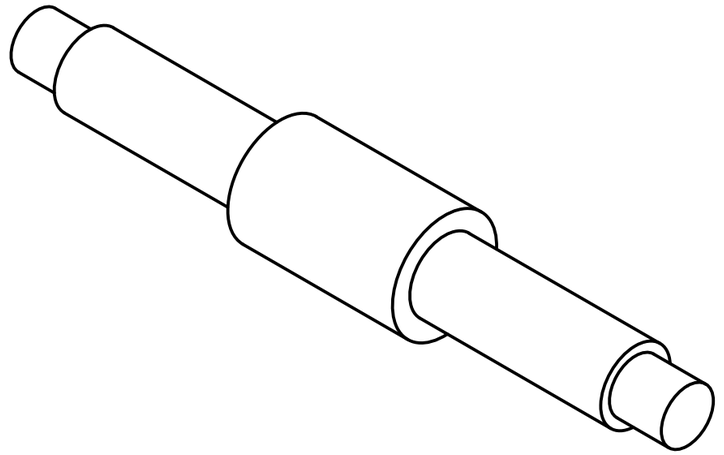


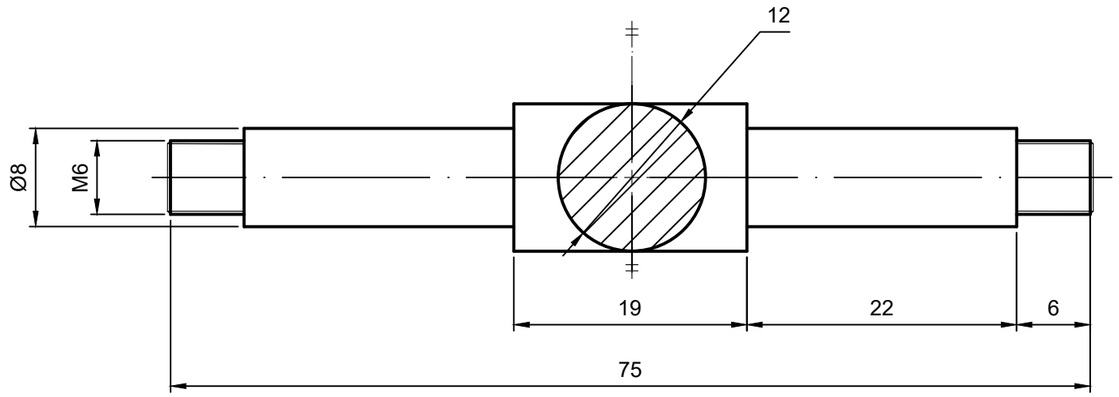
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 109. Barra transversal de acople de barra de media estancia		74/116



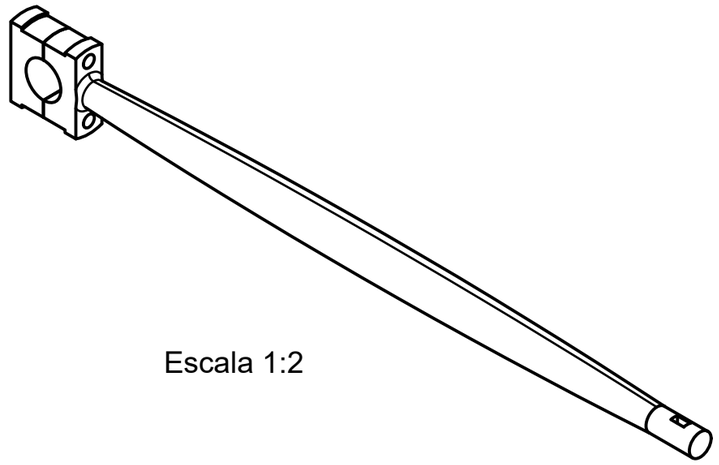


Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 54. Barra transversal de acople de la biela de la bomba		75/116

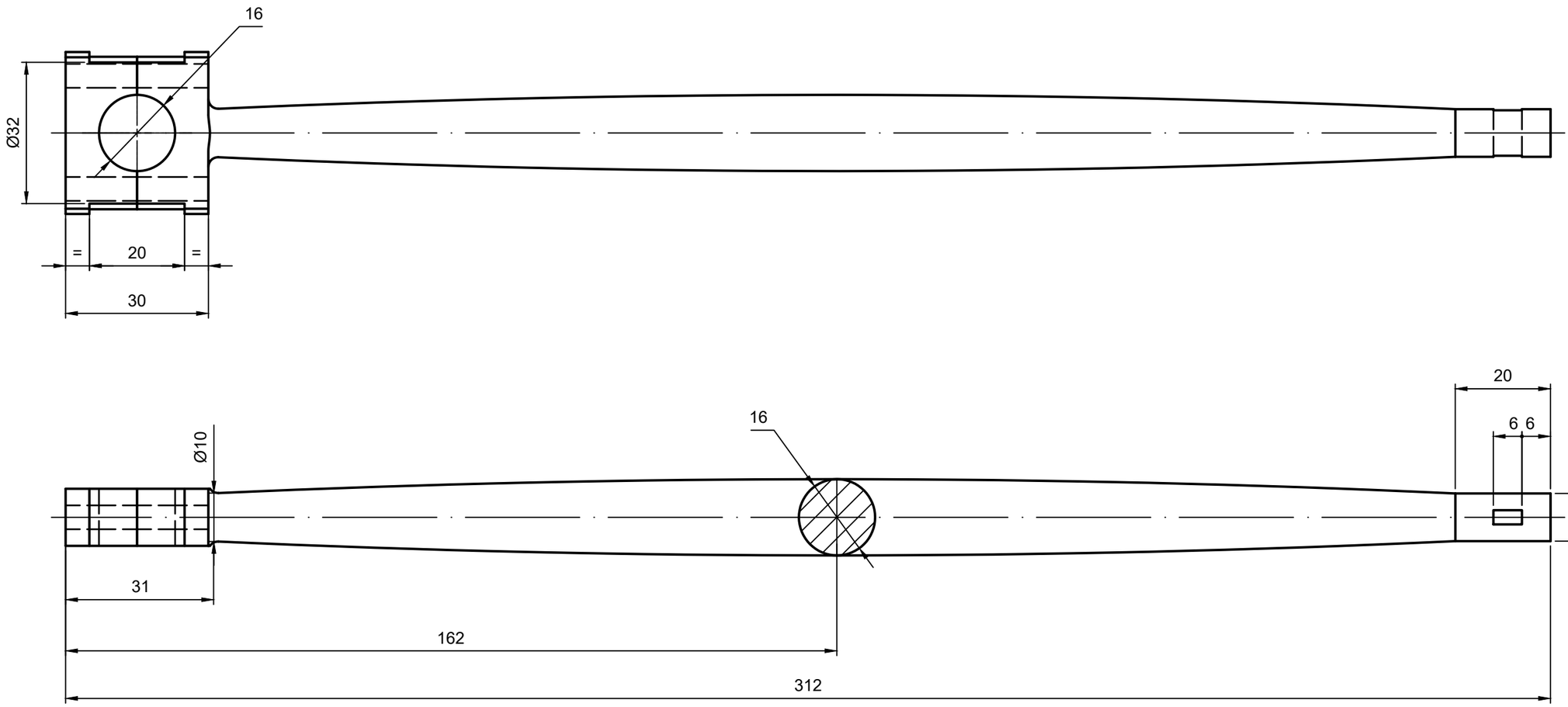




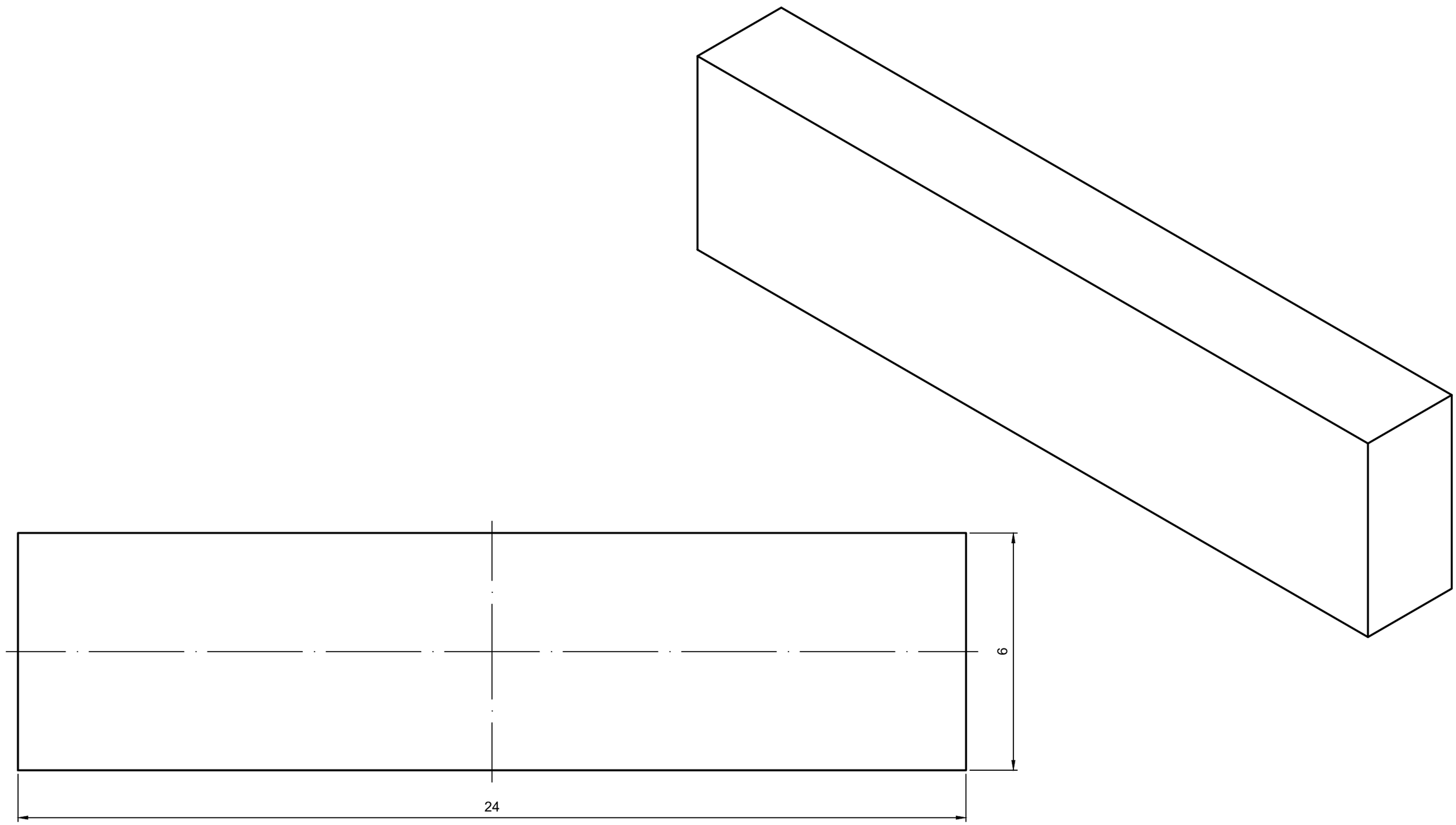
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 55. Barra transversal de acople de barra de estancia extrema		76/116



Escala 1:2

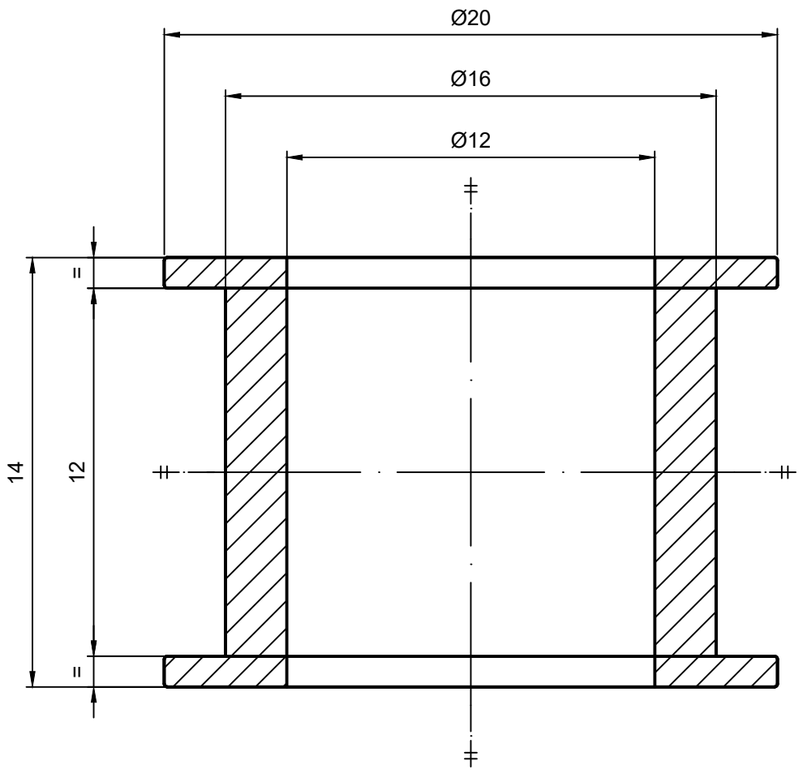


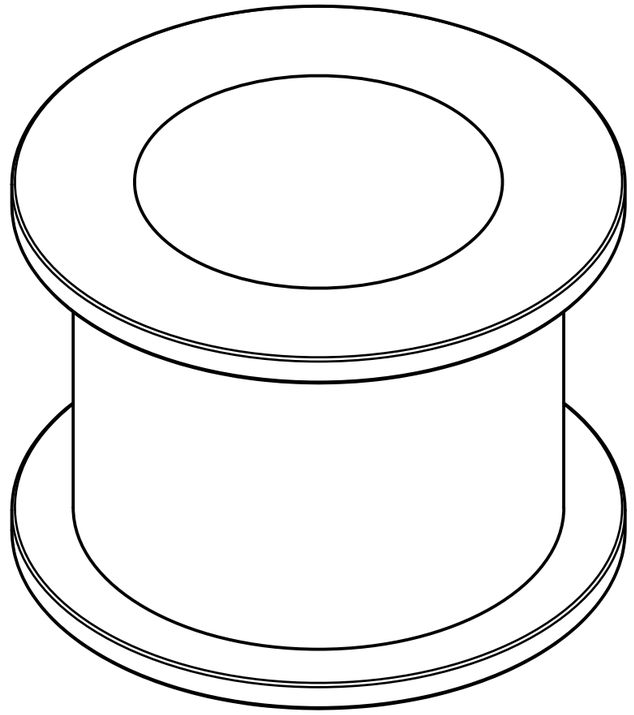
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	
Escala :	Título :	Plano :
1:1/1:2	Marcas 73 y 74. Cabeza y cuerpo de biela	77/116



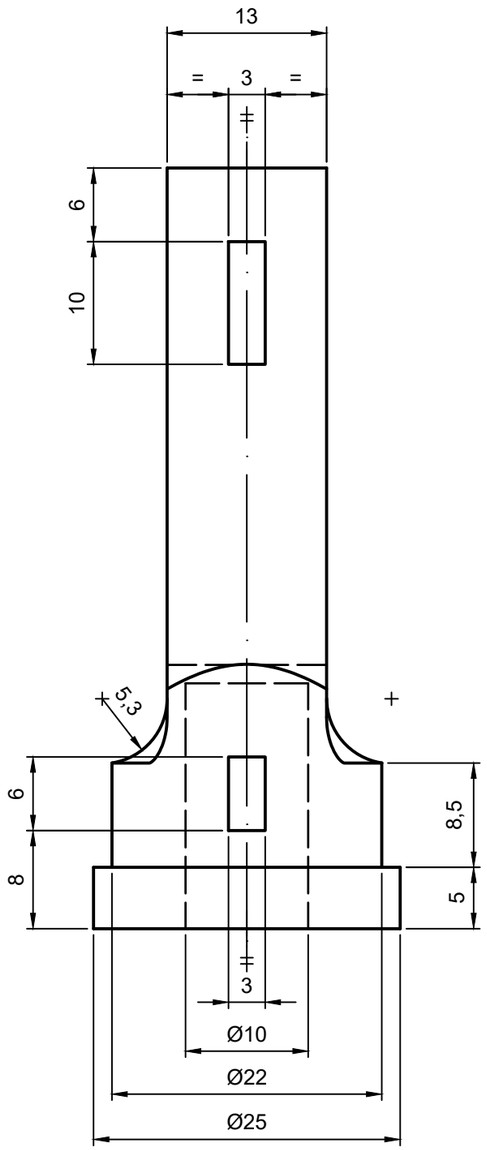
Espesor 3 mm

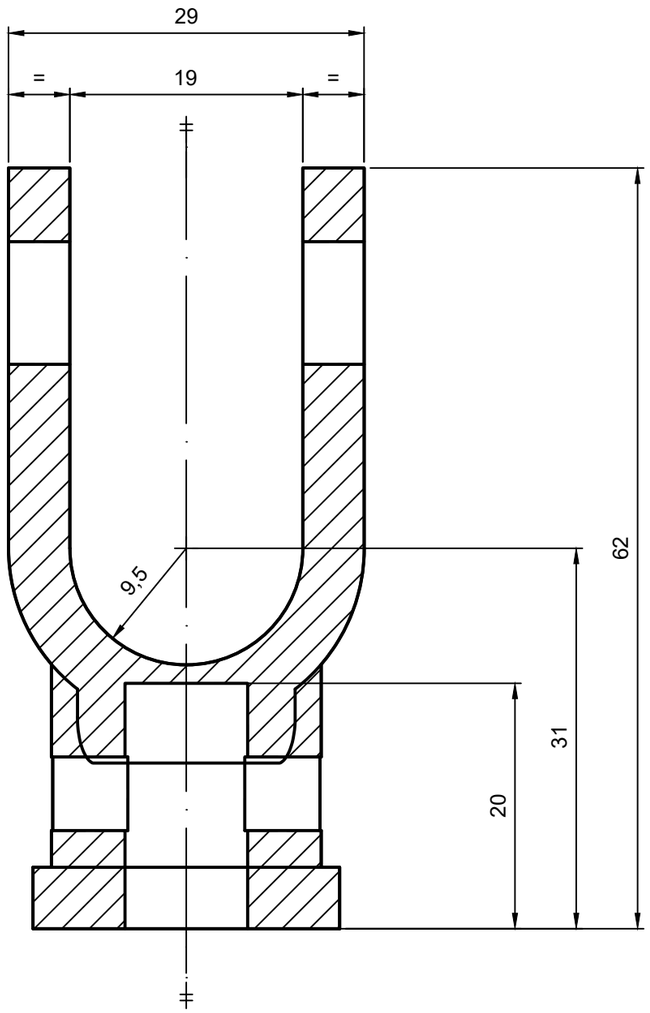
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
10:1	Marca 173.Pasador rectangular del vástago del pistón 2		78/116

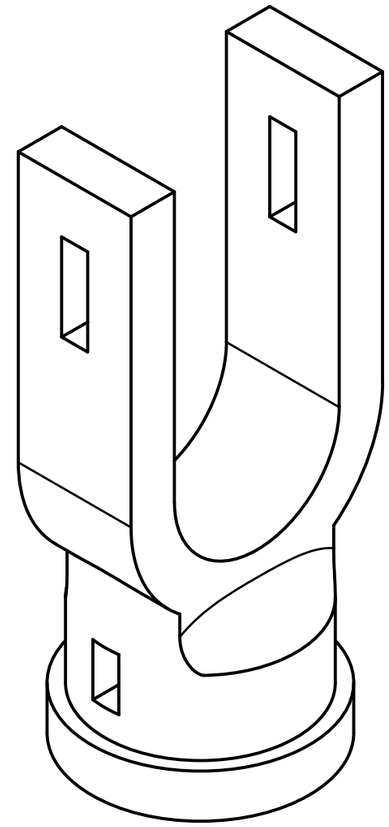




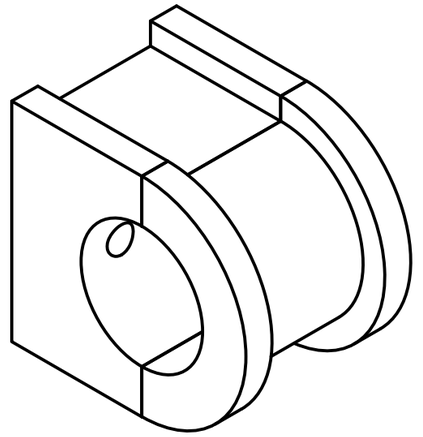
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 158. Cojinete de biela		79/116



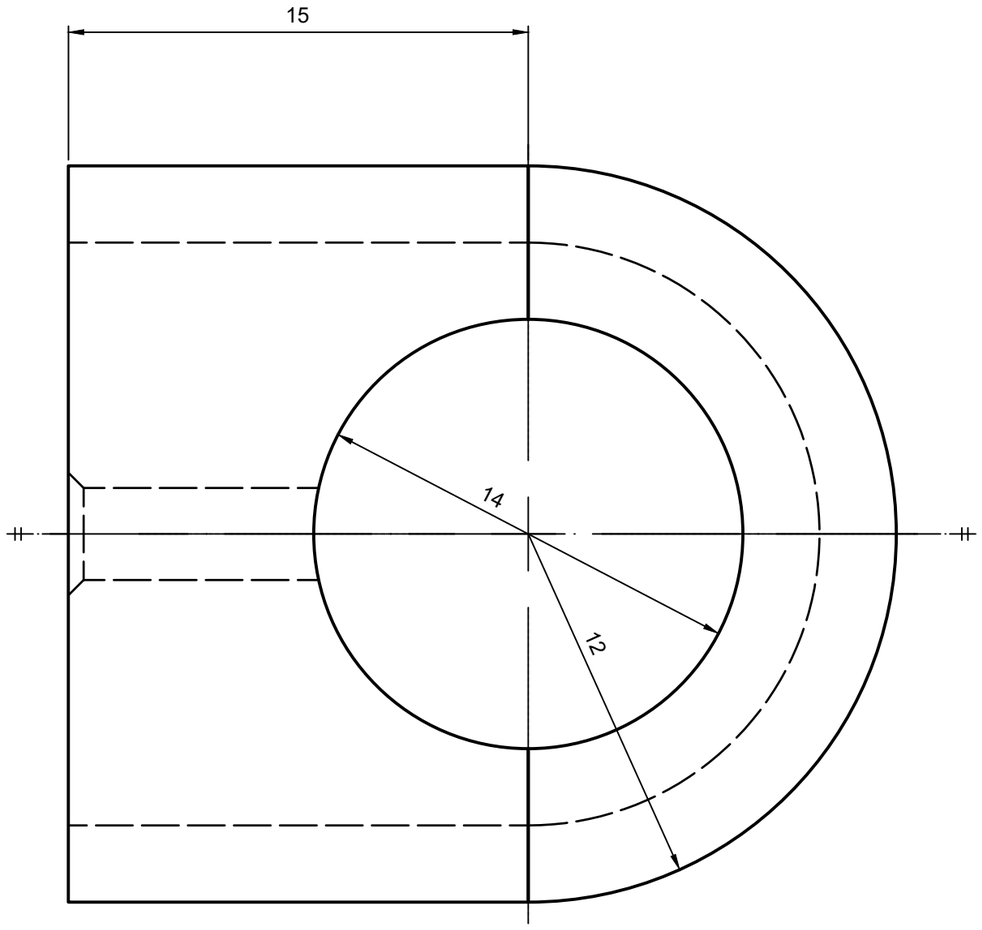


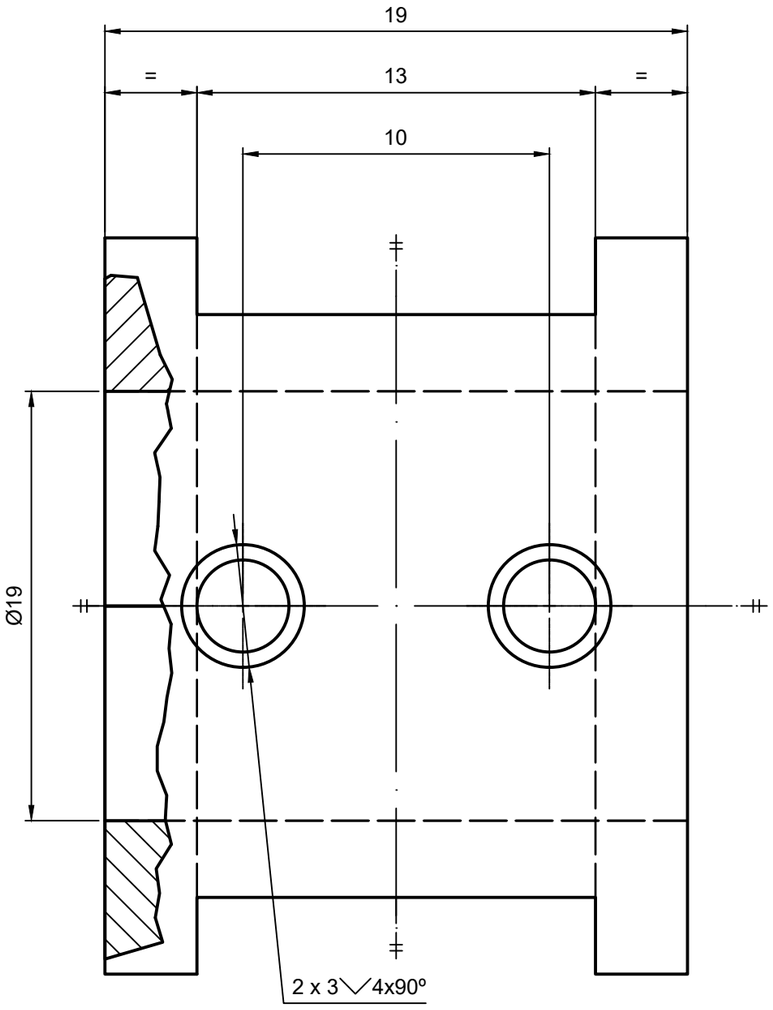


Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	
Escala : 2:1	Título : Marca 105. Tapa de biela	Plano : 80/116

