



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7  
CILINDROS PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT  
FOKKER DR-1.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: Vázquez Llopis, Iván

Tutor/a: Aleixos Borrás, María Nuria

Cotutor/a: Albert Gil, Francisco Eugenio

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIERÍA  
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

# DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

AUTOR: VÁZQUEZ LLOPIS, IVÁN  
TUTOR: ALEIXOS BORRÁS, NURIA  
Selección ALBERT GIL, FRANCISCO EUGENIO

Curso Académico: 2021-22



## RESUMEN

El Trabajo Final de Grado realizado trata de desarrollar un prototipo virtual de un motor radial de 7 cilindros. Este motor pertenece a la avioneta de combate "Giant Fokker DR-1". Para ello, se utilizará el programa CAD Autodesk Inventor. En él, se modelarán y ensamblarán todas las piezas que lo componen.

En primer lugar, se introducirá el concepto de motor de combustión interna. Se expondrá todo lo necesario para poder entrar en materia: parámetros básicos, tipologías, aplicaciones, etc.

En segundo lugar, se profundizará sobre los motores radiales, cuáles son sus características, ventajas e inconvenientes y se conocerá un poco acerca de sus orígenes.

Una vez se haya entrado en contexto, se explicará cómo se ha realizado el proceso de modelado de algunas de las piezas más importantes del mecanismo y se escogerán los materiales más óptimos para cada caso.

Posteriormente, tras el ensamble del conjunto, se realizará una parametrización básica del sistema y un análisis tensional mediante el método de Elementos Finitos. Con este último, se obtendrán los esfuerzos a los que están sometidos las partes más críticas del motor, se comprobará su viabilidad y se propondrán mejoras.

En este proyecto se integrarán conocimientos adquiridos en algunas asignaturas durante el grado como Ingeniería Gráfica, Máquinas Térmicas o Tecnología de Materiales.

**Palabras clave:** CAD, prototipo virtual, Elementos Finitos, parametrización.



## RESUM

El Treball Fin de Grau realitzat tracta de desenvolupar un prototip virtual d'un motor radial de 7 cilindres. Aquest motor perteneix a l'aeroplà de combat "Giant Fokker DR-1". Per a ell, s'utilitzarà el programa CAD Autodesk Inventor, on es modelarà i ensamblarà totes les peces que el componen.

En primer lloc, s'introduirà el concepte de motor de combustió interna. S'expondrà tot lo necessari per poder entrar en matèria: paràmetres bàsics, tipologies, aplicacions, etc.

En segon lloc, es profunditzarà sobre els motors radials, quines son les seues característiques, ventatjes e inconvenients y es coneixerà un poc acerca del seus orígens.

Una vegada s'haja entrat en context, s'explicarà com s'ha realitzat el procés de modelatge d'algunes de las peces més importants del mecanisme i es triaran els materials més òptims per a cada cas.

Posteriorment, tras l'acoblament dels components, es realitzarà una parametrizació bàsica del sistema i un anàlisi tensional mediant el mètode dels Elements Finitos. Amb este últim, s'obtendràn els esforços a què están sotmesos les parts més crítiques del motor, es comprobará su viabilitat y es propondràn millores.

En aquest projecte s'integraràn coneiximents adquirits en algunes assignatures durant el grau com Enginyeria Gràfica, Màquines Tèrmiques o Tecnología de materials.

**Paraules clau:** CAD, prototip virtual, Elements Finitos, parametrizació.

## ABSTRACT

The Final Degree Project carried out consists in the development of a virtual prototype of a radial engine with seven cylinders. This motor belongs to the war aircraft called Giant Fokker DR-1. For its design, it will be used the application named CAD Autodesk Inventor where all the parts of the engine will be modelled and assembled.

On the first place, it will be introduced the concept of internal combustion engine. It will be expose all the necessary to get into the matter: basic parameters, typologies, applications, etc.

On the second place, it will be discussed in more detail on radial engine, which are its caracteristics, advantages and drawbacks and it will be known a little bit about its origins.

Then, it will be explained how it is done the design of some of the fundamental parts of the system and it will be chosen the most optimal materials for each case.

Later, it will be done a basic parameterization of the assembly and a stress analysis using the Finite Element Method in order to ascertain the viability of some of its fundamental parts and it will be proposed some improvements.

In this project, it will be incorporated the knowledge acquired in some subjects during the degree like Graphic Engineering, Thermal Engines and Material Technologies.

**Keywords:** CAD, virtual prototype, Finite Elements, parameterization.

## ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	6
1.1	ALCANCE Y OBJETIVOS.....	7
2	MOTORES DE COMBUSTIÓN ALTERNATIVOS.....	7
2.1	DEFINICIÓN Y PARÁMETROS FUNDAMENTALES.....	7
2.1.1	CLASIFICACIÓN .....	9
2.1.2	APLICACIÓN.....	11
2.2	MOTOR RADIAL .....	12
2.2.1	CONCEPTO .....	12
2.2.2	VENTAJAS E INCONVENIENTES.....	14
2.2.3	HISTORIA.....	15
3	MATERIALES Y MÉTODOS EMPLEADOS.....	17
3.1	HERRAMIENTAS .....	17
3.2	MÉTODOS.....	17
4	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS .....	18
4.1	PARÁMETROS TÉCNICOS .....	18
4.2	MATERIALES EMPLEADOS.....	18
5	MODELADO .....	21
5.1	PARTES BÁSICAS DEL MOTOR.....	21
5.1.1	Biela principal .....	21
5.1.2	Biela secundaria .....	23
5.1.3	Cigüeñal .....	24
5.1.4	Bloque motor .....	25
5.1.5	Pistón.....	28
5.1.6	Cilindro .....	29
5.1.7	Culata .....	31
5.1.8	Levas.....	32
5.1.9	Sistema de encendido .....	34
5.1.10	Colector gases de escape.....	36
5.1.11	Hélice.....	37
5.2	CENTRO DE CONTENIDO .....	39
6	ENSAMBLADO .....	39
7	PARAMETRIZACIÓN .....	45
8	ANÁLISIS TENSIONAL POR ELEMENTOS FINITOS.....	47

9	PRESUPUESTOS .....	53
10	CONCLUSIONES.....	56
11	LISTA DE FIGURAS .....	57
12	BIBLIOGRAFÍA .....	60

## 1 INTRODUCCIÓN

Durante toda la historia, los métodos ingenieriles han tratado de estudiar y prever el comportamiento de los sistemas mecánicos existentes con la ayuda de modelos o prototipos. Materializar estos diseños supone un coste muy elevado, tanto el proceso de diseño como el de fabricación y el de validación. Por todo esto, la aparición de programas de diseño ha sido un factor determinante para la ingeniería y está presente en todas las empresas dedicadas a la fabricación de productos o al estudio de los mismos.

La principal motivación para realizar este proyecto radica en la voluntad de profundizar en el uso de herramientas digitales, concretamente, en el diseño de una motor de cierta entidad. Durante este trabajo, se empleará un programa de elevada utilidad tanto para la docencia como para el sector industrial como es el caso de CAD Autodesk Inventor.

El objetivo prioritario de este trabajo es realizar un diseño detallado de un motor radial de 7 cilindros para, posteriormente, poder estudiar el comportamiento de las piezas más relevantes ante esfuerzos mecánicos y sacar conclusiones acerca de la viabilidad de las mismas.

Una vez ensambladas todas las partes del motor y comentado los materiales más adecuados para cada pieza, se procederá a analizar la respuesta de los diferentes componentes ante esfuerzos mecánicos mediante el método de Elementos Finitos.

Cabe nombrar que este trabajo se ha desarrollado desde un punto de vista teórico, por lo que puede haber discrepancias entre algunos de los resultados obtenidos y los reales.

## 1.1 ALCANCE Y OBJETIVOS

Los objetivos del proyecto están orientados a estudiar aspectos concluyentes de la mecánica principal de un motor radial de 7 cilindros:

- Desarrollar un prototipo virtual detallado del motor radial. Para ello, se modelarán una a una todas las piezas que lo componen y se ensamblarán en un único conjunto. El diseño se realizará en CAD Autodesk Inventor.
- Elaborar una simulación FEM que sirva para dar validez al modelo. Éste estará formado por un análisis tensional donde se obtendrán las piezas más críticas del motor. De igual manera que en el apartado anterior, se empleará CAD Autodesk Inventor para realizar el estudio.
- Como trabajo académico, la prioridad es poder aplicar los conocimientos adquiridos durante el grado. Por otro lado, se pretende aprender a manejar herramientas de diseño con cierta fluidez de tal manera que sirva para poder resolver problemas que puedan aparecer durante la realización del proyecto y su posterioridad.
- Dar a conocer un tipo motor que revolucionó la industria en su época y hoy en día está prácticamente en el olvido. Suscitar interés y curiosidad a posibles lectores futuros, fanáticos del aeromodelismo o no, que encuentren en este motor una gran oportunidad para ampliar sus conocimientos y descubrir un poco más sobre su historia.

## 2 MOTORES DE COMBUSTIÓN ALTERNATIVOS

### 2.1 DEFINICIÓN Y PARÁMETROS FUNDAMENTALES

Un motor de combustión es una máquina capaz de conseguir energía mecánica a partir de la energía térmica aportada por un fluido al entrar en combustión.

Según donde tenga lugar este proceso, se catalogará como motor de combustión interna o externa. En el primer caso, la combustión ocurrirá dentro de una cámara diseñada para dicho fin, dentro del propio motor. En caso contrario, se trataría de un motor de combustión externa. Durante este trabajo, se tratará un MCI **alternativo**, es decir, el desplazamiento que realizarán los émbolos para transmitir movimiento al eje será lineal.

Para entender cómo funciona un motor de combustión interna alternativo es importante conocer algunos de sus parámetros geométricos [1]:

- Punto muerto superior (PMS): posición más alejada del pistón respecto del cigüeñal en su movimiento alternativo y corresponde también con la zona de volumen mínimo del cilindro.
- Punto muerto inferior (PMI): posición más cercana del pistón respecto del eje y se trata del momento donde el cilindro posee un mayor volumen.
- Carrera (S): distancia recorrida entre el PMS y el PMI.
- Diámetro (D)
- Sección del pistón ( $A_p = \frac{\pi * D^2}{4}$ ) (2.1)
- Cilindrada unitaria ( $V_u = A_p * S$ ) (2.2)
- Relación carrera / diámetro ( $S/D$ )
- Número de cilindros (z)
- Cilindrada total ( $V_z = z * V_u$ ) (2.3)
- Volumen final de compresión ( $V_c$ )
- Relación de compresión ( $r_c = \frac{V_c + V_u}{V_c}$ ) (2.4)
- Velocidad de giro del cigüeñal (n): velocidad angular a la que gira el eje del motor. La unidad empleada comúnmente es revoluciones por minuto (rpm).
- Potencia: Trabajo por unidad de tiempo

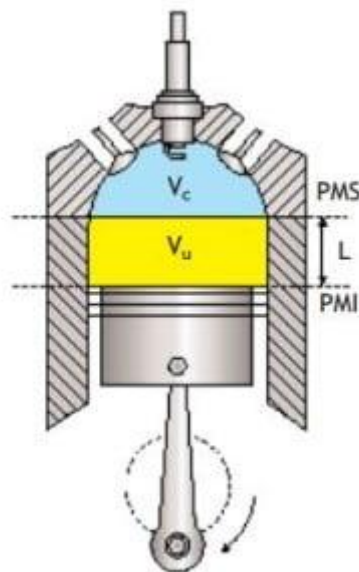


Figura 2-1. Parámetros fundamentales del pistón. (Fuente: "[www.pruebaderuta.com](http://www.pruebaderuta.com)")

## 2.1.1 CLASIFICACIÓN

Existen una gran variedad de MCI alternativos y todos ellos se pueden clasificar en función de varios criterios, los más habituales son los siguientes.

### Según el ciclo termodinámico de trabajo

El ciclo termodinámico de la combustión se produce en cuatro etapas diferenciadas [2]:

1. Admisión: consiste en el llenado del cilindro ya bien sea de la mezcla de combustible o de aire según el tipo de combustión del motor
2. Compresión: el pistón comprime la mezcla inyectada hasta llegar al PMS
3. Expansión: la combustión de los gases comprimidos produce un aporte de calor al sistema que conduce a la expansión del pistón hasta el PMI
4. Escape: Se liberan los gases residuales y se termina el ciclo.

Si el motor realiza las cuatro etapas en una revolución del eje se denominará motor de dos tiempos (2T). En este tipo de motores la admisión y la compresión ocurren de manera simultánea. De igual manera ocurre con la expansión y el escape.

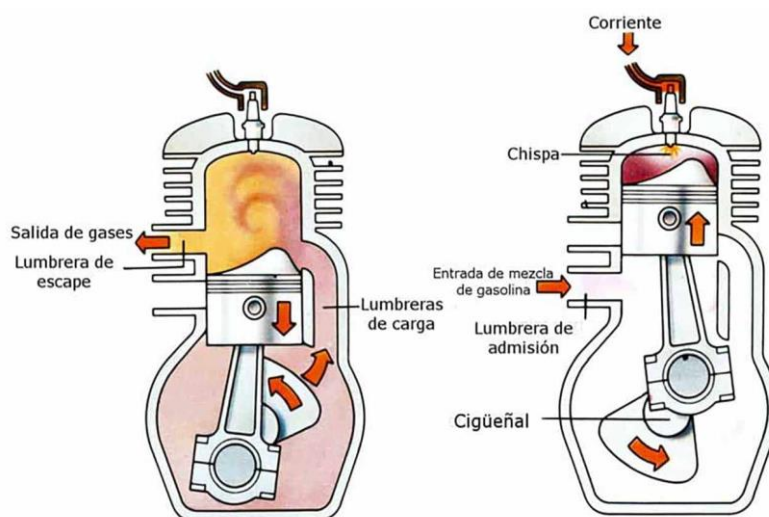


Figura 2-2. Representación del ciclo de 2 tiempos. (Fuente: "[www.autonocion.com](http://www.autonocion.com)")

Por otro lado, si el proceso ocurre en dos revoluciones del motor, es decir, cuatro carreras del pistón, se llamará motor de cuatro tiempos (4T). En este caso, cada etapa se produce individualmente y no existe simultaneidad entre ellas.

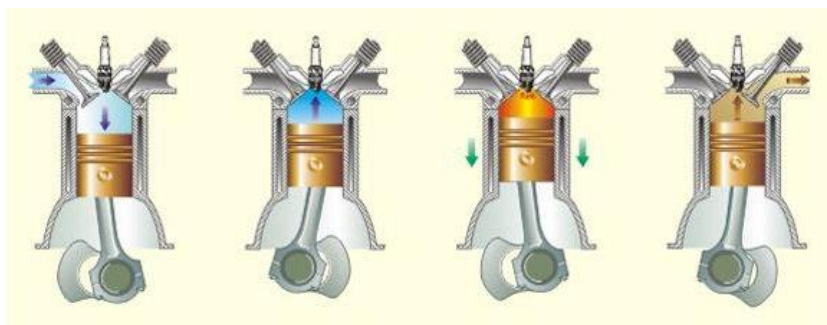


Figura 2-3. Representación ciclo de 4 tiempos. (Fuente: "[www.pontgrup.com](http://www.pontgrup.com)")

## Según el proceso de combustión

1. Motores de encendido por compresión (MEC): la combustión surge cuando el combustible es inyectado y entra en contacto con el aire. Ambos se encuentran a altas presiones, pero la temperatura del aire es mayor que la temperatura de auto ignición del combustible, provocando una combustión instantánea. Es el sistema utilizado por el conocido motor diésel.[2]
2. Motores de encendido provocado (MEP): se aporta una chispa a la cámara de combustión a través de una bujía o encendedor eléctrico que al entrar en contacto con la mezcla produce su combustión. Este tipo de motores sigue un ciclo termodinámico conocido como Ciclo Otto.

## Según la distribución de los cilindros

Existen varias distribuciones, las más típicas son las siguientes [3]:

Disposición en línea: los cilindros se disponen uno a continuación del otro, compartiendo un único cigüeñal.

Disposición en V: el cigüeñal ocupa la posición correspondiente al vértice de la 'V' y los cilindros se sitúan en dos ramas lineales.

Disposición radial: los cilindros se disponen de manera radial o en estrella respecto al cigüeñal. Normalmente el número de cilindros es impar.

Disposición de cilindros contrapuestos: son iguales que los motores en V, pero con las dos ramas desplazadas hasta la horizontal.



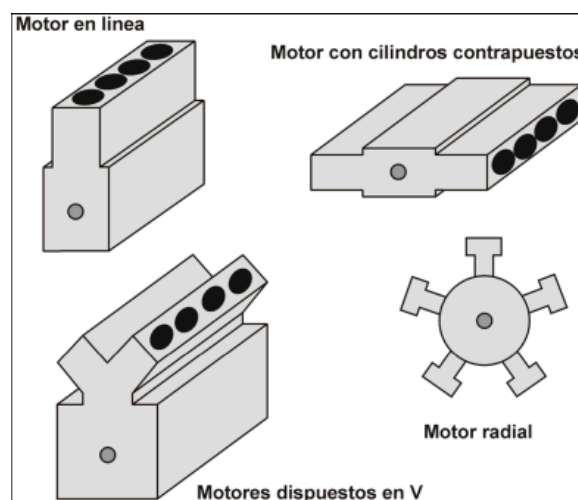


Figura 2-4. Tipologías de motores según la disposición de los cilindros. (Fuente: "[www.greatbustardsflight.blogspot.com](http://www.greatbustardsflight.blogspot.com)")

## Según el tipo de refrigeración

**Refrigeración por aire:** El aire atmosférico recubre las paredes externas del pistón mediante las aletas y así, se consigue una correcta refrigeración del sistema. Según el caso, el aire puede distribuirse de manera natural o forzada.

**Refrigeración por fluido:** Se necesita un circuito cerrado con radiadores y una bomba hidráulica que permita la recirculación constante del líquido. Éste absorbe parte del calor acumulado en los cilindros. El refrigerante más utilizado es el agua.

### 2.1.2 APLICACIÓN

Este tipo de motores son habituales en aplicaciones independientes de la red eléctrica, es decir, en aquellos lugares donde se necesite que un equipo funcione de manera continuada en el tiempo sin necesidad de estar conectado a la red. Por eso mismo, es común encontrarlos en vehículos terrestres como coches, motos, camiones, etc. Además, también se utilizan en otros medios, ya sea aéreo o marino. No obstante, con la aparición de los motores de reacción, los aviones con motores de combustión interna alternativos quedaron prácticamente en desuso.

## 2.2 MOTOR RADIAL

### 2.2.1 CONCEPTO

Como ya se ha comentado en apartados anteriores, un motor radial es un motor de combustión interna alternativo que se caracteriza por la disposición en la que se encuentran los cilindros dentro del bloque motor. Todos los émbolos se agrupan radialmente respecto al cigüeñal.

A diferencia del motor rotativo, en el motor radial el cigüeñal se ubica dentro del bloque motor. El vástago de uno de los 7 pistones se une permanente al cigüeñal, a esta pieza se le conoce como biela maestra o principal. El resto de pistones se relacionan con el eje a través de las bielas secundarias. Estas se unen a la biela principal y giran libremente alrededor del cigüeñal.



Figura 2-5. Posición biela principal y bielas secundarias. (Fuente: "[www.actualidadmotor.com](http://www.actualidadmotor.com)")

Normalmente, los motores radiales poseen un número de cilindros impar. Esto se debe al orden en el que se produce el encendido del combustible. Como el ciclo de 4T requiere que un pistón alcance el PMS en dos ocasiones por cada golpe de potencia, la única forma de conseguir golpes de potencia sincronizados es teniendo un número impar de pistones. En este proyecto se tratará un motor radial de 7 cilindros de 4T, por lo que el orden de encendido sería el siguiente: 1-3-5-7-2-4-6. De esta manera, se consigue reducir las vibraciones del motor ya que el movimiento del mecanismo es fluido y natural.

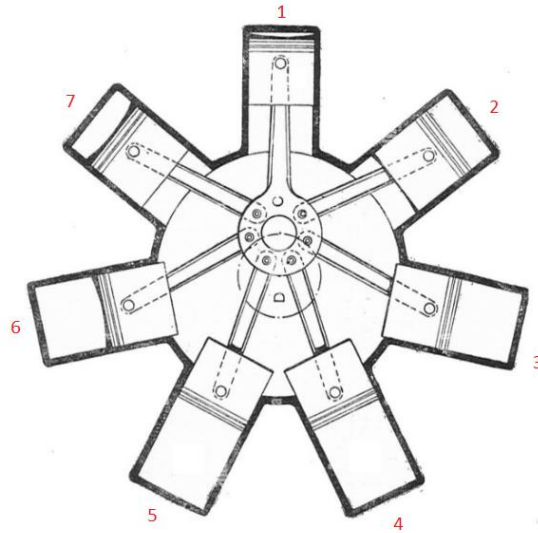


Figura 2-6. Orden encendido motor radial 7 cilindros de 4T. (Fuente: "[www.alamy.es](http://www.alamy.es)")

Esta situación solo ocurre en el caso de motores radiales de cuatro tiempos. Por lo tanto, aunque sea menos frecuente, es posible encontrar motores radiales con un número de cilindros par.

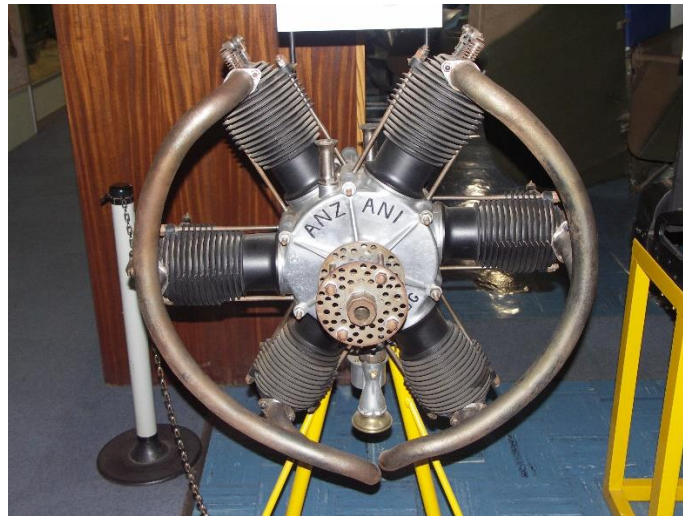


Figura 2-7. Motor radial Anzani de 6 cilindros. (Fuente: "<https://modelengineeringwebsite.com>")

En relación al combustible que se suele utilizar, cabe mencionar que se trata de motores poco sensibles, por lo que no es necesario una mezcla muy refinada. El combustible a utilizar será siempre gasolina. Sería suficiente emplear gasolina común de 93 o 95 octanos.

## 2.2.2 VENTAJAS E INCONVENIENTES

Una de las ventajas principales del motor radial es que no necesita ningún fluido para refrigerarse. Al presentar un área frontal elevada, el aire que impacta en el motor como resultado del movimiento produce la refrigeración del mismo. No ocurre lo mismo en motores en V o W, los cuales necesitan un fluido que refrigere el sistema.

De esta manera, se explica que el motor radial tenga una relación potencia/peso excepcional. Además, la ausencia de refrigeración facilita tanto su construcción como el mantenimiento del mismo.

Por otro lado, al tener un mecanismo más simple que otros motores, el número de piezas que lo constituyen es menor. En consecuencia, aumenta la fiabilidad del motor ya que hay menos posibilidades de que haya algún fallo en el sistema.

Todas estas características conforman un motor confiable y de gran resistencia. Por eso mismo, se utilizaban mucho en aviones de combate. No obstante, también tiene algunas desventajas que se tratarán a continuación.

En este tipo de motores, la sobrealimentación no ocurre a través de un solo conducto. El aire, tras pasar por la turbina o el compresor, debe ser llevado a cada cilindro.

A medida que el tamaño del motor se reduce, la relación potencia/peso también disminuye. De manera que no sale rentable diseñar motores de baja cilindrada. Por eso mismo, aeronaves ligeras suelen utilizar motores en línea o de tipo bóxer.

Una de las mayores desventajas del motor radial es el choque térmico [4]. Este fenómeno se produce debido a la disminución de la temperatura del motor a medida que el flujo de aire incrementa, se alcanzan temperaturas inferiores a la de funcionamiento o difieren respecto a la temperatura ambiental pudiendo fracturar los cilindros y causar una avería.

Esta situación suele ocurrir al iniciar el descenso. Para evitarlo, el piloto debe tener la suficiente aptitud para ser capaz de manejar la potencia de manera que no se produzca una reducción brusca de la misma. Algunas técnicas que se suelen emplear son mantener la mezcla de carburante regulada o variar la temperatura del motor controlando la apertura de las aletas externas. Éstas se localizan en la tapa que protege el motor.

### 2.2.3 HISTORIA

Los motores radiales surgen a finales de los años 1920, después de la Primera guerra Mundial, en la que se utilizaban motores rotativos para impulsar los aviones de combate. Estos motores se parecían mucho a los motores radiales ya que tenían una disposición radial y estaban refrigerados por aire.



Figura 2-8. Motor rotativo del siglo XX, antecesor al motor radial. (Fuente: "[www.hisour.com](http://www.hisour.com)")

No obstante, son máquinas rotativas debido a que los cilindros giraban alrededor del cigüeñal, que permanecía fijo en todo momento. Este sistema disminuía enormemente su fiabilidad y durabilidad. Presentaban frecuentemente fallos por sobrecalentamiento ya que tenían que funcionar a máxima potencia de manera continuada y los pilotos, en ocasiones, optaban por apagar el motor y volverlo a encender durante el vuelo. En consecuencia, los aviones se incendiaban y los pilotos se veían obligados a lanzarse al vacío. Este suceso supuso la pérdida de muchas vidas.

Fue entonces cuando intervino la Armada de los Estados Unidos, que publicó los parámetros que debían desarrollar estos motores:

1. Alta potencia específica.
2. Alta eficiencia de combustible.
3. Fiabilidad máxima.
4. Alta durabilidad.
5. Fácil mantenimiento.
6. Bajo coste.
7. Facilidad producción en cadena

Estas características apuntaban a la creación de un motor enfriado por aire. La Armada de los Estados Unidos intentó convencer sin éxito a los fabricantes para desarrollar motores refrigerados por aire. Finalmente, firmaron un contrato experimental con la

empresa Aero-Engine Coporation de Charles Lawrance para la fabricación de un motor radial de nueve cilindros, inspirado en un diseño previo de un motor radial de 3 cilindros hecho por el mismo Charles.

De esta manera se inició un cambio de paradigma. En 1925, apareció el primer motor radial de la historia, R-1340 Wasp, que supuso el inicio de la masificación de los motores radiales. Los motores radiales revolucionaron el mundo de la aviación y con ellos se consiguieron hicieron grandes hitos como la llegada de Richard Byrd al Polo Norte, el récord del vuelo más largo sin repostar (51 horas), primer vuelo transatlántico dirigido por una mujer, etc.

Al principio, los motores radiales contaban solo con una estrella de cilindros. Posteriormente, con el objetivo de aumentar su potencia, tuvieron que recurrir al uso de varios bancos para poder colocar todos los cilindros como era el caso del P&W Wasp Major XR-4360, diseñado y construido durante la Segunda Guerra Mundial.

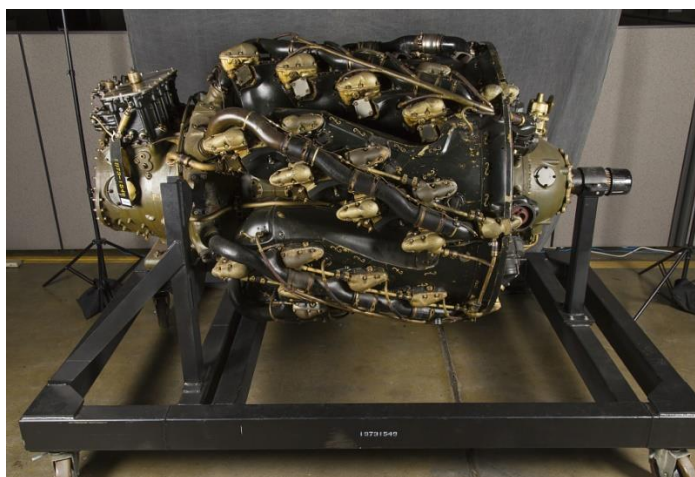


Figura 2-9. Wasp Major XR-4360-4. Motor multiestrella 28 cilindros dispuesto en 4 bancos. (Fuente: ["https://airandspace.si.edu"](https://airandspace.si.edu))

Los fabricantes más punteros de la época eran Wright Company y Pratt & Whitney, ambos escribieron su nombre en la historia de la aviación por méritos propios y lideraron el sector hasta el declive del motor radial, alrededor del 1960, tras la consolidación del motor a reacción.



## 3 MATERIALES Y MÉTODOS EMPLEADOS

### 3.1 HERRAMIENTAS

Todo el proyecto gira entorno del mismo programa de diseño. La aplicación elegida para este trabajo es CAD Autodesk Inventor. En él se realizará el modelado de los diversos componentes que tiene el motor, para su posterior ensamble.

Una vez acabado el motor, se aislará la parte fundamental del mecanismo para realizar una parametrización básica del conjunto. Esta se realizará tanto con la ayuda de Inventor como la de Microsoft Excel, donde se encontrarán los parámetros que se pueden modificar.

Se volverá a utilizar Inventor para realizar el análisis tensional pertinente. De igual manera, se usará para confeccionar los planos del motor, disponibles al final de este documento.

Para redactar la memoria se hará uso del famoso programa Microsoft Word dada su versatilidad y comodidad.

En último lugar, se presentará el trabajo a través de la herramienta Microsoft Powerpoint, ideal para exponer este tipo de trabajos.

### 3.2 MÉTODOS

La simulación computacional es un elemento indispensable para las empresas. De esta manera, son capaces de analizar los productos que fabrican y poder realizar mejoras antes de fabricarlo. La gran mayoría de softwares que llevan a cabo simulaciones utilizan el Método de Elementos Finitos, el cual permite solucionar numerosos conflictos ingenieriles.

Este método consiste en lo siguiente. Partiendo de una pieza con una geometría, unas cargas aplicadas y unas condiciones de contorno concretas, se subdividen en elementos más pequeños.

Estos elementos pueden tener diversas formas dependiendo de la magnitud del problema a resolver [5]. El número de elementos es limitado tal y como indica el nombre del método. Todos los elementos están unidos entre sí por puntos llamados nodos y al conjunto de ítems y nodos se le conoce como malla. A medida que se disminuye el número de elementos de una malla, mayor será la precisión del cálculo obtenido. No obstante, también se aplicará una mayor carga computacional al ordenador.

Este método consta de una gran variedad de aplicaciones. Habitualmente, se utiliza para obtener las deformaciones y tensiones que experimenta la pieza como resultado de la aplicación de una o varias fuerzas. Sin embargo, también es capaz de realizar análisis térmicos, acústicos, electromagnéticos, etc.

## 4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### 4.1 PARÁMETROS TÉCNICOS

Aunque históricamente el aeroplano Fokker DR-1 es el más conocido por los acontecimientos históricos que lo preceden, posteriormente, se diseñaron variantes con mejoras sustanciales como es el caso del Fokker CVII-W. Se trata de un hidroavión de reconcomiendo de origen holandés construido a finales de la década de 1920.

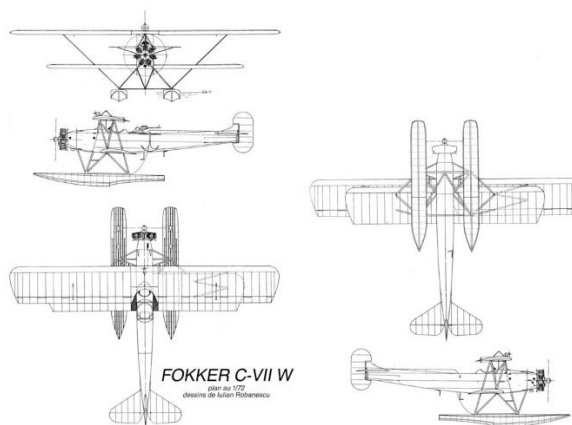


Figura 4-1. Avioneta del tipo Fokker CVII-W. (Fuente: "[www.the-blueprints.com](http://www.the-blueprints.com)")

Las especificaciones principales de este aeroplano son las siguientes:

Tripulación: 2 personas

Longitud: 10m

Envergadura: 12,9 m (42 pies 4 pulgadas)

Altura: 4 m

Peso bruto: 1415-1620 kg

Planta motriz: 1 x motor de pistón radial Armstrong Siddeley Lynx de 7 cilindros refrigerado por aire, 168 kW (225 hp)

Hélices: hélice de paso fijo de 2 palas

### 4.2 MATERIALES EMPLEADOS

Las partes que conforman un motor radial tienen que tener suficiente resistencia para soportar los grandes esfuerzos mecánicos a los que se ven sometidos, enfrentarse a altos gradientes de temperatura durante los vuelos, pero, a su vez, deben ser lo más ligeros posibles para reducir las pérdidas.



A continuación, se analizará con mayor detalle pieza por pieza los elementos más básicos del mecanismo.

### **Biela maestra y bielas secundarias**

Estas piezas son las que están más expuestas a soportar tensiones por lo que deben ser resistentes a altas tensiones. Los materiales más utilizados para su fabricación son acero, aluminio y titanio.

En cuanto a las bielas de acero, suelen fabricarse por varios métodos ya sea por fundición, forjado o mecanizado. El proceso de mecanizado requiere el uso de máquinas CNC con las que se obtiene un resultado uniforme y rígido, pero, su coste de fabricación es bastante elevado. Por ello, el método más utilizado es el de fundición.

El acero presenta una gran resistencia a un coste relativamente bajo. Además, su resistencia a fatiga es muy alta por lo que la durabilidad de la pieza está garantizada siempre que haya un funcionamiento correcto.

No obstante, en los motores de aviación, la ligereza se vuelve un factor fundamental. En ese aspecto, el acero no puede competir contra el aluminio y el titanio, pues su densidad es mucho mayor:

Densidad Acero:  $7860 \text{ kg/m}^3$

Densidad Titanio:  $4507 \text{ kg/m}^3$

Densidad Aluminio:  $2700 \text{ kg/m}^3$

Sin embargo, la resistencia a tracción del acero y del titanio supera por mucho la del aluminio.

Valores resistencia máxima a tracción:

Titanio: 434MPa

Acero: 340MPa

Aluminio: 125MPa

A pesar de las increíbles propiedades del titanio, se suelen descartar por su coste y gran dificultad de manipulación. Se destina para otras aplicaciones como motores de Fórmula 1.

Uno de los inconvenientes del aluminio es su gran expansión con la temperatura. Esto provoca ciertos problemas ya que las tolerancias a cumplir tienen que ser altas. Además, su resistencia a fatiga es menor que el acero. Este último puede aguantar durante toda la vida útil del motor. Mientras que las bielas de aluminio es posible que tengan que ser sustituidas llegado a cierto punto. Por eso mismo, la gran mayoría de fabricantes optan por utilizar bielas de acero.

## Pistones

Los pistones son elementos de suma importancia para el desarrollo de cualquier vehículo ya que son considerados el corazón del motor. De hecho, el diseño y la tecnología aplicada para su creación tienen una gran influencia en el rendimiento del motor.

Con un diseño adecuado se puede conseguir que los pistones disminuyan la fricción, disipen calor y reduzcan el desgaste de algunas otras partes del motor, alargando la vida del motor.

Un pistón suele estar formado por aleaciones [6]. Las más habituales son aluminio-silicio, aluminio-cobre-níquel-hierro, y aluminio-cobre. De todas estas, destaca por su alta demanda la primera opción ya que son muy resistentes, poseen una menor dilatación térmica y alta conducción térmica. No obstante, al aumentar el silicio se dificulta la manipulación del material. Consecuentemente, se incrementa su coste de fabricación.

## Cigüeñal

Hoy en día, los cigüeñales se fabrican con acero forjado, hierro nodular y hierro dúctil. La resistencia a fatiga al emplear un acero forjado es más alta que la obtenida al utilizar materiales por fundición nodular o dúctil. A diferencia de la fundición, una de las ventajas de la forja es que se obtienen partes homogéneas sin poros ni defectos microestructurales. Las deformaciones del grano que se producen en el forjado elevan la resistencia de la pieza en dicha dirección.

En la siguiente imagen se puede observar los aceros aleados más empleados en la industria [7].

Chemistry of Crankshaft Alloys	Nominal Percentages of Alloying Elements							
Material	AMS	C	Mn	Cr	Ni	Mo	Si	V
4340	6414	0.40	0.75	0.82	1.85	0.25		
EN-30B		0.30	0.55	1.20	4.15	0.30	0.22	
4330-M	6427	0.30	0.85	0.90	1.80	0.45	0.30	0.70
32-CrMoV-13	6481	0.34	0.55	3.00	<0.30	0.90	0.25	0.28
300-M	6419	0.43	0.75	0.82	1.85	0.40	1.70	0.07
Key:	C= Carbon	Mn= Manganese		Cr= Chromium				
	Ni= Nickel	Mo= Molybdenum		Si= Silicon				
	V= Vanadium	AMS= Aircraft Material Spec Number						

Figura 4-2. Aceros aleados más comunes en la manufacturación de cigüeñales. (Fuente: "[www.uaeh.edu.mx](http://www.uaeh.edu.mx)")

La adición de estos elementos aleantes mejoran las propiedades mecánicas del material. Sin embargo, cabe destacar la importancia de que estos aceros sean lo más limpios posibles. Se elimina todo lo posible la existencia de azufre y fósforo en su composición ya que aportan fragilidad al material. Por eso mismo, algunas aleaciones se funden al vacío evitando cualquier tipo de inclusión, evidentemente este proceso aumenta el costo de fabricación.

## **Bloque motor**

Estas piezas deben ser fabricadas con materiales muy rígidos y que poseen un bajo coeficiente de dilatación térmica. Esto se debe a que sobre él se montan gran parte de los mecanismos del motor por lo que cualquier deformación del material podría dañar otras piezas y comprometer el correcto funcionamiento del mismo. Suele predominar el uso de fundición gris o aceros de alta resistencia.

## **Pasadores**

Aunque se trate de piezas muy pequeñas, su resistencia a altos esfuerzos mecánicos es fundamental ya que los pasadores aseguran una correcta fijación entre elementos del sistema. Suelen estar fabricados con aceros de alta resistencia, capaces de soportar altas tensiones de cizalladura.

# 5 MODELADO

Este paso consiste en diseñar, una por una, cada componente que conforma el motor. En este caso, es uno de los procesos más laboriosos ya que el conjunto cuenta con más de 50 piezas. Como ya se ha comentado anteriormente, se utilizará para ello el software CAD Autodesk Inventor.

## 5.1 PARTES BÁSICAS DEL MOTOR

### 5.1.1 Biela principal

Se trata de una de las piezas más importantes de todo el sistema. Va directamente unido al cigüeñal y, a su vez, enlaza el resto de bielas con el eje. Dada su relevancia, será uno de los principales componentes de estudio en el análisis tensional. Su función principal es transmitir fuerzas entre los pistones y el cigüeñal. Constituye un nexo intermedio entre el movimiento lineal del pistón y el movimiento rotativo del cigüeñal. Por eso mismo, la geometría y el espesor de la biela debe ser el adecuado para poder soportar esfuerzos dinámicos. No obstante, hay que tener cuidado con no sobredimensionar el diseño ya que un exceso de material aumentaría el peso y la inercia de la pieza, reduciendo el rendimiento del motor. En el mundo de la aviación y del automovilismo es habitual que la sección central de las bielas tenga forma de H o doble T, como se podrá apreciar más adelante.

Para comenzar con el diseño de esta pieza, el primer paso consiste en realizar una extrusión en los orificios donde irán insertados el cigüeñal y los pasadores.

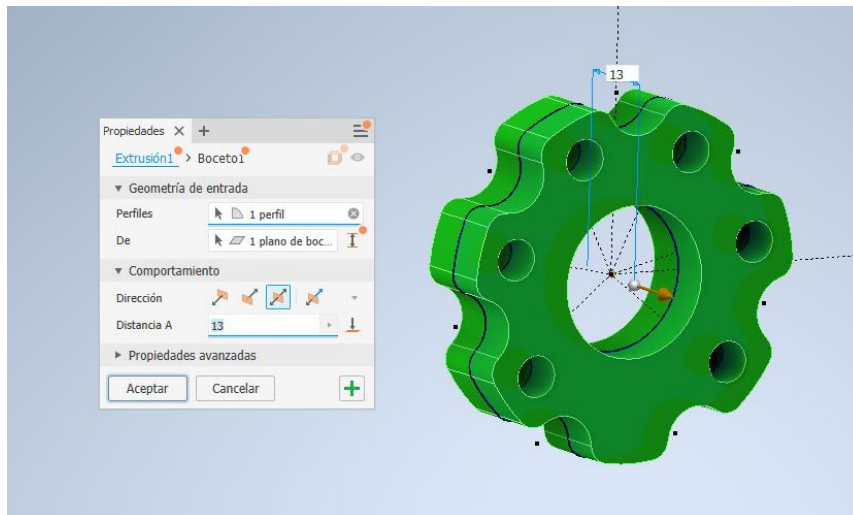


Figura 5-1. Extrusión inicial para el modelado de la biela principal

Posteriormente, se quita material en la parte central, espacio que ocuparán las bielas secundarias al unirse con la principal. Se extruye el resto del cuerpo de la pieza y se realiza un pequeño vaciado en la parte longitudinal para reducir el peso y la inercia.

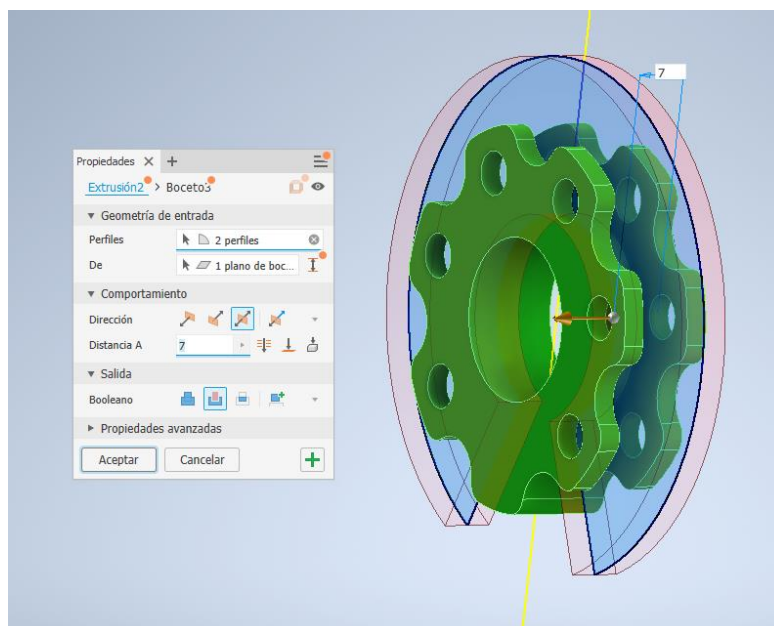


Figura 5-2. Vaciado central de la biela principal

Finalmente, se realizan redondeos en aquellas zonas susceptibles de concentrar tensiones y se da por finalizado el diseño.



Figura 5-3. Diseño final de la biela principal

### 5.1.2 Biela secundaria

Las bielas secundarias presentan un diseño más sencillo que la pieza anterior ya que cada una solo está unida con la biela maestra y el pistón. Comparten la misma función, transmitir la fuerza que generan los pistones al eje del motor. Al tratarse de un motor radial de 7 cilindros, existirán 6 bielas secundarias en el mecanismo.

En primer lugar, se realizarán dos extrusiones: una para el cuerpo central y otra para los extremos cilíndricos. Se puede aprovechar un mismo croquis para diversas operaciones.

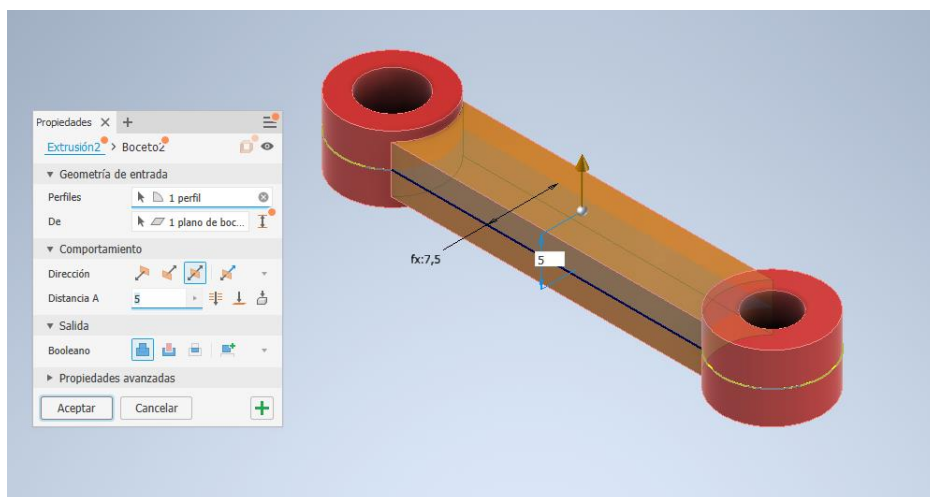


Figura 5-4. Extrusión cuerpo central de la biela secundaria

Posteriormente, se llevará a cabo un vaciado central para disminuir su peso y se realizarán radios de acuerdo en aquellas zonas donde se puedan concentrar esfuerzos mecánicos.

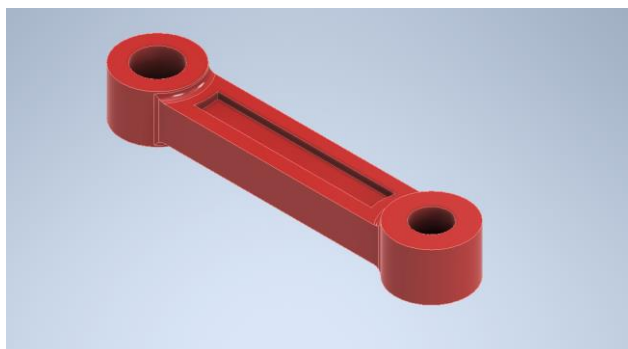


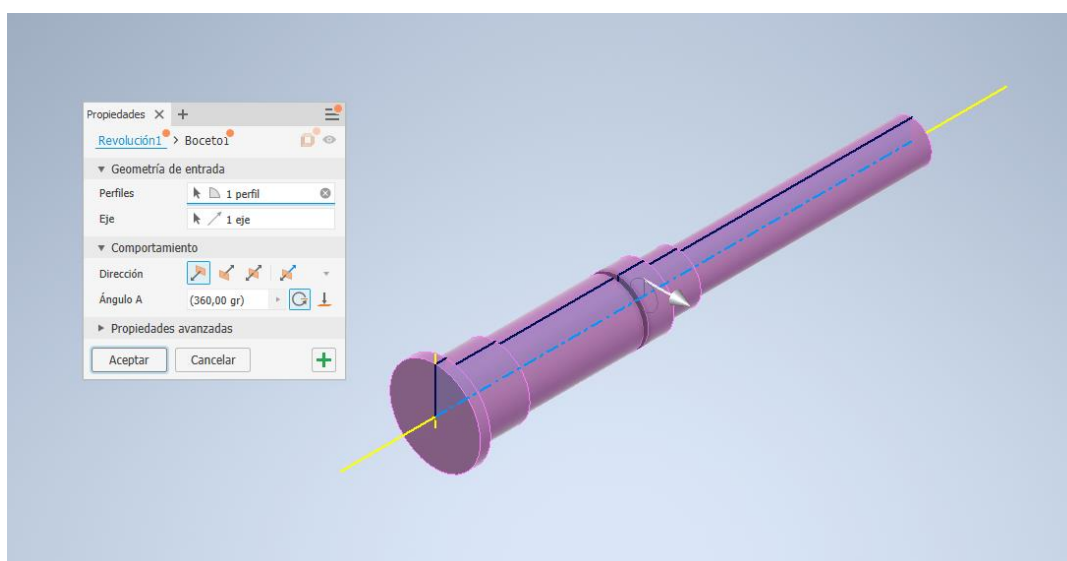
Figura 5-5. Diseño final de la biela secundaria

### 5.1.3 Cigüeñal

El cigüeñal es un eje giratorio que convierte el movimiento alternativo de un pistón en un movimiento giratorio. También se encarga de transmitir la potencia generada en el motor a la hélice que pondrá en marcha el aeroplano. Además, es el responsable de mover otros mecanismos como el encendido, el suministro de carburante, la lubricación...

Por otro lado, los cigüeñales suelen poseer contrapesos. Este sirve como volante de inercia, ayudan a ajustar las masas de la estructura y minimizan las vibraciones provocadas por el movimiento del eje.

A diferencia de los cigüeñales de automoción, su diseño es más sencillo ya que solo se conectan a una biela, la biela principal. Para diseñar esta parte del motor en Autodesk Inventor, se comienza con la revolución de lo que será el eje del cigüeñal. El eje cuenta con escalonados para ayudar a la fijación del conjunto y evitar desplazamientos axiales.



*Figura 5-6. Revolución del eje del cigüeñal*

Posteriormente, se extruye el contrapeso y el cilindro que servirá de eje para la biela principal. Aunque no se expliquen en detalle, antes de finalizar el diseño, se han realizado algunas modificaciones como un chavetero, chaflanados, etc. De igual forma, cabe mencionar que no se han incluido ranuras involucradas en el sistema de levas y lubricación por alejarse del objetivo principal de este proyecto.



*Figura 5-7. Diseño final del cigüeñal del motor*

#### 5.1.4 Bloque motor

El bloque motor es el esqueleto del sistema, en su interior se encuentran todas las partes del motor, es donde tiene lugar la combustión propiamente y se genera la potencia que hará volar la aeronave. Alberga el sistema formado por cigüeñal-bielas-pistones, entre otros. Su diseño tiene cierta complejidad al necesitar realizar una gran cantidad de operaciones: Extrusión, Chaflán, Agujero, Patrón circular, etc. En las siguientes imágenes, se aprecia algunas de las operaciones realizadas para diseñar el bloque motor.

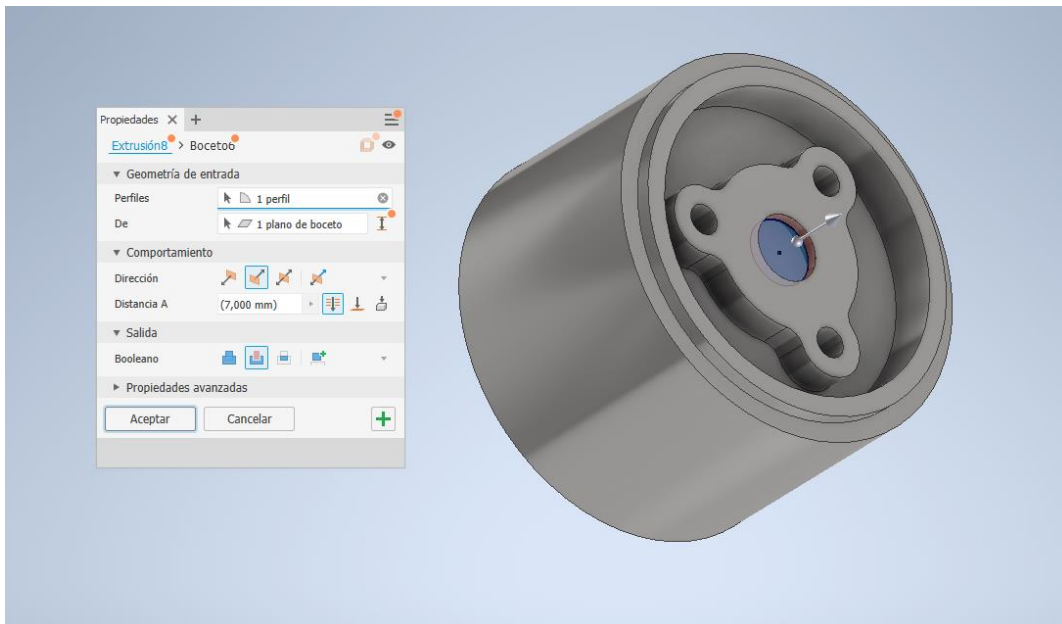


Figura 5-8. Consecución de extrusiones para modelar la estructura central del bloque motor

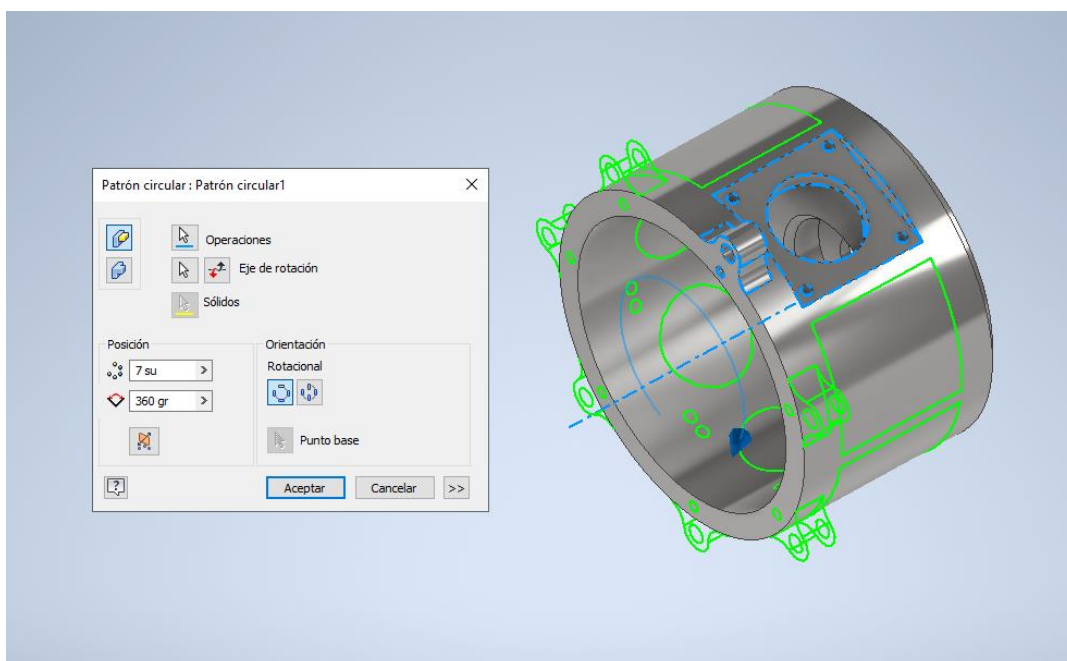
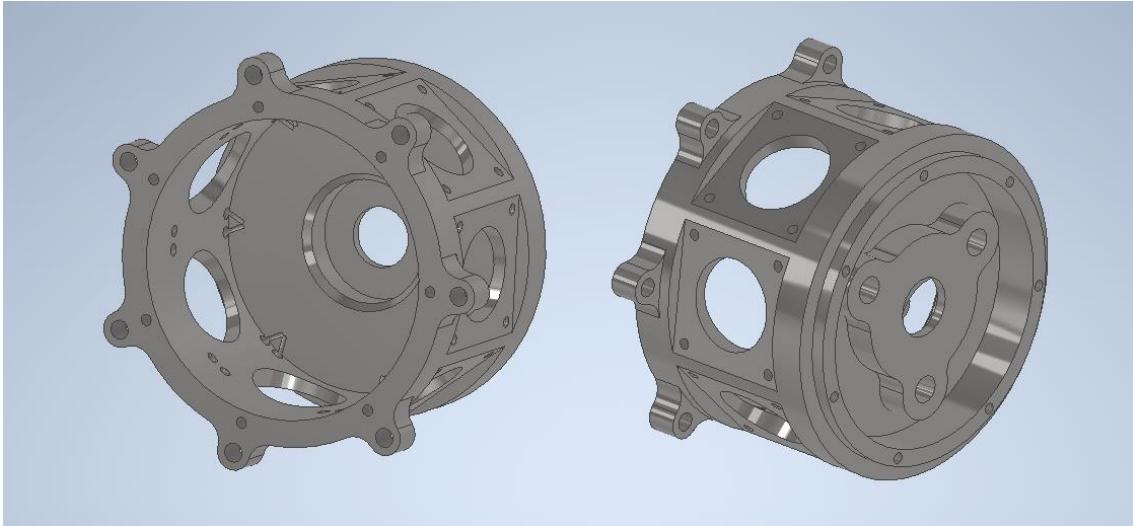


Figura 5-9. Aplicación de la operación Patrón circular para replicar partes dispuestas de manera radial

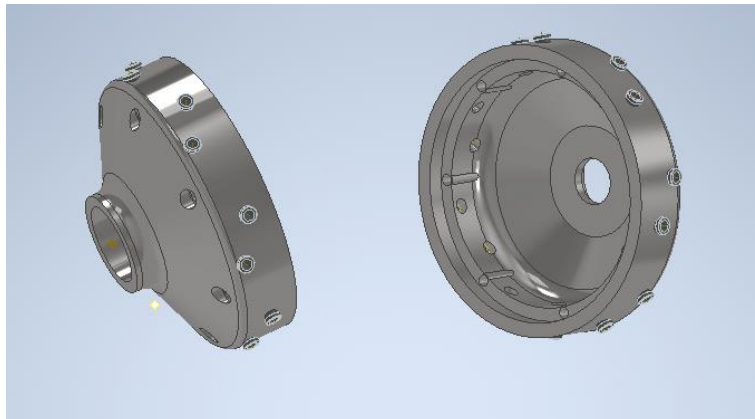
A continuación, se muestra el cuerpo del motor finalizado desde varias perspectivas para observar con claridad su geometría.





*Figura 5-10. Diseño final del bloque motor desde distintos ángulos*

Para sellar el bloque motor del exterior se emplea una tapa frontal y una trasera. En el interior de esta primera, se colocan normalmente los engranajes y levas pertenecientes al sistema de inyección de combustible, unidos al eje del cigüeñal.



*Figura 5-11. Diseño de la tapa frontal del bloque motor*

Por otro lado, la tapa trasera cuenta con unos orificios en su centro donde se colocarán los conductos de aireación.

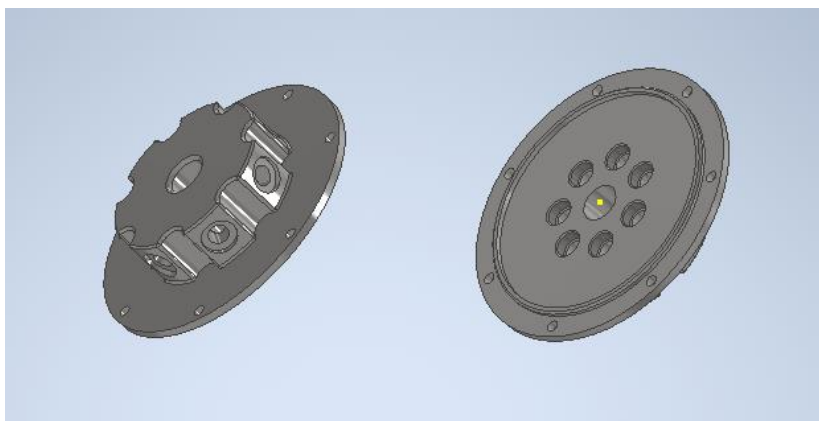


Figura 5-12. Diseño de la tapa trasera del bloque motor

Finalmente, tras el ensamblado de los tres componentes tratados, el bloque motor completo luciría de la siguiente manera.

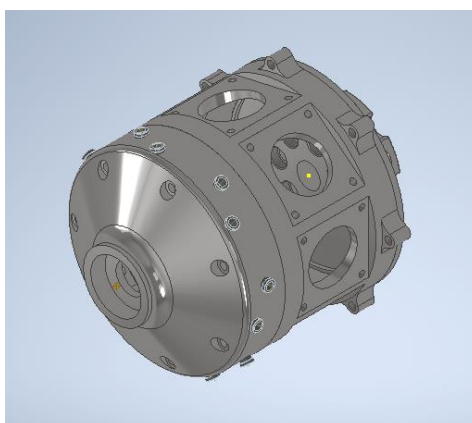


Figura 5-12. Diseño completo del bloque motor mediante Autodesk Inventor

### 5.1.5 Pistón

El pistón es una de las piezas más críticas del motor ya que junto con la culata y el cilindro, delimitan el espacio donde están contenidos los gases de combustión. Por esa misma razón, tiene que hacer frente a elevados gradientes de presión y temperatura.