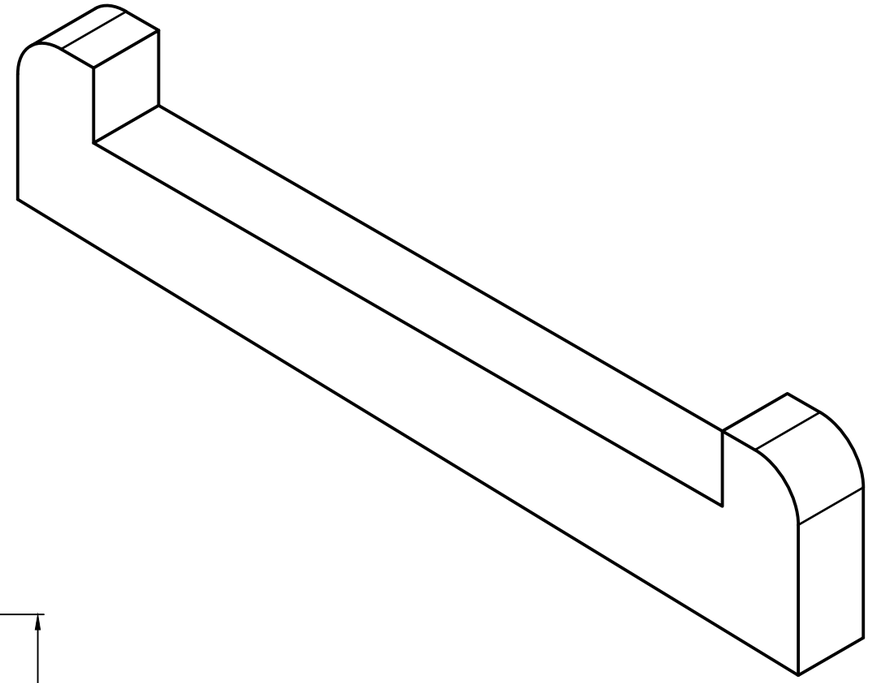


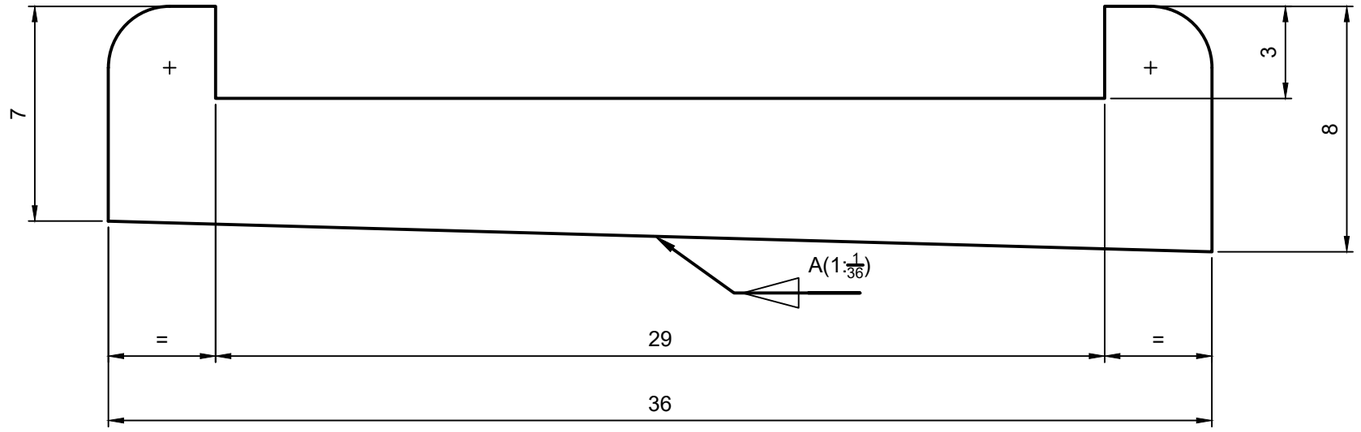
Escala 2:1





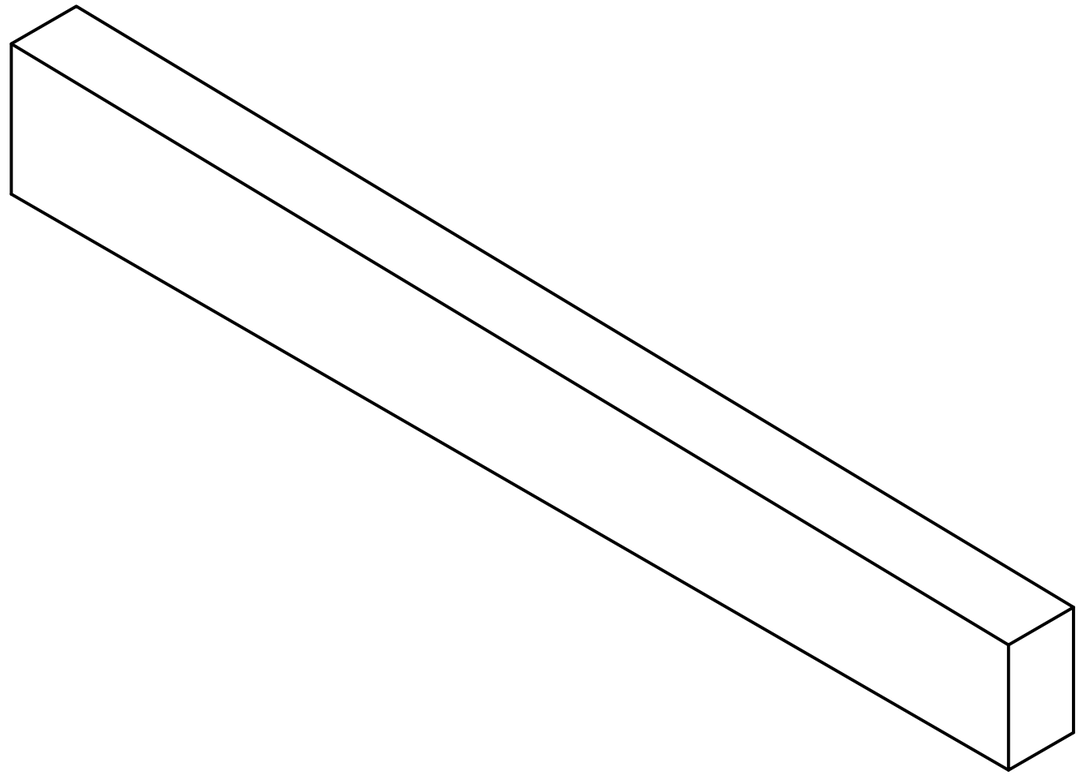
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1/2:1	Marca 106. Cojinete de la tapa de biela		81/116

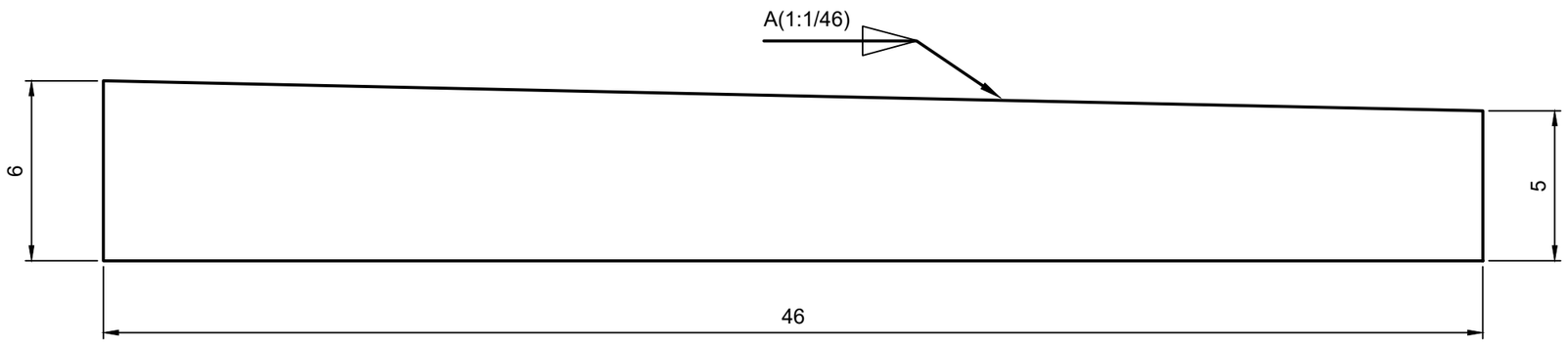




Espesor3 mm

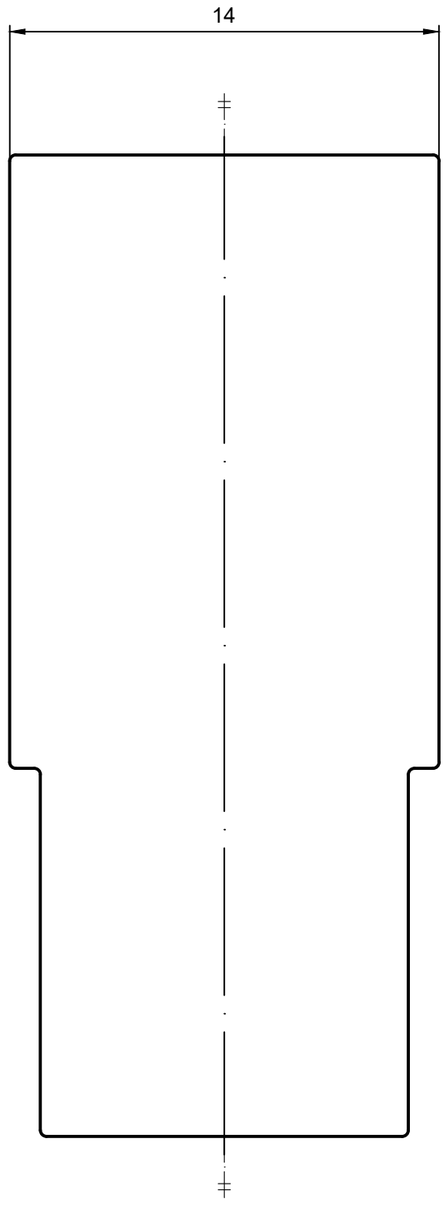
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 104. Pasador 1 de ajuste a presión del cojinete de la tapa de biela		82/116

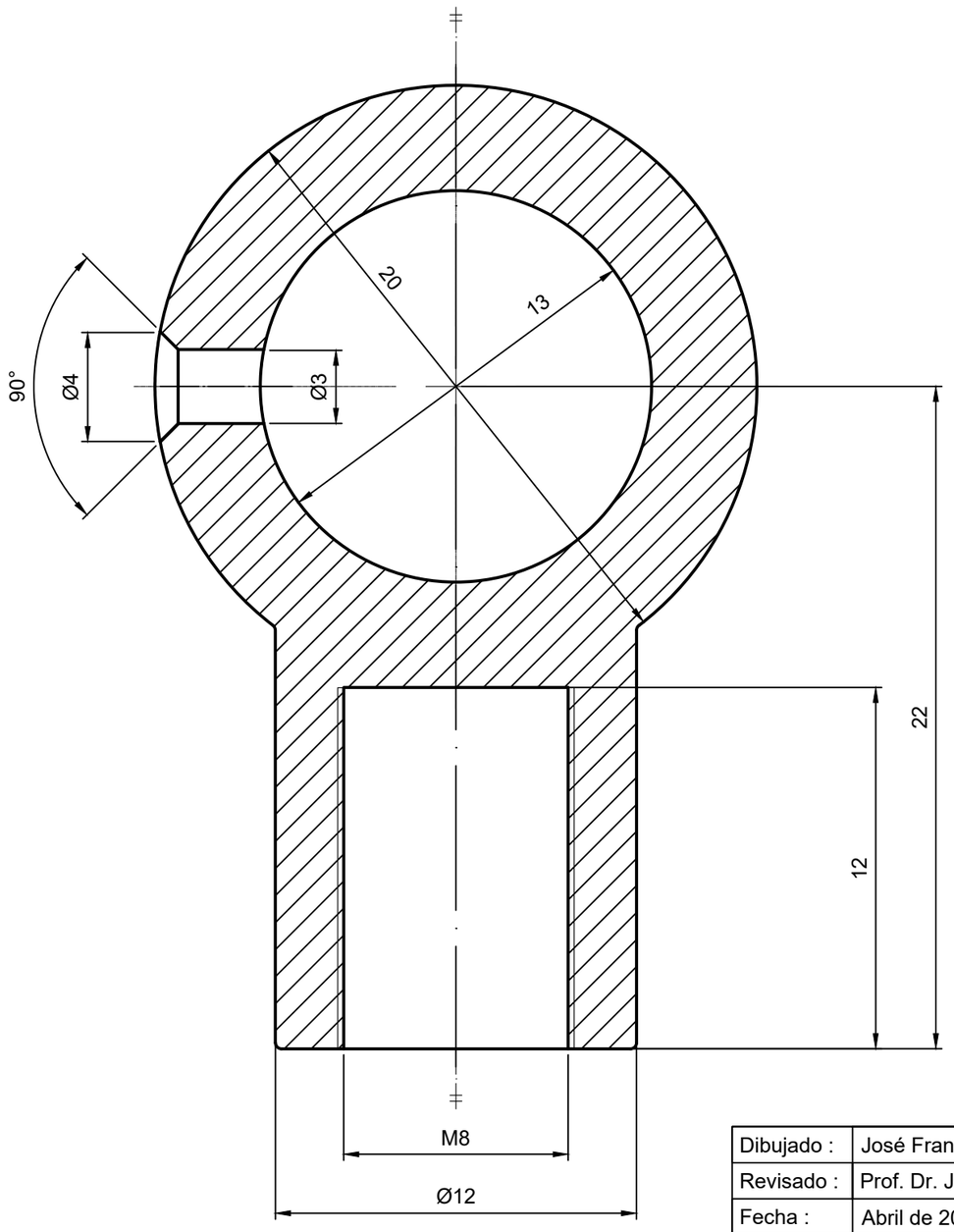


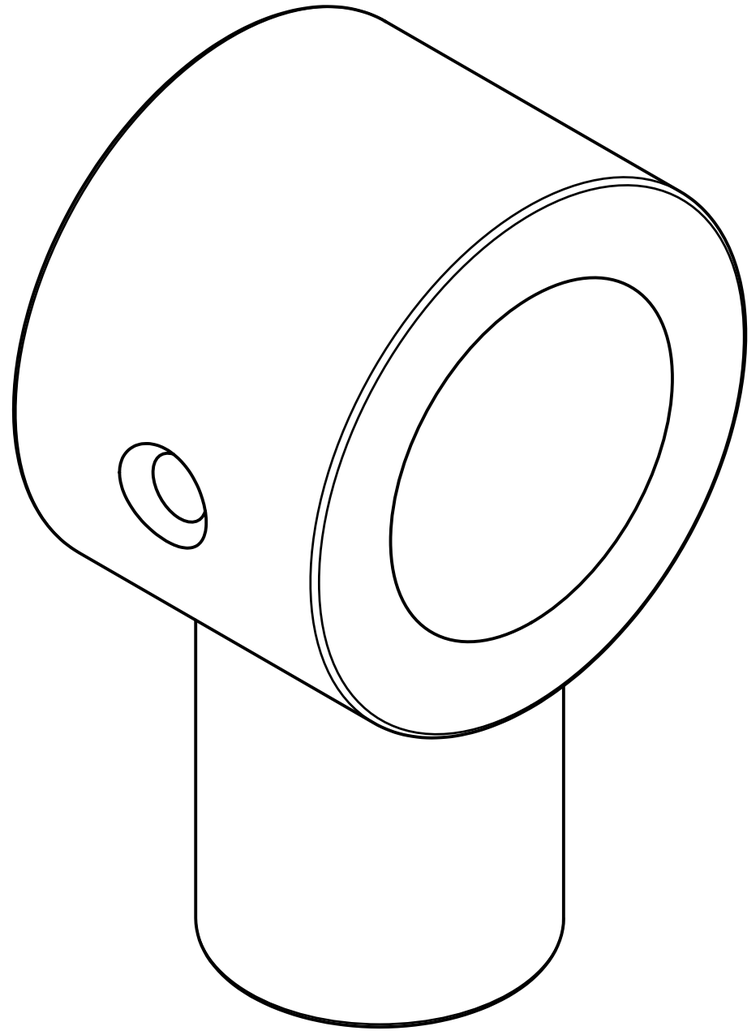


Espesor 3 mm

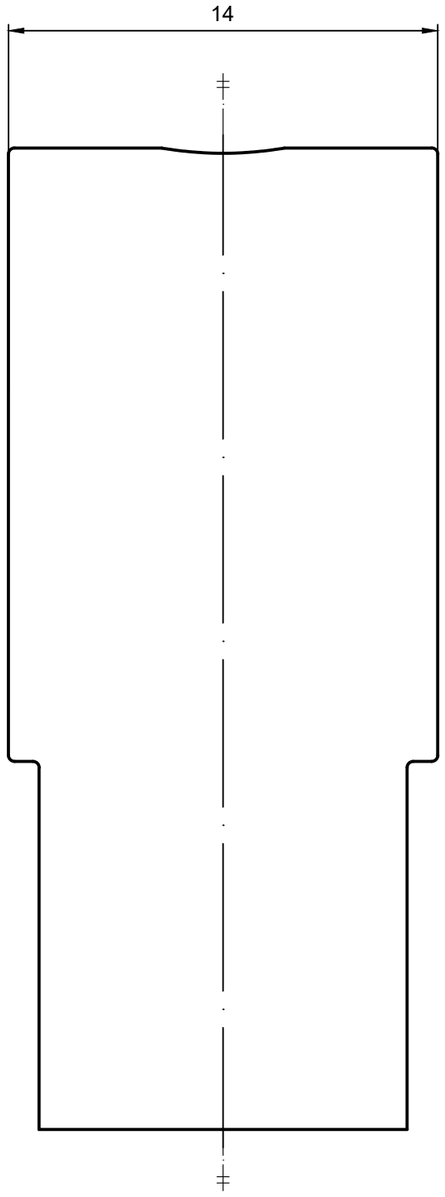
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 107. Pasador 2 de ajuste a presión del cojinete de la tapa de biela		83/116

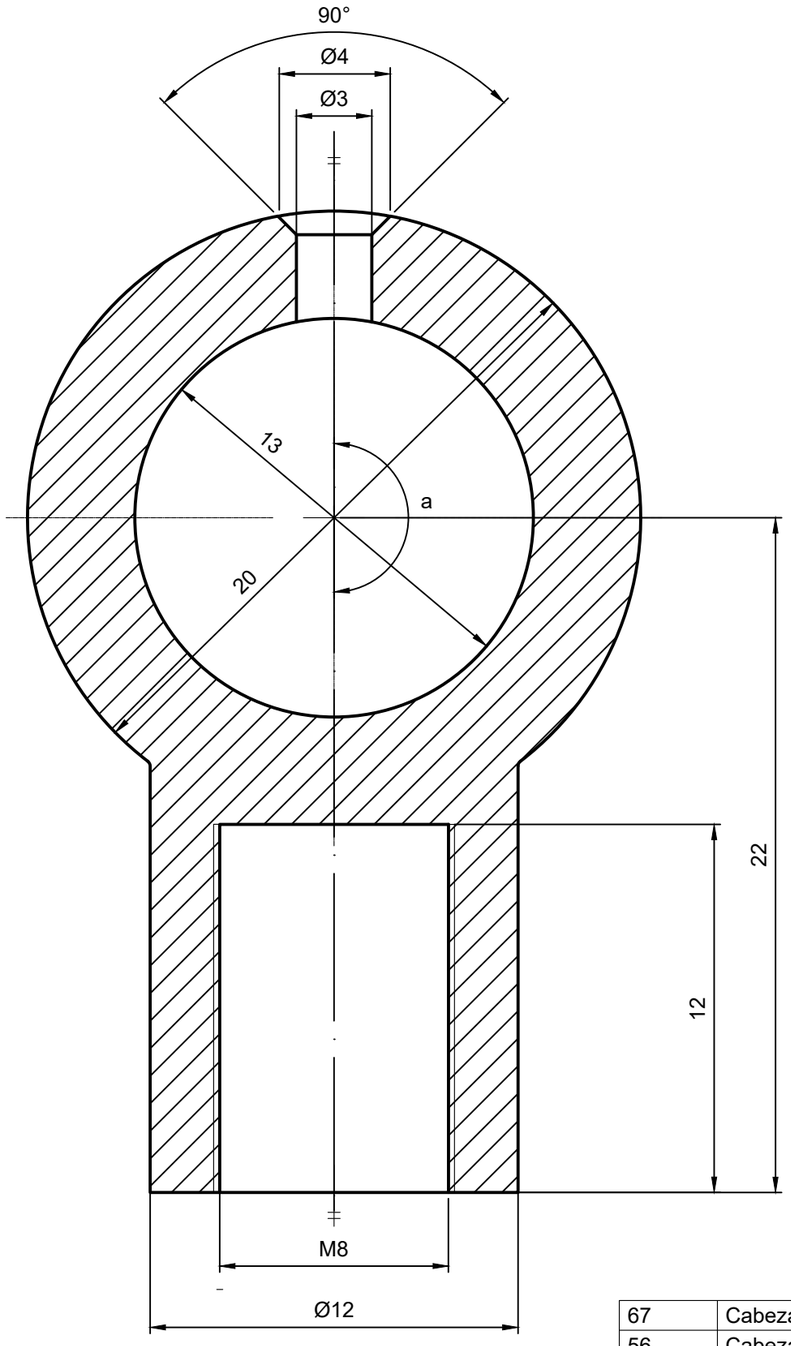


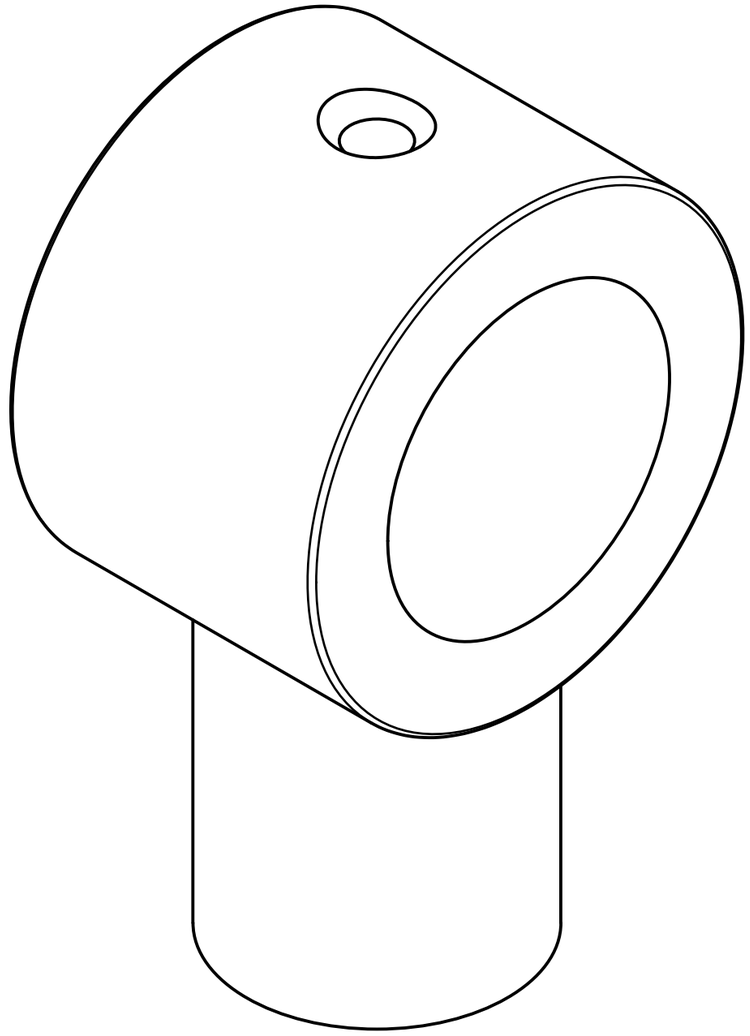




Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 99. Cabeza de barra estabilizadora móvil de media estancia		84/116



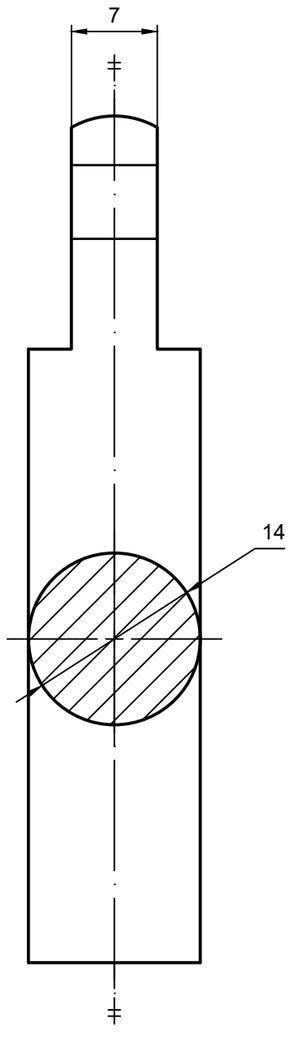


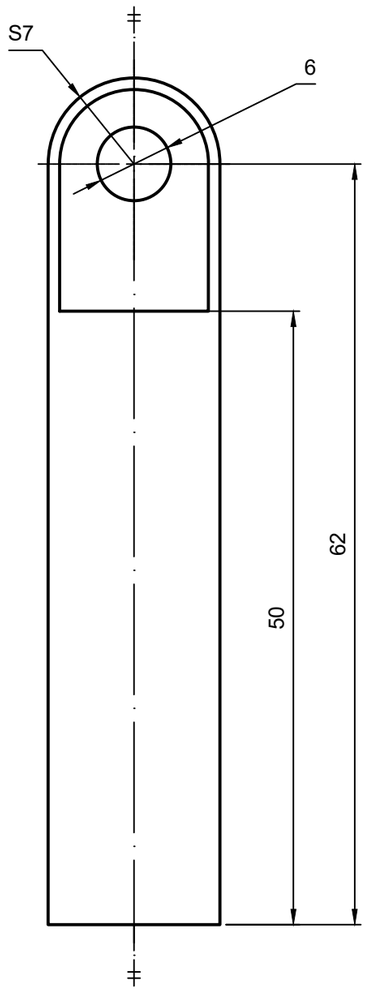


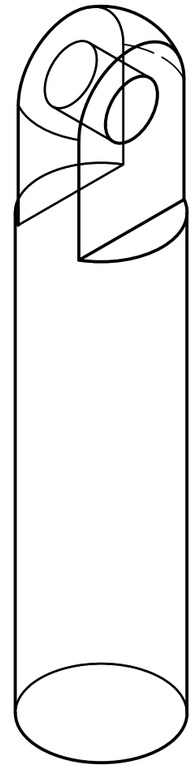
67	Cabeza 2 de la barra estabilizadora móvil de fin de estancia	45
56	Cabeza 1 de la barra estabilizadora móvil de fin de estancia	180
Marca	Denominación	a (grados)

Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	

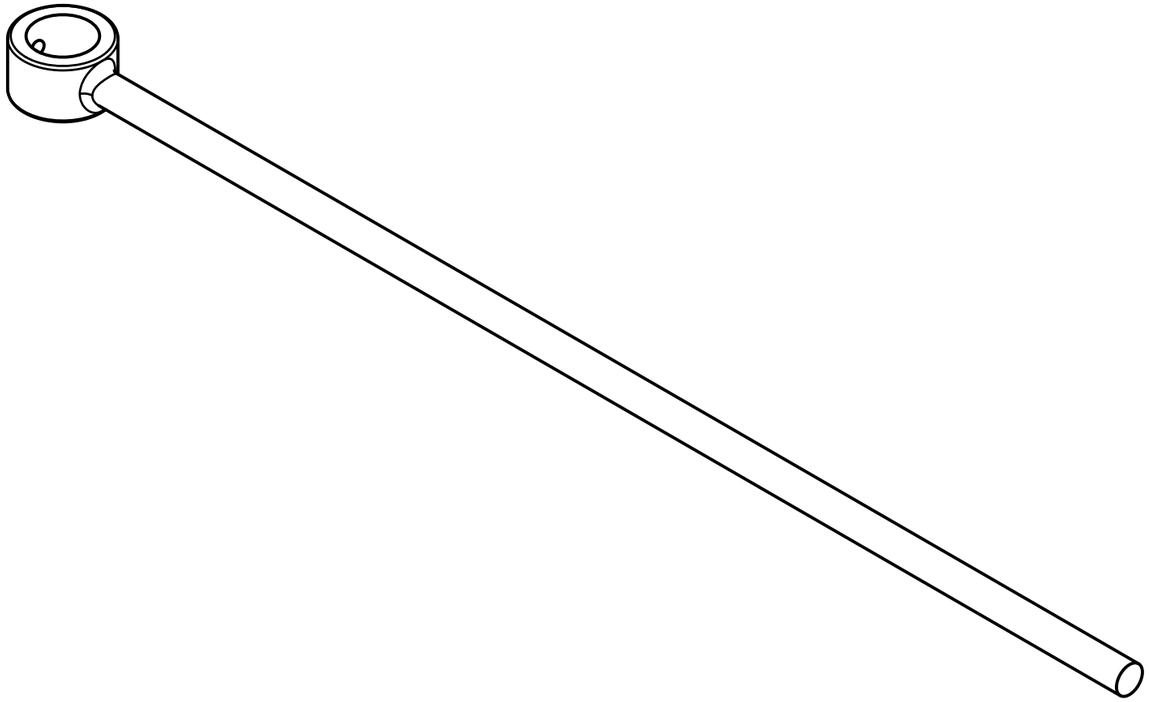
Escala :	Título :	Plano :
5:1	Cabezas de la barra estabilizadora móvil de estancia final	85/116

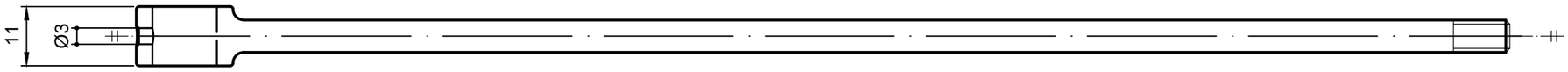


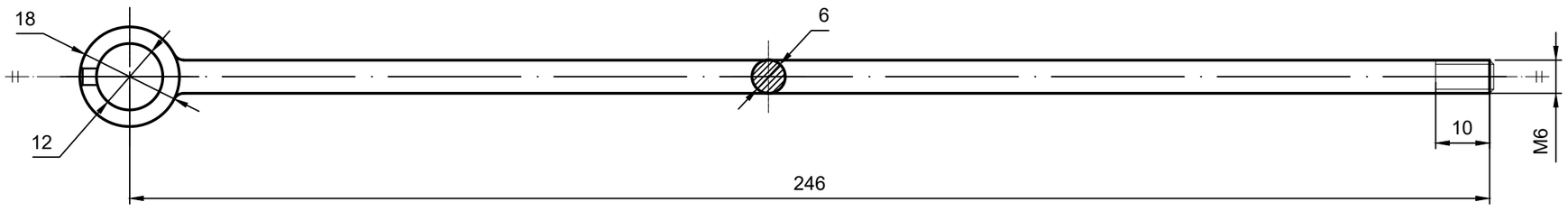




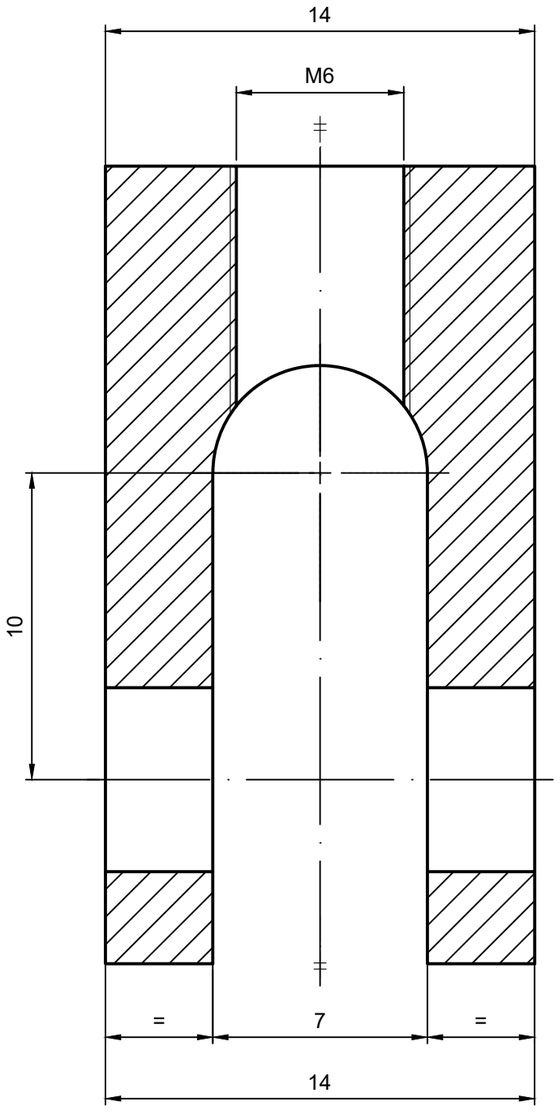
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 64. Pistón de la bomba		86/116

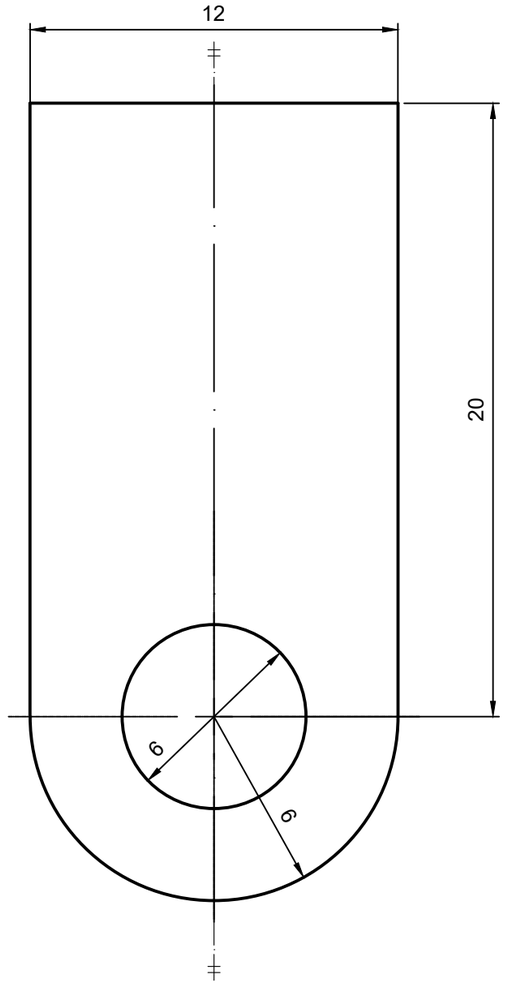


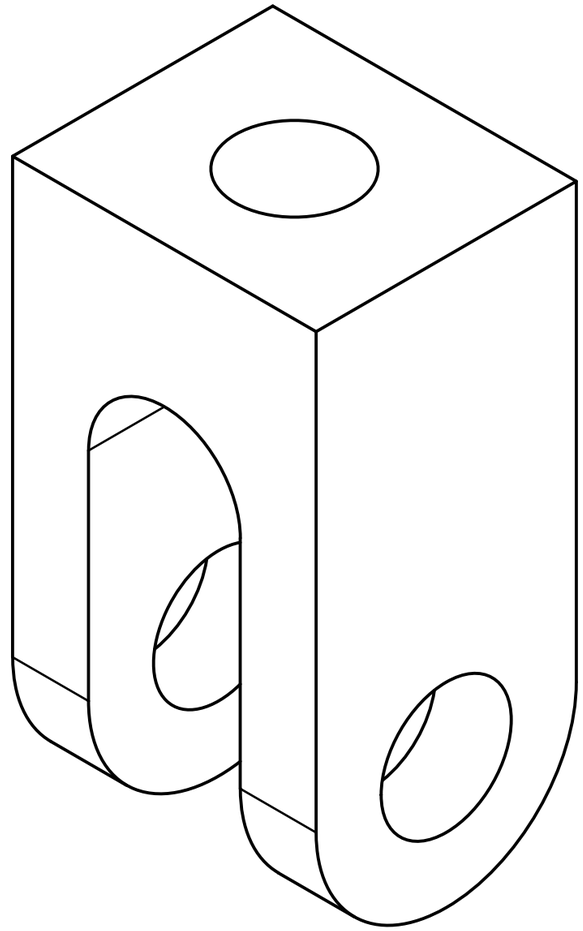




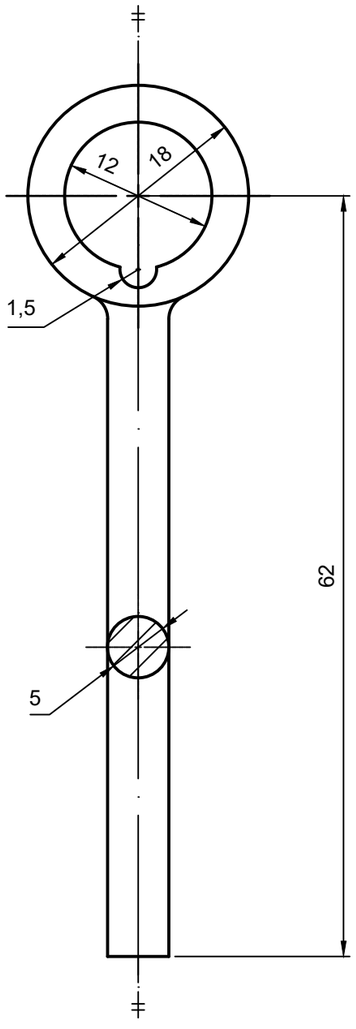
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:2	Marca 53. Biela del pistón de la bomba		87/116

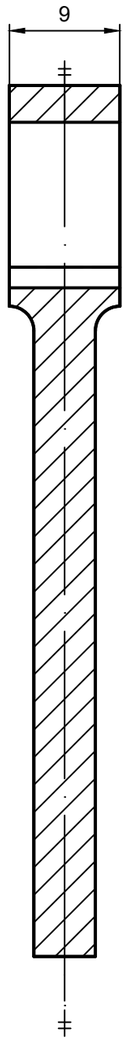


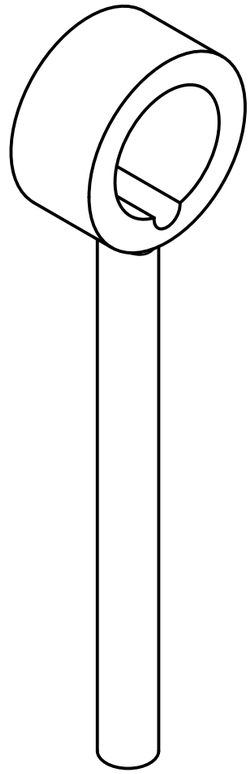




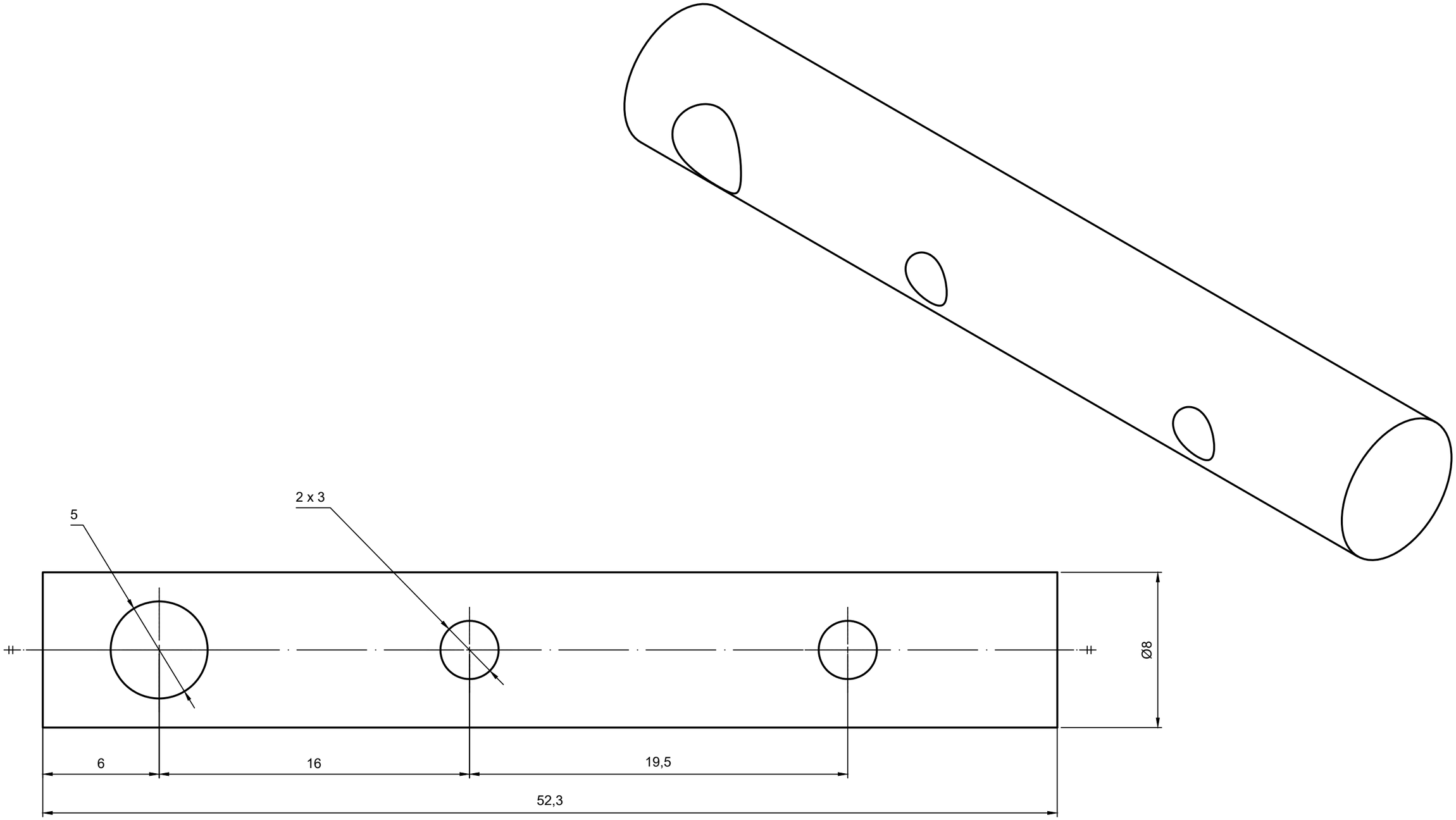
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 150. Cabeza de la biela del pistón de la bomba		88/116