Este elemento realiza un movimiento alternativo, es uno de los responsables de que la combustión tenga lugar. Además, transfiere las fuerzas generadas en dicho proceso hacia el cigüeñal mediante la biela secundaria y la biela principal.

En esta pieza se pueden distinguir tres partes [8]: la cabeza, alojamiento porta-aros y falda. La cabeza es la parte superior del pistón, su cara superior, conocida como cielo, está en contacto continuo con el fluido. Por otro lado, entre el cielo y el orificio para el pasador, se puede apreciar unas ranuras cilíndricas. En estos huecos se colocan unos aros para reducir la fuga de gases y colaborar en la lubricación de las paredes del

cilindro. Por último, respecto a la falda, cabe mencionar que posee una superficie deslizante y su función es guiar el émbolo por el interior del cilindro.

A nivel de modelado, se puede diseñar con apenas tres escasas operaciones: una revolución y dos extrusiones eliminando material: una para dejar paso al bulón y otra para permitir el acceso a la biela, como se puede observar en las siguientes ilustraciones. Dependiendo de la geometría del émbolo es posible que se necesiten realizar más operaciones. Este en concreto posee unos orificios donde irán un par de pernos que fijarán el pasador.

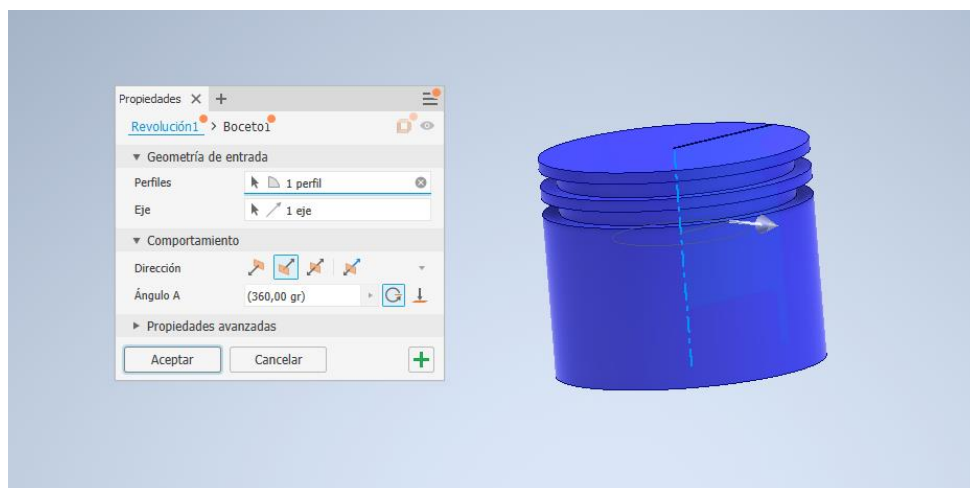


Figura 5-13. Revolución inicial del modelado del émbolo

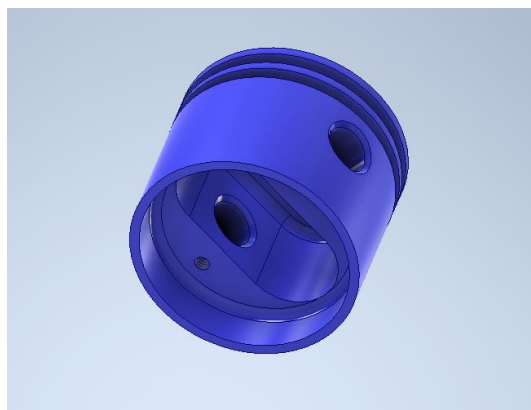


Figura 5-14. Diseño final del pistón

### 5.1.6 Cilindro

Se encarga mantener el gas cerrado, con la ayuda de la culata y el pistón. A parte de esto, sirven de guía para el movimiento del pistón y disipan parte del calor del interior al refrigerante (aire en este caso).

La geometría de esta pieza es muy variable, suele incluir aletas para facilitar la transferencia de calor.

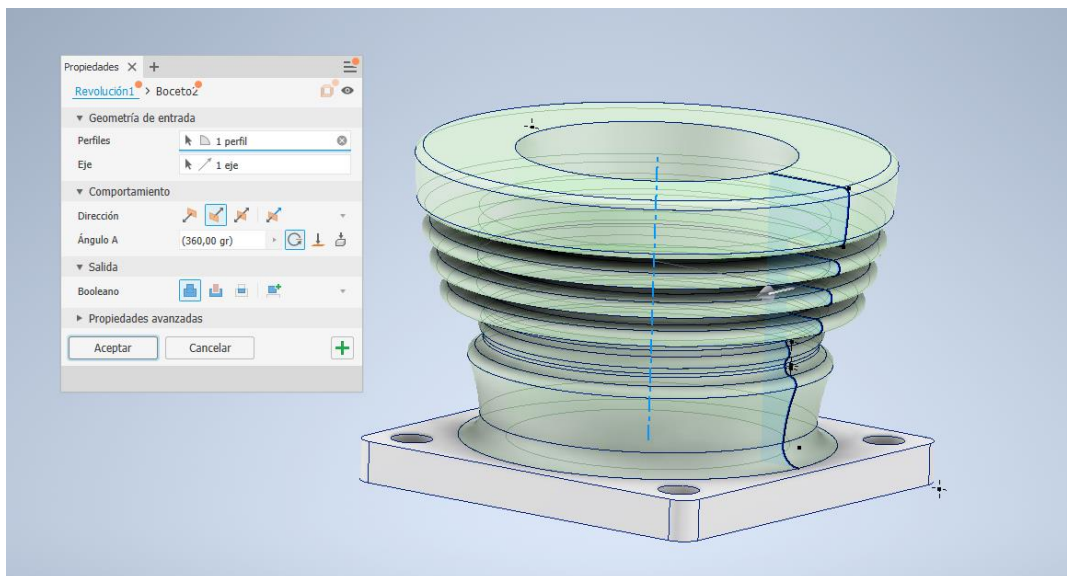


Figura 5-15. Revolución aleteada del cuerpo central del cilindro

Como se aprecia en la imagen, posee varios orificios tanto en la superficie superior como en la base. Estos se usarán para fijarlos con tornillos en la culata, agujeros de la cara superior, y en el bloque motor, taladros en la base.

Cabe mencionar que, en este motor radial, los cilindros no estarán en contacto directo con el pistón. Esto se debe a que se va a utilizar una camisa que estará situada entre el cilindro y el pistón. Esta técnica es usada a menudo ya que se requiere una larga vida de servicio y las camisas están fabricadas con materiales más resistentes al desgaste que los cilindros. De esta manera, se opta por utilizar materiales más ligeros para el cilindro y emplear otros con mejores propiedades mecánicas para las camisas, habitualmente se fabrican con aleaciones de hierro, cromo y níquel.

Por lo tanto, el uso de camisas prolonga la durabilidad de los cilindros y ayudan a retener lubricante en las superficies entre la pared y los aros del pistón. Además, estos componentes son fácilmente extraíbles y reemplazables si se desgastan o estropean.

En cuanto a su diseño, son piezas muy sencillas modelables con una simple revolución.

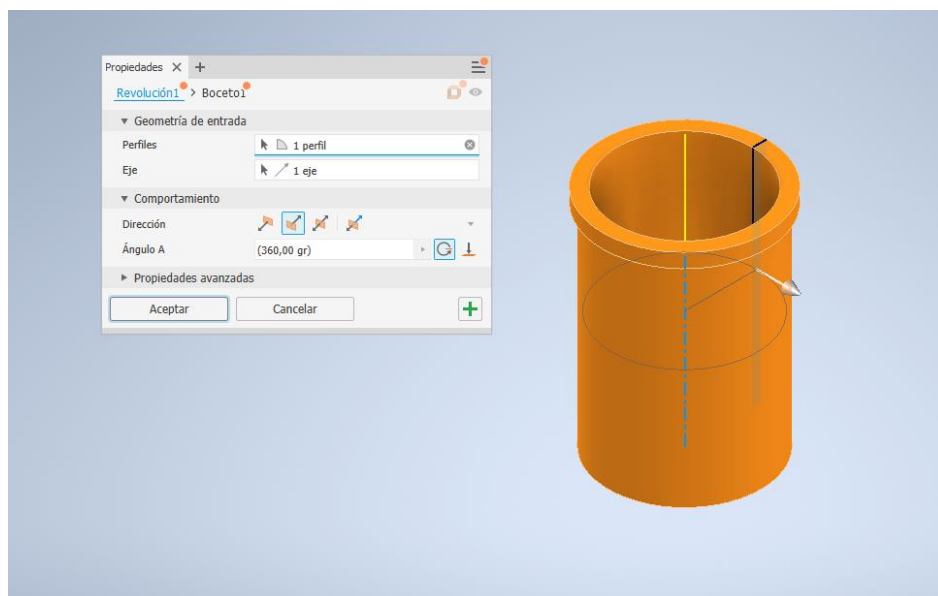


Figura 5-16. Revolución de la camisa mediante Autodesk Inventor

### 5.1.7 Culata

Constituye la cabeza del cilindro. Esta pieza se fija mediante tornillos al cilindro y posee múltiples funcionalidades. En primer lugar, delimita el volumen de los gases de combustión por la parte superior. Además, contiene las perforaciones que soportan los mecanismos de las válvulas de admisión y de escape, el sistema de encendido de la mezcla y los conductos de admisión y de escape. Suele ser uno de los componentes que más esfuerzos sufren dadas las condiciones de presión y temperaturas a las que está expuesta.

Normalmente, se fabrican con hierro fundido o aleaciones de aluminio que incorporan componentes como el cromo, el manganeso o el silicio.

Este componente tiene una geometría un tanto especial por lo que modelarla en Inventor supone tener que realizar multitud de operaciones. Afortunadamente, suele ser simétrica lo que te permite aplicar patrones que facilitarán mucho su desarrollo.

Se comienza realizando una revolución con la superficie exterior aleteada, para disipar mejor el calor.

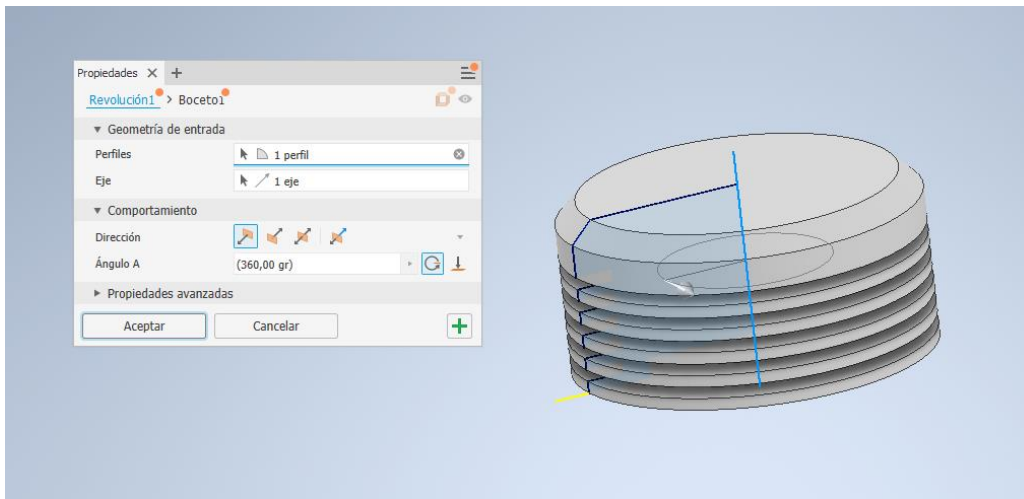


Figura 5-17. Revolución con aletas de la culata del motor

Luego, se realizan los orificios pertenecientes a los sistemas de admisión y escape, de encendido y el de los conductos de ventilación, si hay varios y son simétricos, se realizan solo los que se encuentran en un lado respecto del plano de simetría.

Finalmente, aplicando una simetría, se selecciona todas las operaciones que se desea realizar al otro lado de la pieza. De esta manera, se dará por finalizado el modelado de la culata.

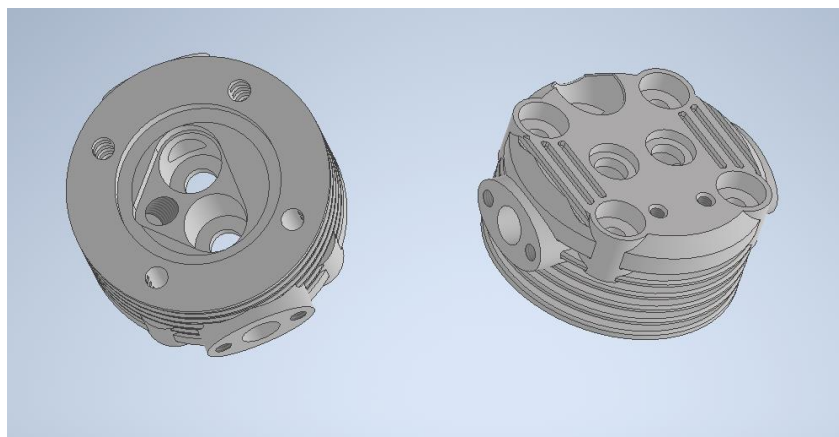


Figura 5-18. Revolución con aletas de la culata del motor

### 5.1.8 Levas

En este tipo de motores, las levas se encuentran en la parte frontal del motor, participan en el mecanismo que abre y cierra las válvulas de admisión y escape. Las levas están integradas en una rueda dentada que junto con otras piezas forman un engranaje que se pone en marcha con el giro del cigüeñal. Por lo tanto, las levas están continuamente en movimiento. Desde la parte superior de la culata, hay unas varillas que conectan con las levas a través de un vástago. Este mismo, es el que apoya sobre las levas y que,

con el giro de estas, se eleva cuando llega a la parte más ancha de la leva, produciendo la apertura de la válvula correspondiente mediante un balancín que se encuentra situado sobre la culata.

Para realizar este diseño se empieza realizando una revolución, como se puede apreciar en la siguiente imagen.

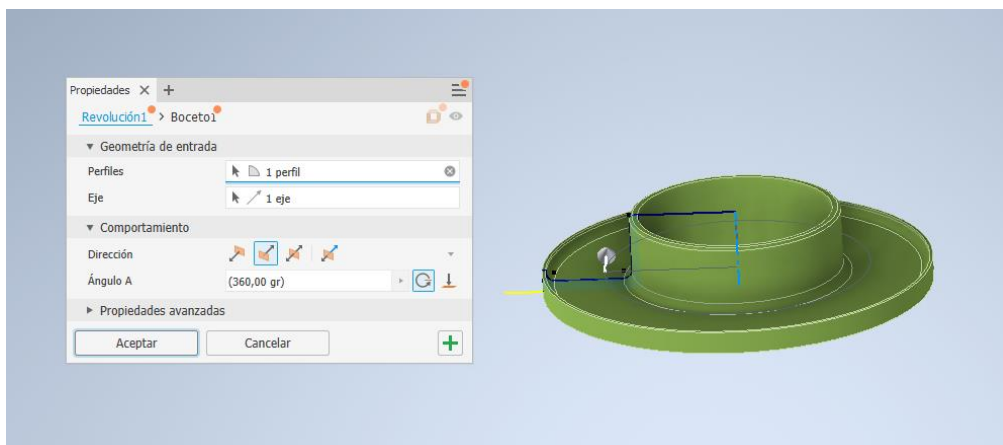


Figura 5-19. Revolución con aletas de la culata del motor

Luego, se realizan orificios de manera radial y se extruye el saliente característico de estos componentes, obteniendo el resultado final.



Figura 5-20. Diseño final del disco de leva delantero.

NOTA: Existe un segundo disco de leva en el ensamblaje pero dada la similitud que tiene con la pieza anterior, se omite su proceso de modelado.



### 5.1.9 Sistema de encendido

Es el responsable de la combustión de la mezcla en los motores MEP. En este diseño, únicamente se ha modelado sus dos componentes más relevantes: la bujía y su encapsulado. La bujía se encarga de producir la chispa en la cámara de combustión que producirá la ignición de la mezcla.

A su vez, también tiene la función de intercambiar el calor que se produce en la cámara de combustión. Esta pieza cuenta con una geometría un tanto peculiar: en el extremo superior es donde se encuentra la conexión eléctrica con la pipa. Más abajo, tenemos una zona con ranuras que impide que haya corrientes de escape.

Finalmente, en el otro extremo, se encuentra el electrodo de masa. Este debe ser muy resistente a la temperatura, a la erosión de la chispa y a los elementos químicos. Se iniciará el modelado con dos revoluciones: una para el terminal de conexión y otra para el cuerpo de la bujía.

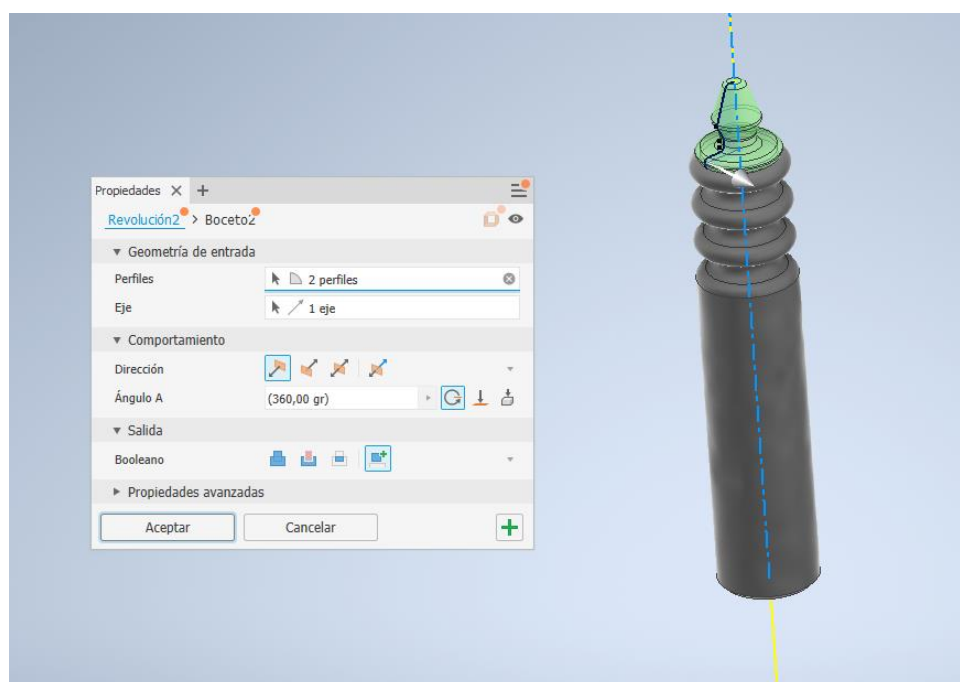


Figura 5-21. Revolución del terminal de la bujía

Tras este paso, se realiza un par de extrusiones para dar forma a los cierres de acero y se elimina material para dejar hueco al electrodo de masa.



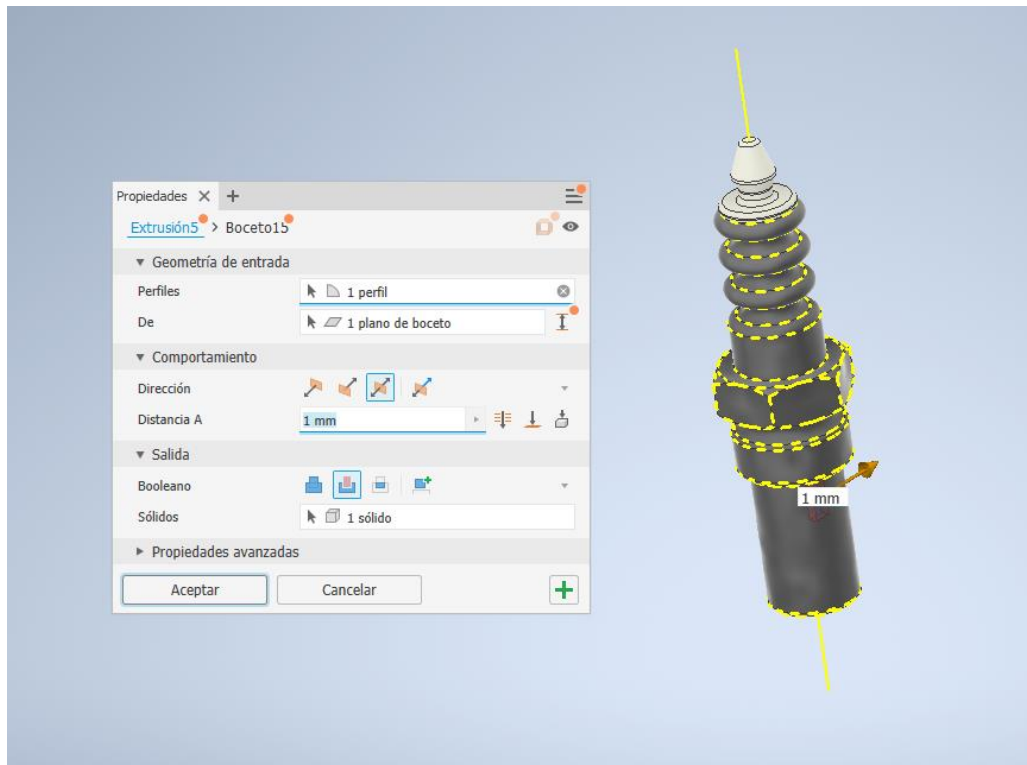


Figura 5-22. Revolución del terminal de la bujía

Para finalizar, se utiliza la operación 'Barrido', que permite modelar el electrodo de masa y se rosca la parte final del cuerpo que irá introducido en la culata.

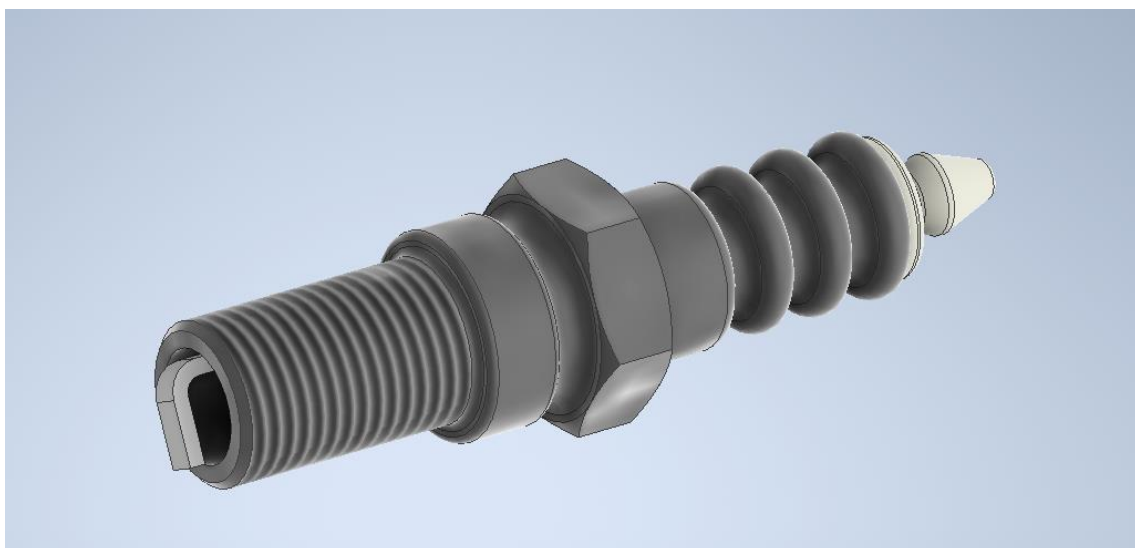


Figura 5-23. Diseño final de la bujía

En cuanto al encapsulado de la bujía, básicamente consiste en realizar una revolución hueca para albergar el terminal y extruir la cubierta del cableado. Después, se utiliza el comando "Barrido", activando la opción "Nuevo sólido" para facilitar la futura elaboración del plano en Inventor Autodesk, para modelar el cable y se ejecutan diversos empalmes.

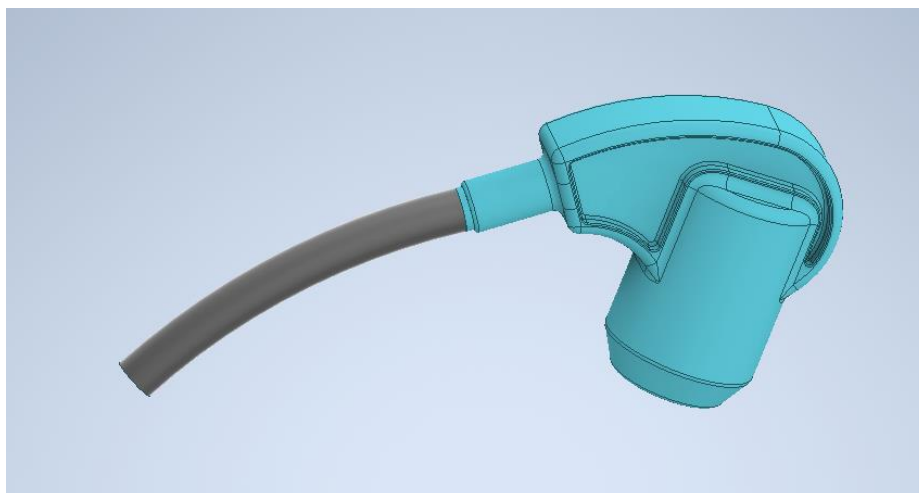


Figura 5-24. Diseño final del encapsulado de la bujía

#### 5.1.10 Colector gases de escape

Este elemento se encarga de agrupar los gases provenientes de cada cilindro y permitir su libre flujo. Al tratarse de un motor radial de 7 cilindros, contará con 7 entradas, una por cada cilindro. Normalmente, se suelen fabricar por moldeo a la arena con hierro o alguna aleación que resista las altas temperaturas que tienen lugar en los gases de escape.

Para lograr modelarlo, se empieza realizando una primera revolución del volumen donde se encontrarán mezclados todos los gases. Se llevará a cabo una segunda revolución para dar forma a la entradas/uniones con los tubos de escape y se usará 'Patrón circular' para conseguir el número de entradas deseadas.

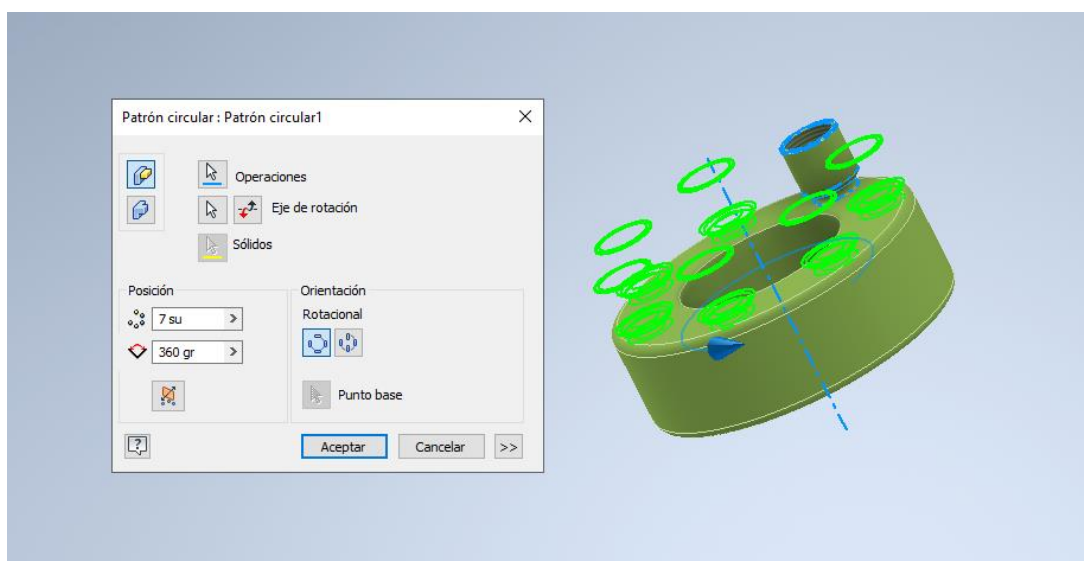


Figura 5-25. Operación Patrón circular para el modelado de las entradas de los gases de escape

Finalmente, se extruirá una de las salidas y se empleará de nuevo un patrón circular para formar la segunda, obteniendo el siguiente resultado.

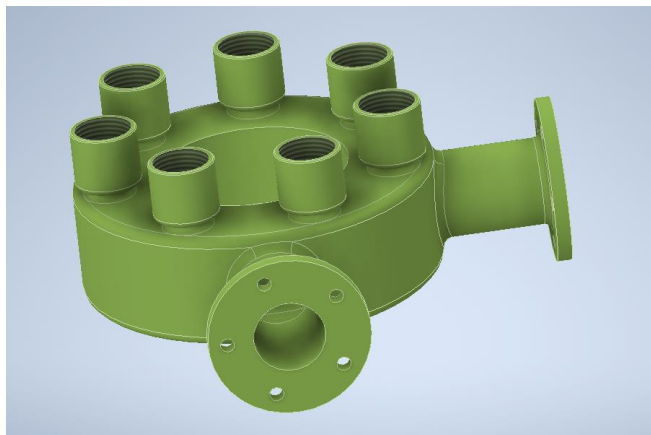


Figura 5-26. Resultado final del diseño del colector de los gases de escape

### 5.1.11 Hélice

Este componente mecánico está formado por un conjunto de palas ubicadas de manera concéntrica y solidaria a un eje que, al girar, proyectan un movimiento rotativo. Al no ser planas las caras de las palas, este giro produce una diferencia de velocidades que da lugar a la fuerza propulsora que caracterizan a las aeronaves. Para su fabricación, se suele recurrir a aleaciones de aluminio consiguiendo una buena resistencia y a su vez un peso reducido. No obstante, dado la antigüedad del aeroplano, en este caso, se hará de madera.