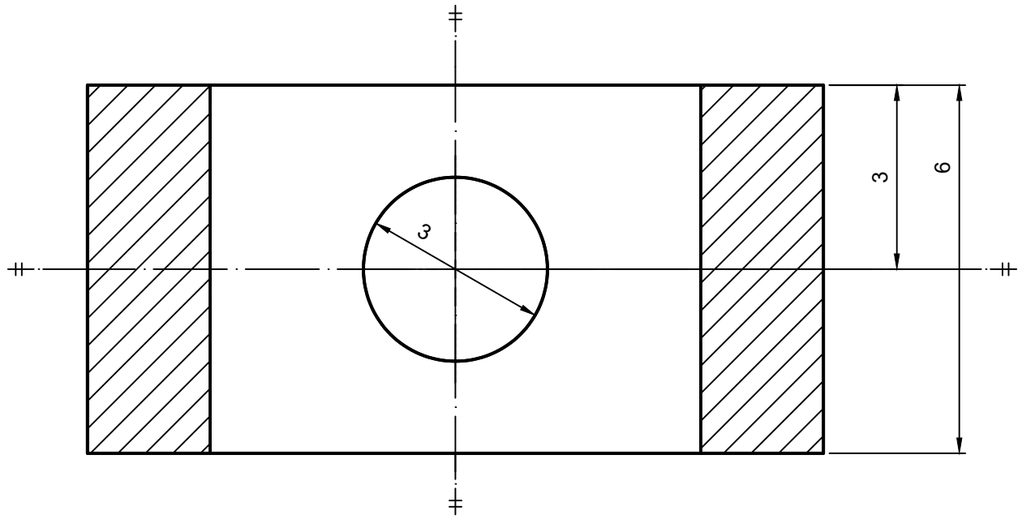


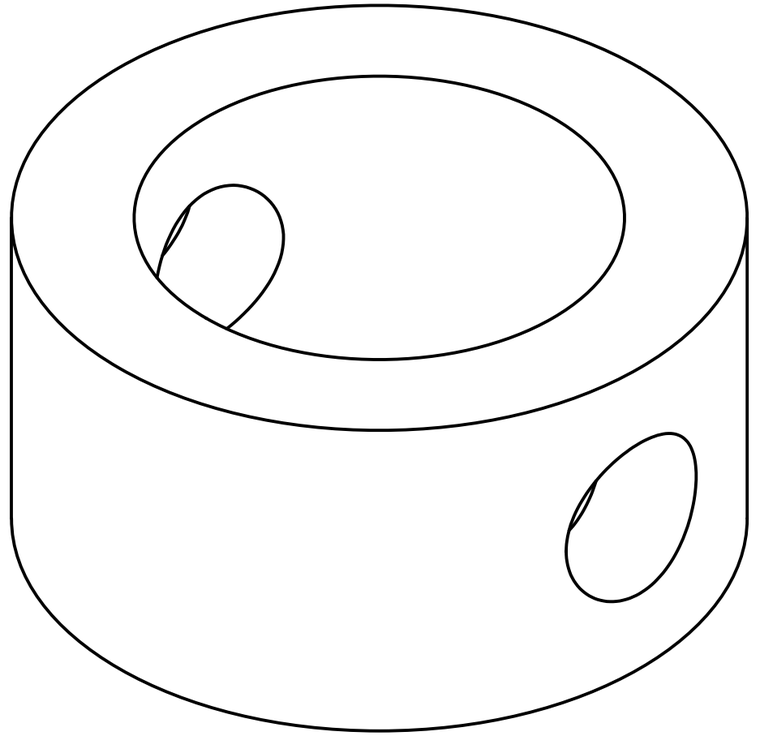


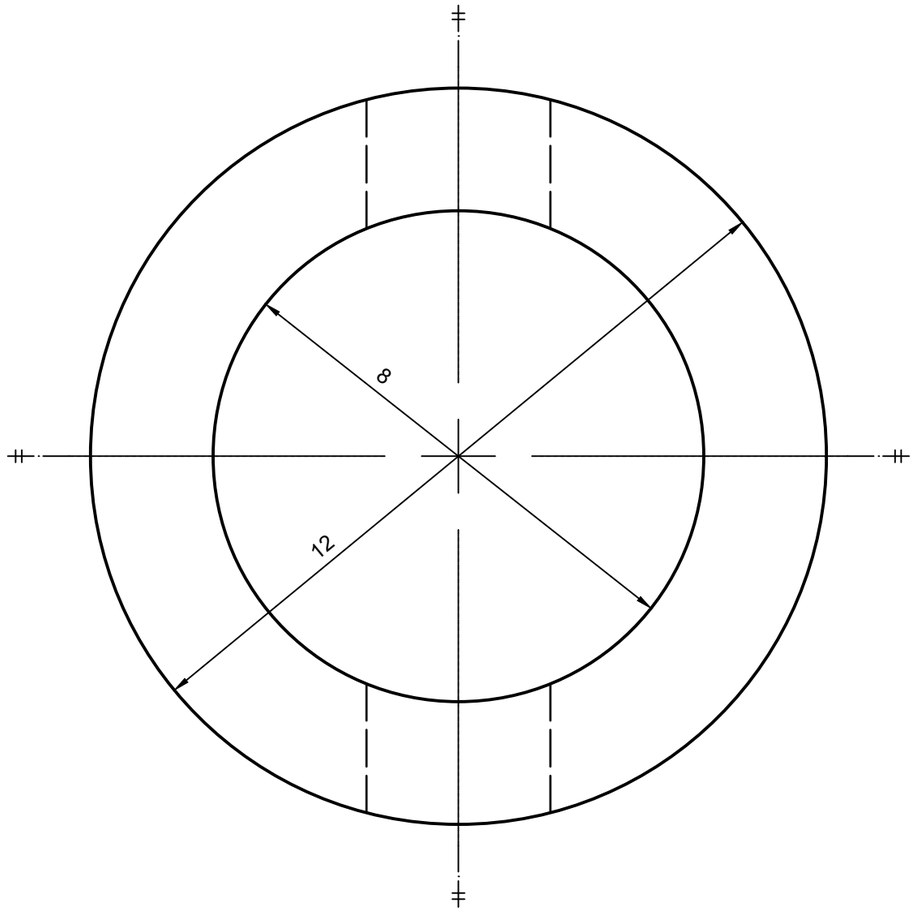
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 79. Manivela del regulador		89/116



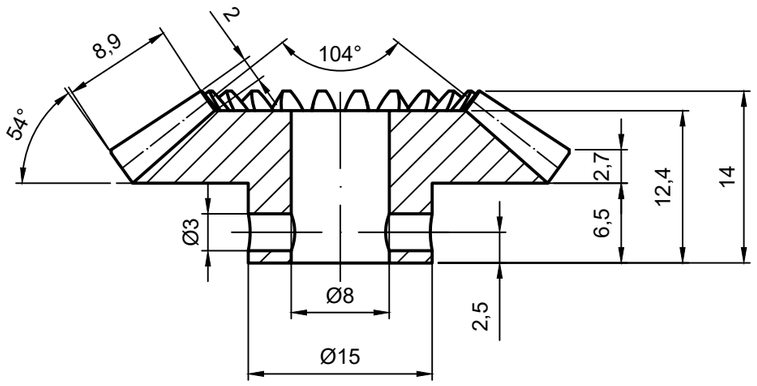
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 80. Eje impulsado por el regulador		90/116

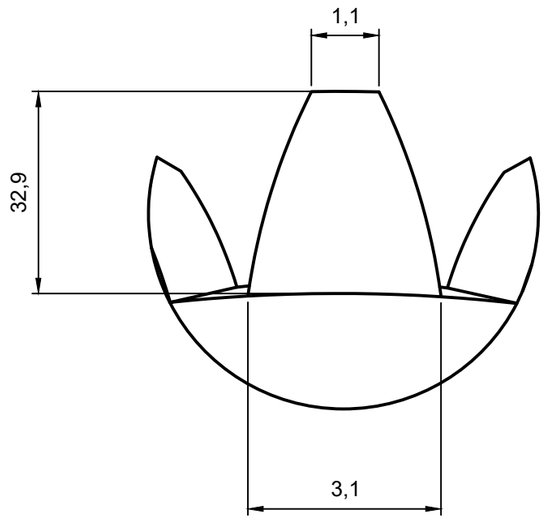


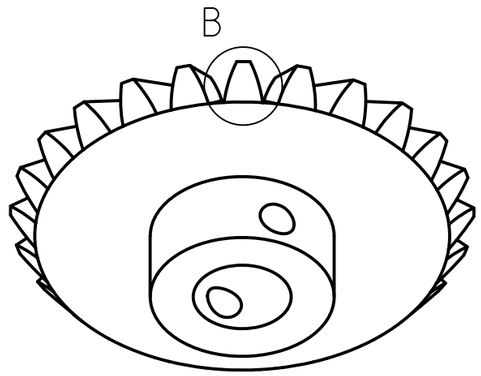


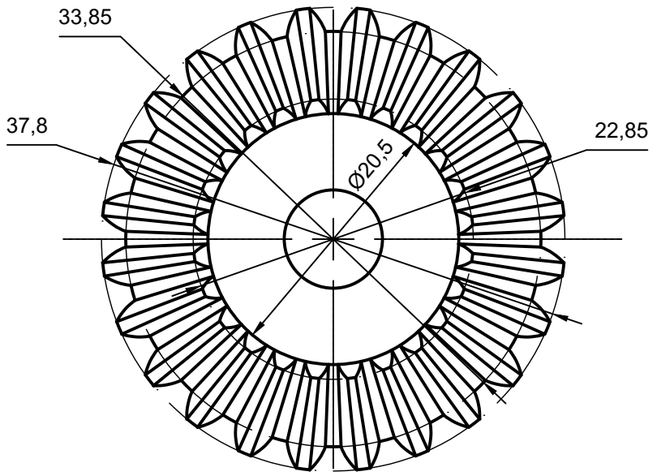


Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
10:1	Marca 82. Tope del eje impulsado por el regulador		91/116



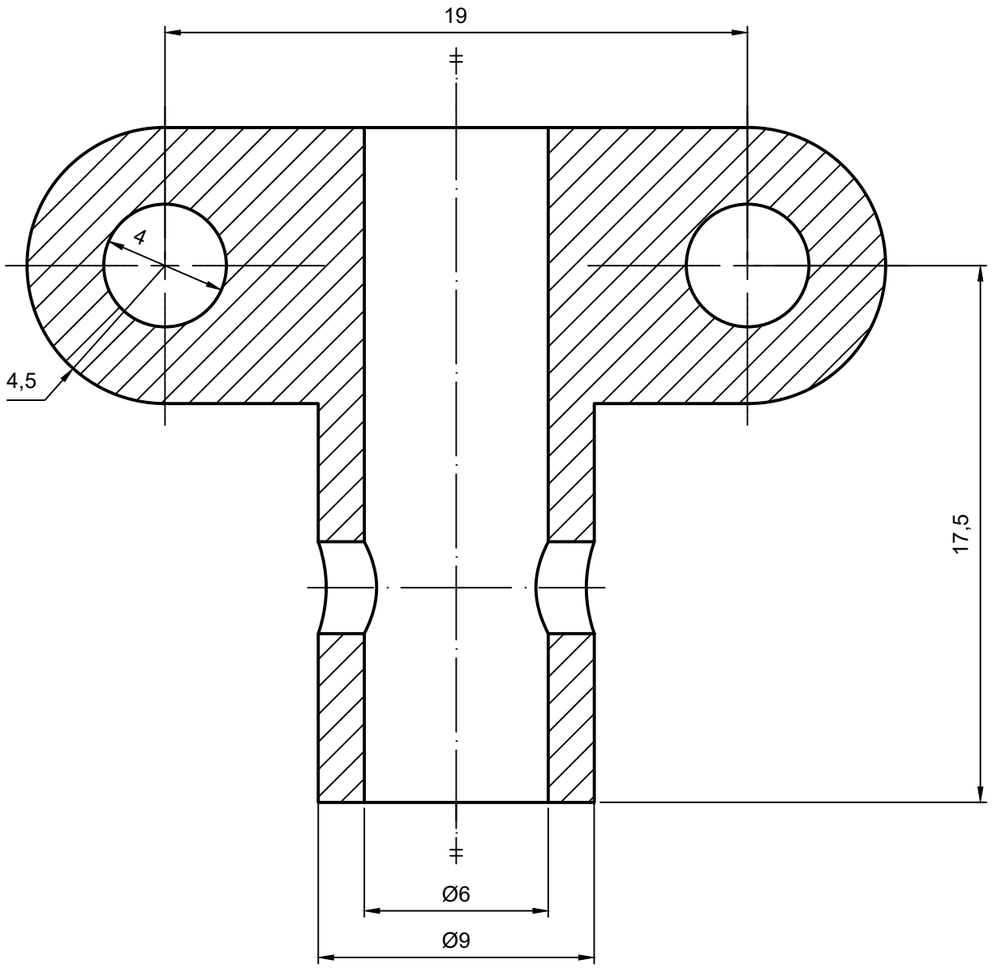


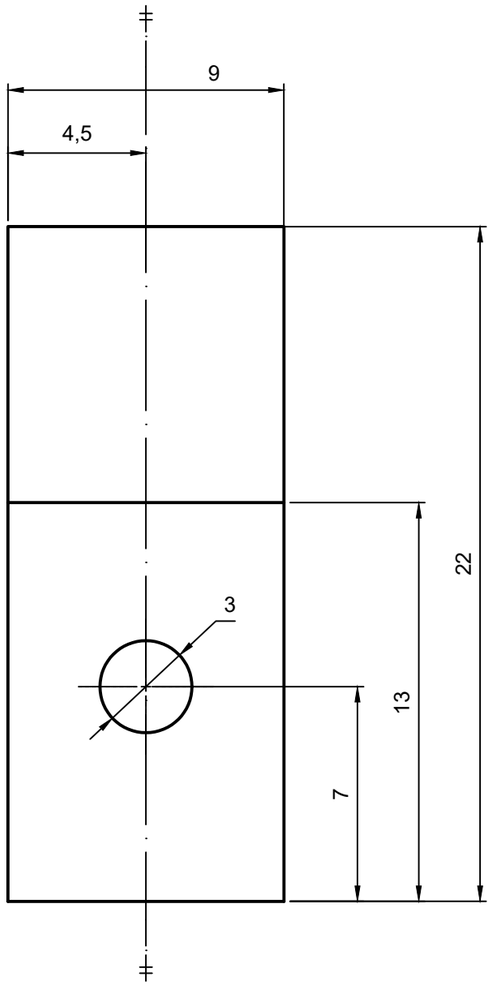


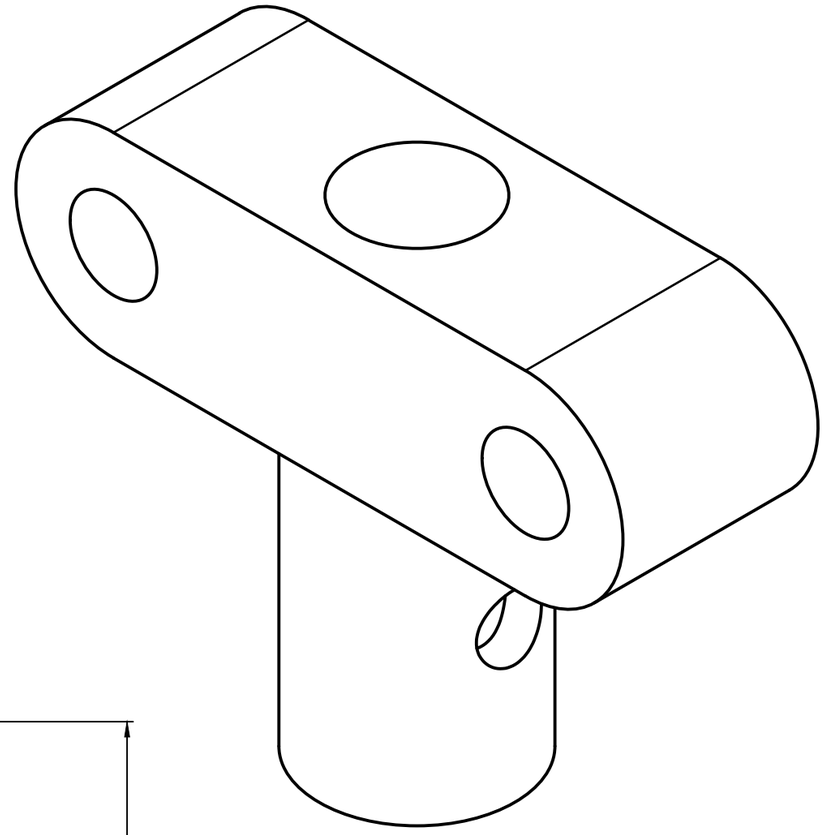


Datos técnicos	
Módulo	1,50
Número de dientes	24
Coeficiente de engranaje	0,75
Ángulo de presión	20 º

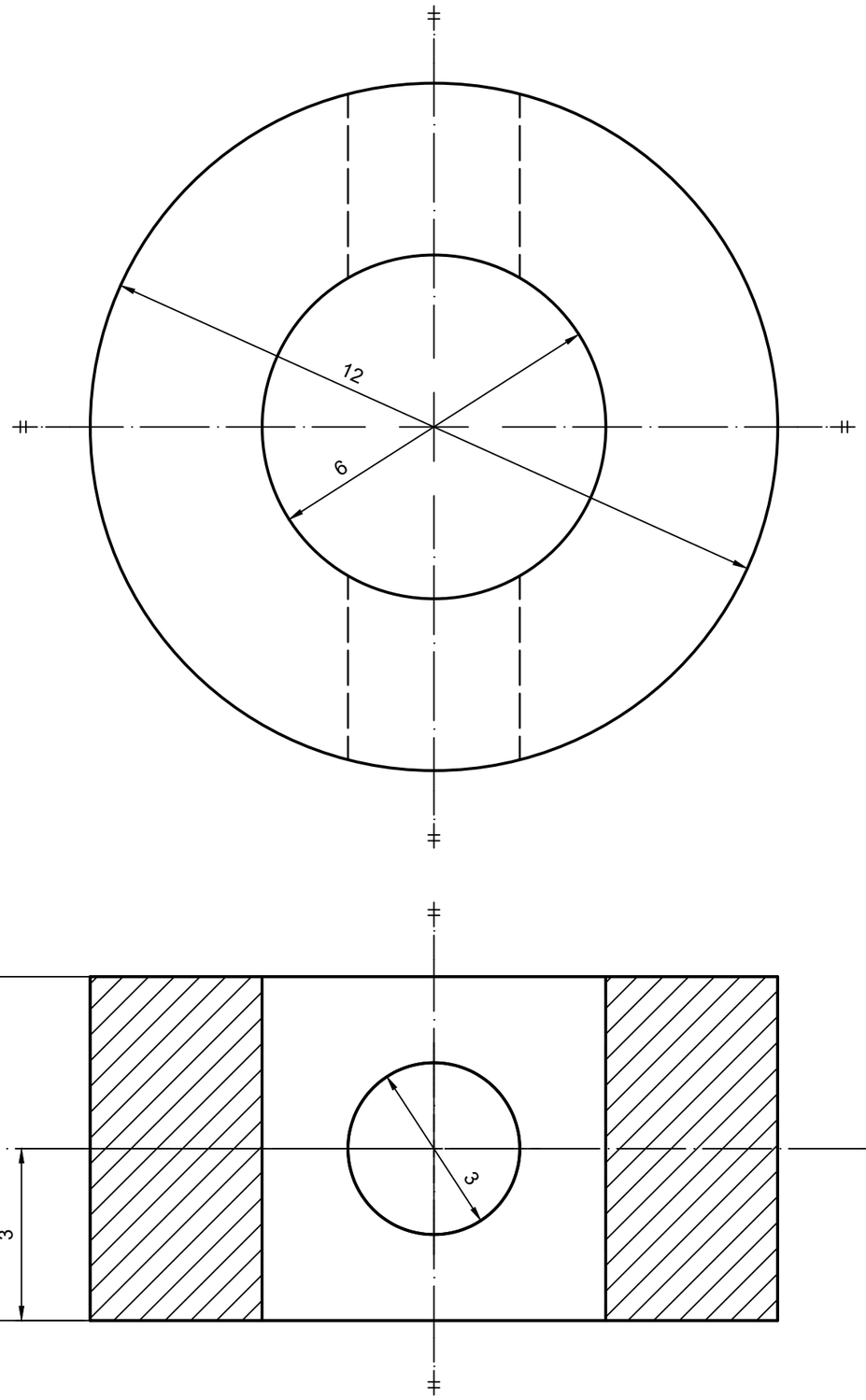
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	
Escala : 2:1	Título : Marca 11. Engranaje impulsado por el regulador	Plano : 92/116

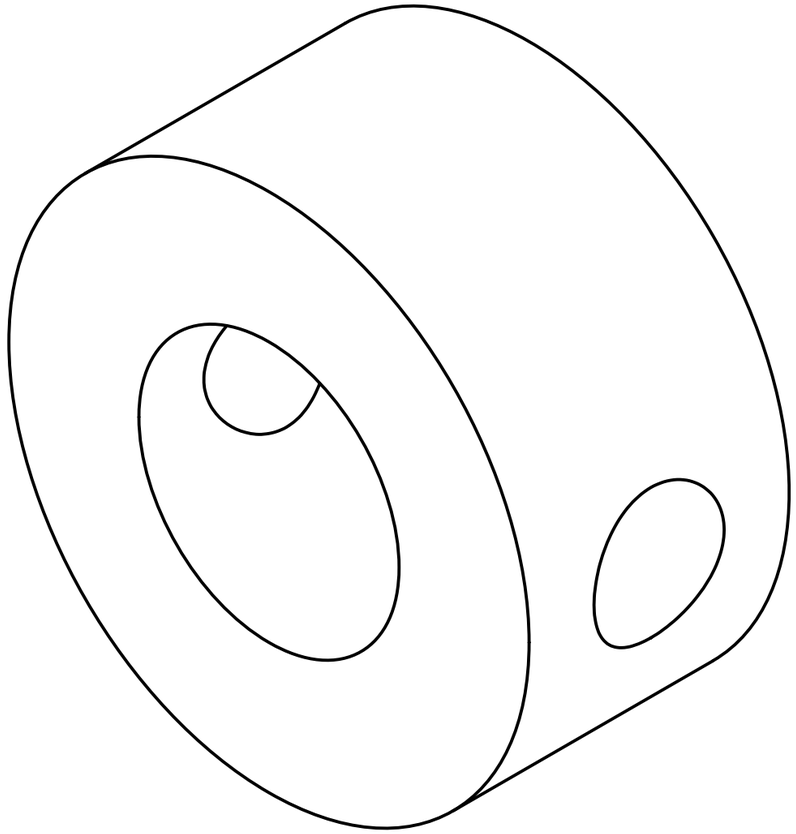


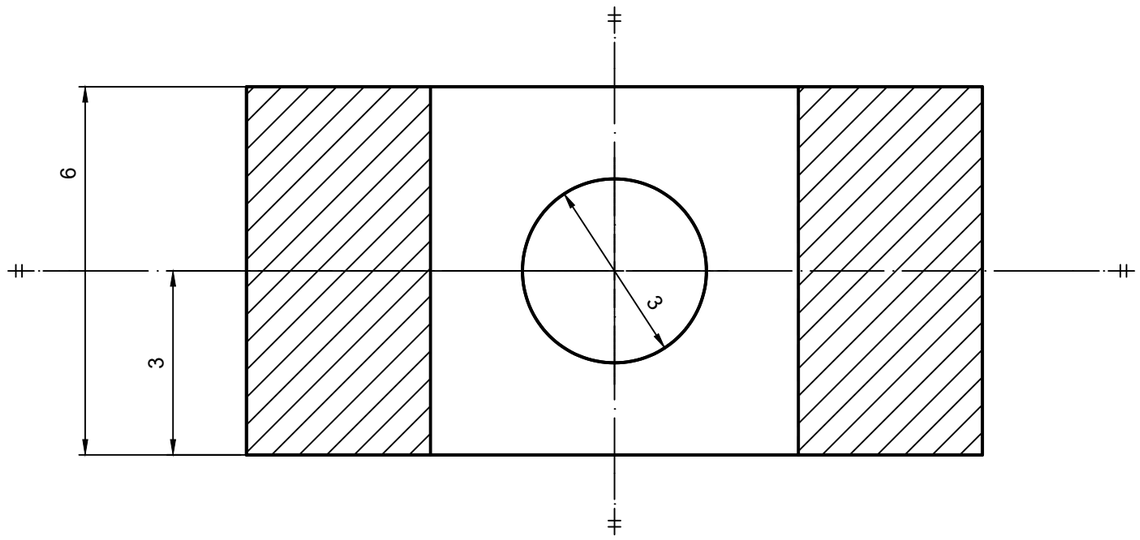




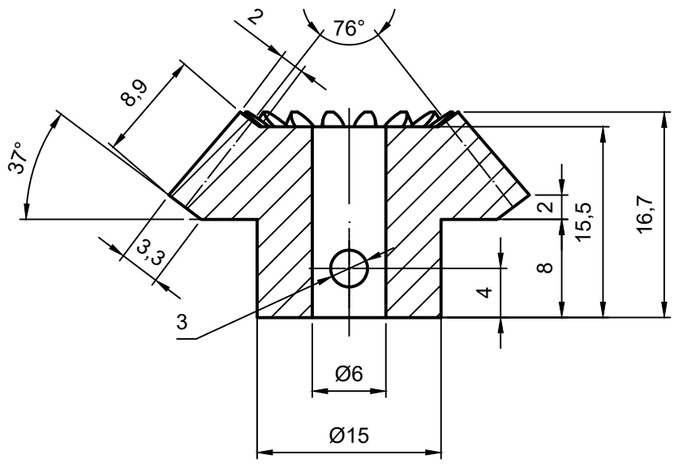
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 50. Tope superior del husillo vertical del regulador		93/116

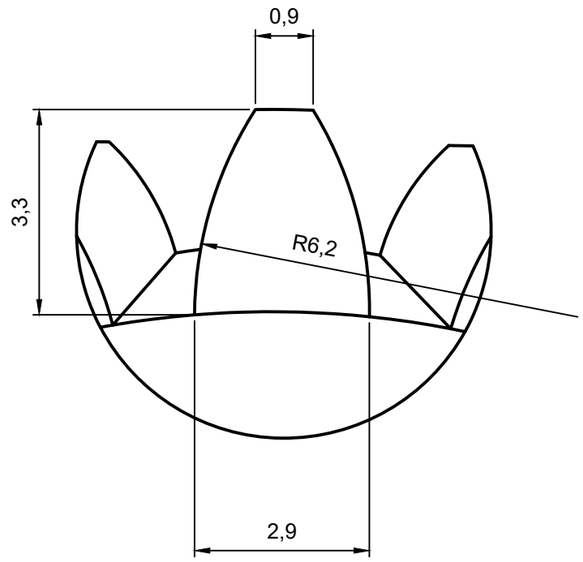


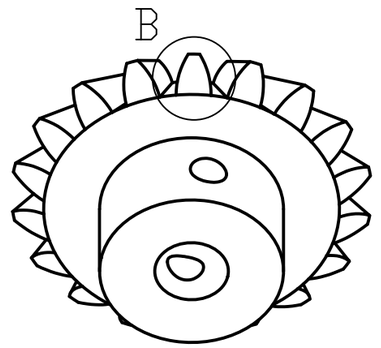


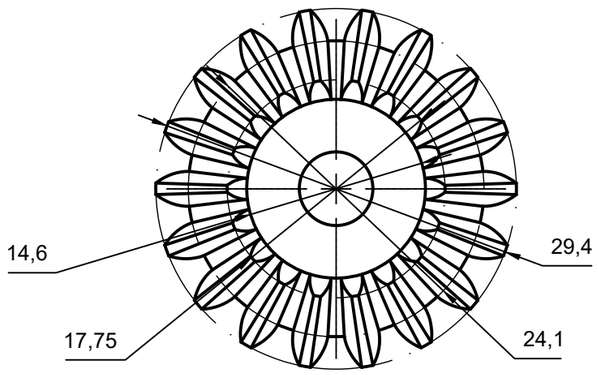


Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
10:1	Marca 12. Tope del husillo vertical del regulador		94/116



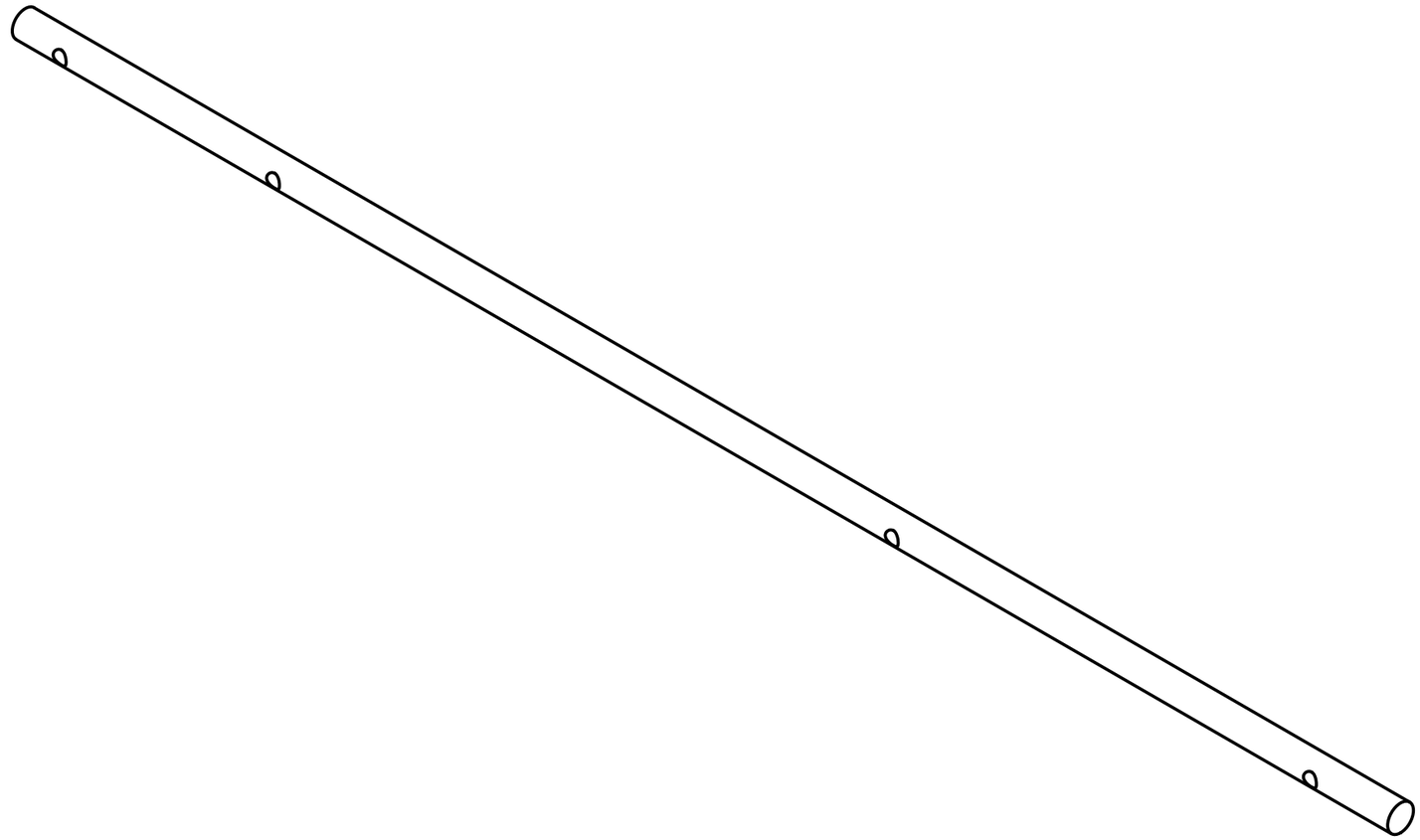


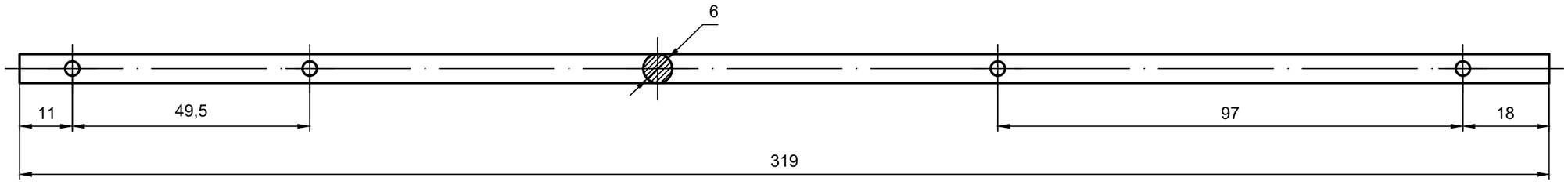




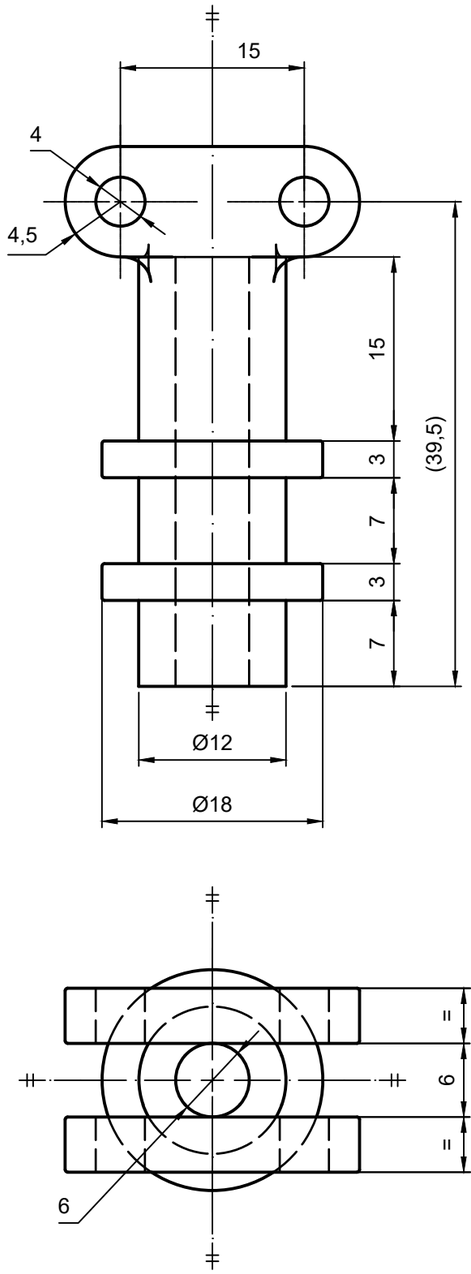
Datos técnicos	
Módulo	1,50
Número de dientes	18
Coeficiente de engranaje	0,75
Ángulo de presión	20 º

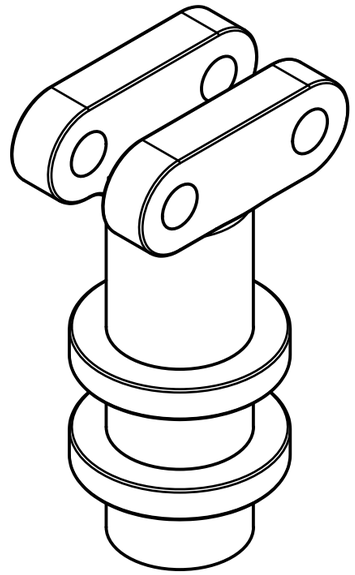
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	
Escala :	Título :	Plano :
2:1	Marca 9. Engranaje del husillo vertical del regulador	95/116



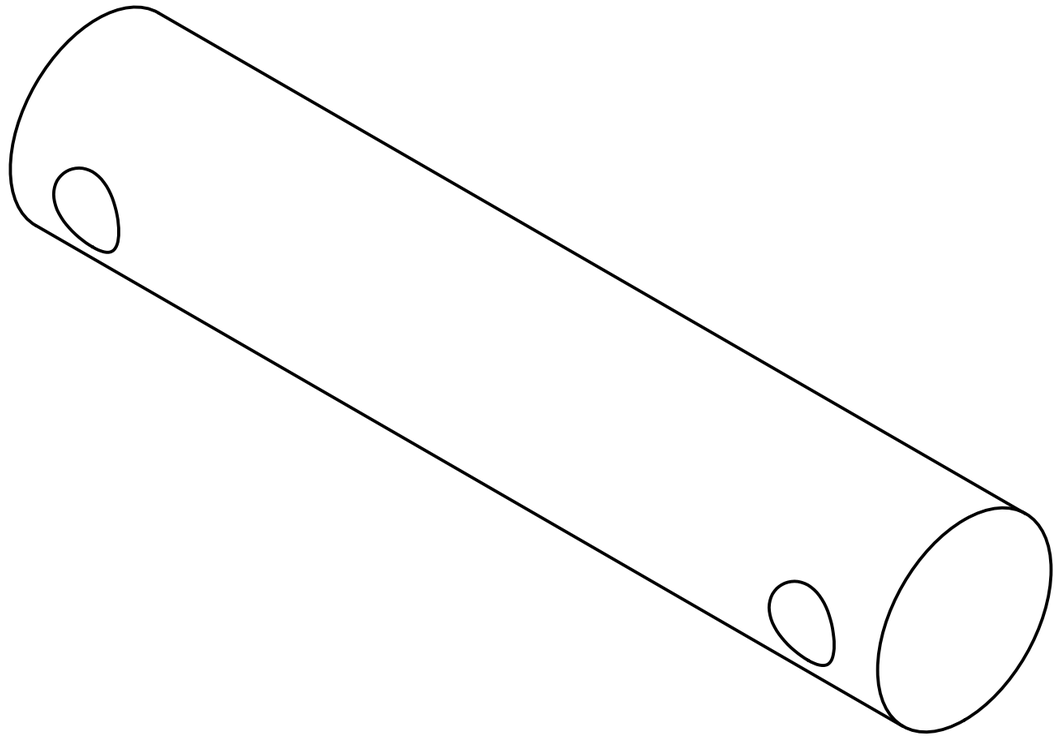


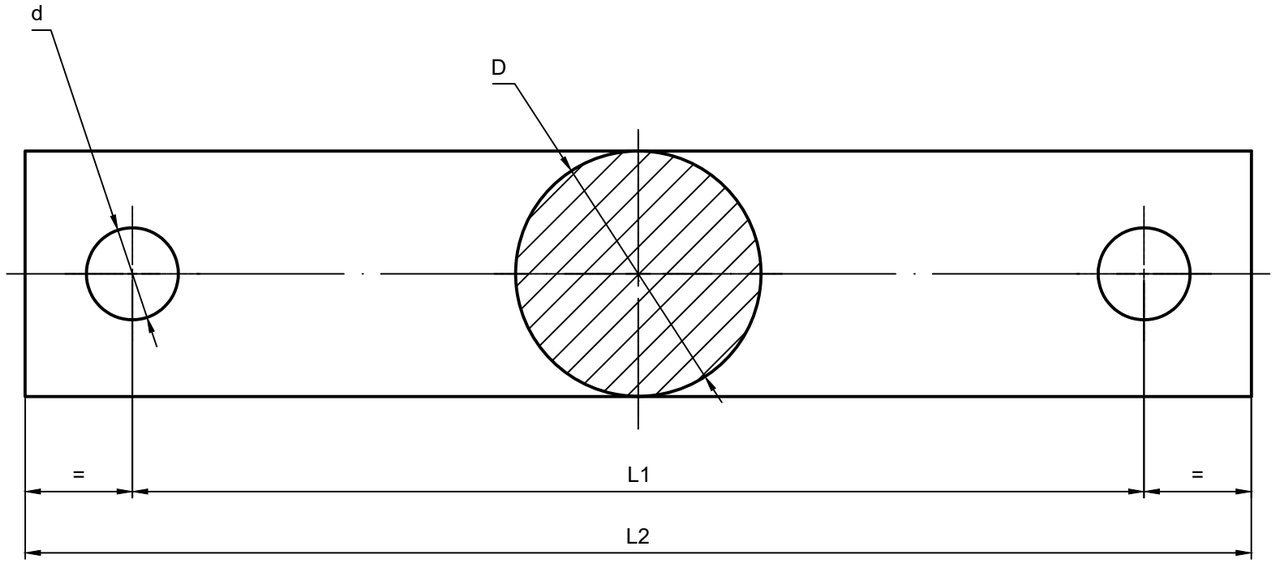
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1	Marca 65. Eje del husillo vertical del regulador		96/116





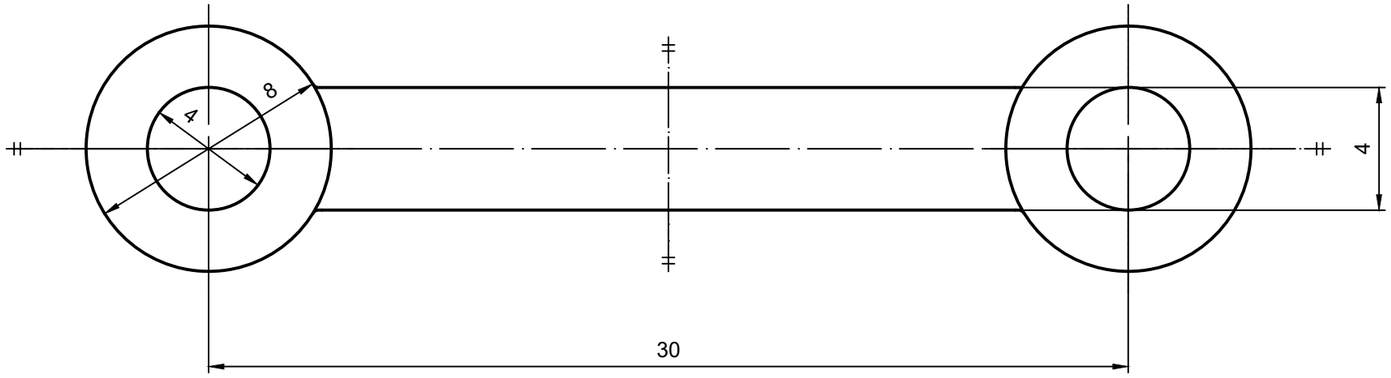
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 46. Collar deslizante del regulador		97/116

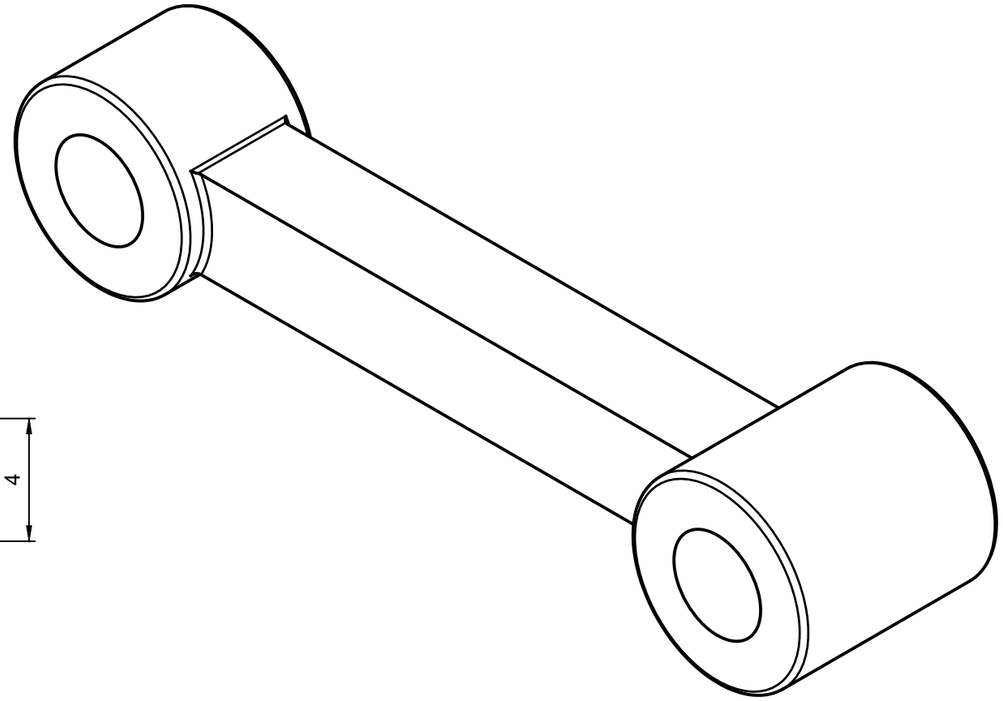


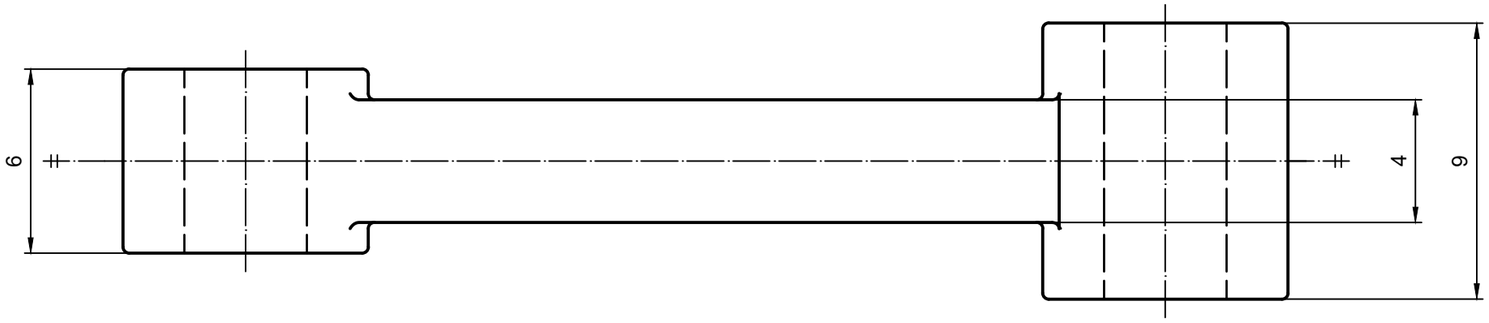


146	Bulón 10	15,5	20	4	1,5
48	Bulón 9	16,5	20	4	1,5
Marca	Denominación	L1 (mm)	L2 (mm)	D (mm)	d (mm)

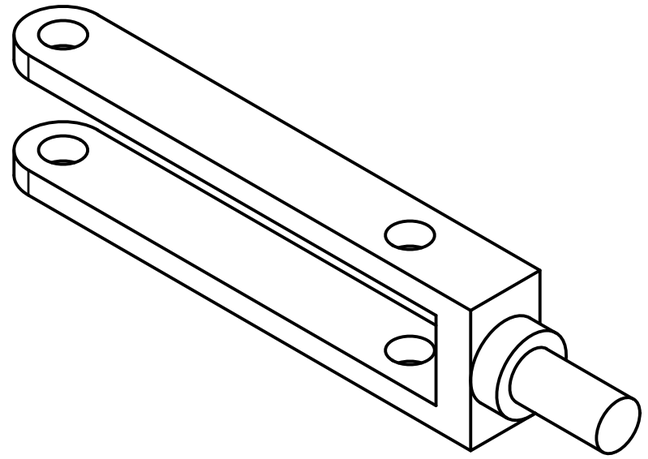
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1	Bulones con taladros		98/116