Para su diseño, hay que recurrir a alguna operación menos frecuente como es el caso de la solevación. En primer lugar, se revoluciona el núcleo de la hélice con un orificio que servirá de asiento para el eje.

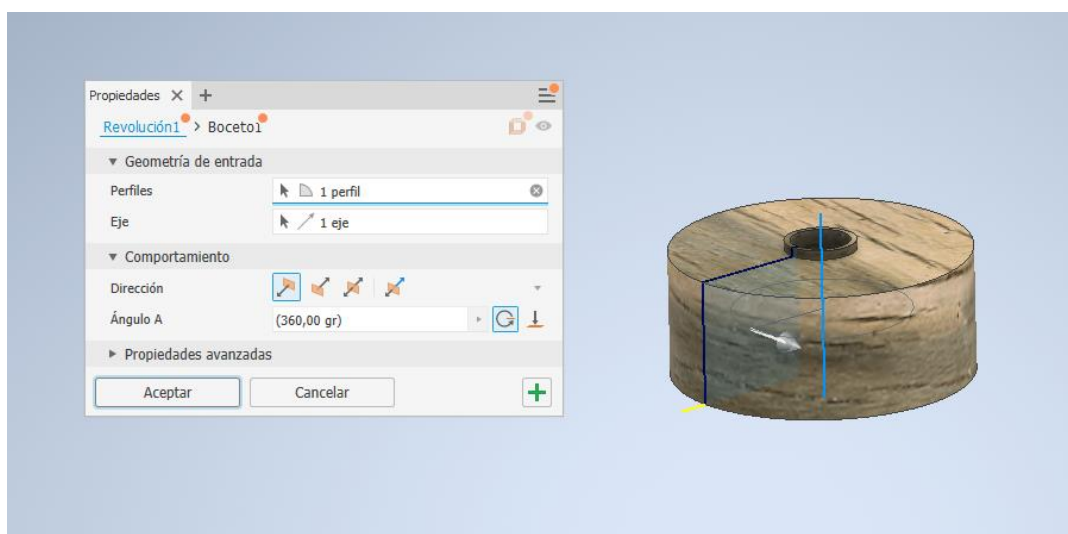


Figura 5-27. Fase inicial del diseño de la hélice

Luego, se crearán múltiples planos de trabajo a las distancias deseadas y se realiza un croquis en cada uno de ellos con la sección de la hélice correspondiente. Tras esto, es el momento de utilizar la herramienta 'Solevación' como se ha mencionado anteriormente. Esta consiste en formar una superficie a través de la unión de las secciones trazadas en los planos de trabajo.

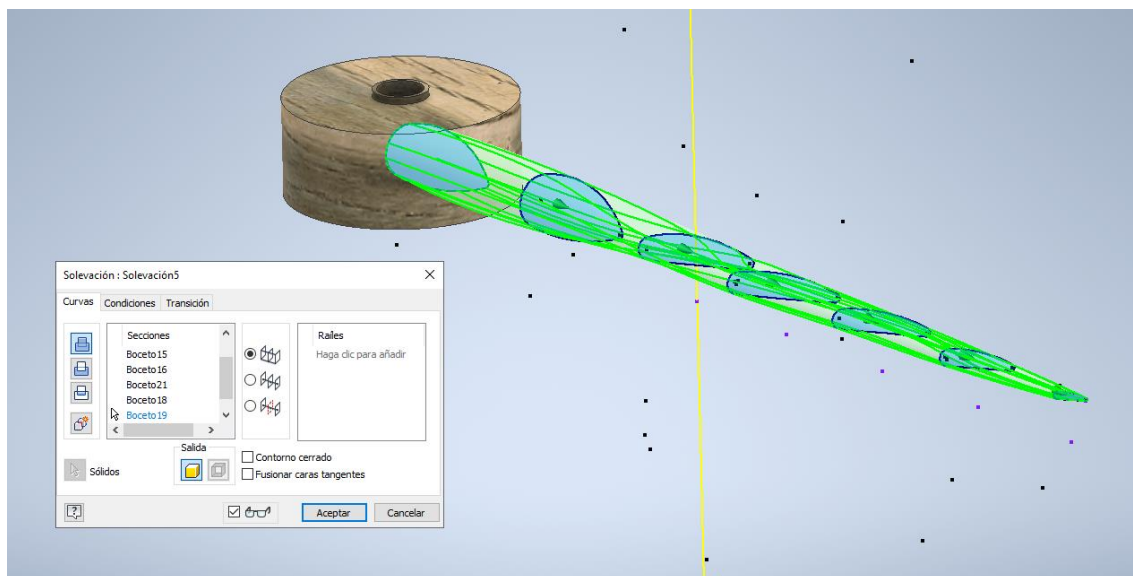


Figura 5-28. Aplicación de la operación Solevación para generar la pala de la hélice

Para finalizar, se realizará un patrón circular para formar la segunda pala de la pieza y otro para realizar perforaciones en el núcleo para fijar la hélice. En la siguiente imagen se puede observar el resultado final.



Figura 5-29. Diseño final de la hélice del aeroplano

Nota: Por falta de información las piezas 'Hélice', 'Soporte de disco' y 'Nariz' se han creado desde cero. En consecuencia, puede haber discrepancias con las piezas

originales. Una de ellas son las líneas que aparecen en las palas causadas por las medidas utilizadas dando lugar a una superficie no uniforme. Se puede ocultar estos trazados cambiando la visualización de la misma, seleccionando estilo visual "Realista" o "Sombreado" en el apartado "Vista".

## 5.2 CENTRO DE CONTENIDO

Para poder completar el ensamblaje del motor, se han utilizado algunas piezas pertenecientes al centro de contenido de Autodesk Inventor. En la biblioteca hay una gran cantidad de piezas con diferentes aplicaciones. No obstante, las que más se han utilizado para este diseño son: tornillos, tuercas, juntas, cojinetes y placas de sujeción para ejes.



Figura 5-30. Piezas obtenidas directamente del centro de contenido de Autodesk Inventor

## 6 ENSAMBLADO

Una vez modeladas todas las piezas, es momento de agruparlas. Para ello, se tiene que establecer restricciones entre las piezas para ir eliminando grados de libertad hasta lograr fijar los elementos de la manera correspondiente.

Dada la gran cantidad de piezas que contiene este conjunto, se ha optado por realizar varios sub ensamblajes. Este método facilita el proceso ya que se trabaja por bloques. Otro motivo por el que se ha optado por seguir esta metodología es debido a que este motor contiene muchos componentes orientados de manera radial, tal y como indica su nombre. Por esta razón, es mucho más cómodo aplicar la operación 'Patrón de componentes' a un sub ensamblaje que a todas las piezas que lo contienen.

A continuación, se expondrán los diferentes subconjuntos que se han creado y se explicará brevemente en algunos de ellos que restricciones se han establecido para formarlos.

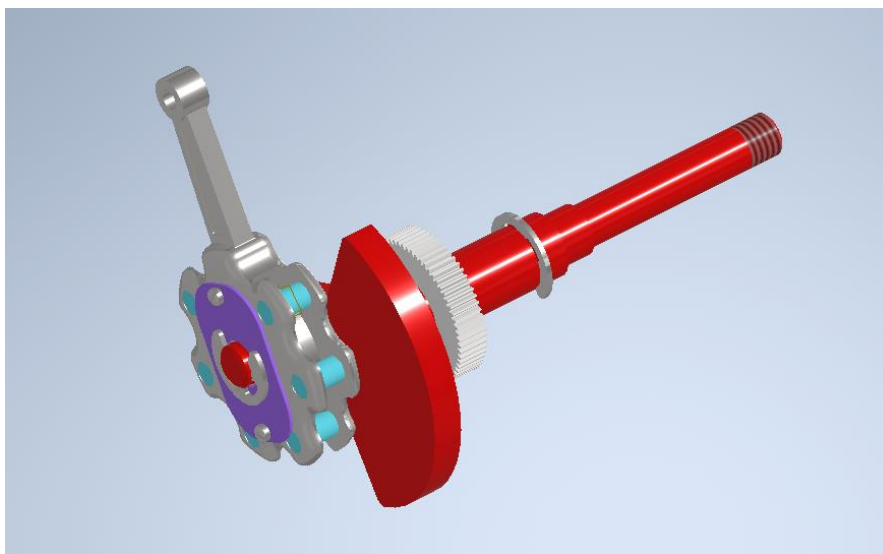


Figura 6-1. Subconjunto formado por la biela principal, cigüeñal, pasadores y elementos accesorios

Las principales restricciones que se han usado para este subconjunto son las siguientes:

Coincidencia de ejes: entre el eje y el agujero central de la biela principal; entre el cigüeñal y rueda dentada; entre el pasador y los agujeros de la biela principal...

Coincidencia/nivelación entre caras/planos: entre el plano medio de la biela y los pasadores; entre la superficie de la rueda dentada y el escalonado del cigüeñal; entre el plano medio de la rueda dentada y la lengüeta...

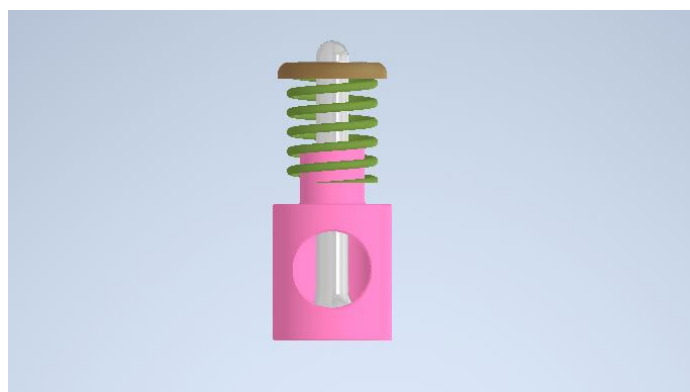


Figura 6-2. Subconjunto que engloba la parte del sistema de inyección que va en el interior de la culata

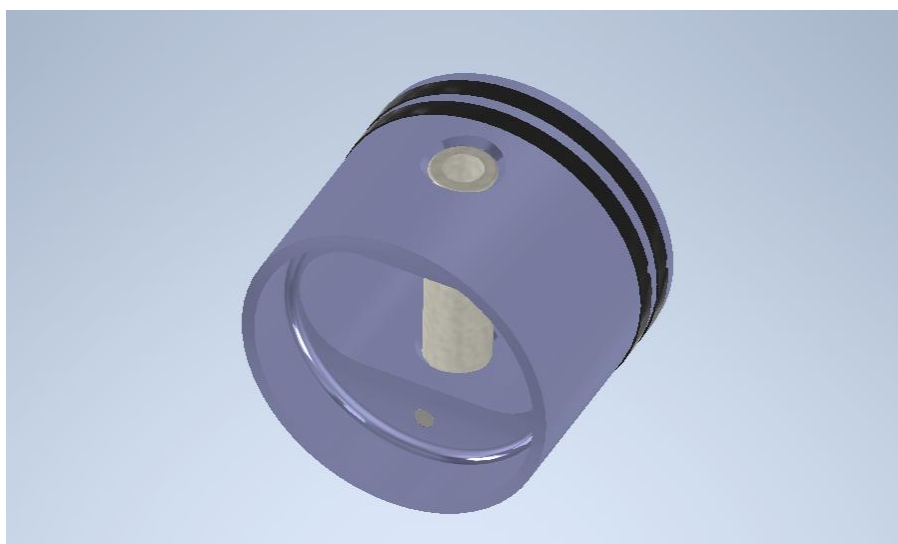
Este subconjunto está formado por una parte del sistema de admisión/ escape de los gases de combustión. Contiene la válvula y su cubierta, un resorte de compresión, un retenedor y una junta.

Las principales restricciones aplicadas son las siguientes.

Coincidencia de ejes: todas las piezas comparten el mismo eje, por lo que con que haya una restricción de estas características en cada una de las piezas sería suficiente.

Coincidencia de caras: entre el resorte y la cubierta de la válvula (pieza rosa Figura 6-2) y entre el resorte y el anillo de retención.

El siguiente sub ensamblaje es muy sencillo. Está formado por el pistón, un pasador, los anillos de estanqueidad y la tornillería necesaria para fijar el pasador. Se ha creado por comodidad, para no tener que restringir las piezas una a una en cada uno de los siete pistones. No se ha realizado una matriz circular ya que esta pieza es funcional y tiene que estar en movimiento.



*Figura 6-3. Subconjunto formado por el pistón y sus elementos dependientes*

Principales restricciones aplicadas:

Coincidencia de ejes: entre el pasador y el taladro del pistón; entre el pistón y los aros de estanqueidad.

Coincidencia de caras/planos: entre el plano medio del pasador y el plano medio del cilindro; entre la cara de la ranura del pistón y la cara del aro de estanqueidad.

Uno de los sub ensamblajes principales es el formado por el cilindro, la camisa, la culata, el sistema de admisión/ escape de las válvulas con sus cubiertas y el sistema de encendido. A la hora de ensamblar el conjunto completo, se realizará una matriz radial de 7 repeticiones y un ángulo de  $360^{\circ}/7$ .



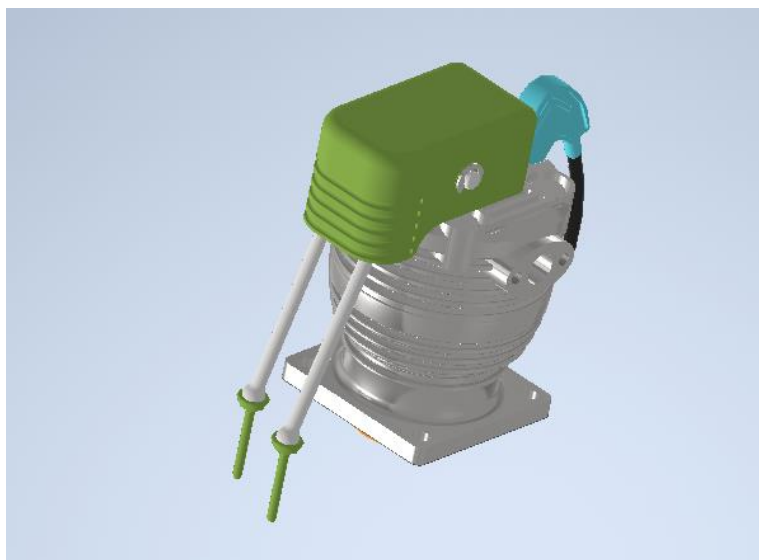


Figura 6-4. Subconjunto formado por cilindro, camisa, sistema admisión/escape y sistema de encendido

También se ha realizado un subconjunto que incorpora los dos discos de levas: el delantero y el trasero, un rodamiento de bolas y una rueda dentada que iniciará la rotación de las levas cuando el cigüeñal comience a girar y ponga en movimiento el engranaje del sistema de admisión/escape de las válvulas.

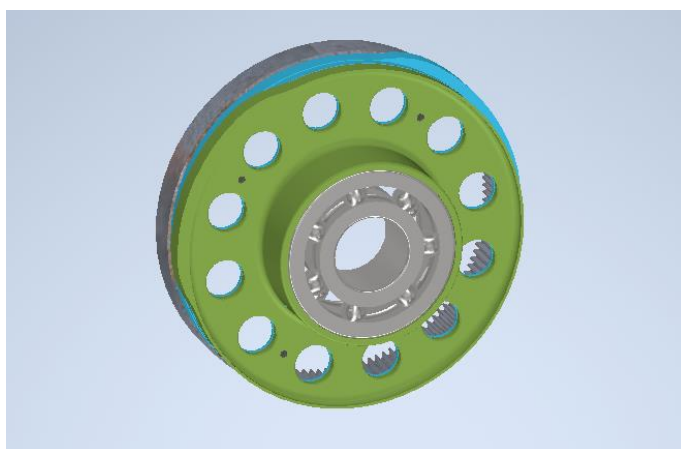


Figura 6-5. Subconjunto formado por cilindro, camisa, sistema admisión/escape y sistema de encendido

Una vez ensamblados todos los conjuntos anteriores se realizó un primer ensamblaje global nombrado "Ensam parte delantera motor" junto con otras piezas como la hélice, ruedas dentadas, el bloque motor, el resto de bielas, etc.



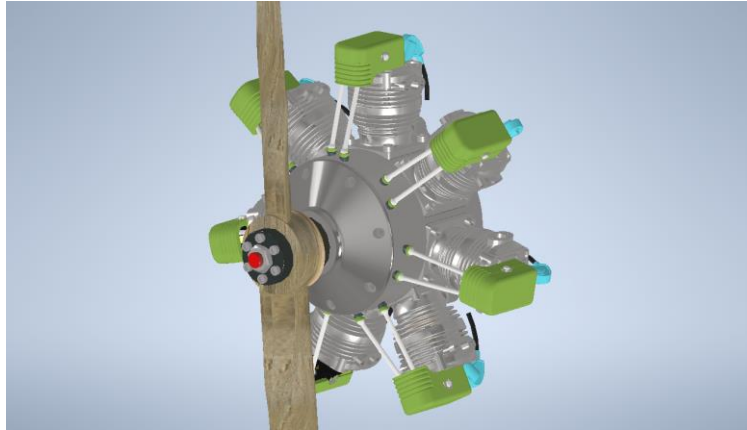


Figura 6-6. "Ensam parte delantera motor" desde vista frontal

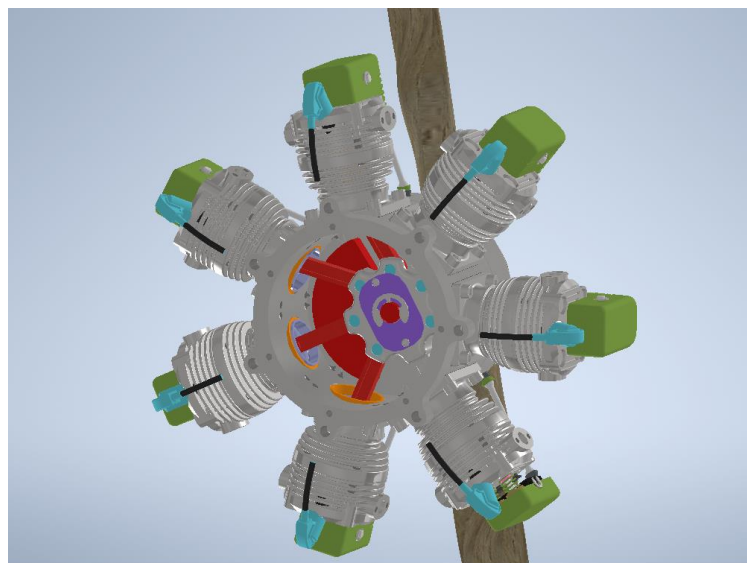


Figura 6-7. "Ensam parte delantera motor" desde vista trasera

Posteriormente, se llevaron a cabo dos conjuntos, uno para el conducto de escape y otro para el de admisión.

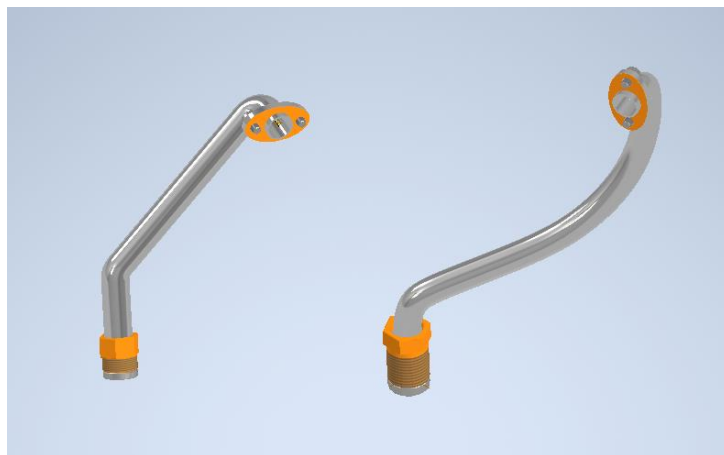
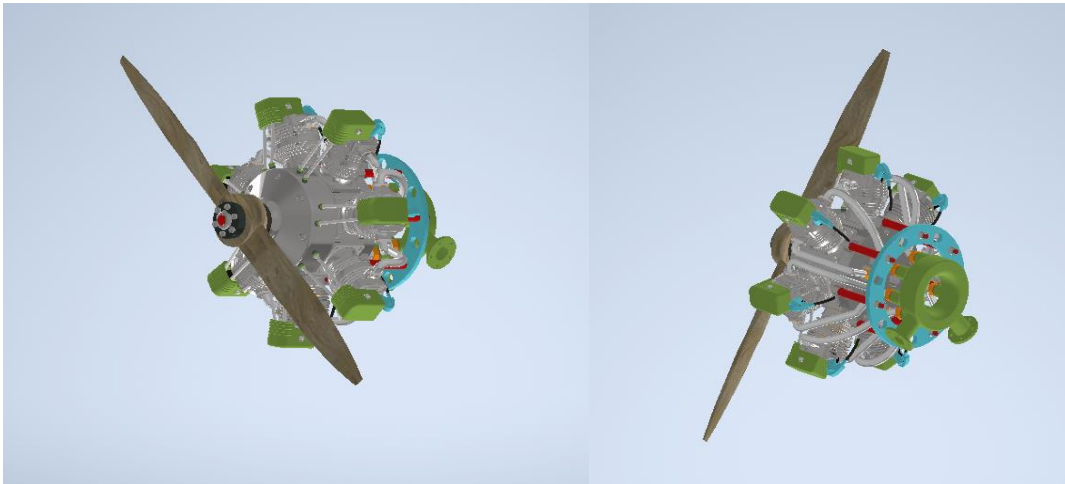
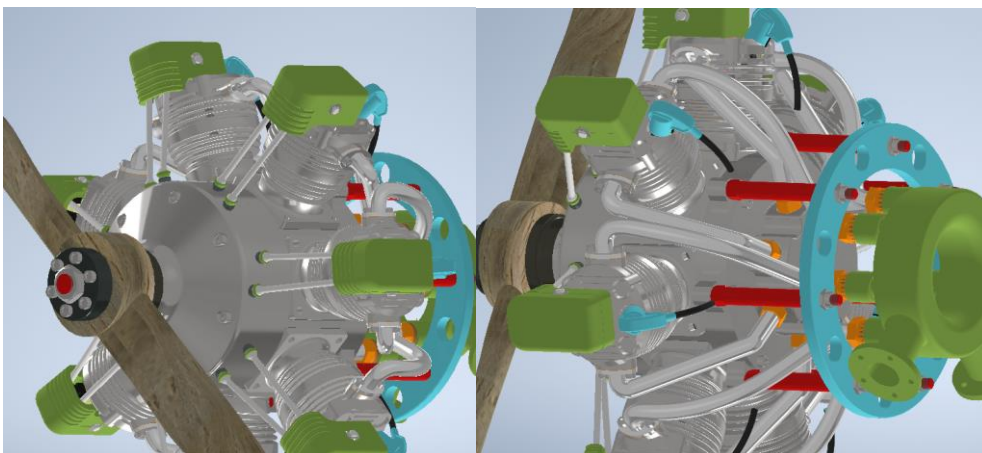


Figura 6-8. Ensamblajes del tubo de admisión y de escape, respectivamente

Tras este paso, solo falta ensamblar todos los conjuntos anteriores y añadir las partes pertenecientes al sistema de ventilación. Se llevará a cabo otro patrón de componentes circular para replicar los conductos de admisión y escape. Se ha modificado la apariencia de gran parte de las piezas aplicando colores vistosos que difieren de los originales para favorecer la visualización. Con esto, se da por finalizado el diseño del motor radial de 7 cilindros, obteniendo el siguiente resultado.



*Figura 6-9. Motor radial completo desde varias perspectivas*



*Figura 6-10. Vista motor radial completo con mayor detalle*

## 7 PARAMETRIZACIÓN

Este proceso consiste en establecer parámetros y vincularlos entre ellos de manera que, modificando algunos valores iniciales, se consiga modelar un conjunto distinto del original. Esto es interesante ya que según las características que se requieran puedes obtener diversos prototipos sin tener que diseñarlo de nuevo.

Dada la complejidad del conjunto, se ensamblará un modelo básico con el mecanismo principal del motor. Este estará formado por el bloque motor, cigüeñal, pistones, biela principal, bielas secundarias y sus respectivos pasadores. Además, se han tenido en cuenta las siguientes simplificaciones para facilitar el proceso.

-Se ha eliminado el cojinete que había ubicado entre el eje del cigüeñal y la biela maestra. Se reducirá el orificio donde iba el rodamiento haciéndolo coincidir con el eje del cigüeñal para que no quede espacio entre ambos elementos.

-Al haber eliminado la camisa del conjunto, se ha adaptado los agujeros del bloque motor al diámetro del pistón para impedir que haya fugas en la cámara de combustión.

-Se ha simplificado la geometría del pistón, del bloque motor y del cigüeñal para facilitar la parametrización del ensamblaje. Además, se ha modificado el ángulo del nervio de la biela principal.

Con lo comentado anteriormente, el modelo inicial quedaría de la siguiente forma:

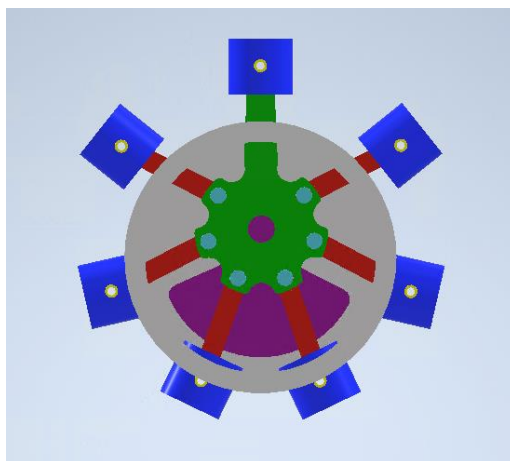


Figura 7-1. Modelo simplificado para la parametrización

Para realizar la parametrización, se utilizará el programa Microsoft Excel donde estarán definidos los variables que se pueden modificar con su respectivo valor. Al tener vinculado la tabla de valores con Inventor Autodesk, cada vez que se modifiquen estos valores, guardemos y actualicemos, el conjunto se dimensionará automáticamente.

El primer paso es evaluar qué parámetros deben escogerse. Sin lugar a duda, el diámetro del pistón debe ser uno de ellos. Al modificar el diámetro del pistón, se necesita actualizar el valor de los orificios del bloque motor por el que desliza.

De igual manera, surgen otros parámetros como la altura del pistón, el diámetro del eje, etc. Un cambio en estas variables desencadena la necesidad de adaptar otros para equilibrar el conjunto, y así sucesivamente hasta conseguir parametrizar el modelo.

En este caso, al diagnosticar al diámetro del pasador del émbolo como parámetro, se debe modificar el tamaño de la perforación del pistón donde se inserta, el agujero de la biela, ajustar el otro extremo de la biela secundaria para que no quede descompensada, su pasador, etc.

Finalmente, la tabla de parámetros obtenida tras aplicar el proceso anterior queda de la siguiente manera:

Tabla de parámetros	
DpistonZ	Distplano_trabajo
DejeZ	Dext1_biela2
DpasadorpistonZ	Dext2_biela2
LbielappalZ	Dpasadorbiela
AlturapistonZ	Dramo
Dvolante	Dext_biela1
Dext_cuerpomotor	Desc_eje
Dint_cuerpomotor	

Tabla 1. Parámetros del motor establecidos

De la tabla anterior, aquellas variables acabadas en "Z", son parámetros de entrada modificables para el usuario, el resto son variables internas de ajustes entre piezas que no tendría sentido que se pudiesen cambiar desde el exterior.

A continuación se va a generar dos prototipos diferentes del original. Se seleccionarán datos de entrada un tanto variados para poder apreciar las diferencias.

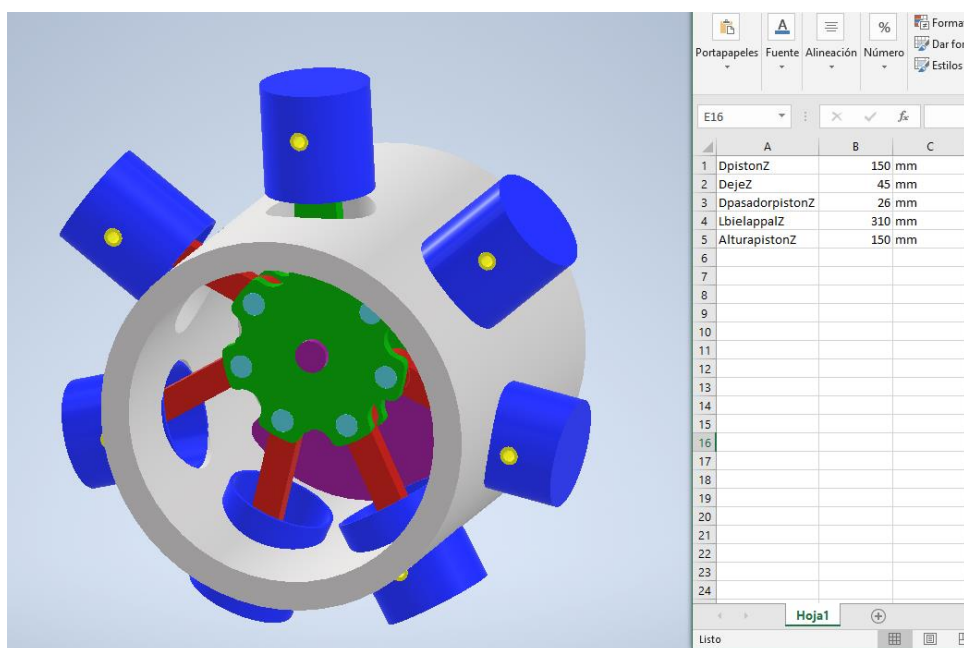


Figura 7-2. Generación del prototipo nº1

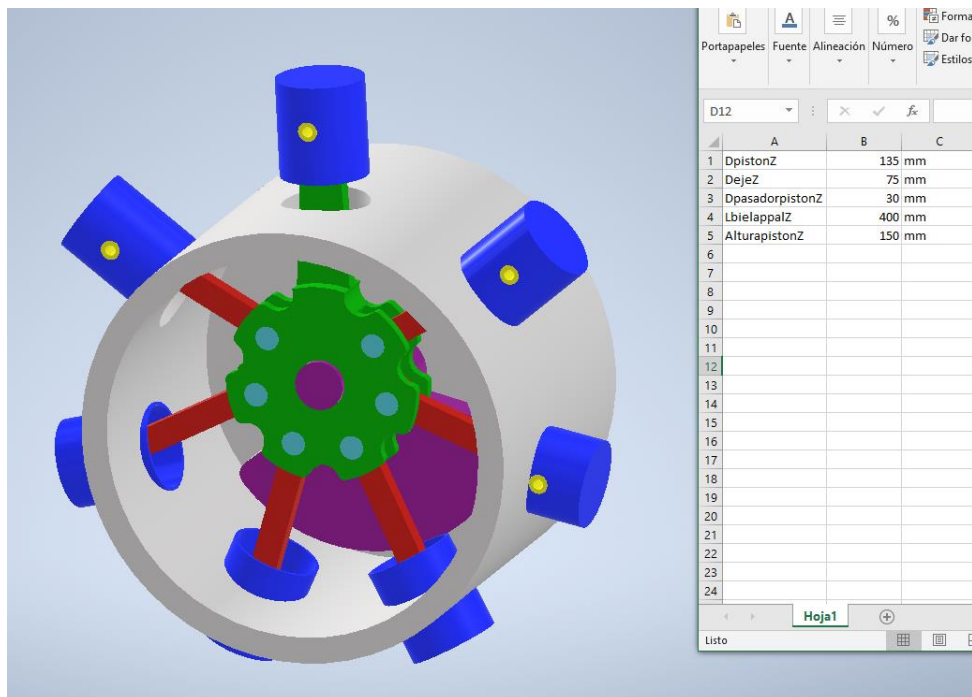


Figura 7-3. Generación del prototipo nº2

## 8 ANÁLISIS TENSIONAL POR ELEMENTOS FINITOS

Tras tener el diseño finalizado, se va a proceder a realizar un análisis estático del motor mediante elementos finitos. Para ello, se formará un subconjunto formado por los componentes que mayor estrés mecánico padecen durante el funcionamiento del motor: cigüeñal, biela primaria, bielas secundarias, pistones, camisa, culata, pasadores y el bloque motor.