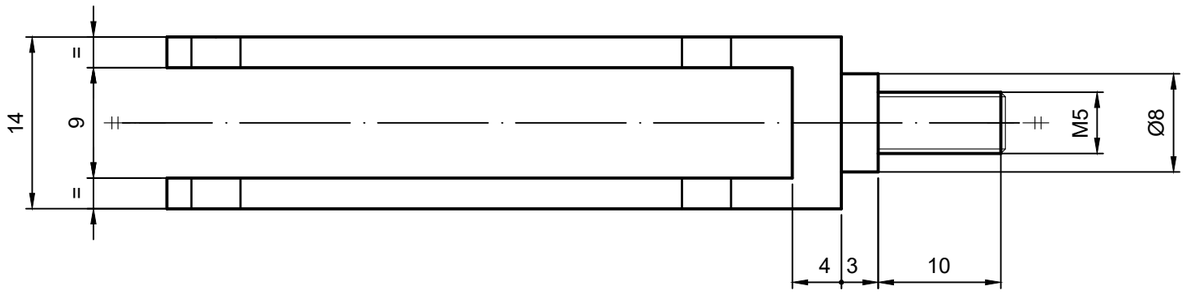


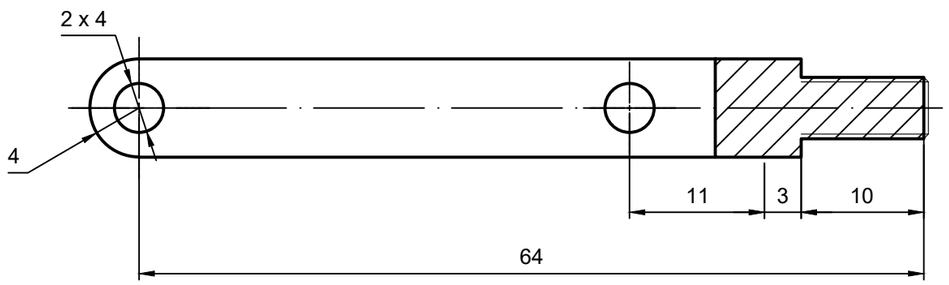




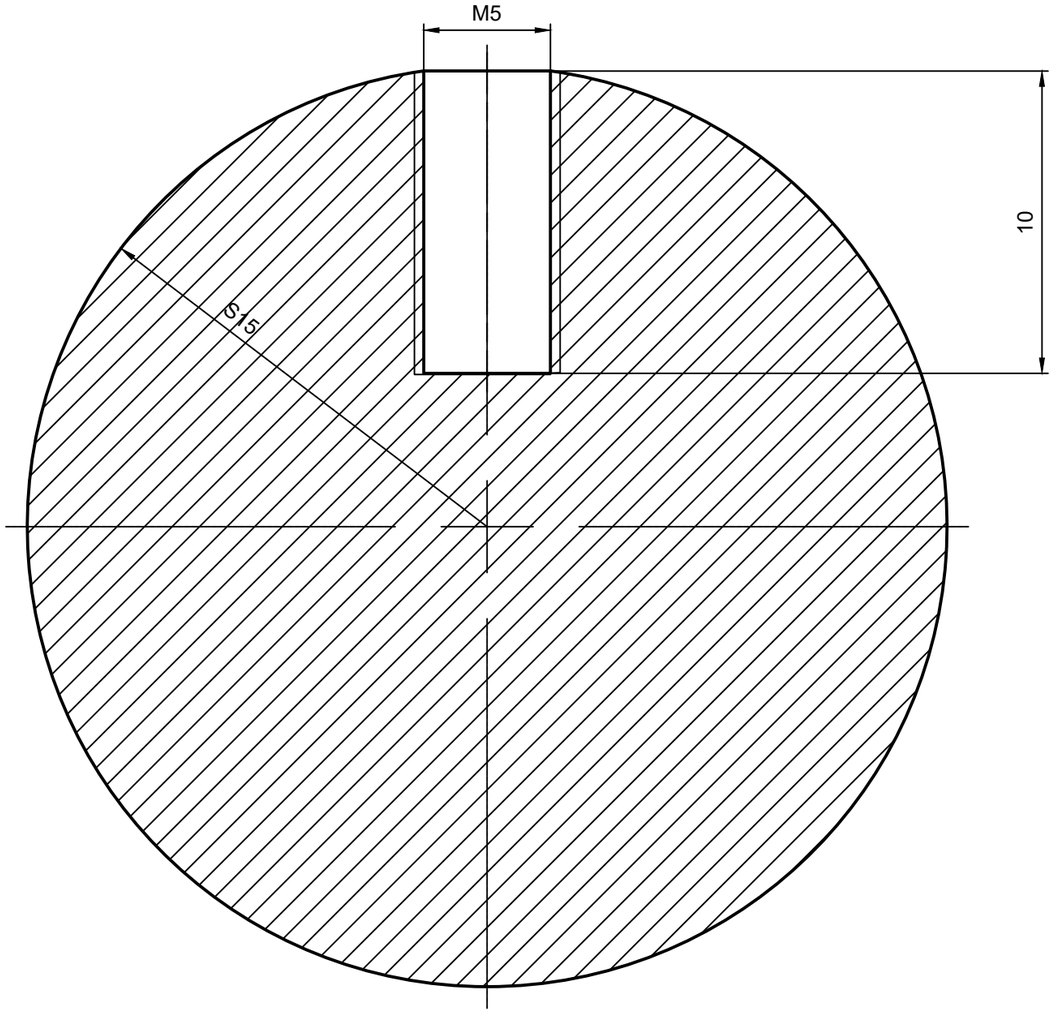
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 49. Brazo inferior del regulador		99/116

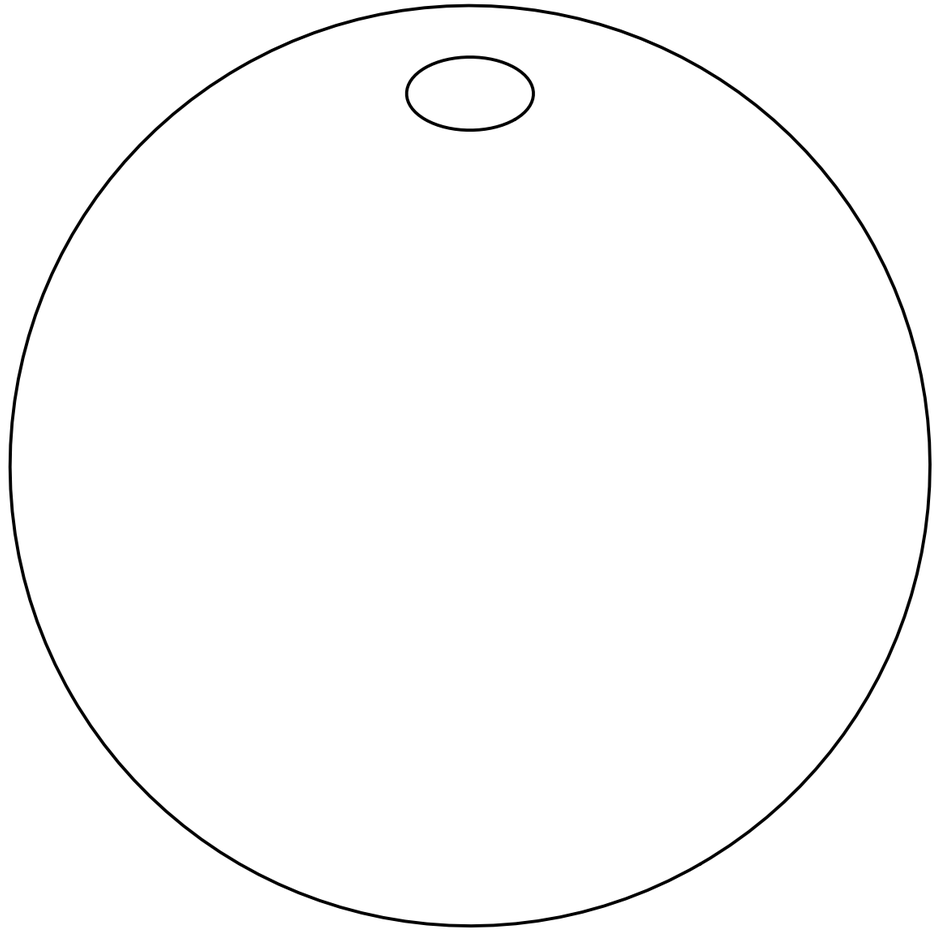




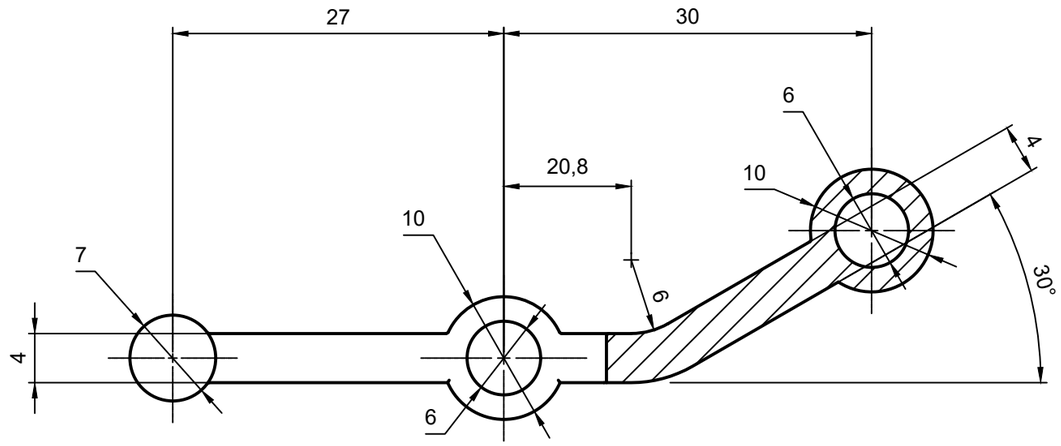


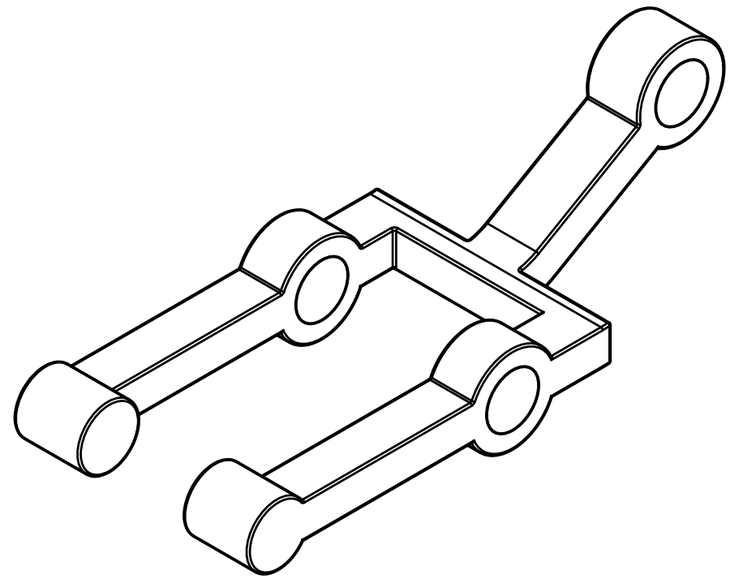
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 47. Brazo superior del regulador		100/116

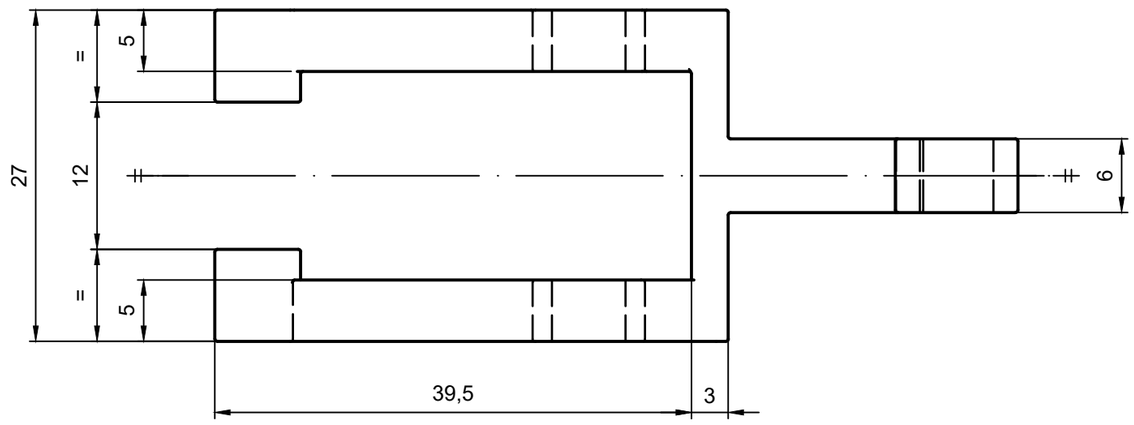




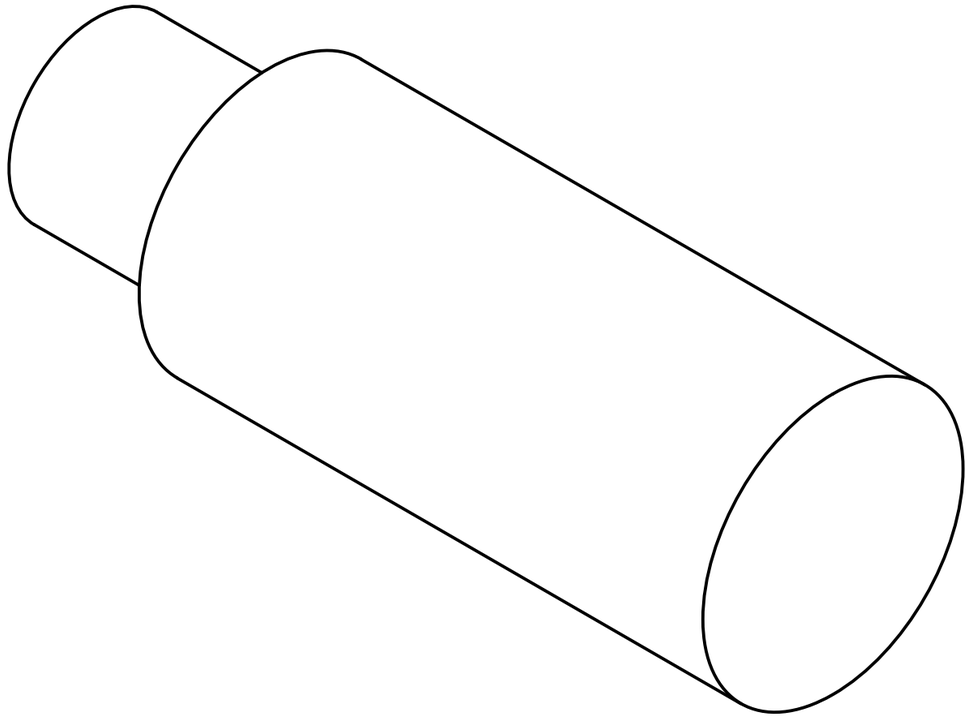
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 57. Contrapeso del brazo superior del regulador		101/116

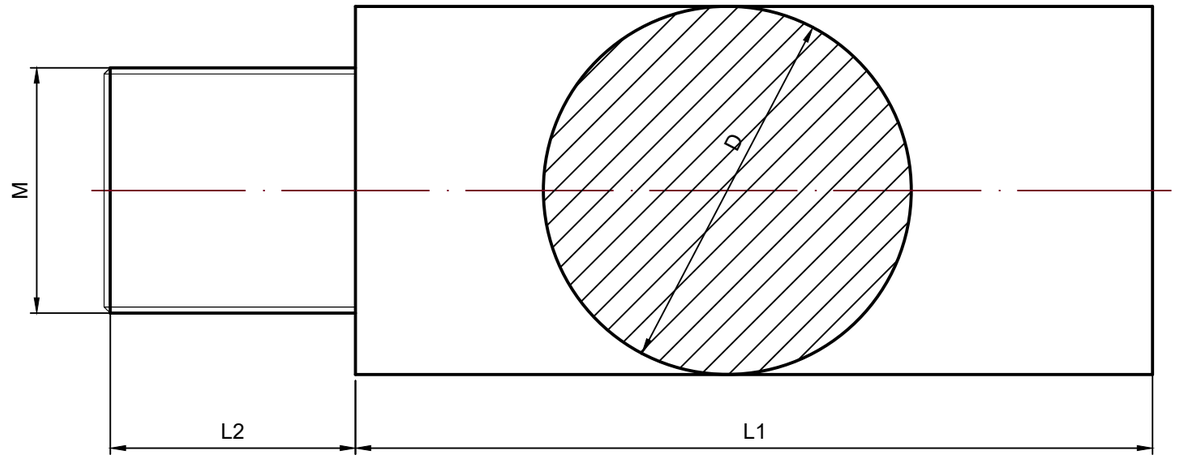






Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	
Escala :	Título :	Plano :
2:1	Marca 88. Yugo de control del regulador	102/116

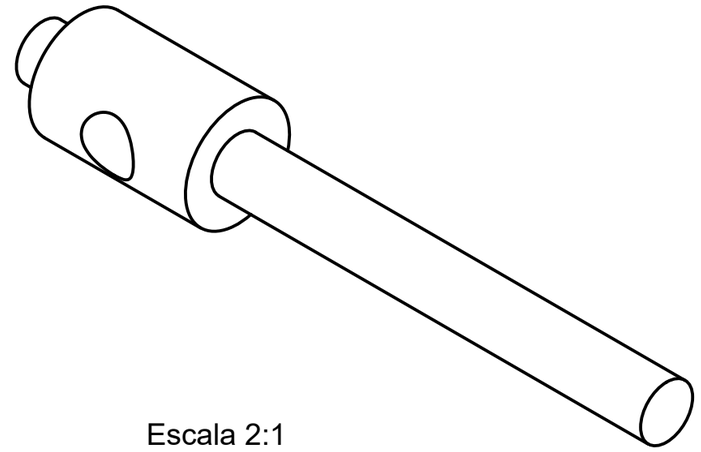




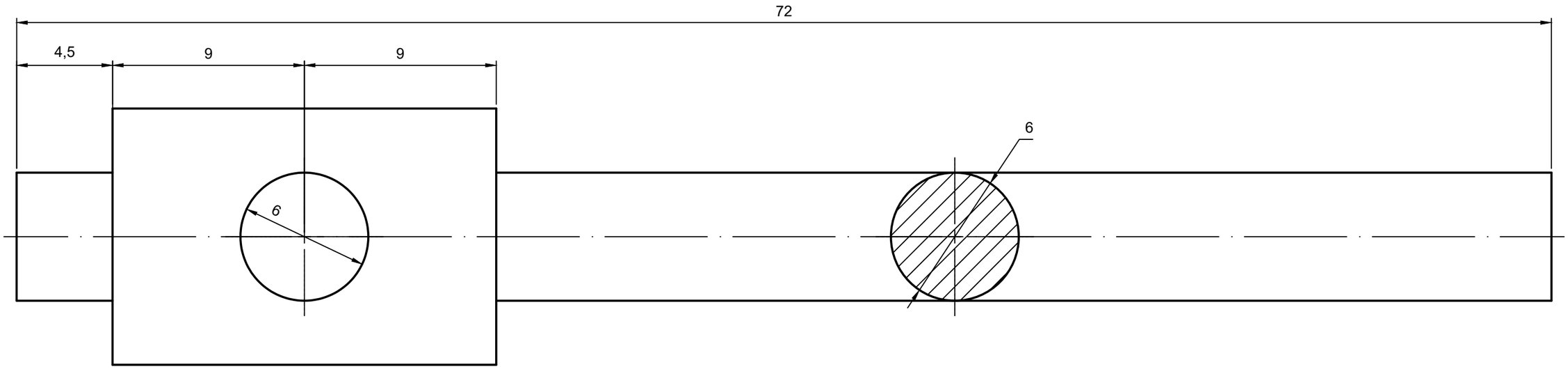
159	Bulón roscado 2	12	4	6	M4
126	Eje 2 del eje basculante de la varilla de la válvula	17	5	8	M6
92	Bulón roscado 1	13	4	6	M4
Marca	Denominación	L1 (mm)	L2 (mm)	D (mm)	M (ISO)

Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	

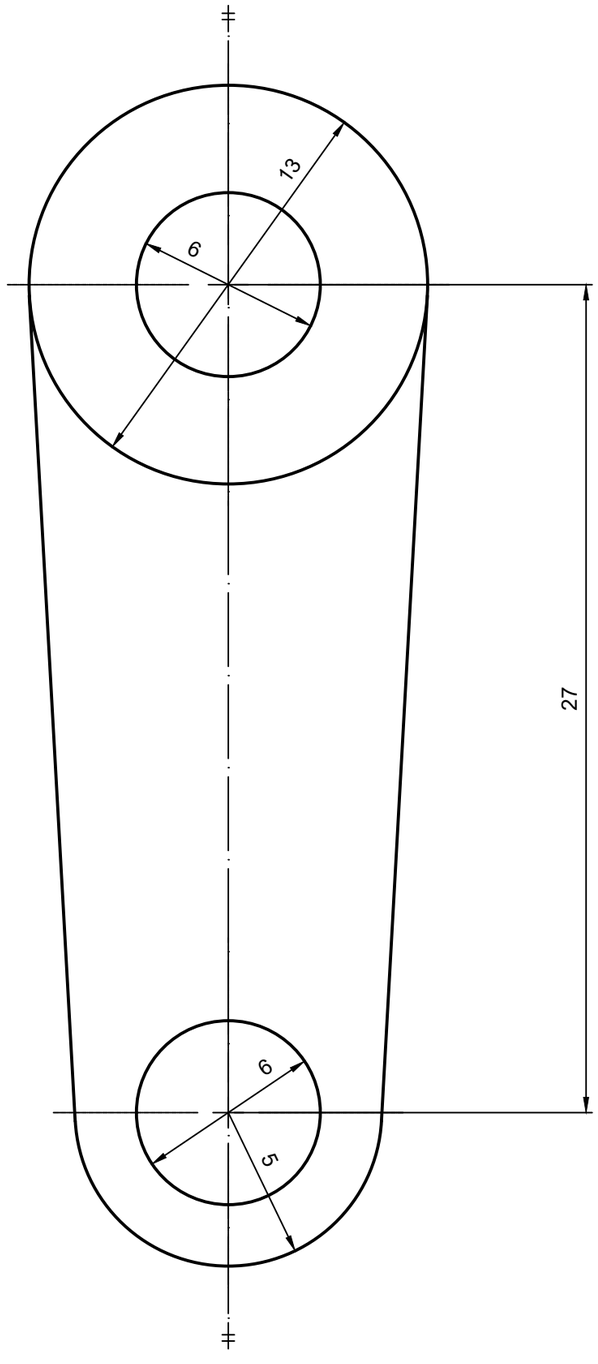
Escala :	Título :	Plano :
1:1	Bulones y ejes con un extremo roscado	103/116

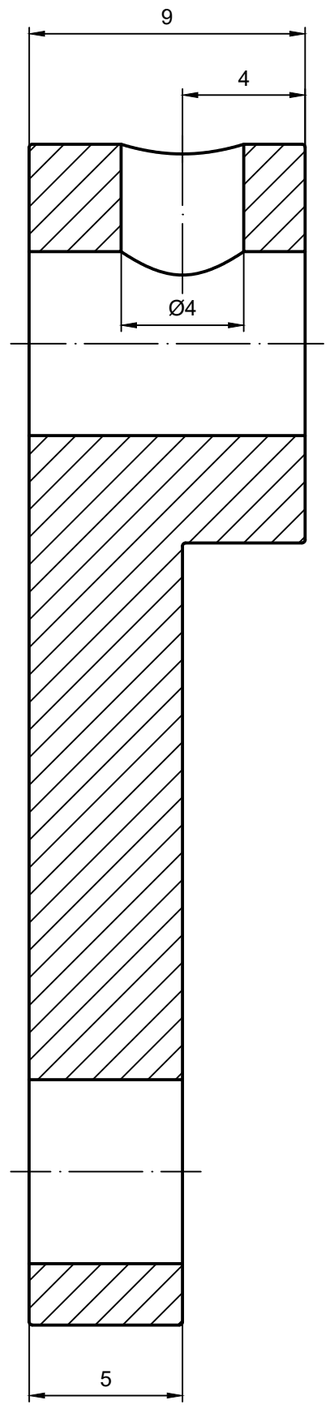


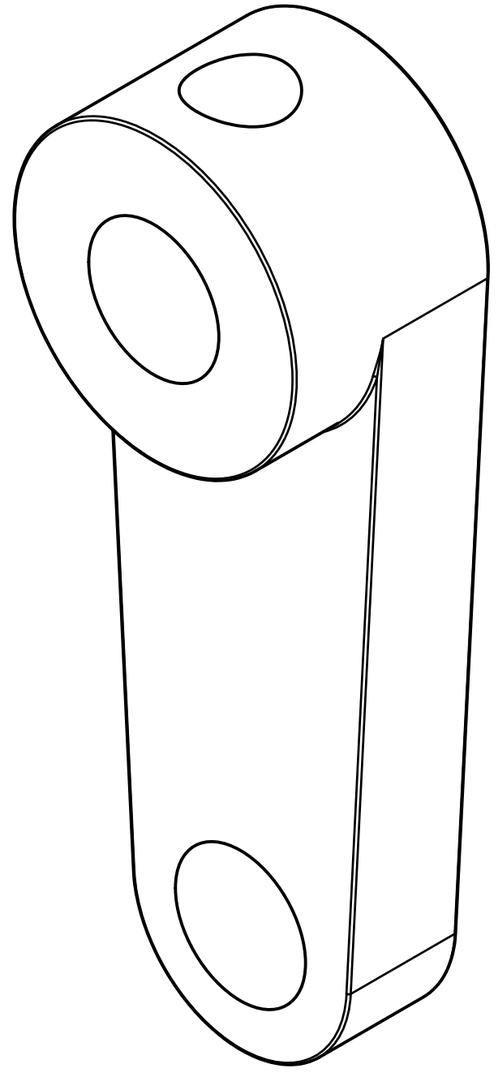
Escala 2:1



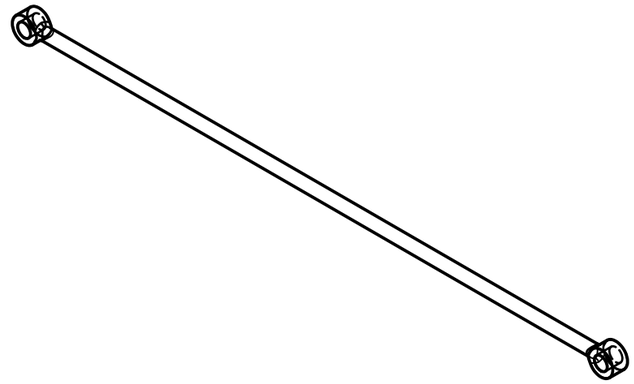
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1/2:1	Marca 25. Válvula de control de suministro de vapor		104/116

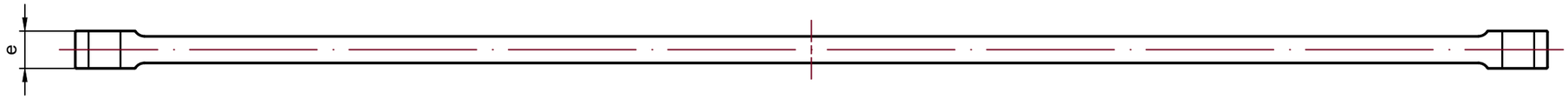


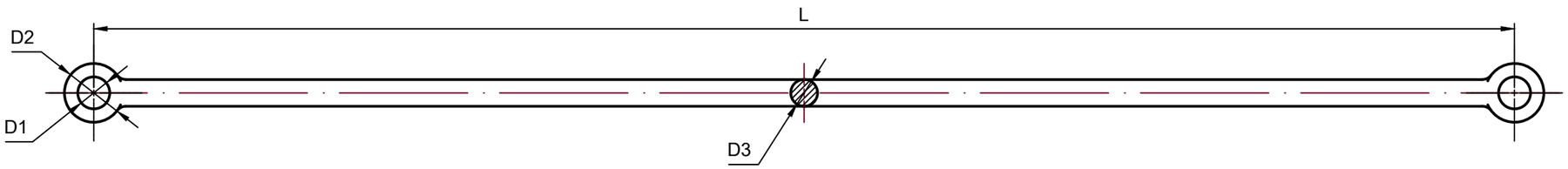




Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	
Escala :	Título :	Plano :
5:1	Marca 24. Manivela de la válvula de control de suministro de vapor	105/116



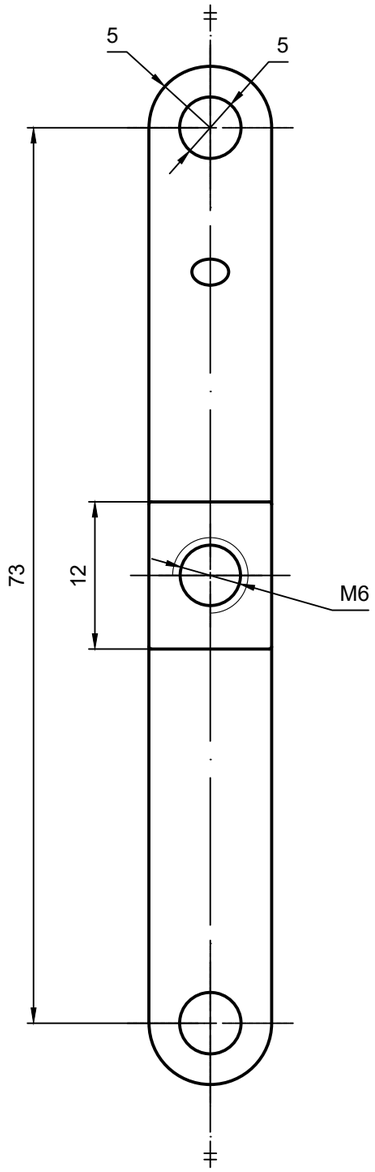


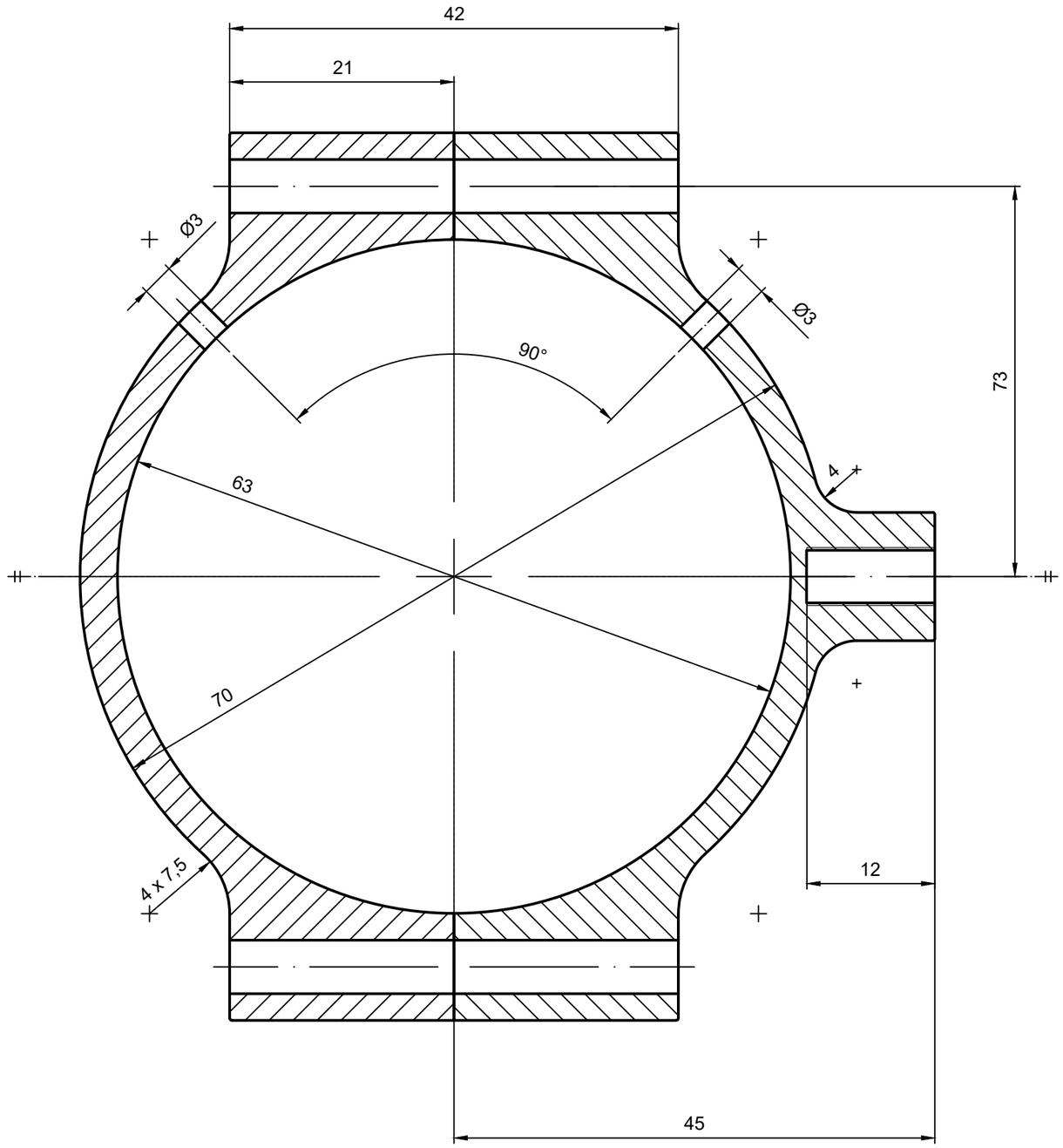


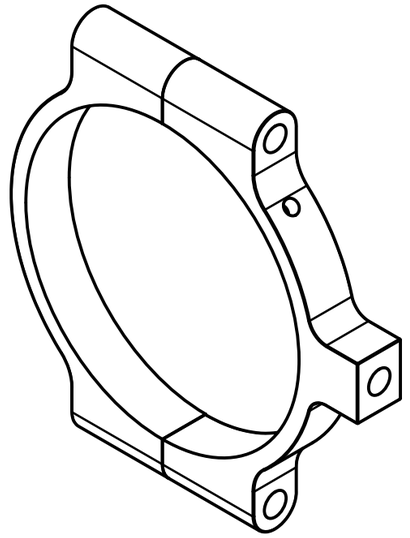
90	Biela de la válvula de control de suministro de vapor	6	11	5	266	7
38	Biela de la válvula de corredera	11	15	5	190	9
Marca	Denominación	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	L (mm)	e (mm)

Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	

Escala :	Título :	Plano :
1:1	Barras con acople en extremos sin entrada de lubricante	106/116

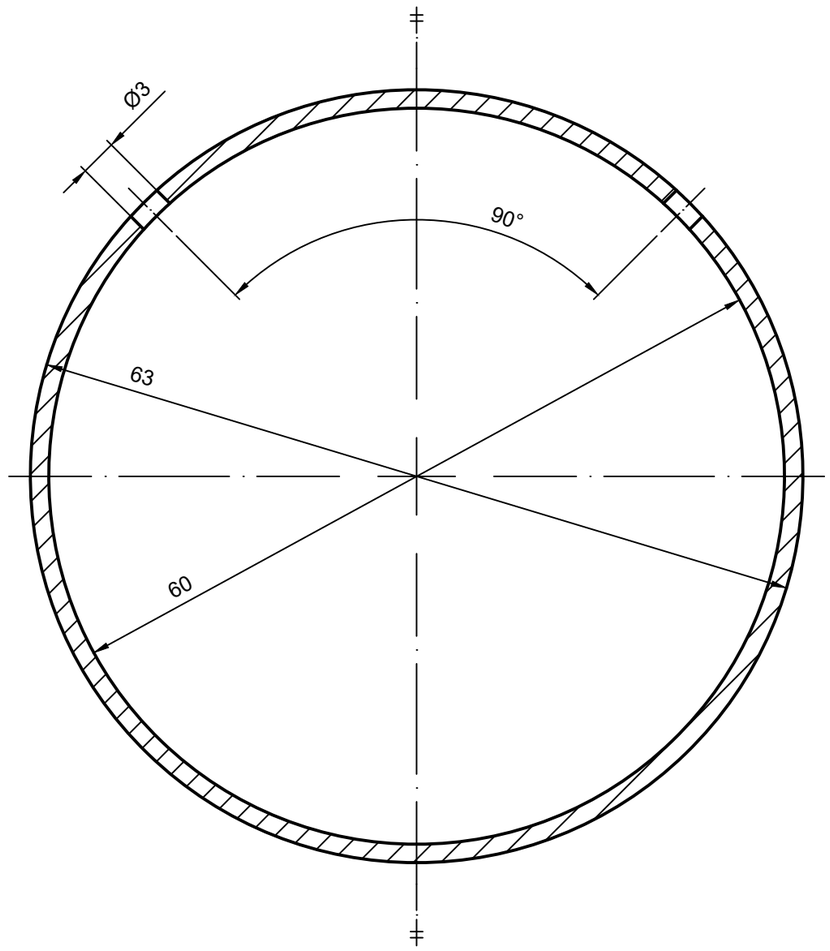


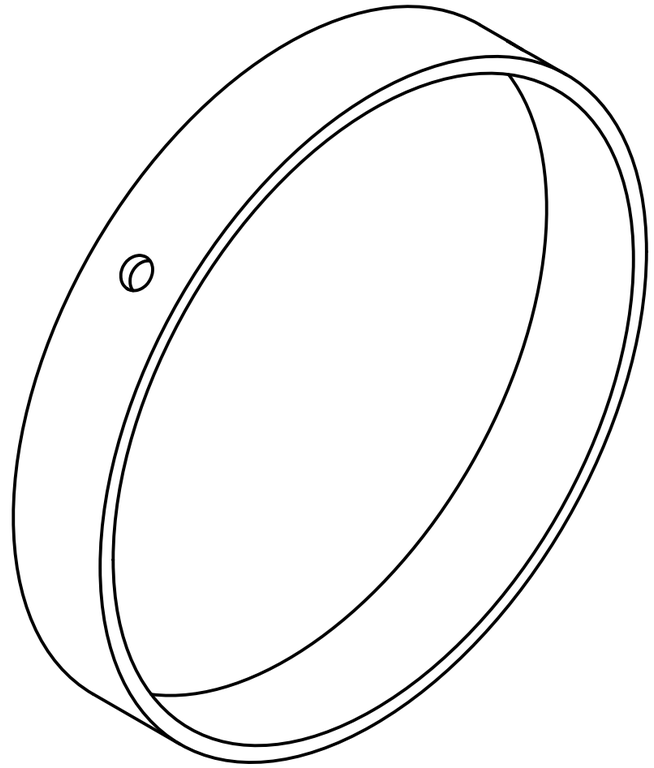




Escala 1:1

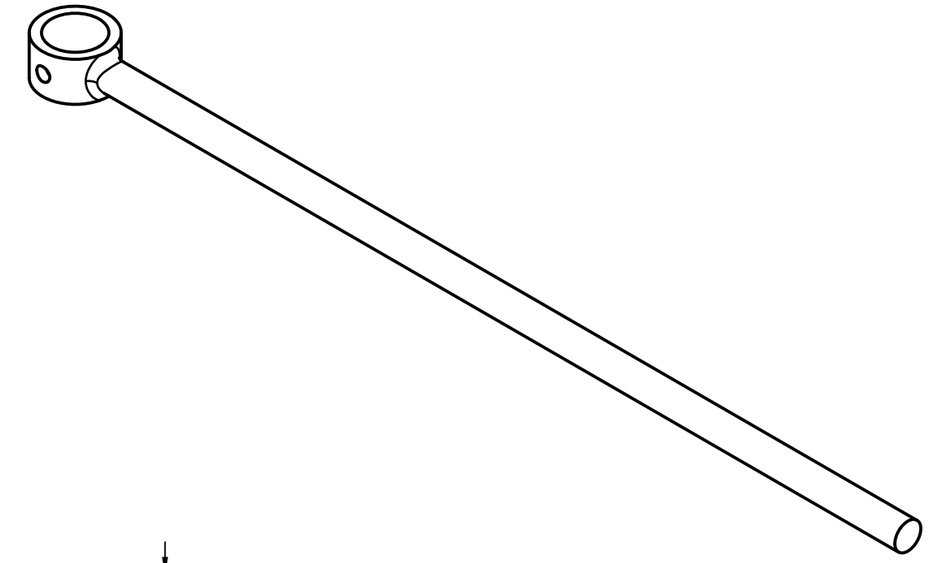
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1/1:1	Marcas 171 y 165. Partes inferior y superior de la cabeza de correa excéntrica		107/116

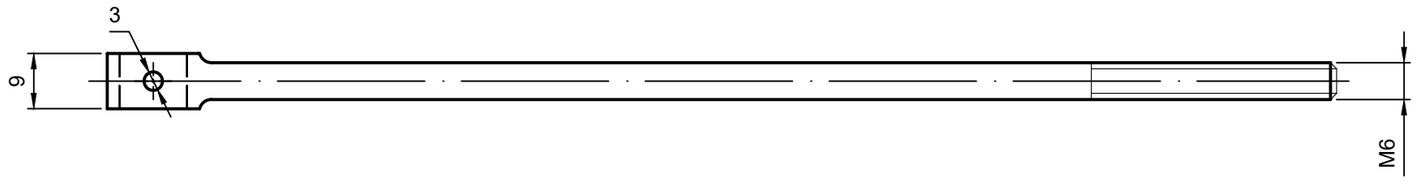


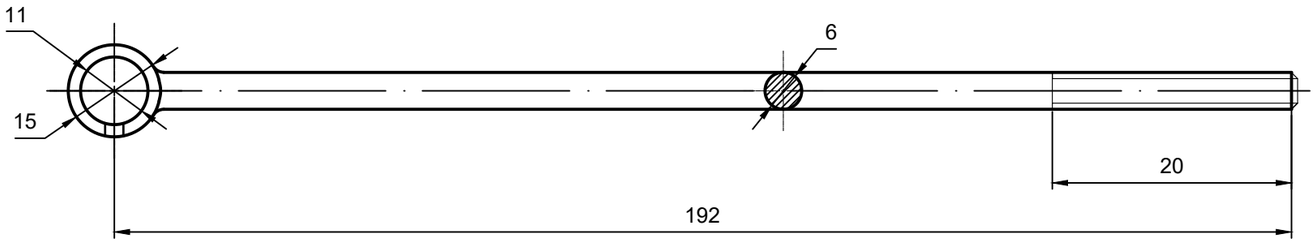


Espesor 10 mm

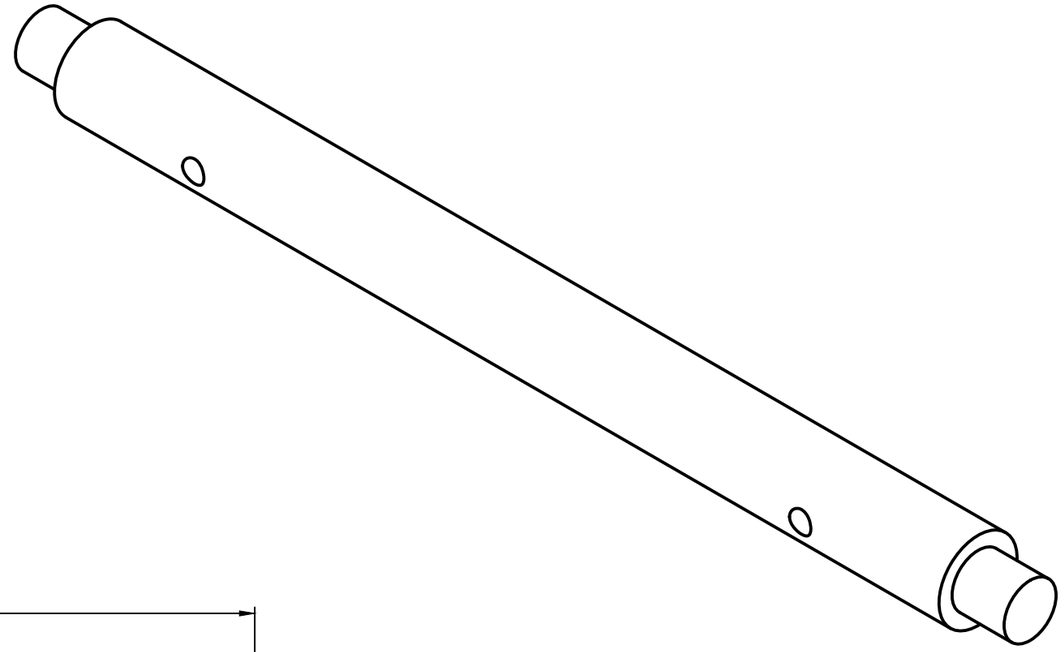
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marcas 168 y 170. Partes inferior y superior del casquillo de correa excéntrica		108/116

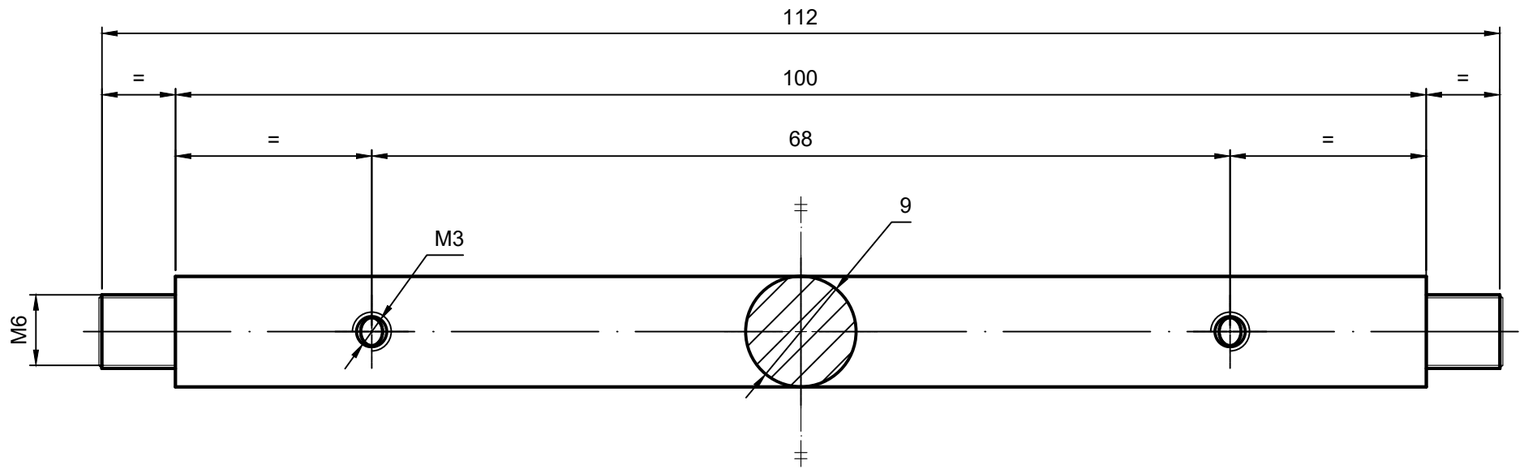




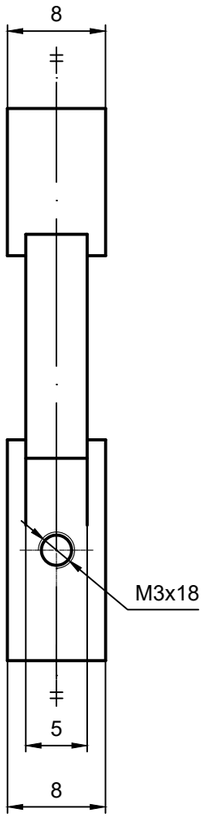


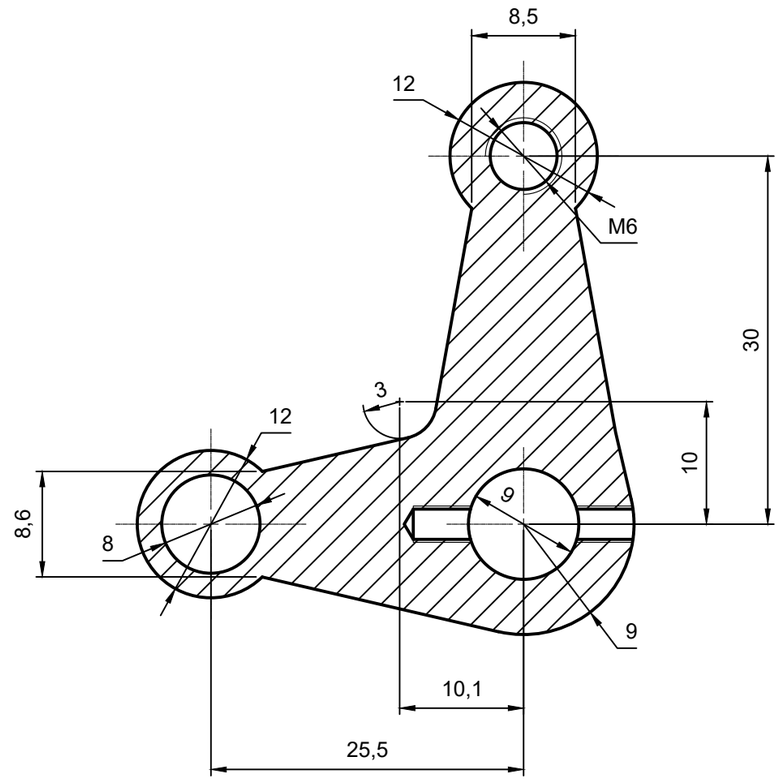
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
1:1	Marca 84. Biela de la correa excéntrica		109/116