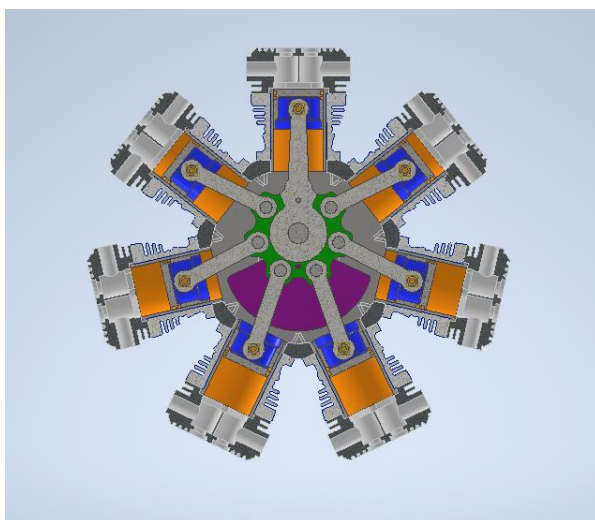


Figura 8-1. Vista media del modelo utilizado para el análisis

De igual manera que con el modelado, se hará uso del programa Autodesk Inventor. En primer lugar, se accede al apartado "Análisis de tensión" dentro de la categoría 'Entorno', en la barra principal de Inventor. Una vez allí, ya se está en disposición de empezar a configurar los parámetros.

Uno de los puntos más determinantes para el análisis es la correcta aplicación de las cargas. En este caso, se van aplicar presiones, concretamente, en aquellas superficies que configuran las paredes interiores de la cámara de combustión. Por lo tanto, al tratarse de un motor radial de 7 cilindros, se necesitará aplicar la carga a los 7 pistones.

Para obtener este valor, es necesario calcular la presión media efectiva del motor, es decir, el valor medio de las presiones instantáneas que ejercen los gases durante el desarrollo de un ciclo completo [9]. Teóricamente, representa la presión que deberían ejercer los gases en el interior del cilindro, sin tener en cuenta pérdidas mecánicas, para conseguir un trabajo igual al que se obtiene a la salida del cigüeñal. La fórmula con la que podemos obtenerla es la siguiente:

$$pme = \frac{\tau * M * \pi}{V * N}, \quad (8.1)$$

donde  $\tau$  es el número de revoluciones por ciclo, M el par motor, V la cilindrada total y N el régimen de giro.

A su vez, las características técnicas del motor para poder realizar los cálculos son [10]:

Tipología: motor radial de 7 cilindros refrigerado por aire

Diámetro: 127 mm

Carrera: 140 mm

Tren de válvulas: 2 válvulas por cilindro ubicadas en la parte superior de la culata.

Potencia de salida: 139 kW a 1.700 rpm de crucero / 160 kW a 1.900 rpm máx.

Potencia específica: 0,6 kW / kg

Para el análisis, se utilizará el dato de 160KW a 1900 rpm, al tratarse del caso más desfavorable. El par se calculará con el cociente entre la potencia y las revoluciones de giro para dicha potencia.

$$T = P / N \quad (8.2)$$

Sustituyendo valores en ambas ecuaciones, se obtienen 0,813MPa. Normalmente, en motores de gasolina atmosféricos se suelen obtener presiones medias efectivas de entre 0,8 y 0,11MPa [11]. Por lo tanto, el valor obtenido entra dentro los rangos habituales. Se ha redondeado al alza en el momento de aplicar las presiones, como se puede apreciar en la imagen inferior.



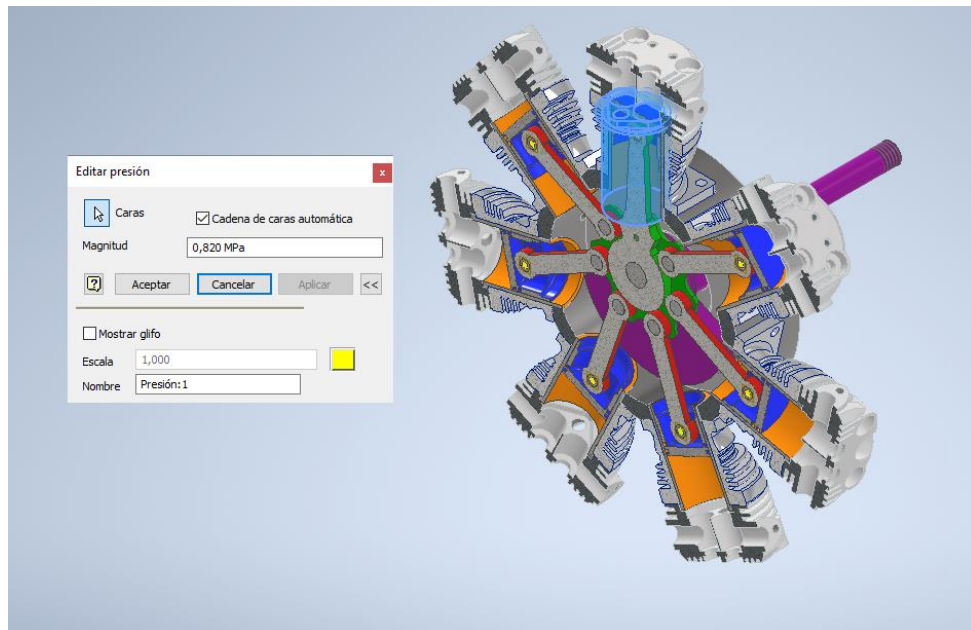


Figura 8-2. Ejemplo de la aplicación de la carga en uno de los cilindros

A continuación, se procede a configurar el mallado [12]. Dado que la carga computacional en este tipo de análisis es muy elevada no se afinará la malla, es decir, no se disminuirá el tamaño de los nodos. Se usarán valores de convergencia predeterminados para agilizar el cálculo. La configuración utilizada para el análisis es la siguiente.

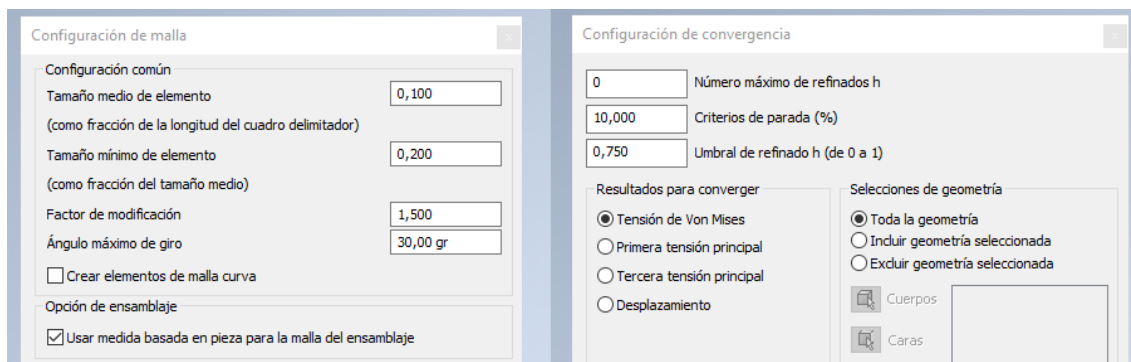


Figura 8-3. Configuración utilizada para la simulación

Tras ejecutar la simulación, se puede visualizar la distribución de las tensiones entre los diferentes componentes, obteniendo el mayor de los esfuerzos en las conexiones entre la biela principal y las bielas secundarias.

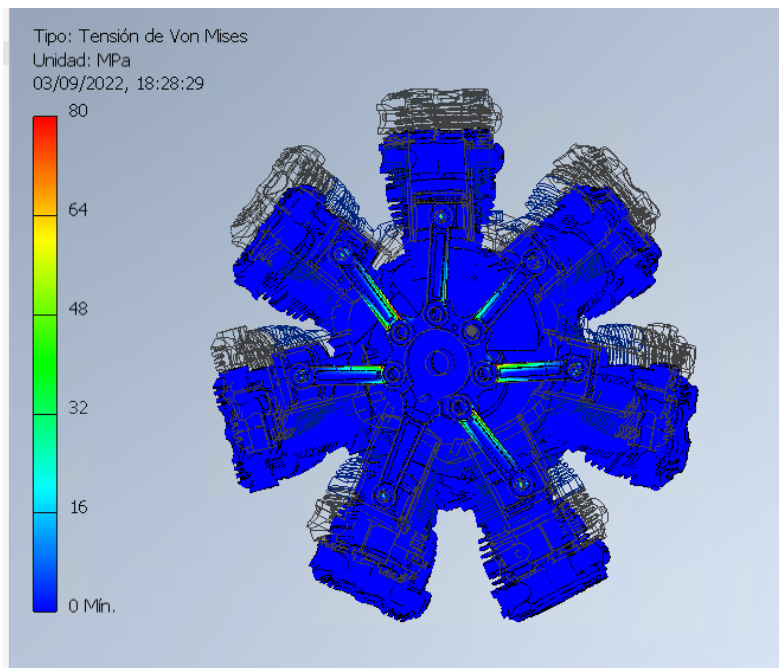


Figura 8-4. Distribución de tensiones en el modelo

Aislado las piezas por separado, se aprecia claramente que la pieza más crítica del mecanismo es la biela secundaria. Esto puede tener sentido ya que la biela maestra posee más material e inercia, al tener que asegurar múltiples conexiones. Las tensiones obtenidas individualmente en cada pieza son las siguientes.

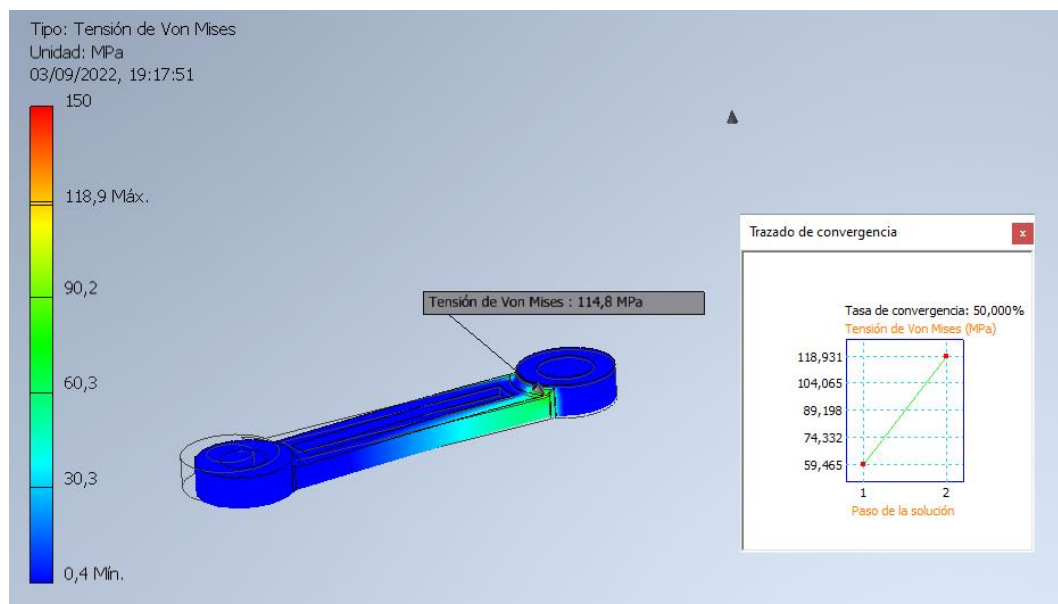


Figura 8-5. Distribución de tensiones obtenidas en la biela secundaria



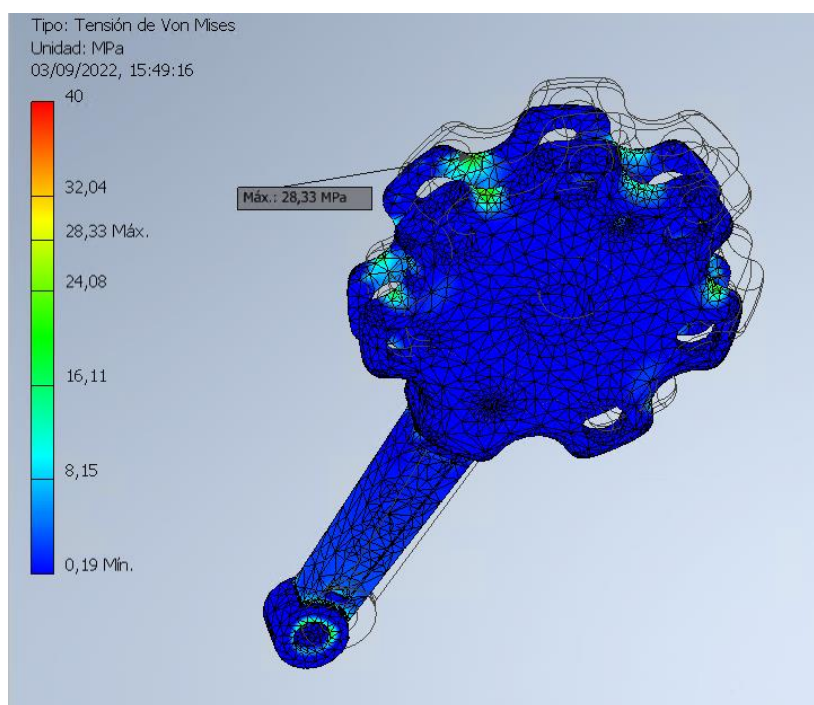


Figura 8-6. Distribución de tensiones obtenidas en la biela secundaria

Razonablemente, se observa que las zonas más afectadas son aquellas superficies susceptibles de actuar como concentradores de tensiones como es el caso de las uniones entre las superficies cilíndricas y el nervio de la biela.

Para evitar estos esfuerzos existen múltiples soluciones. La primera de ellas sería cambiar el material y utilizar uno de mayor resistencia. Otra opción igual de válida sería modificar la geometría de la pieza. Se podría valorar la posibilidad de aumentar diámetros, incluir/ incrementar chaflanados y redondeos, aumentar el grosor del nervio. Sin embargo, cabe recordar que un exceso de peso podría ser crítico para el motor y disminuir su rendimiento.

No obstante, para el caso que nos ocupa, la tensión máxima obtenida es de 118,9 MPa, la cual dista bastante de su límite elástico y de su resistencia a tracción del material utilizado, acero forjado. Para saber si este material tiene las suficientes propiedades mecánicas para no deformarse, se necesita calcular el coeficiente de seguridad. Este valor se calcula dividiendo el límite elástico del material entre la máxima tensión aplicada. En este caso, el resultado obtenido es de 2,1.

Aunque es un valor bastante aceptable ( $>1$ ) y asegura que no haya deformaciones en la pieza debidas a cargas estáticas, ya que podría fallar por fatiga. Se recomienda utilizar coeficientes de seguridad un poco mayores, alrededor de 2,5. Por lo tanto, se cambiará el material y se repetirá la simulación. Para este segundo intento, se empleará acero al carbono, un acero con mejores propiedades mecánicas que el anterior.

Editor de materiales: Acero, forjado

Identidad Apariencia **Físico**

► Información

► Térmico básico

▼ Mecánico

Comportamiento	Isótropo
Módulo de Young	210,000 GPa
Coefficiente de Poisson	0,30
Módulo cortante	136500,000 MPa
Densidad	7,850 g/cm <sup>3</sup>

▼ Resistencia

Límite de elasticidad	250,000 MPa
Resistencia máxima a tracción	300,000 MPa

Tratado térmicamente

Figura 8-7. Propiedades mecánicas del acero forjado empleado en la primera simulación

Editor de materiales: Acero, carbono

Identidad Apariencia **Físico**

► Información

► Térmico básico

▼ Mecánico

Comportamiento	Isótropo
Módulo de Young	200,000 GPa
Coefficiente de Poisson	0,29
Módulo cortante	79700,000 MPa
Densidad	7,850 g/cm <sup>3</sup>

▼ Resistencia

Límite de elasticidad	350,000 MPa
Resistencia máxima a tracción	420,000 MPa

Tratado térmicamente

Figura 8-8. Propiedades mecánicas del acero al carbono empleado en la segunda simulación

Esta vez, la máxima tensión obtenida es prácticamente igual que en el caso anterior, 118,7MPa, demostrando que aun habiendo modificado el material el resultado no varía en exceso. No obstante, al tener un límite elástico superior, se obtiene un coeficiente de seguridad de prácticamente 3.

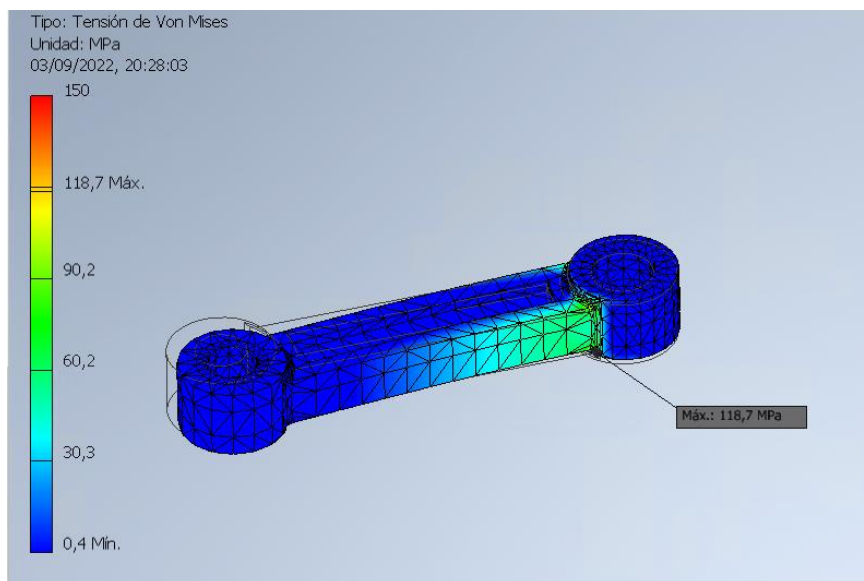


Figura 8-9. Distribución de tensiones obtenidas en la biela principal al modificar el material

Esta solución sera más confiable desde un punto de vista estructural. De todos modos, el acero al carbono es menos resistente a la corrosión, por lo que habra que analizar si podra ser utilizado para este caso. Una posible solución sera aplicarle algún baño térmico que recubra el material y lo proteja frente a la corrosión con el consecuente aumento del precio. En cada caso habra que estudiar las posibles alternativas de manera concreta para obtener la solución más óptima.

## 9 PRESUPUESTOS

Código	Ud.	Descripción	Cantidad	Precio	Importe
<b>1.</b>		<b>DESARROLLO DEL PROYETO</b>			
1.1.	-	<b>Organización del trabajo y búsqueda de documentación.</b>			
		Se incluye la búsqueda de información sobre motores de combustión interna alternativos en general y, de manera concreta, de motores radiales.			
	h	Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	18	20	360
	%	Costes directos complementarios	0,03	360	10,8
		<b>Coste total</b>			<b>370,80 </b>

1.2.	-	<b>Desarrollo del prototipo virtual</b>			
		Se incluye la modelización de todas las piezas y su posterior ensamblado.			
	h	Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	185	15	2775
	%	Costes directos complementarios	0,03	2775	83,25
	<b>Coste total</b>				2.858,25 €
1.3.	-	<b>Parametrización del motor</b>			
		Establecimiento de parámetros vinculados entre piezas para poder generar múltiples prototipos de diferentes dimensiones.			
	h	Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	25	15	375
	%	Costes directos complementarios	0,03	375	11,25
	<b>Coste total</b>				386,25 €
1.4.	-	<b>Simulación dinámica y análisis por Elementos Finitos</b>			
		Incluye el modelado y ensamblado de un prototipo simplificado para la simulación, el establecimiento de uniones entre las distintas piezas que componen el ensamblaje y el estudio tensional del mismo. Periodo de aprendizaje y aplicación en el trabajo.			
	h	Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	50	15	750
	%	Costes directos complementarios	0,03	750	22,5
	<b>Coste total</b>				772,50 €
1.5.	-	<b>Planimetría</b>			
		Generación de los planos de detalle de todos los componentes no normalizados del motor.			
	h	Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	52	15	780
	%	Costes directos complementarios	0,03	780	23,4
	<b>Coste total</b>				803,40 €
1.6.	-	<b>Elaboración de la memoria</b>			
		Redacción del documento y su consecuente revisión.			

	h	Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	40	15	600
	%	Costes directos complementarios	0,03	600	18
<b>Coste total</b>					<b>618,00 €</b>

Código	Ud.	Descripción	Cantidad	Precio	Importe
<b>2.</b>	<b>HERRAMIENTAS DE TRABAJO</b>				
2.1	-	<b>Amortización de licencias y dispositivos informáticos</b>			
		Incluye el gasto referente a las licencias de los programas informáticos utilizados y el equipo electrónico necesitado.			
	h	Ordenador fijo HP	0,06	500	30
	h	Monitor Samsung	0,01	120	1,2
	h	Licencia de Autodesk Inventor	240	0,33	79,2
	h	Licencia de Microsoft Office	0,007	40	0,28
	%	Costes directos complementarios	0,03	110,68	3,32
<b>Coste total</b>					<b>114,00 €</b>

## Resumen de los Presupuestos

<b>1.</b>	<b>DESARROLLO DEL PROYETO</b>			<b>5.809,20 €</b>
1.1	Organización del trabajo y búsqueda de documentación.			370,8
1.2	Desarrollo del prototipo virtual			2858,25
1.3	Parametrización del motor			386,25
1.4	Simulación dinámica y análisis por Elementos Finitos			772,5
1.5	Planimetría			803,4
1.6	Elaboración de la memoria			618
<b>2.</b>	<b>HERRAMIENTAS DE TRABAJO</b>			<b>114,00 €</b>
2.1	Amortización de licencias y dispositivos informáticos			114,00

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	<b>5.923,20 €</b>
13% Gastos Generales	770,02 €
6% Beneficio Industrial	355,39 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	<b>7.048,61 €</b>
21% IVA	1.480,21 €
PRESUPUESTO TOTAL (BASE DE LICITACIÓN)	<b>8.528,82 €</b>

El presupuesto asciende a la cantidad de:

**OCHO MIL QUINIENTOS VEINTI OCHO CON OCHENTA Y DOS CÉNTIMOS**

## 10 CONCLUSIONES

El propósito principal de este proyecto consistía en la creación y desarrollo de un producto de cierta complejidad que supusiera todo un reto para el autor. Para ello, se ha utilizado Autodesk Inventor en todo momento, desde el modelado de más de 50 piezas hasta el estudio FEM de sus componentes más críticos. La existencia de este tipo de programas permite a las empresas desarrollar proyectos de esta índole, disminuyendo el coste de la investigación al no tener que fabricar tantos prototipos físicos. Además, permite detectar posibles errores antes de su fabricación y así poder anticiparse a los acontecimientos.

Por otro lado, se ha conseguido aplicar algunas de las técnicas estudiadas durante el grado y también se han adquirido nuevos conocimientos. Cabe destacar en especial, las lecciones aprendidas en la asignatura de Ingeniería Gráfica donde se ha aprendido a utilizar el software.

Además, también han sido de gran utilidad conceptos vistos en Máquinas Térmicas y Resistencia y Elasticidad de Materiales, este último en especial para los apartados finales donde se realizaba el análisis tensional.

En conclusión, se puede afirmar que se han cumplido los objetivos establecidos al inicio del trabajo de forma exitosa.

## 11 LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 2.

<i>Figura 2-1. Parámetros fundamentales del pistón. (Fuente: “www.pruebaderuta.com”)</i>	8
<i>Figura 2-2. Representación del ciclo de 2 tiempos. (Fuente: “www.autonocion.com”)...</i>	9
<i>Figura 2-3. Representación ciclo de 4 tiempos. (Fuente: “ www.pontgrup.com”) .....</i>	10
<i>Figura 2-4. Tipologías de motores según la disposición de los cilindros. (Fuente:” www.greatbustardsflight.blogspot.com”) .....</i>	11
<i>Figura 2-5. Posición biela principal y bielas secundarias. (Fuente: “www.actualidadmotor.com”) .....</i>	12
<i>Figura 2-6. Orden encendido motor radial 7 cilindros de 4T. (Fuente: “www.alamy.es”) .....</i>	13
<i>Figura 2-7. Motor radial Anzani de 6 cilindros. (Fuente: “https://modelengineeringwebsite.com”) .....</i>	13
<i>Figura 2-8. Motor rotativo del siglo XX, antecesor al motor radial. (Fuente: “www.hisour.com”) .....</i>	15
<i>Figura 2-9. Wasp Major XR-4360-4. Motor multiestrella 28 cilindros dispuesto en 4 bancos. (Fuente: “https://airandspace.si.edu”) .....</i>	16

### Capítulo 4.

<i>Figura 4-1. Avioneta del tipo Fokker CVII-W. (Fuente: “www.the-blueprints.com”).....</i>	18
<i>Figura 4-2. Aceros aleados más comunes en la manufacturación de cigüeñales. (Fuente: “www.uaeh.edu.mx”).....</i>	20

### Capítulo 5.

<i>Figura 5-1. Extrusión inicial para el modelado de la biela principal .....</i>	22
<i>Figura 5-2. Vaciado central de la biela principal.....</i>	22
<i>Figura 5-3. Diseño final de la biela principal.....</i>	23
<i>Figura 5-4. Extrusión cuerpo central de la biela secundaria .....</i>	23
<i>Figura 5-5. Diseño final de la biela secundaria.....</i>	24
<i>Figura 5-6. Revolución del eje del cigüeñal.....</i>	25
<i>Figura 5-7. Diseño final del cigüeñal del motor .....</i>	25
<i>Figura 5-8. Consecución de extrusiones para modelar la estructura central del bloque motor .....</i>	26
<i>Figura 5-9. Aplicación de la operación Patrón circular para replicar partes dispuestas de manera radial.....</i>	26
<i>Figura 5-10. Diseño final del bloque motor desde distintos ángulos.....</i>	27
<i>Figura 5-11. Diseño de la tapa frontal del bloque motor.....</i>	27
<i>Figura 5-12. Diseño de la tapa trasera del bloque motor.....</i>	28
<i>Figura 5-12. Diseño completo del bloque motor mediante Autodesk Inventor.....</i>	28

<i>Figura 5-13. Revolución inicial del modelado del émbolo.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 5-14. Diseño final del pistón.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 5-15. Revolución aleteada del cuerpo central del cilindro .....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 5-16. Revolución de la camisa mediante Autodesk Inventor .....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 5-17. Revolución con aletas de la culata del motor .....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 5-18. Revolución con aletas de la culata del motor .....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 5-19. Revolución con aletas de la culata del motor .....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 5-20. Diseño final del disco de leva delantero.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 5-21. Revolución del terminal de la bujía .....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 5-22. Revolución del terminal de la bujía .....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 5-23. Diseño final de la bujía.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 5-24. Diseño final del encapsulado de la bujía.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 5-25. Operación Patrón circular para el modelado de las entradas de los gases de escape.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 5-26. Resultado final del diseño del colector de los gases de escape.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 5-27. Fase inicial del diseño de la hélice.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 5-28. Aplicación de la operación Solevación para generar la pala de la hélice.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 5-29. Diseño final de la hélice del aeroplano.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 5-30. Piezas obtenidas directamente del centro de contenido de Autodesk Inventor.....</i>	<i>39</i>

## **Capítulo 6.**

<i>Figura 6-1. Subconjunto formado por la biela principal, cigüeñal, pasadores y elementos accesorios .....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 6-2. Subconjunto que engloba la parte del sistema de inyección que va en el interior de la culata .....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 6-3. Subconjunto formado por el pistón y sus elementos dependientes.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 6-4. Subconjunto formado por cilindro, camisa, sistema admisión/escape y sistema de encendido.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 6-5. Subconjunto formado por cilindro, camisa, sistema admisión/escape y sistema de encendido.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 6-6. “Ensam parte delantera motor” desde vista frontal.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 6-7. “Ensam parte delantera motor” desde vista trasera .....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 6-8. Ensamblajes del tubo de admisión y de escape, respectivamente.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 6-9. Motor radial completo desde varias perspectivas.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 6-10. Vista motor radial completo con mayor detalle.....</i>	<i>44</i>