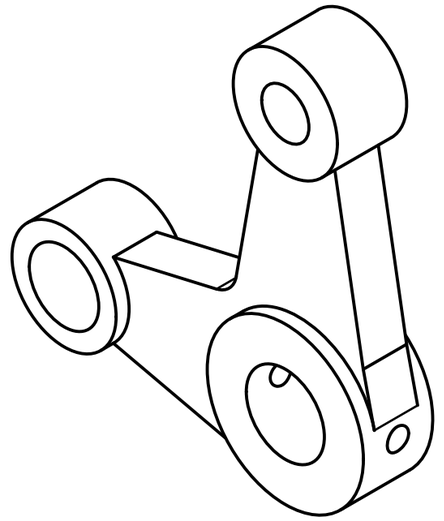




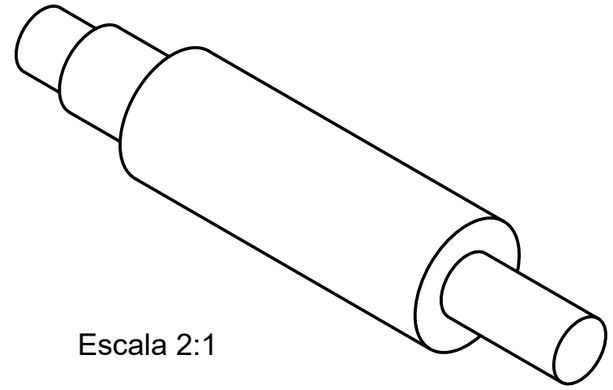
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 125. Eje 1 del eje basculante de la varilla de la válvula		110/116



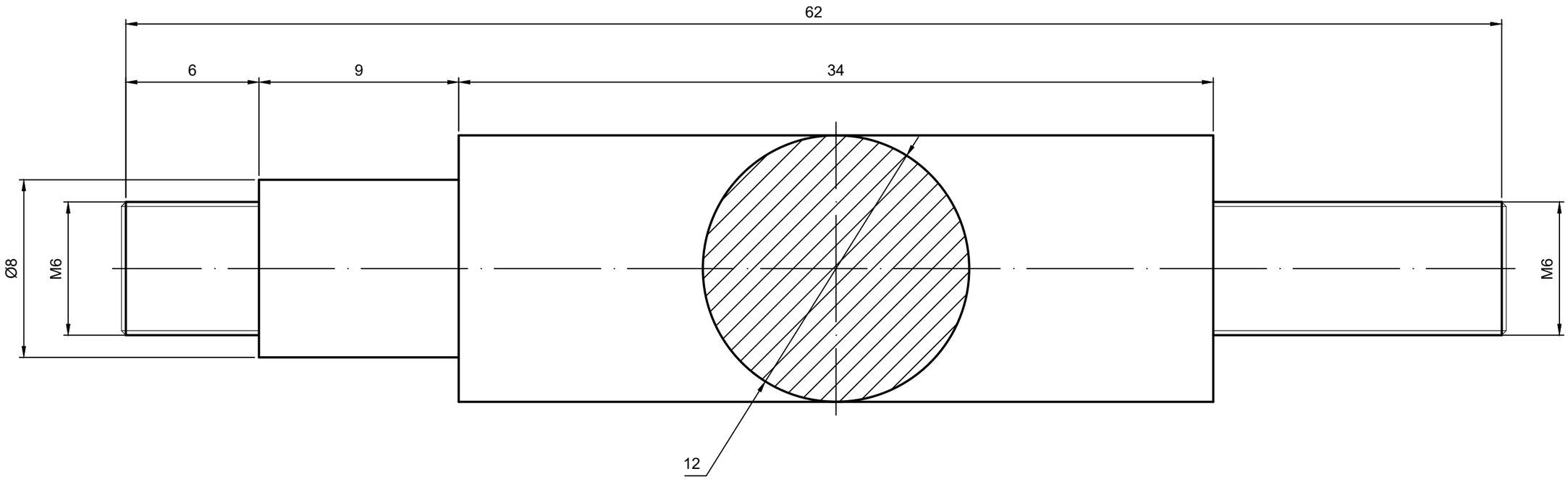




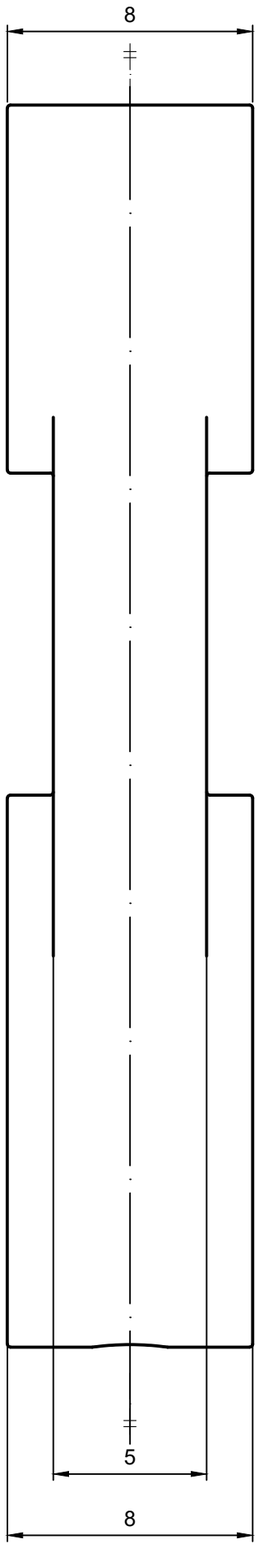
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 127. Balancín 1 de la varilla de la válvula		111/116

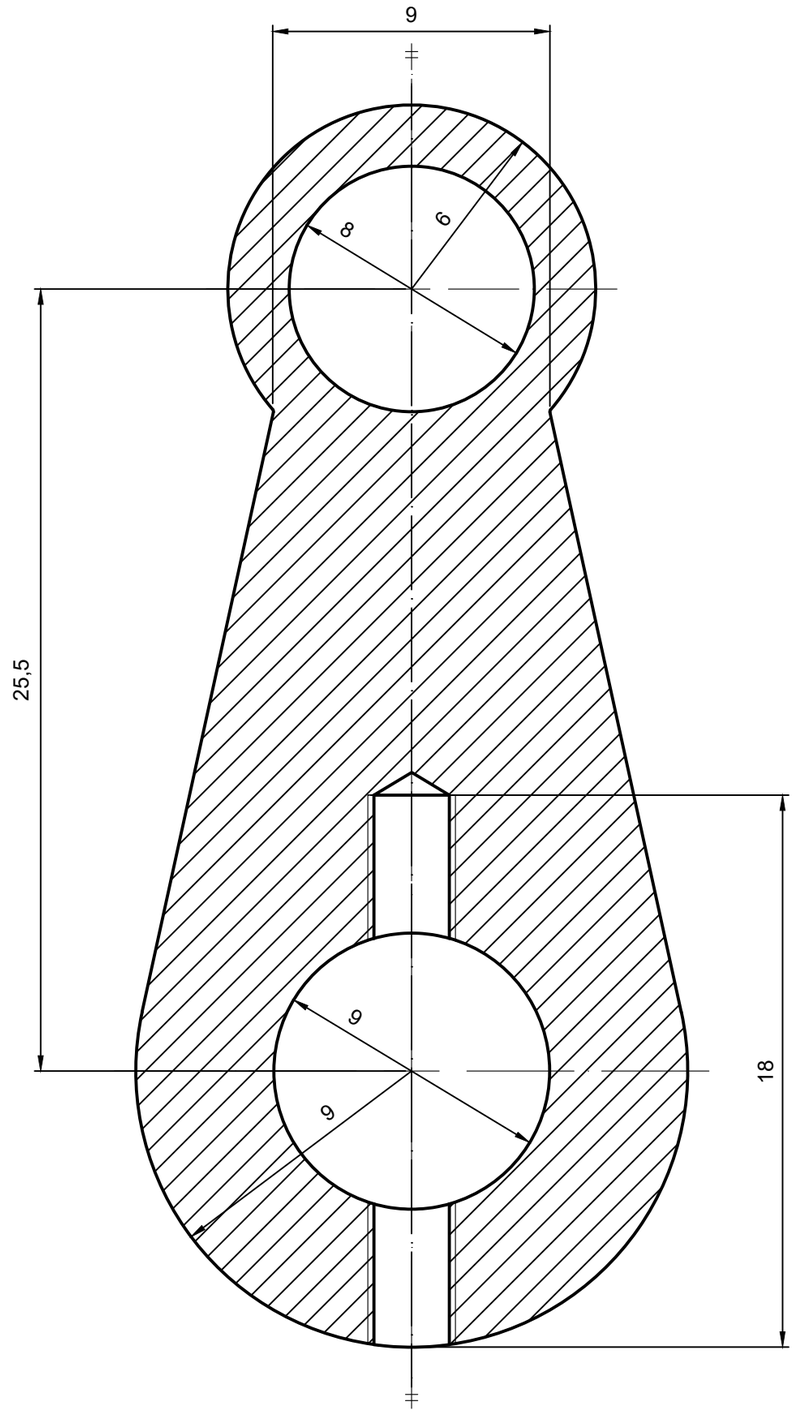


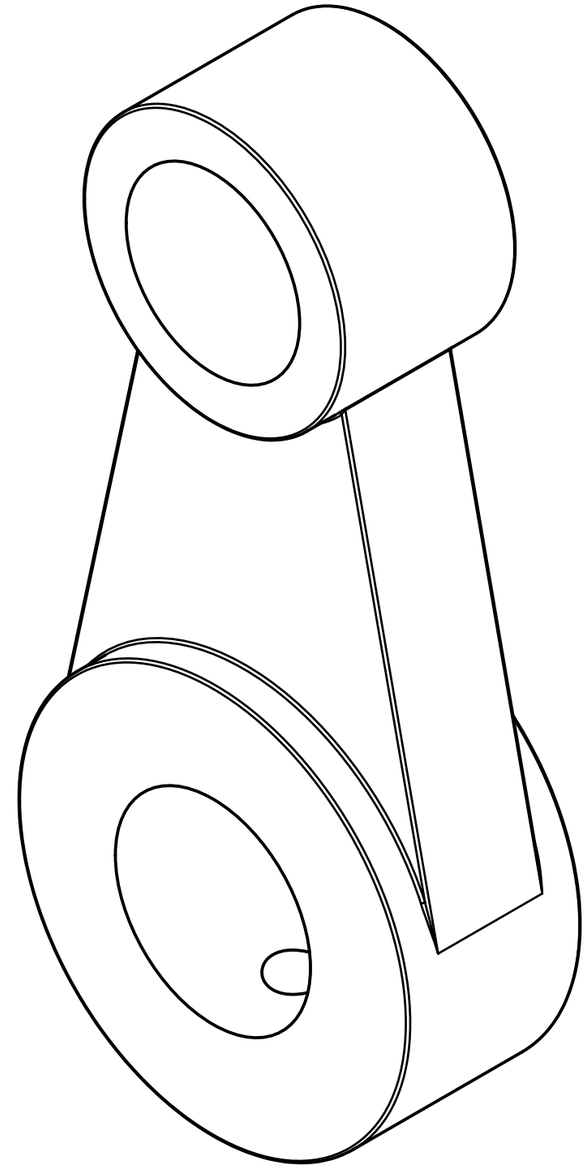
Escala 2:1



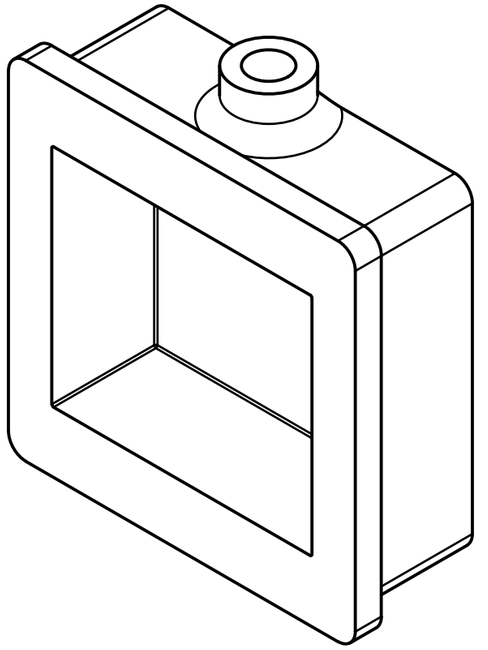
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1/5:1	Marca 32. Eje 3 del eje basculante de la varilla de la válvula		112/116

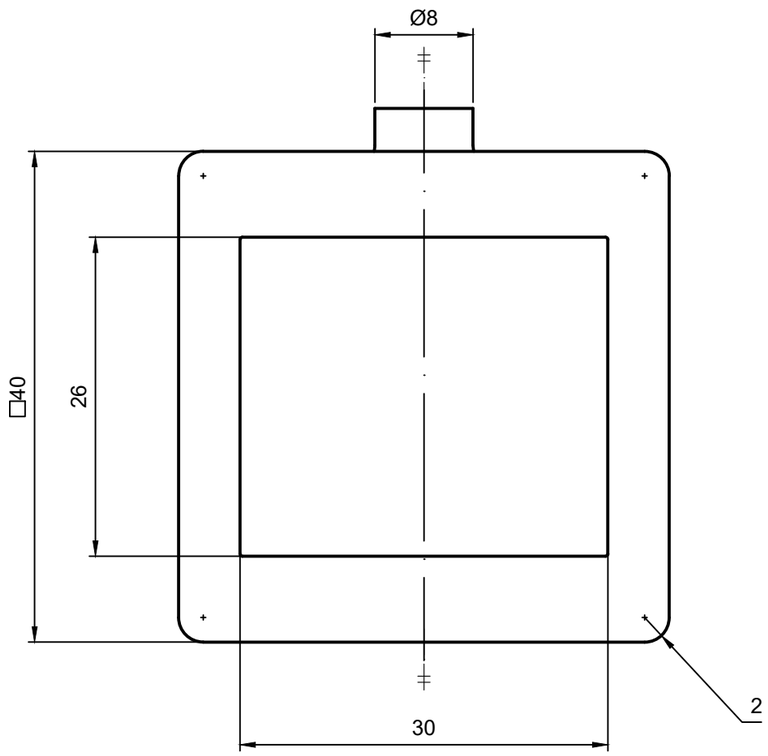


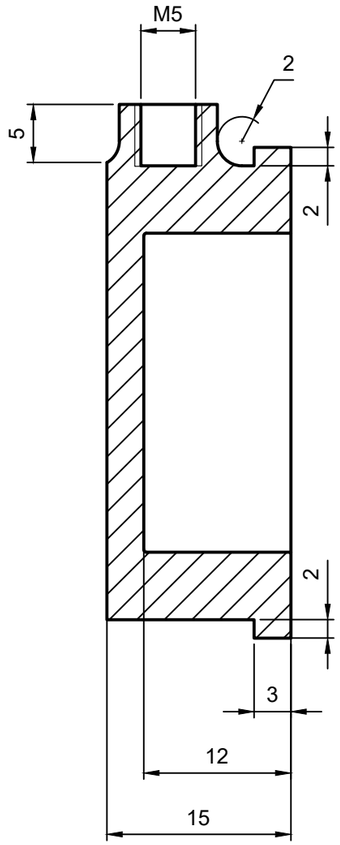




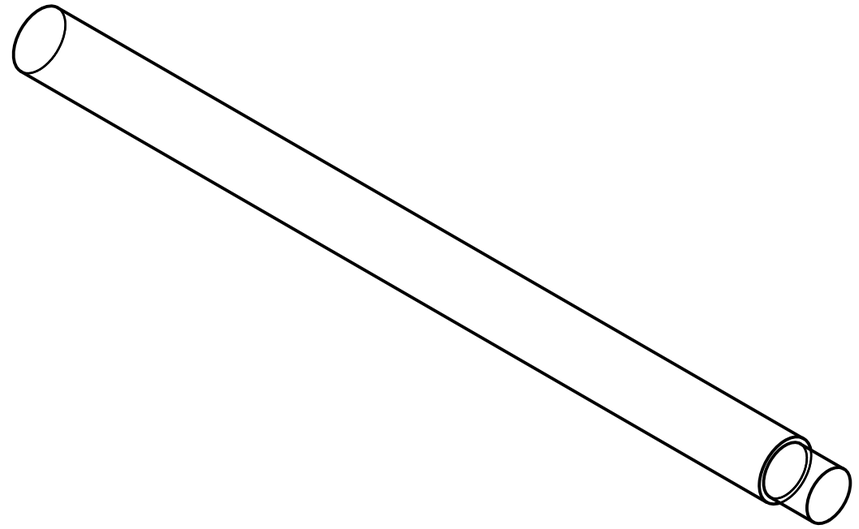
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
5:1	Marca 160. Balancín 2 de la varilla de la válvula		113/116

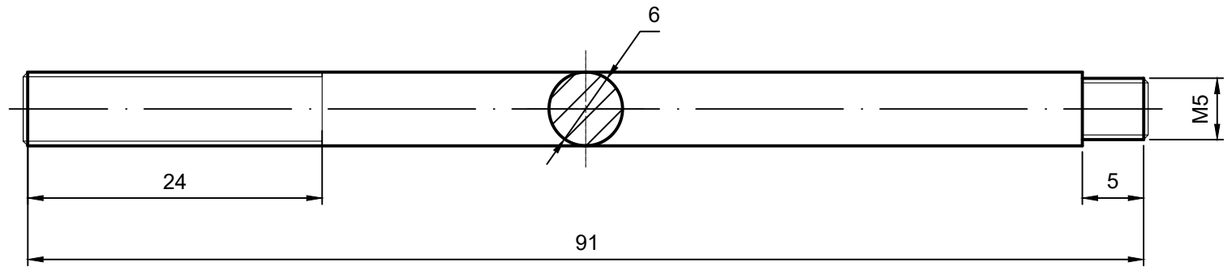




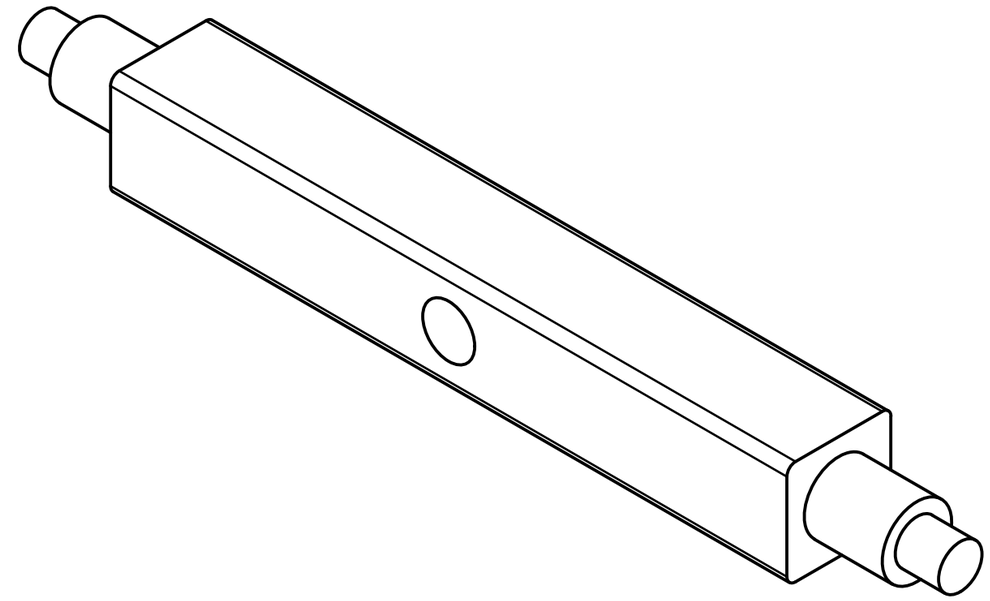


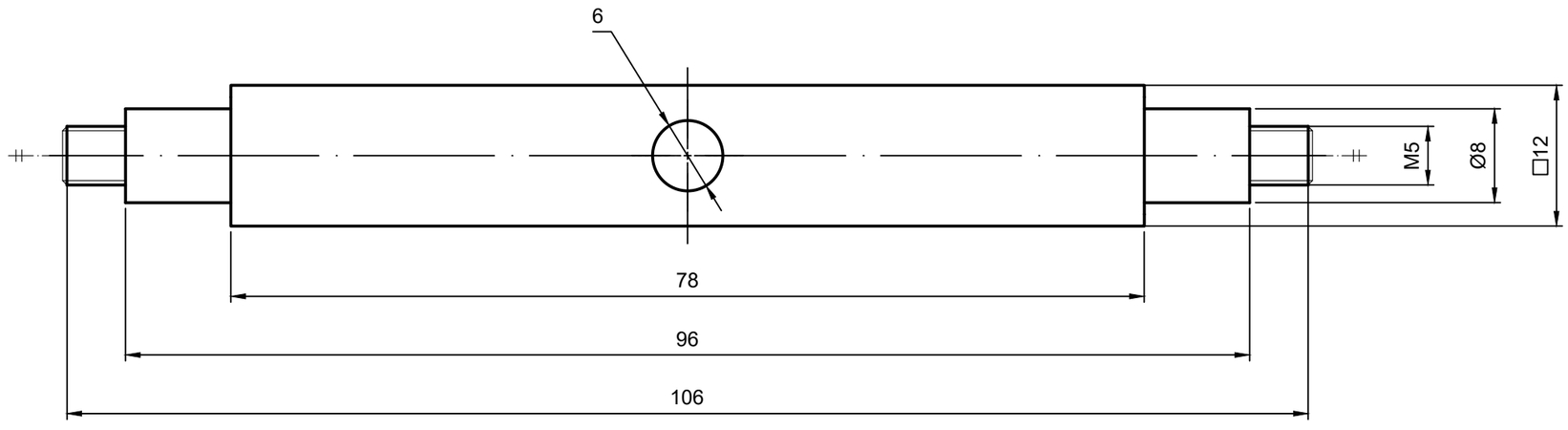
Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster
Fecha :	Abril de 2023	
Escala :	Título :	Plano :
2:1	Marca 121. Válvula de corredera	114/116





Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 39. Varilla de la válvula de corredera		115/116





Orificio pasante

Dibujado :	José Francisco Gutiérrez Antúnez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado :	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de invenciones históricas de Henry Muncaster	
Fecha :	Abril de 2023		
Escala :	Título :		Plano :
2:1	Marca 40. Barra superior de la varilla de la válvula de corredera		116/116