## Capítulo 7.

<i>Figura 7-1. Modelo simplificado para la parametrización .....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 1. Parámetros del motor establecidos .....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 7-2. Generación del prototipo nº1 .....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 7-3. Generación del prototipo nº2 .....</i>	<i>47</i>

## Capítulo 8.

<i>Figura 8-1. Vista media del modelo utilizado para el análisis .....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 8-2. Ejemplo de la aplicación de la carga en uno de los cilindros.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 8-3. Configuración utilizada para la simulación .....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 8-4. Distribución de tensiones en el modelo.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 8-5. Distribución de tensiones obtenidas en la biela secundaria .....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 8-6. Distribución de tensiones obtenidas en la biela secundaria .....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 8-7. Propiedades mecánicas del acero forjado empleado en la primera simulación.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 8-8. Propiedades mecánicas del acero al carbono empleado en la segunda simulación.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 8-9. Distribución de tensiones obtenidas en la biela principal al modificar el material.....</i>	<i>53</i>

## 12 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Payri F. y otros. (2012). Motores de Combustión Interna Altrnativos. Valencia. Ed UPV
- [2] Espacio coches, (2022). *Motor de explosión de 4 tiempos*. Consultada el 12/08/2022, en <https://espaciocoches.com/motor-de-explosion-de-4-tiempos/>
- [3] Apuntes de Máquinas Térmicas.
- [4] ComoFunciona, (2015). Motor radial. Partes y funcionamiento. Consultada el 15/08/2022, en <https://como-funciona.co/un-motor-radial-o-de-estrella/>
- [5] Blog ESSS, (2016). *Método de los elementos finitos*. Consultada el 13/08/2022, en <https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/>
- [6] Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, (2019). *Consideraciones en el diseño de pistones para motores a cuatro tiempos*. Consultada el 12/08/2022, en <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/sahagun/n3/e1.html#r1>
- [7] Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, (2019). *Análisis de aceros avanzados para la fabricación de cigüeñales en motores turbo*. Consultada el 15/08/2022, en <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/sahagun/n7/a1.html#nota2>
- [8] Portal educativo, (2017). *Partes del pistón*. Consultada el 12/08/2022, en <https://www.partesdel.com/piston.html#:~:text=Partes%20del%20Pist%C3%B3n%20%20Cabeza.%20Esta%20es%20la,pist%C3%B3n%20en%20una%20ranura%20del%20cuerpo%20de%20este.>
- [9] Despegamos, (2014). *Presión media efectiva*. Consultada el 027/08/2022, en <http://www.despegamos.es/presion-media-efectiva/>
- [10] Lumsden, Alec. (2003). Motores de pistón británicos y sus aviones. Marlborough, Wiltshire: Airlife Publishing.
- [11] Thermal Egeineering, (2019). *Qué es la presión media efectiva*. Consultada el 01/09/2022, en <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-presion-efectiva-media-mep-ciclo-de-otto-definicion/>
- [12] Younis W. (2012). Up and running with Autodesk Inventor Simulation. Barcelona. Marcombo

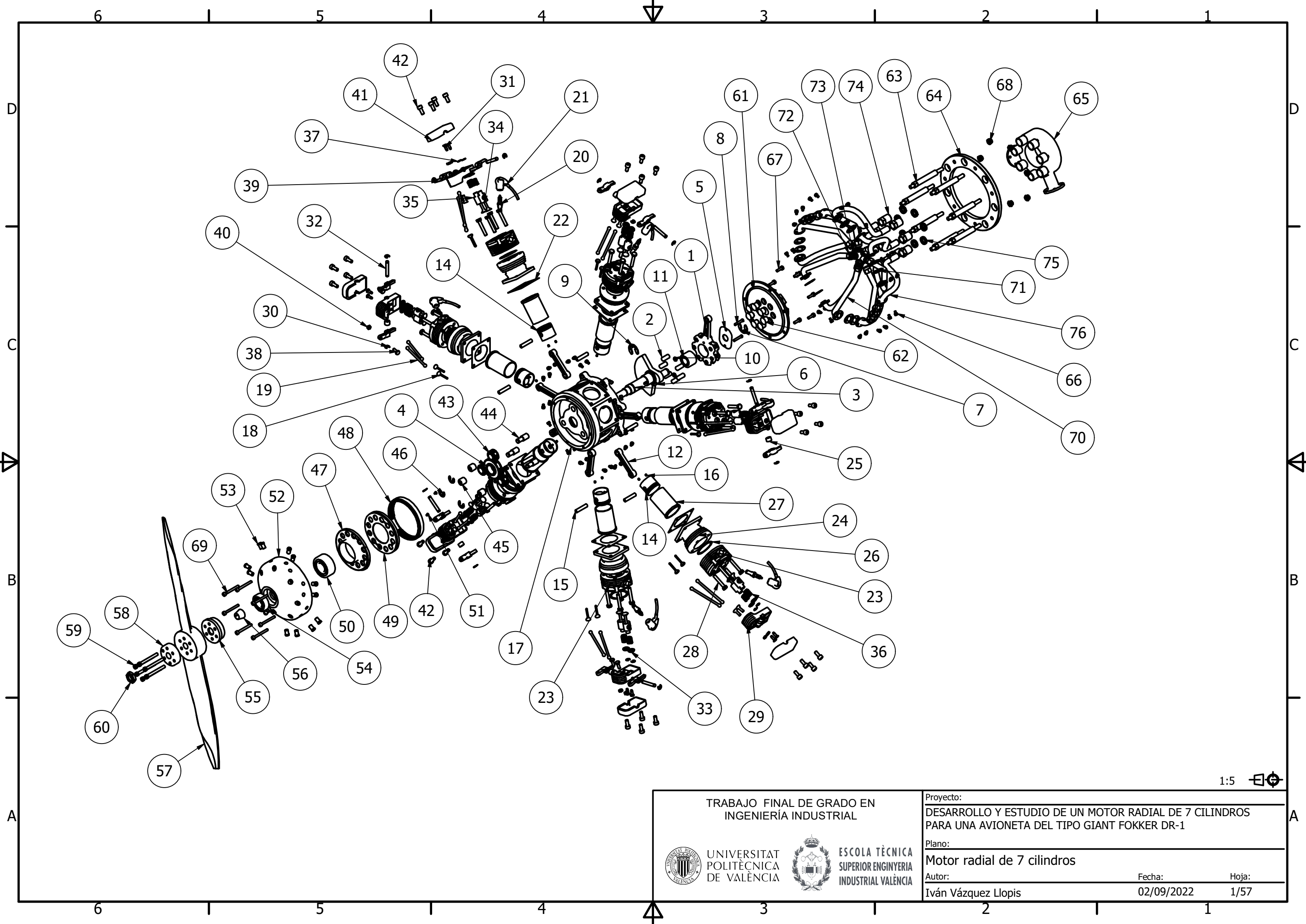
# ANEXOS

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR  
RADIAL DE 7 CILINDROS PARA UNA  
AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

## ÍNDICE DE PLANOS

1. Motor radial de 7 cilindros
2. Motor radial de 7 cilindros
3. Motor radial de 7 cilindros
4. Motor radial de 7 cilindros
5. Biela principal
6. Pasador biela principal
7. Cigüeñal
8. Rueda dentada central
9. Placa de fijación
10. Lengüeta
11. Biela secundaria
12. Émbolo
13. Anillo estanqueidad
14. Pasador pistón
15. Bloque motor
16. Vástago apoyo
17. Varilla sistema levas
18. Bujía
19. Conector bujía
20. Junta base cilindro
21. Culata
22. Cilindro
23. Separador balancines
24. Junta superior cilindro
25. Camisa
26. Soporte balancines
27. Pasador balancines
28. retenedor resorte

29. Válvula
30. Cubierta válvula
31. Resorte
32. Soporte varilla sistema levas
33. Brazo oscilante
34. Cubierta balancines
35. Rueda planetaria
36. Eje engranaje planetario
37. Disco de leva delantero
38. Rueda dentada hueca
39. Disco de leva trasero
40. Tapa frontal bloque motor
41. Cojinete
42. Soporte de disco
43. Cono
44. Hélice
45. Nariz
46. Carcasa de aspiración
47. Vaso guía
48. Separador
49. Anillo de montaje
50. Colector gases de escape
51. Tubo de admisión
52. Junta de brida
53. Unión tubo de admisión
54. Anillo tubo de admisión
55. Tuerca tubo de escape
56. Tope de acero
57. Tubo de escape



1:5

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:  
DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:  
Motor radial de 7 cilindros

Autor: Iván Vázquez Llopis      Fecha: 02/09/2022      Hoja: 1/57

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	Nº DE PIEZA	CTDAD	DESCRIPCIÓN
30	DIN 6799 - 3,2	14	Placa de sujeción para ejes
29	Soporte balancines	7	
28	ISO 4014 - M4 x 25	28	Perno de cabeza-hex
27	Camisa	7	
26	Junta superior cilindro	7	
25	Separador balancines	7	
24	Cilindro	7	
23	Culata	7	
22	Junta base cilindro	7	
21	Conector de la bujía	7	
20	Bujía	7	
19	Varilla sistema levas	14	
18	Vástago de apoyo	14	
17	Bloque motor	1	
16	ISO 7436 - M27x15	14	Tornillo de cabeza perdida ranurado - Extremo con cono embutido
15	Pasador pistón	7	
14	Anillo de estanqueidad	14	
13	Émbolo	7	
12	Biela secundaria	6	
11	DIN 617 SKF - SKF NA 4900.2RS	1	Rodamientos de agujas, sellados, con anilla interior SKF
10	ISO 4036 - M14	2	Tuerca hexagonal
9	DIN 6799 - 53	1	Placa de sujeción para ejes
8	DIN 920 - M14 x 85	2	Tornillos de cabeza con cara ranurada
7	DIN 6799 - 45	1	Placa de sujeción para ejes
6	Lengüeta	1	
5	Placa de fijación	1	
4	Rueda dentada central	1	
3	Cigüeñal	1	
2	Pasador biela principal	6	
1	Biela principal	1	

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	Nº DE PIEZA	CTDAD	DESCRIPCIÓN
46	DIN 6799 - 30	3	Placa de sujeción para ejes
45	DIN 618 - HK0609 - 6 x 10 x 9	3	Rodamiento rodillo aguja abierto
44	Eje engranaje planetario	3	
43	Rueda planetaria	3	
42	ISO 4762 - M27 x 25	28	Tornillo de cabeza cilíndrica con hueco hexagonal
41	Cubierta balancines	7	
40	DIN EN 24 036 - M14	14	Tuercas hexagonales estrechas. Productos de clase B (sin chaflán)
39	Brazo oscilante	14	
38	Soporte varilla sistema levas	14	
37	DIN 6799 - 17	14	Placa de sujeción para ejes
36	Resorte	14	
35	Cubierta válvula	14	
34	Válvula	14	
33	Retenedor resorte válvula	14	
32	Pasador balancines	7	
31	ISO 1482 - ST2,9 x 9,5 - F	14	Tornillo de rosca (Chapa)

1:5

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Motor radial de 7 cilindros

Autor:

Iván Vázquez Llopis

Fecha:

02/02/2022

Hoja:

2/57

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	Nº DE PIEZA	CTDAD	DESCRIPCIÓN
60	ISO 4035 - M55	1	Tuerca hexagonal. Productos de clases A y B
59	CNS 4557 - M22x115	6	Tornillo de cabeza cilíndrica con hueco hexagonal superficial y ranura de guía para llave macho
58	Nariz	1	
57	Hélice	1	
56	Cono	1	
55	Soporte de disco	1	
54	DIN 625 T1 - 6001 - 12 x 28 x 8	1	Rodamiento de bolas, acanalado profundo
53	Cojinete	14	
52	Tapa frontal bloque motor	1	
51	ISO 7046-1 - M2 x 3 - 4.8 - Z	3	Tornillo de cabeza plana avellanada
50	DIN 625 T3 - 4202 - 15 x 35 x 14	1	Rodamiento de bolas, acanalado profundo
49	Disco de leva trasero	1	
48	Rueda dentada hueca	1	
47	Disco de leva delantero	1	

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	Nº DE PIEZA	CTDAD	DESCRIPCIÓN
76	Tubo de escape	7	
75	Tope de acero	7	
74	Tuerca tubo de escape	7	
73	Anillo tubo de admisión	7	
72	Unión tubo de admisión	7	
71	Junta de brida	14	
70	Tubo de admisión	7	
69	ISO 4762 - M18x180	7	Tornillo de cabeza cilíndrica con hueco hexagonal
68	ISO 10511 - M27	7	Tuerca hexagonal
67	ISO 4762 - M18x70	7	Tornillo de cabeza cilíndrica con hueco hexagonal
66	ISO 4762 - M16x60	56	Tornillo de cabeza cilíndrica con hueco hexagonal
65	Colector gases de escape	1	
64	Anillo de montaje	1	
63	Separador	7	
62	Vaso guía	7	
61	Carcasa de aspiración	1	

1:5

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Motor radial de 7 cilindros

Autor:

Iván Vázquez Llopis

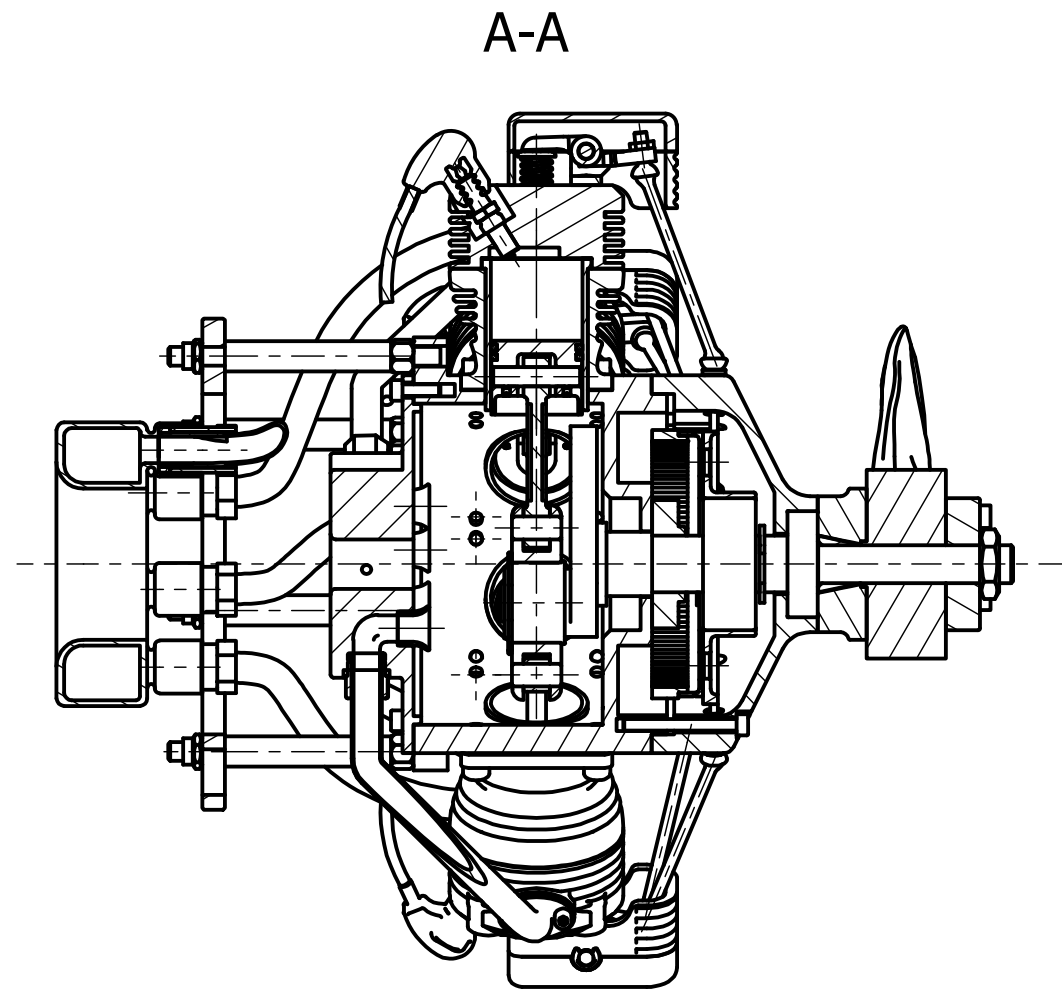
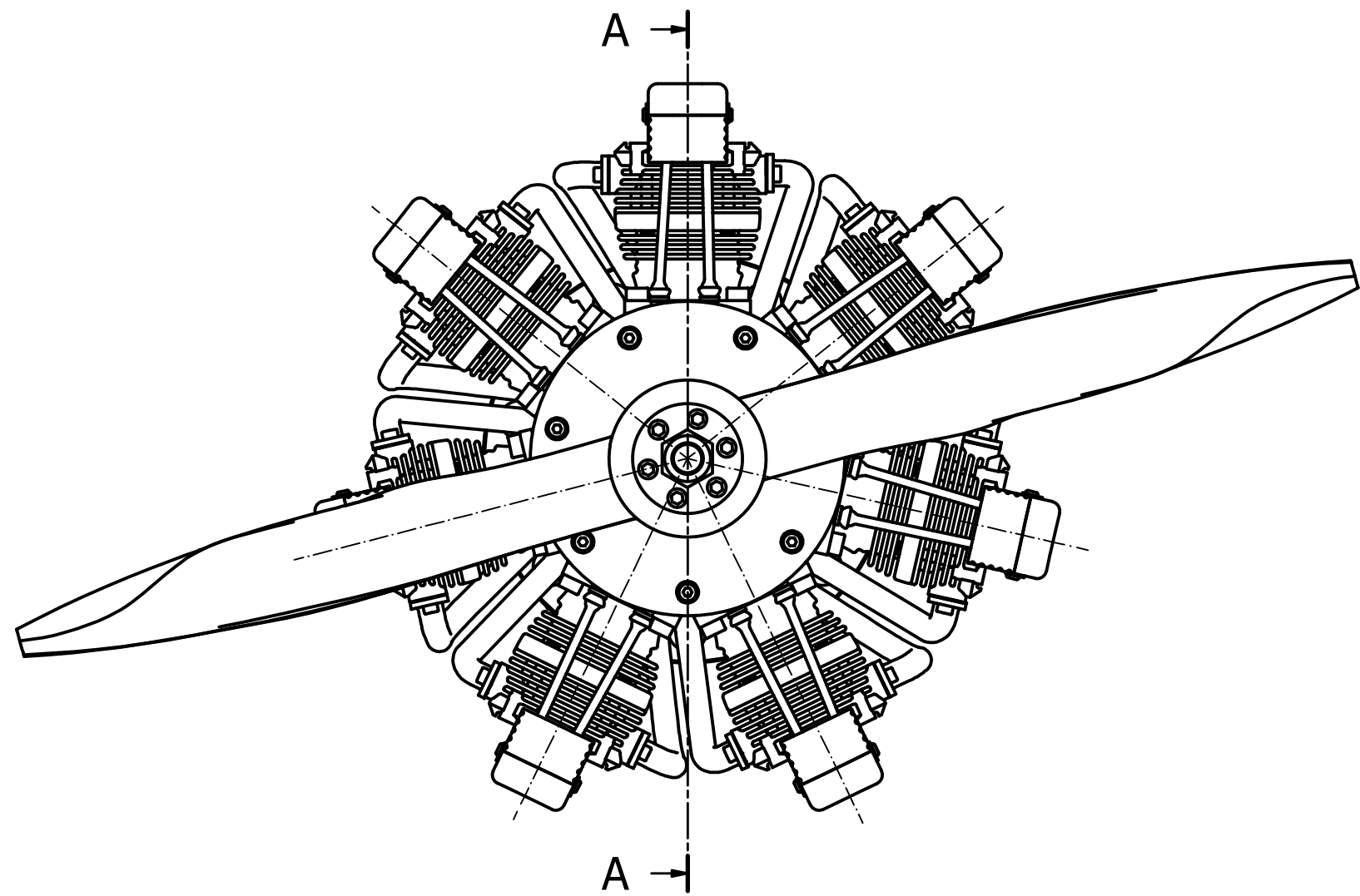
Fecha:

02/02/2022

Hoja:

3/57





1:5

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Motor radial de 7 cilindros

Autor:

Iván Vázquez Llopis

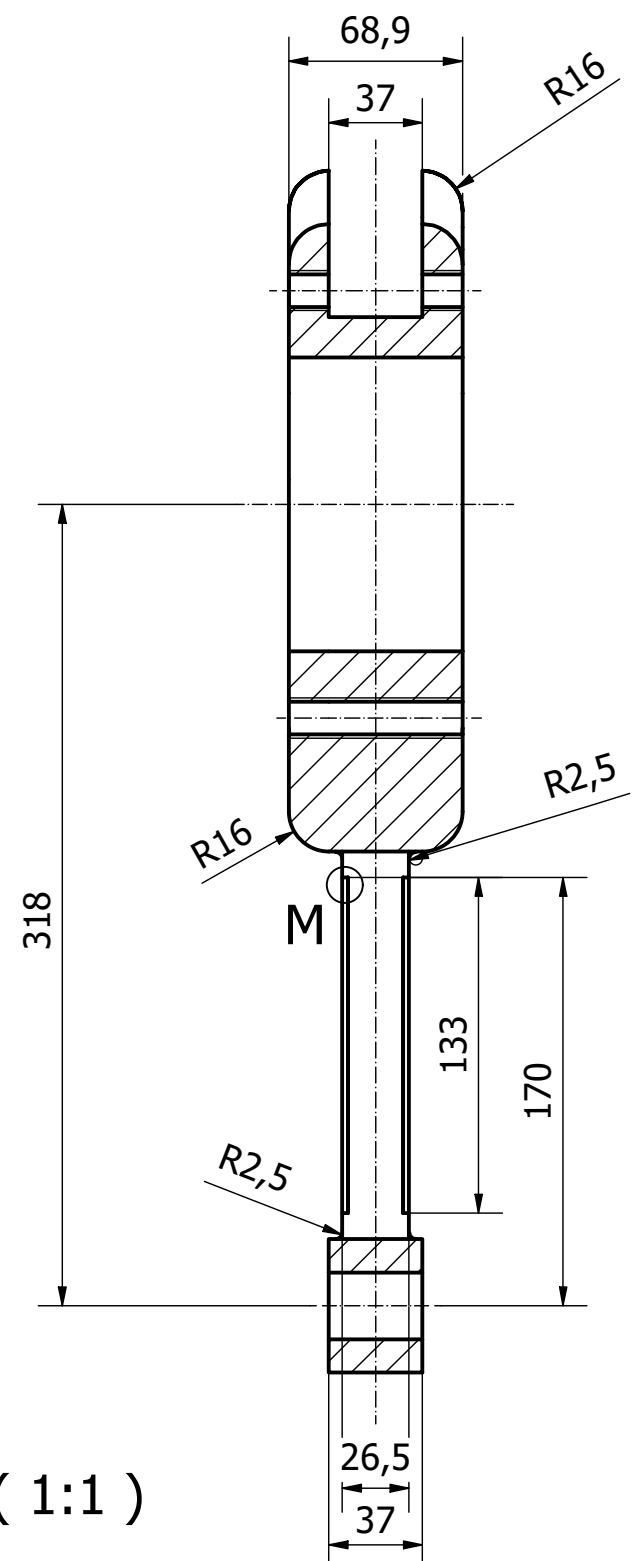
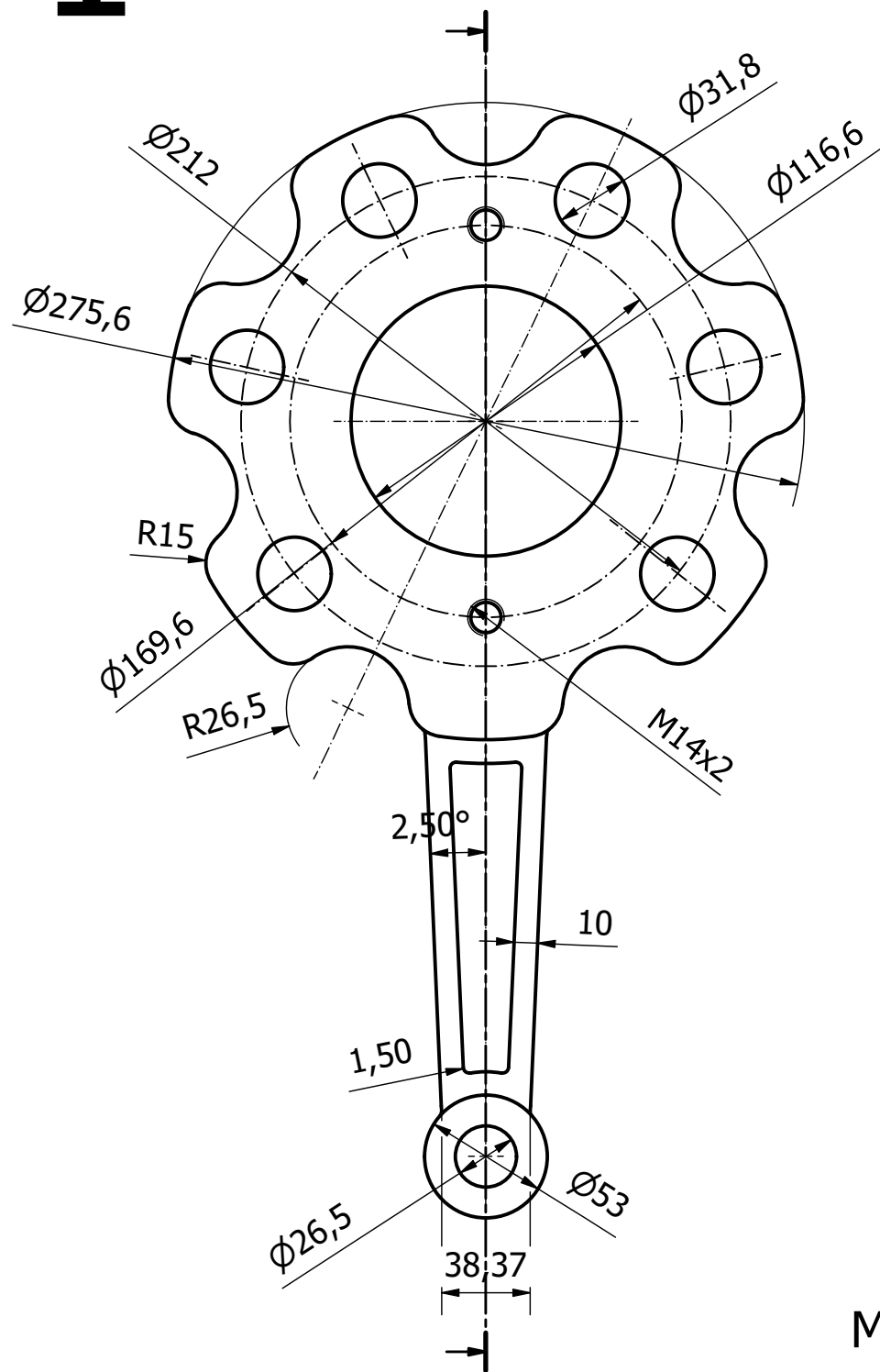
Fecha:

02/09/2022

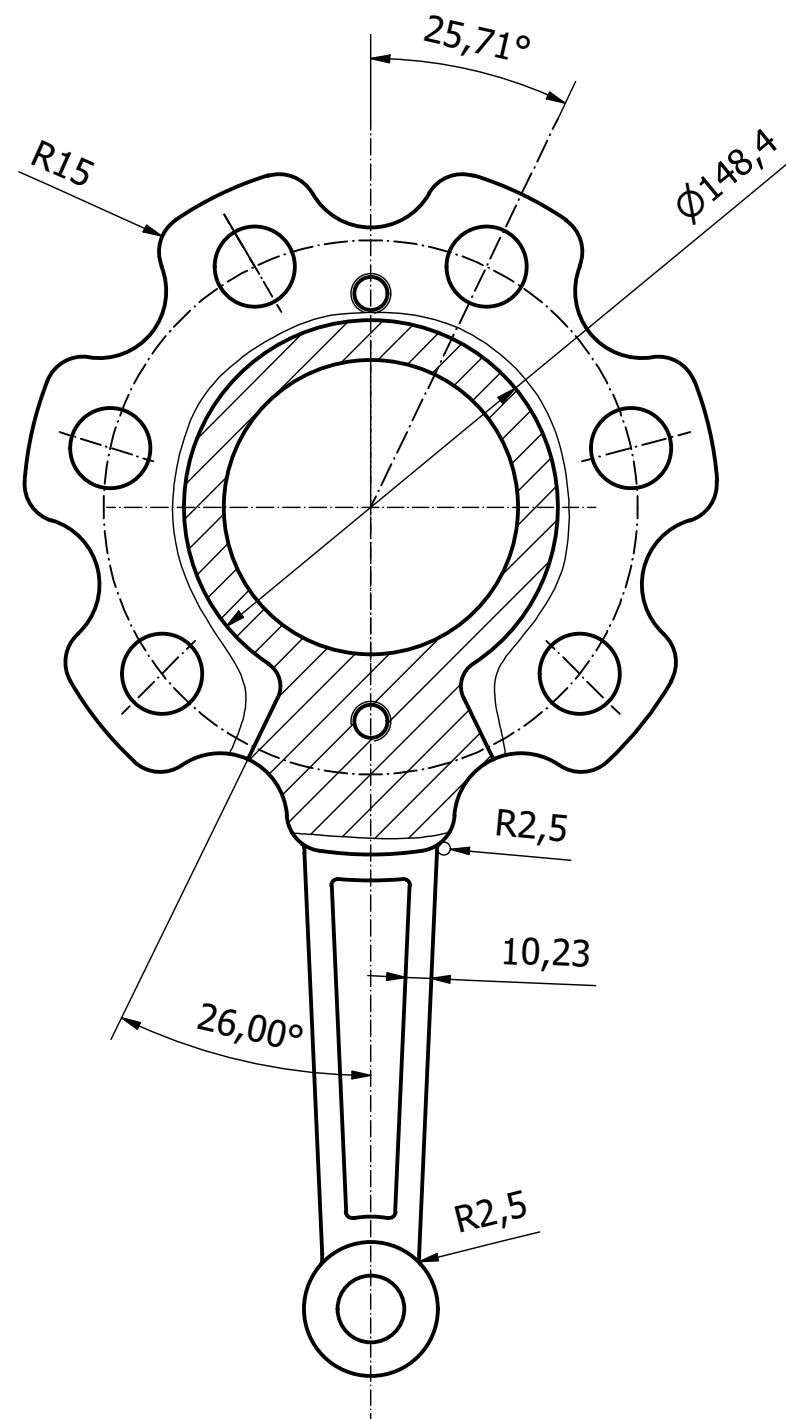
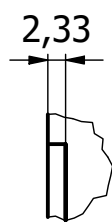
Hoja:

4/57

# 1



M ( 1:1 )



1:3

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Biela principal

Autor:

Iván Vázquez Llopis

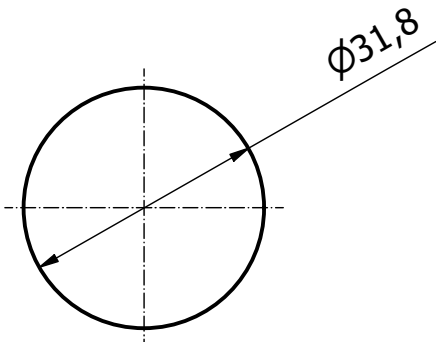
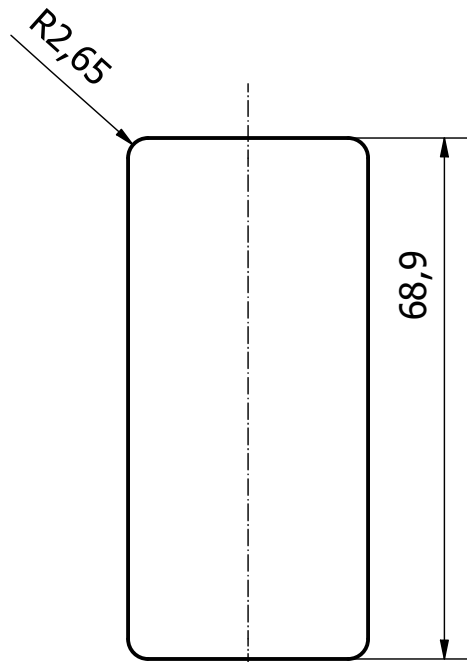
Fecha:

21/08/2022

Hoja:

5/57

2



1:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Pasador biela principal

Autor:

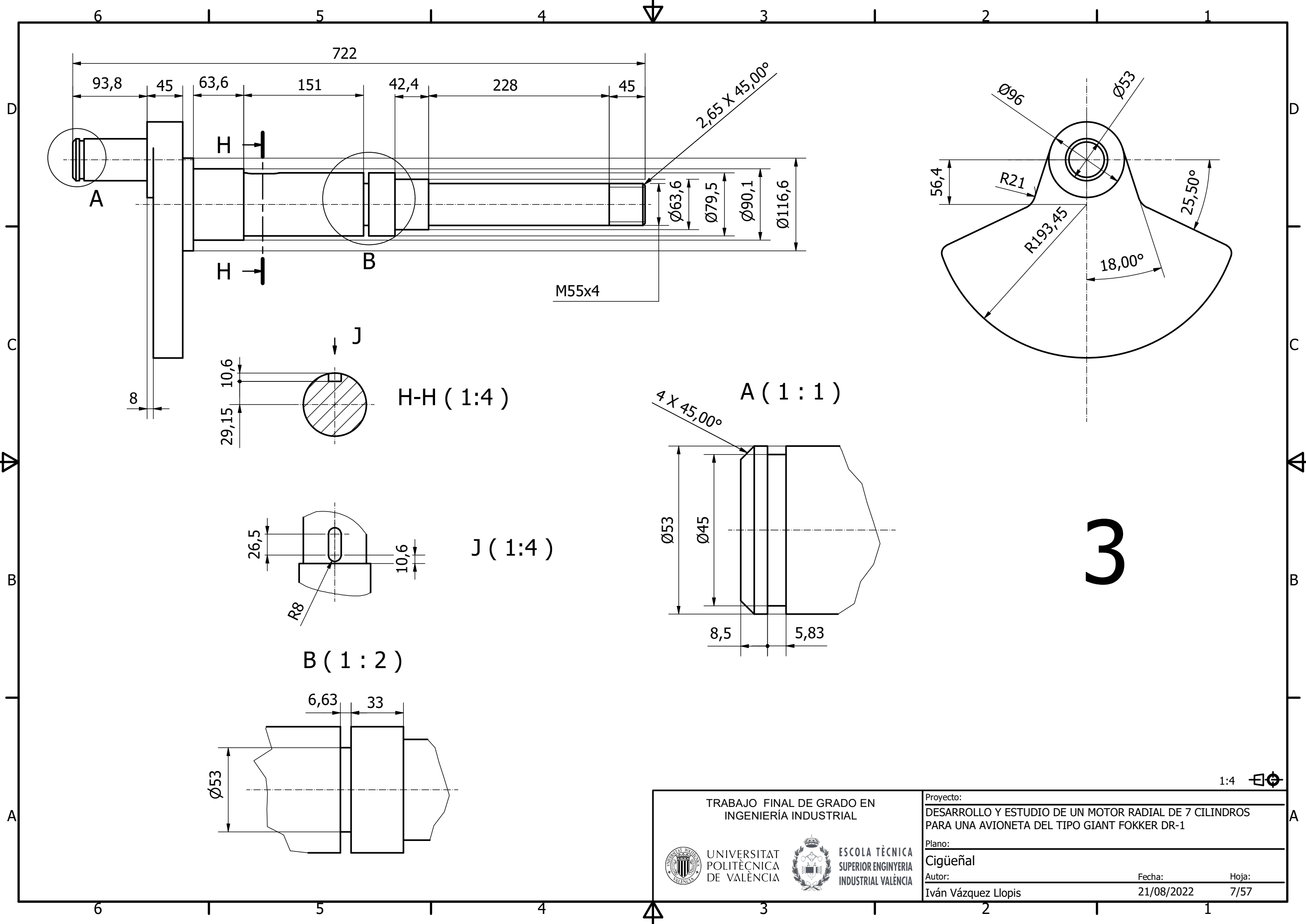
Iván Vázquez Llopis



Fecha:

21/08/2022

Hoja:

6/57



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL		Proyecto: DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1	
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR ENGINYERIA INDUSTRIAL VALÈNCIA	
Autor: Iván Vázquez Llopis		Fecha: 21/08/2022	Hoja: 7/57

# 4

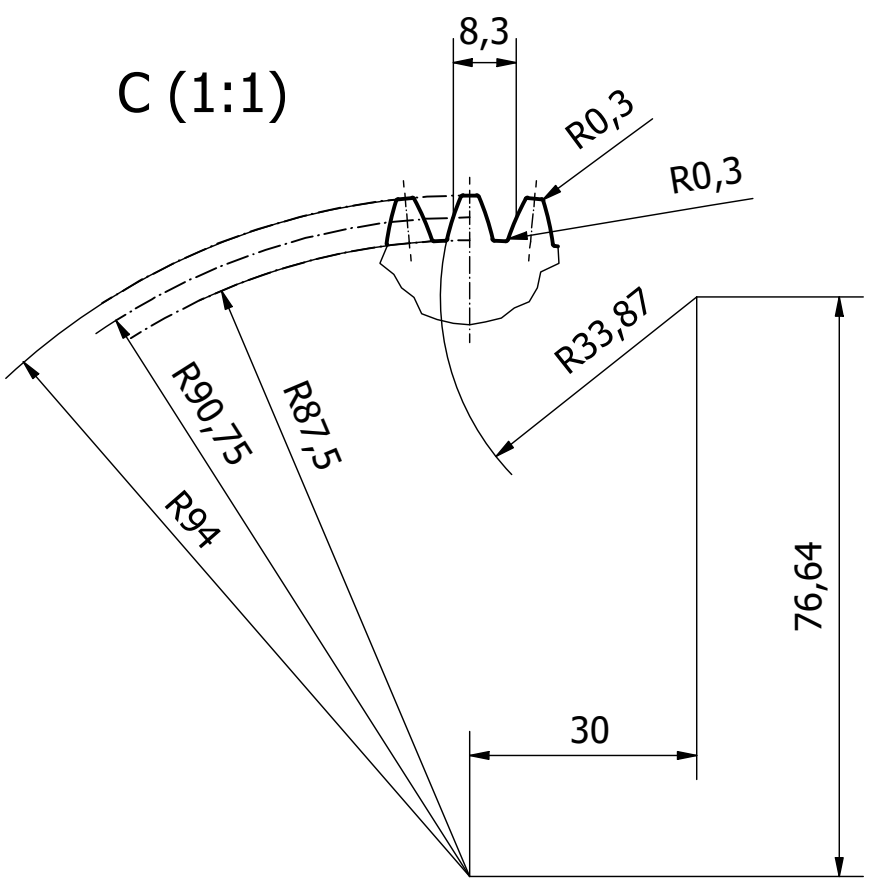
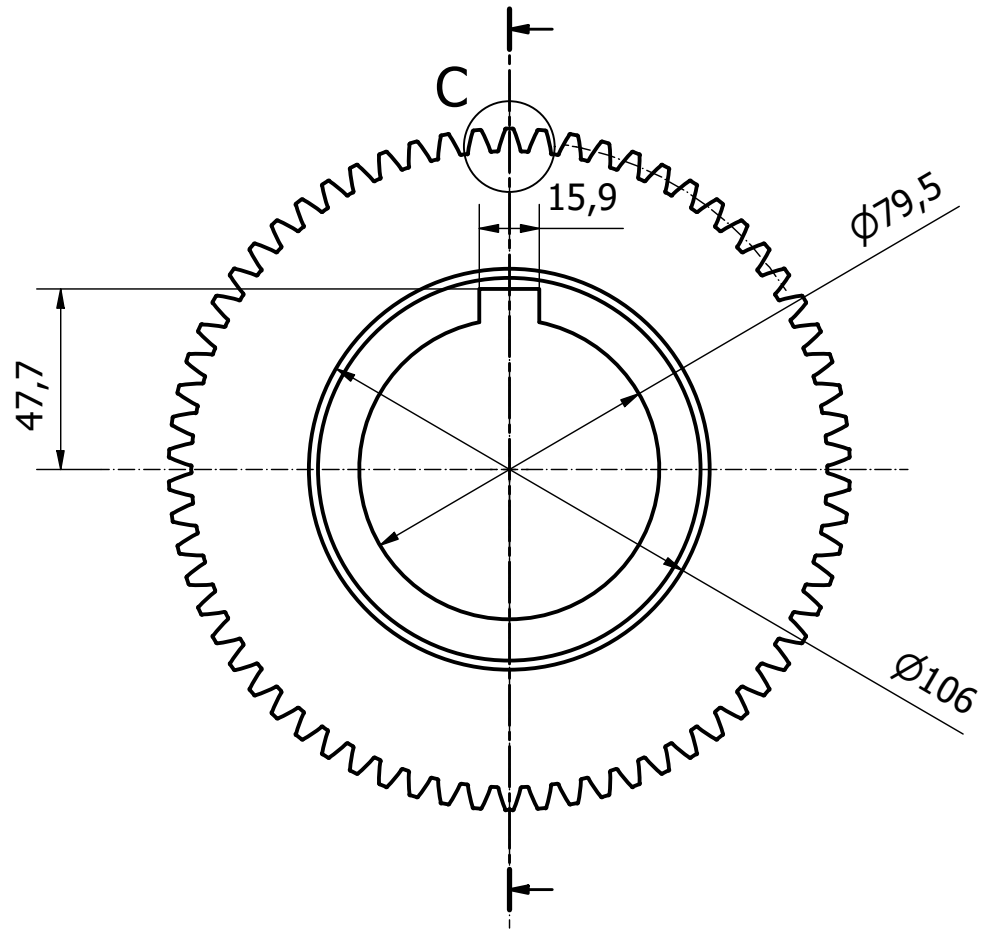
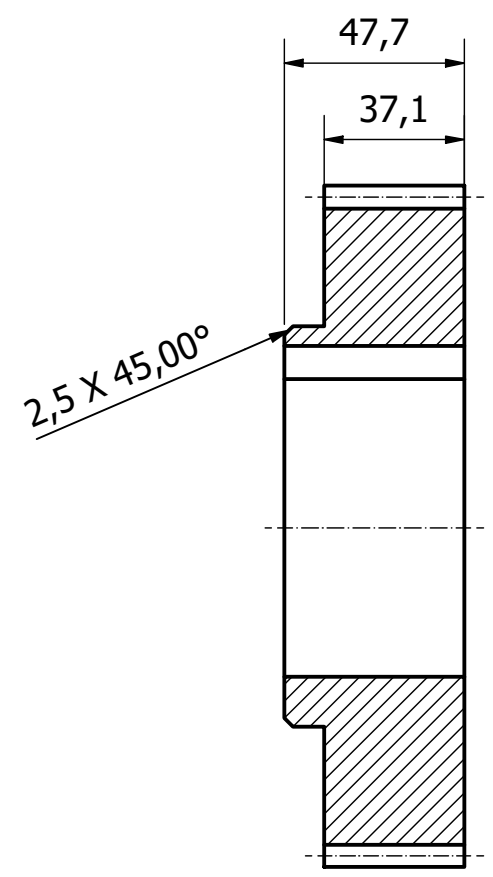


TABLA	
DATOS DE LA RUEDA	
Módulo(m)	2,75
Nº de dientes(Z)	66

1:2

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



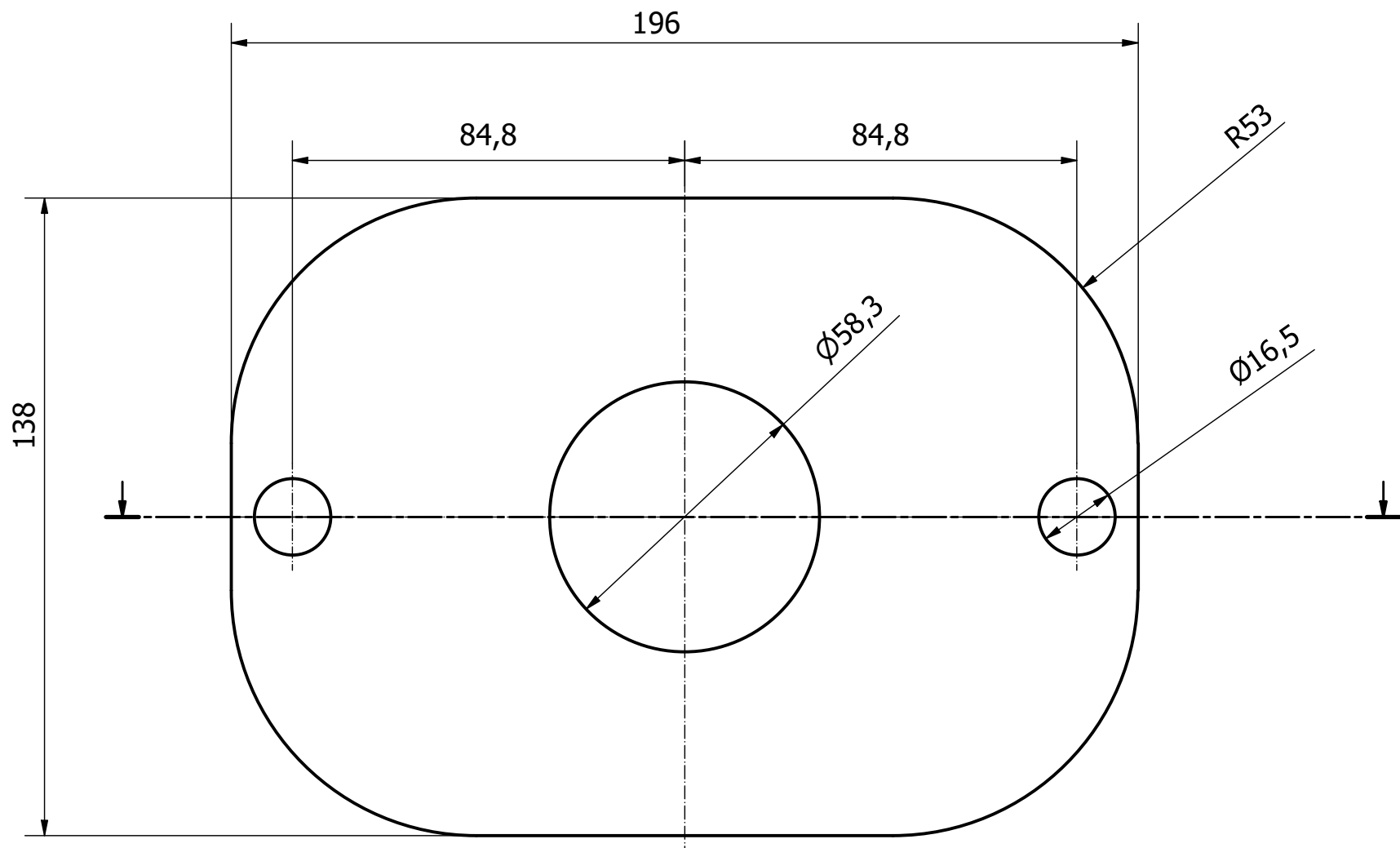
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR ENGINYERIA INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:		
DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1		
Plano:		
Rueda dentada central		
Autor:	Fecha:	Hoja:
Iván Vázquez Llopis	21/08/2022	8/57

5



1:2

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:  
DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

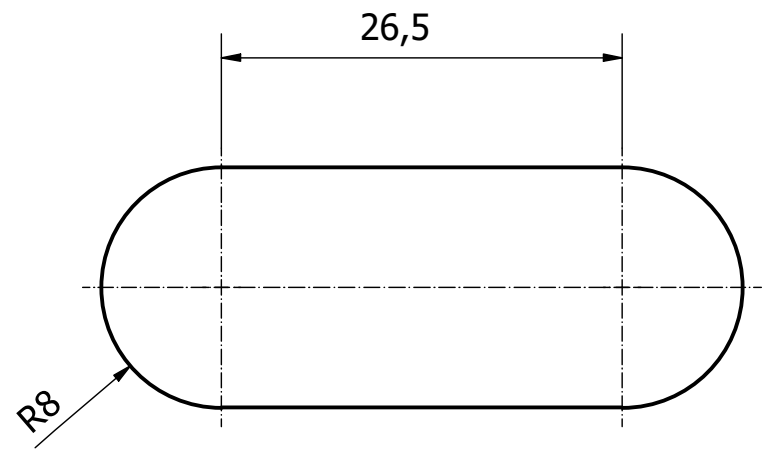
Placa de fijación

Autor:  
Iván Vázquez Llopis

Fecha:  
24/08/2022

Hoja:  
9/57

6



2:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:  
DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

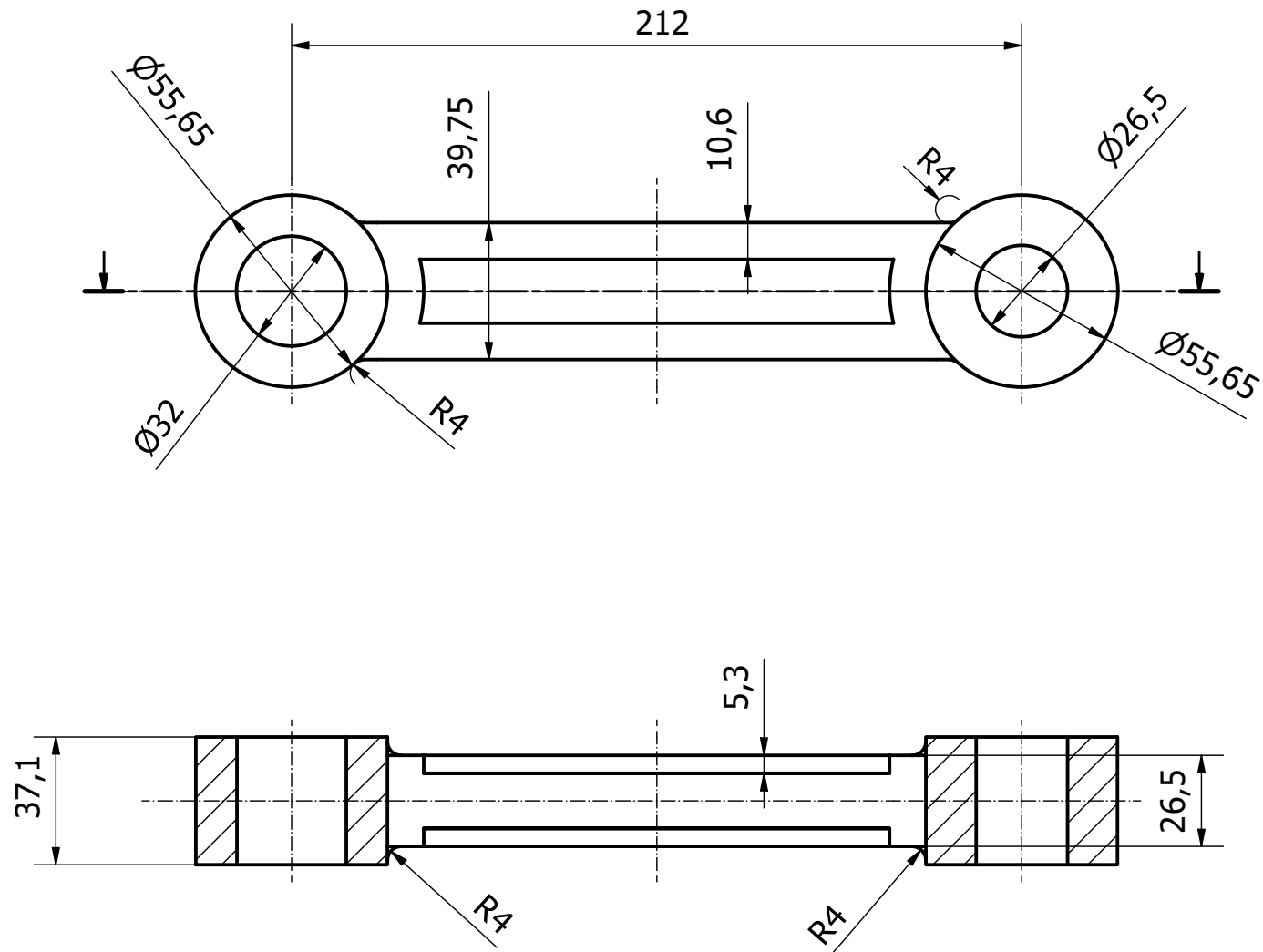
Lengüeta

Autor:  
Iván Vázquez Llopis

Fecha:  
23/08/2022

Hoja:  
10/57

# 12



1:2

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Biela secundaria

Autor:

Iván Vázquez Llopis

Fecha:

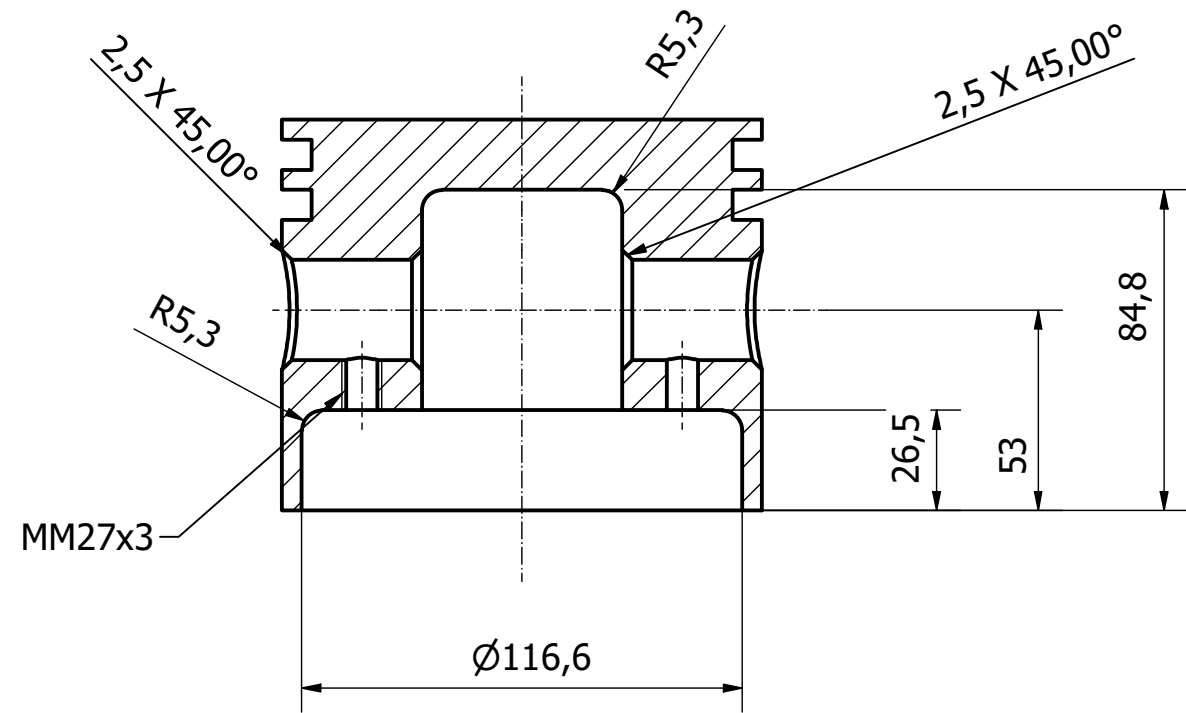
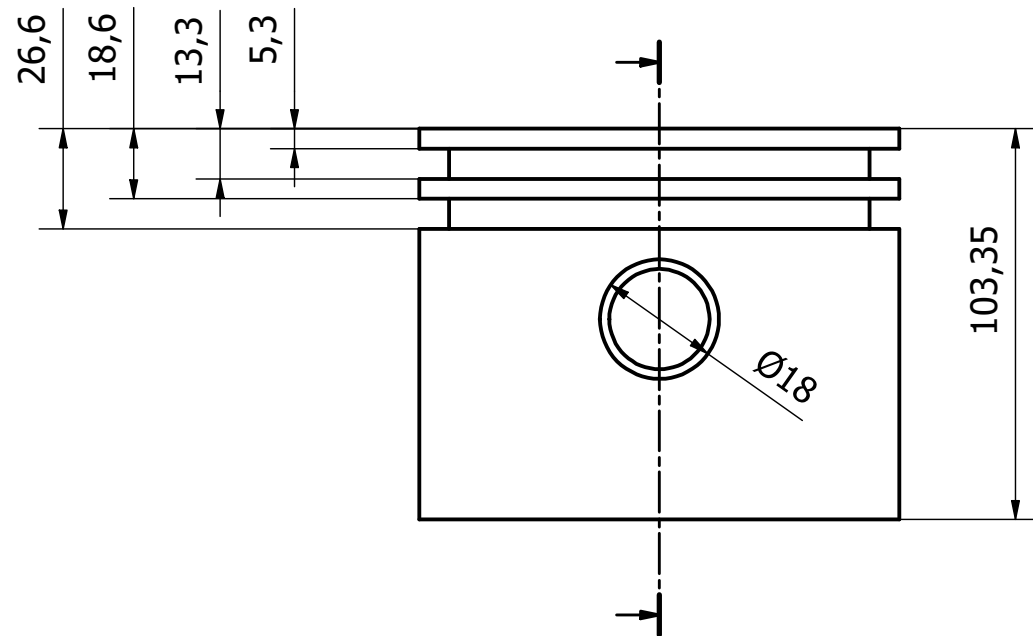
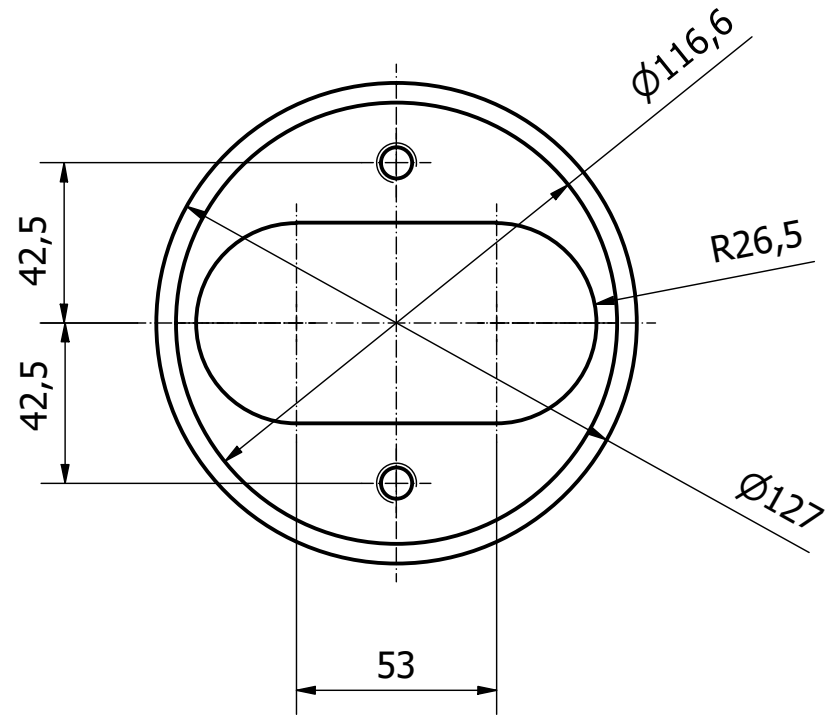
23/08/2022

Hoja:

11/57



# 13



1:2

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

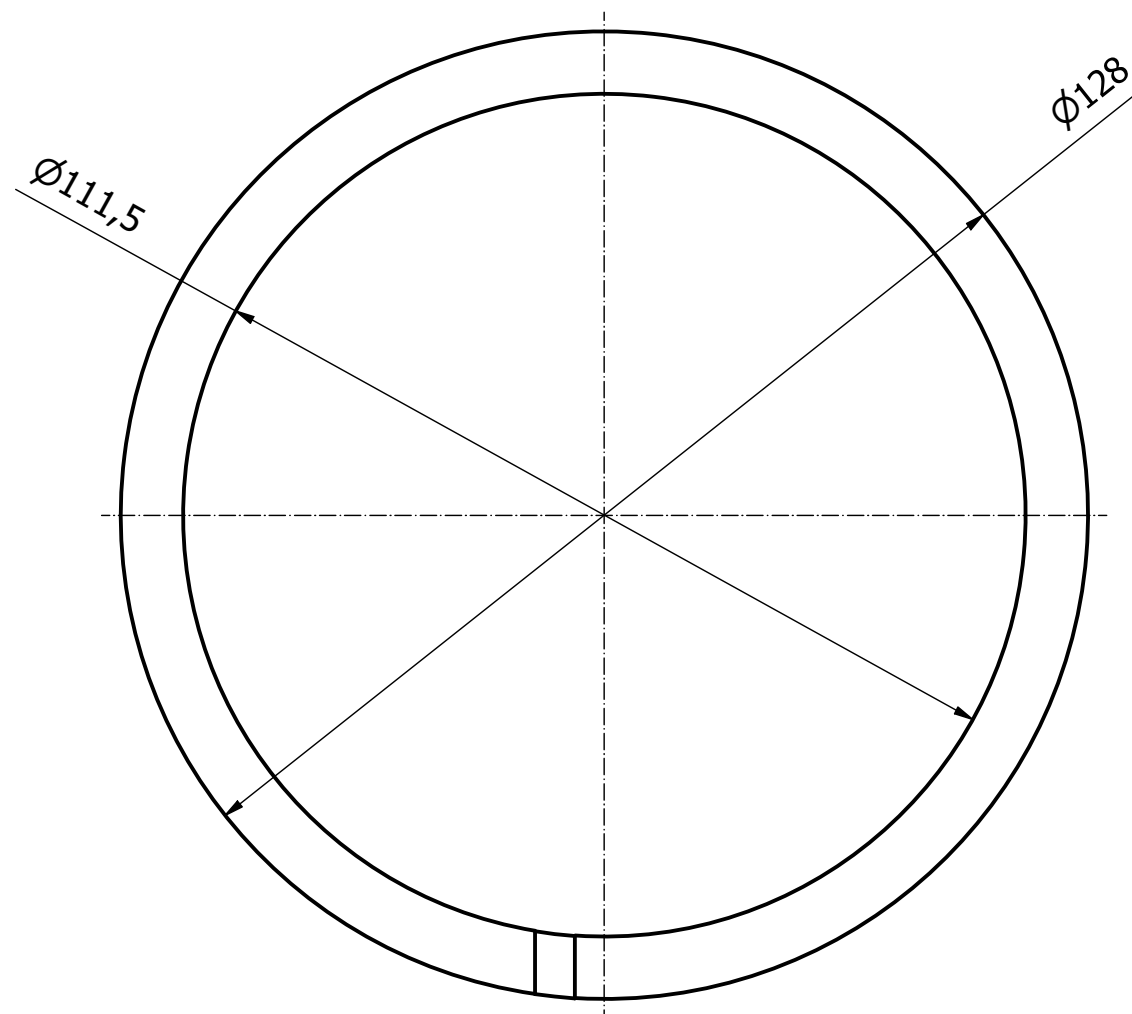
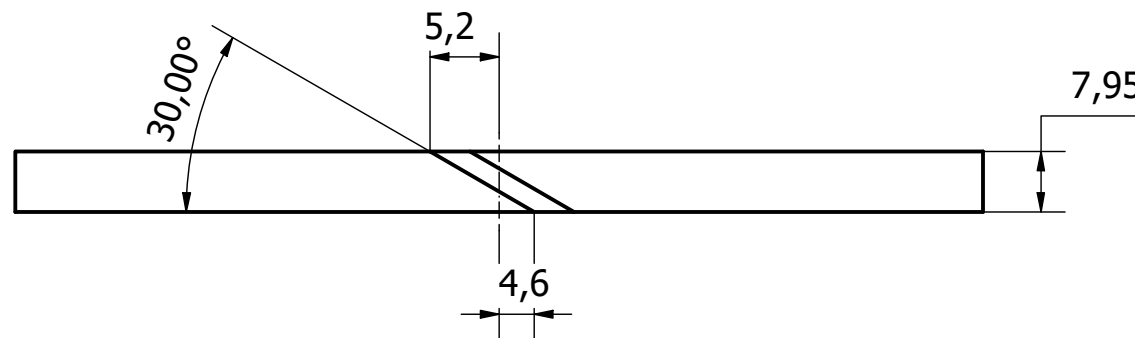
Èmbolo

Autor:  
Iván Vázquez Llopis

Fecha:  
21/08/2022

Hoja:  
12/57

14



1:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Anillo de estanqueidad

Autor:

Iván Vázquez Llopis

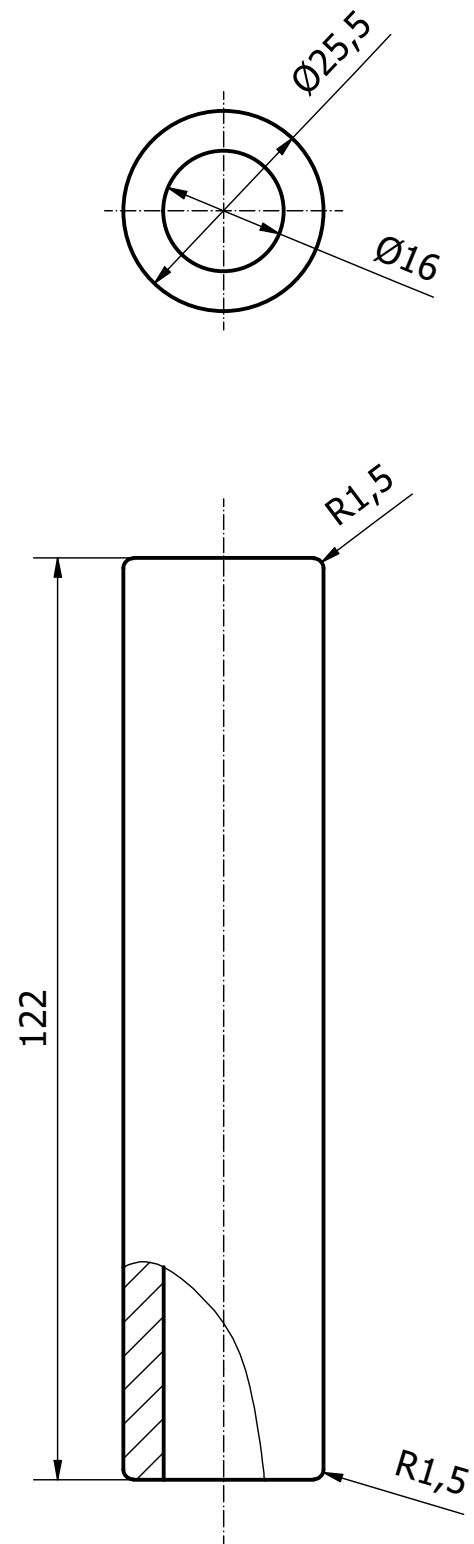
Fecha:

21/08/2022

Hoja:

13/57

# 15



1:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Pasador pistón

Autor:

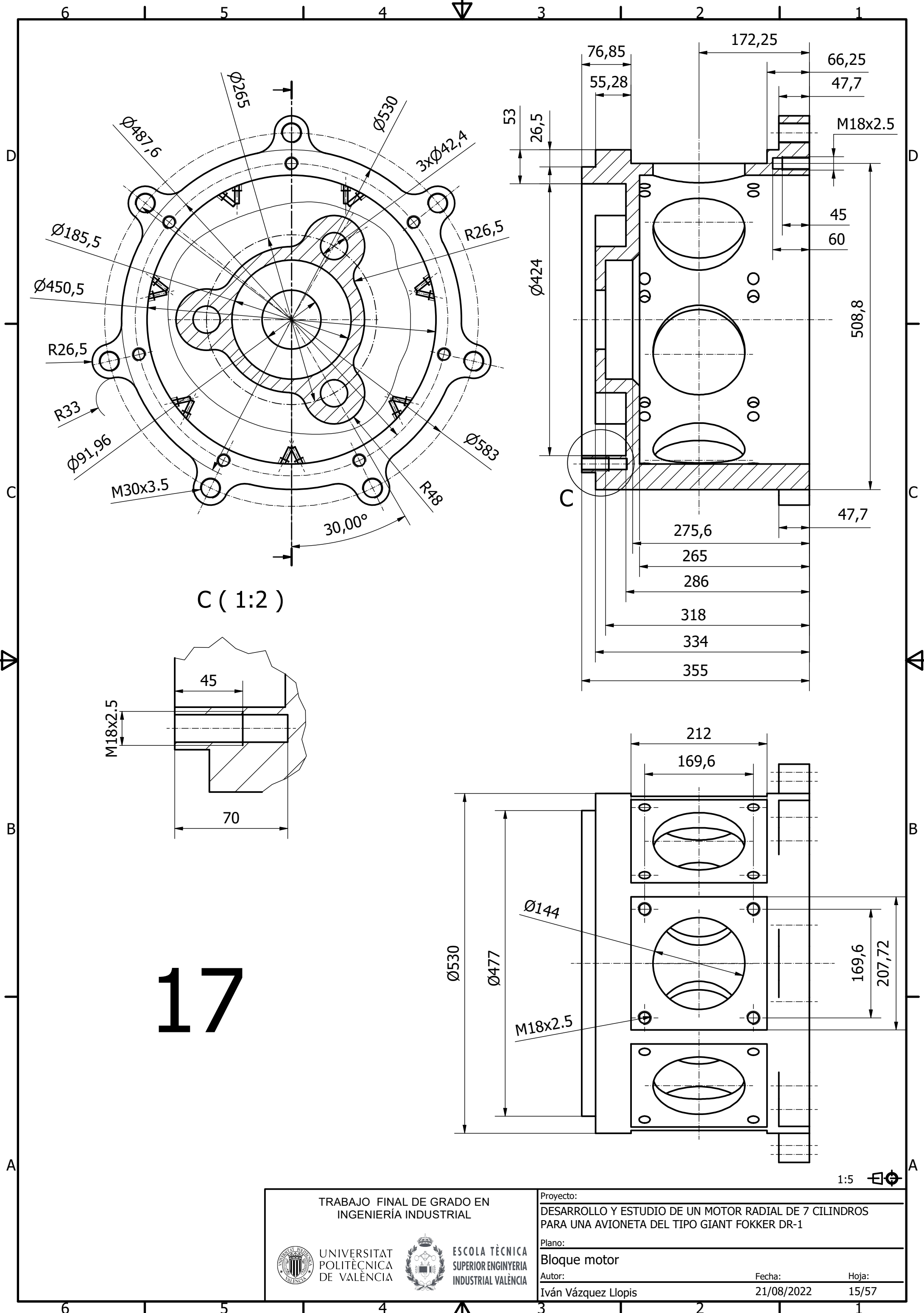
Iván Vázquez Llopis

Fecha:

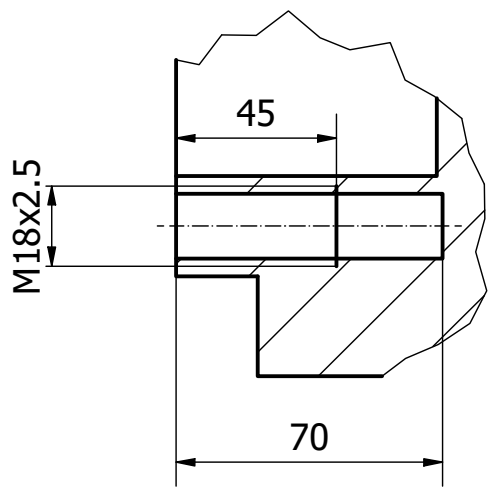
24/08/2022

Hoja:

14/57





C ( 1:2 )

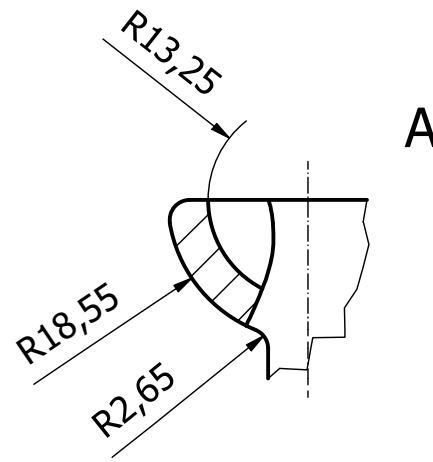
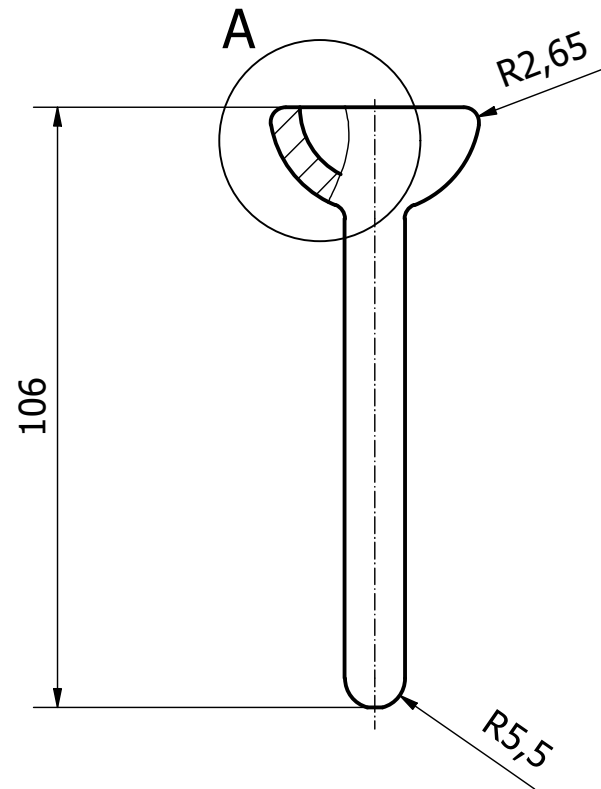


17

1:5

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL		Proyecto: DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1	
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR ENGINYERIA INDUSTRIAL VALÈNCIA	
Autor: Iván Vázquez Llopis		Fecha: 21/08/2022	Hoja: 15/57

# 18



3:4

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Vástago de apoyo

Autor:

Iván Vázquez Llopis

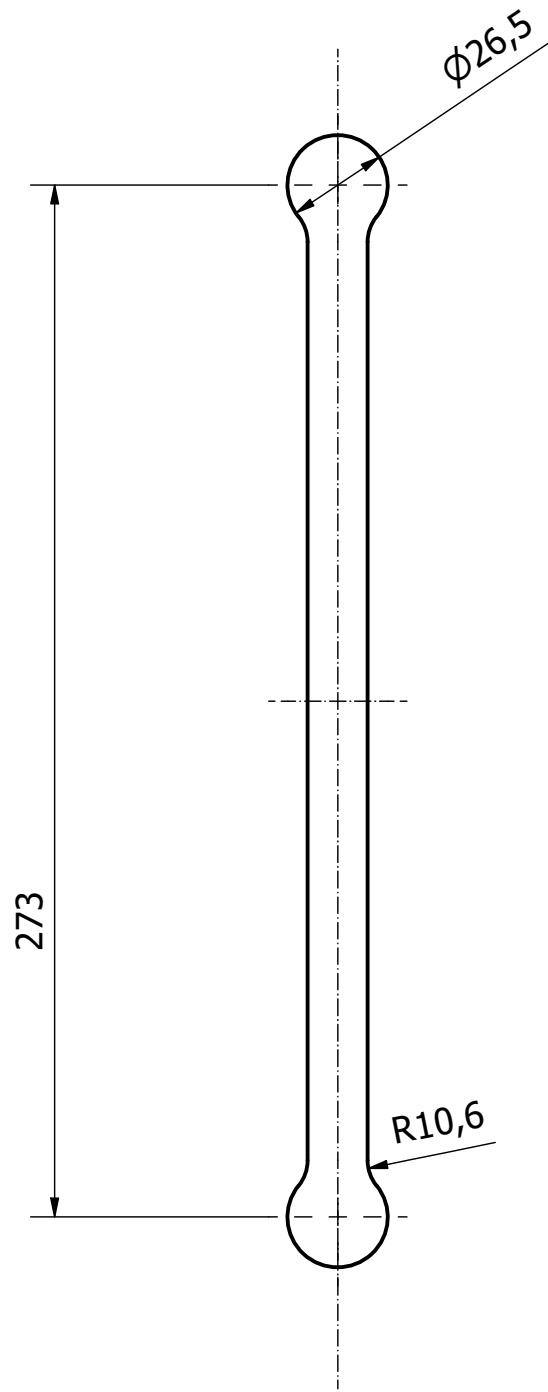
Fecha:

29/08/2022

Hoja:

16/57

# 19



1:2

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Varilla sistema de levas

Autor:

Iván Vázquez Llopis

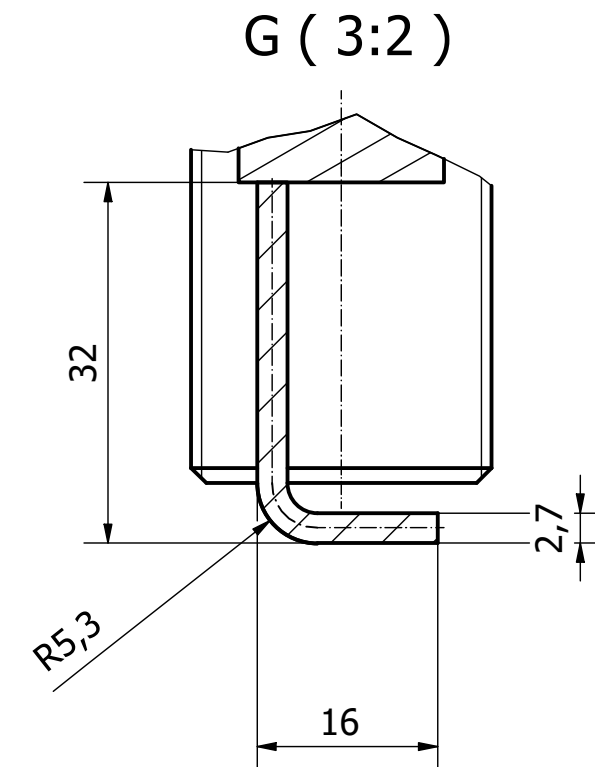
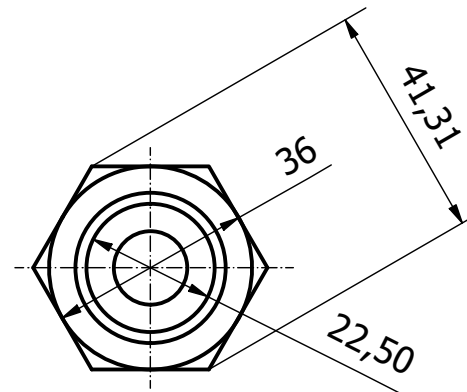
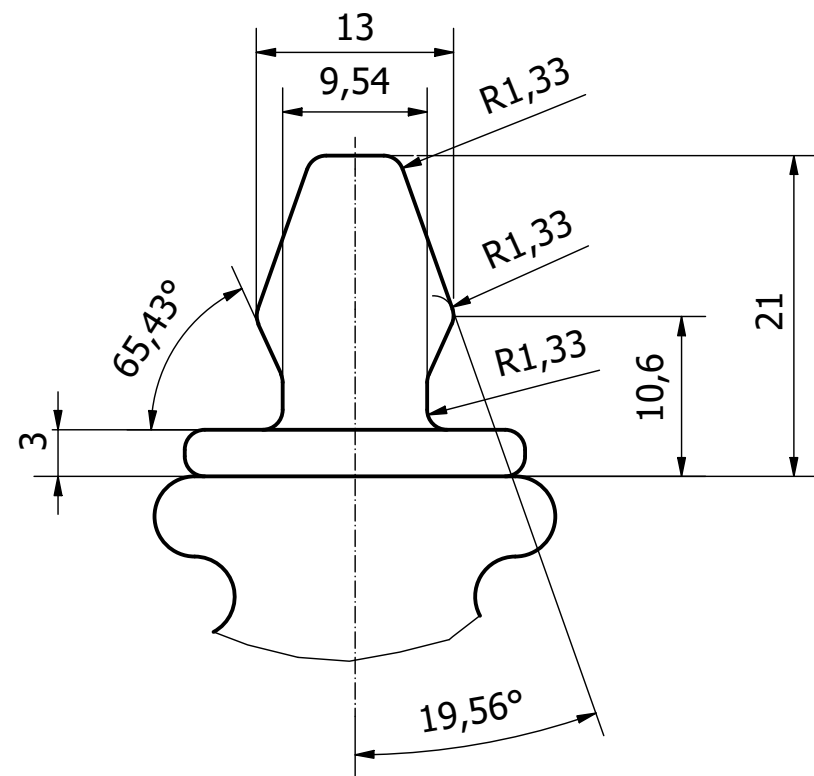
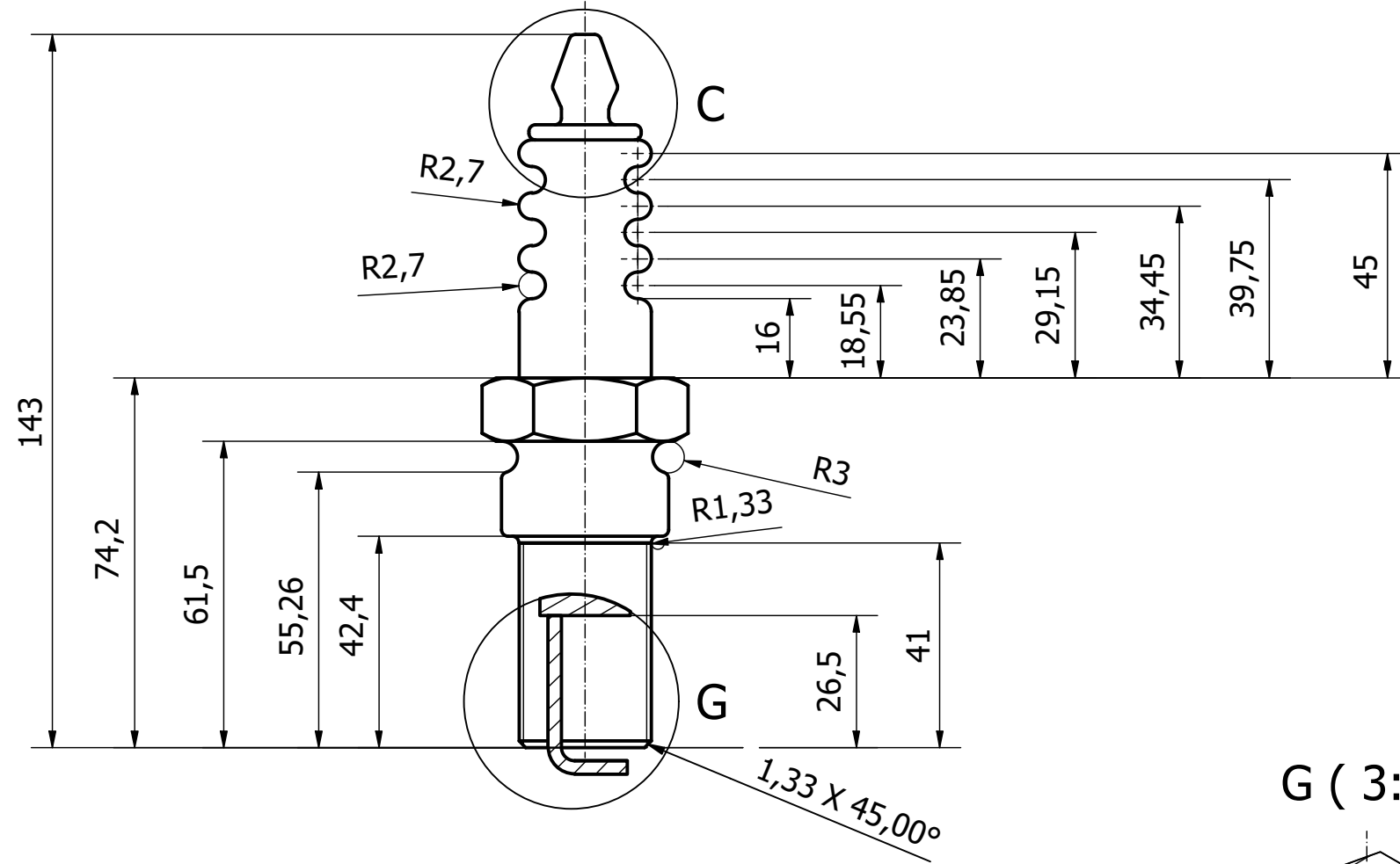
Fecha:

25/08/2022

Hoja:

17/57

20



TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR D'ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:  
DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Bujía

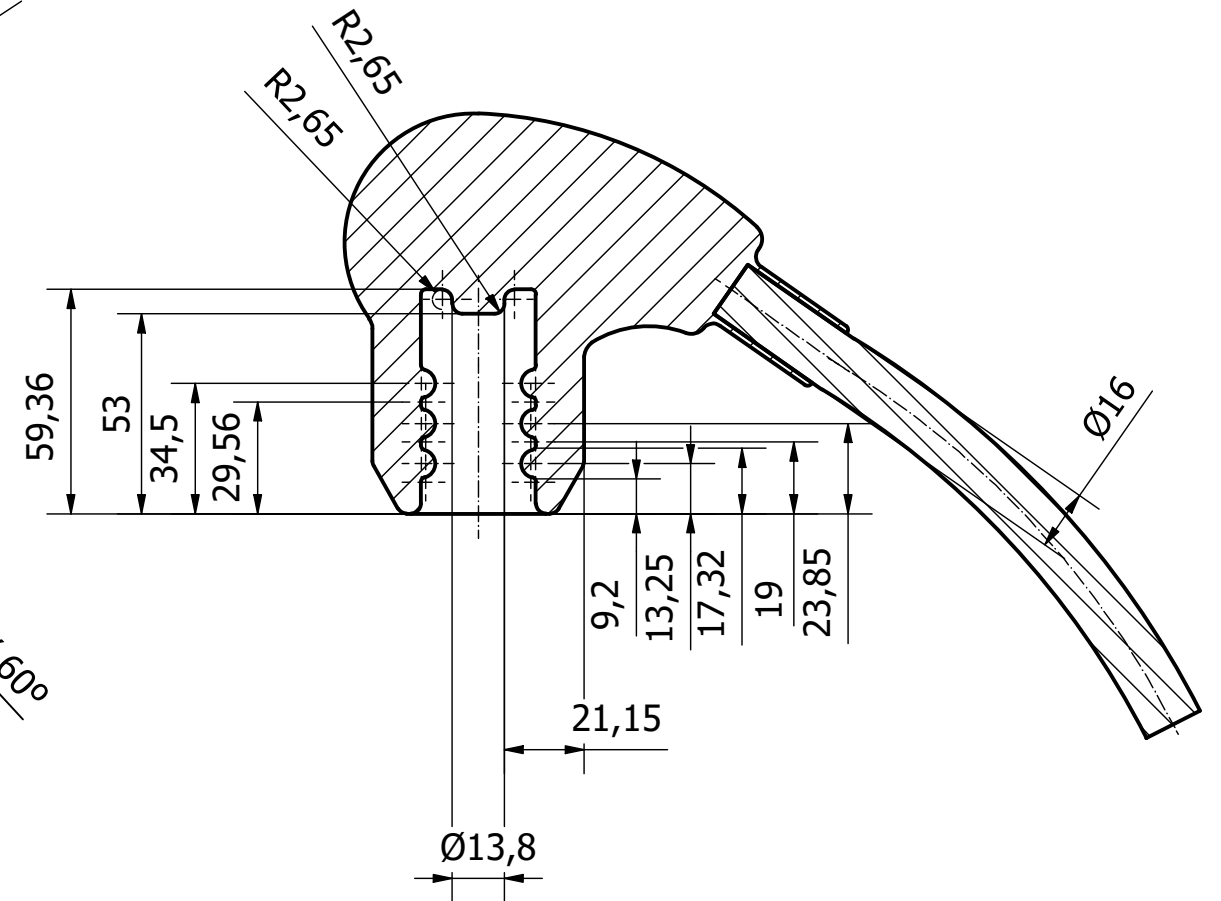
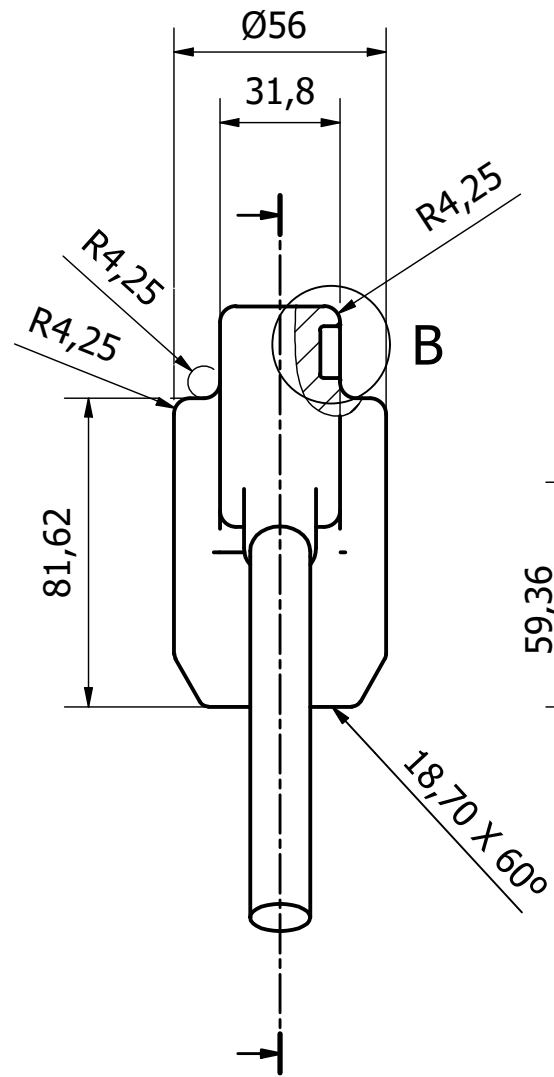
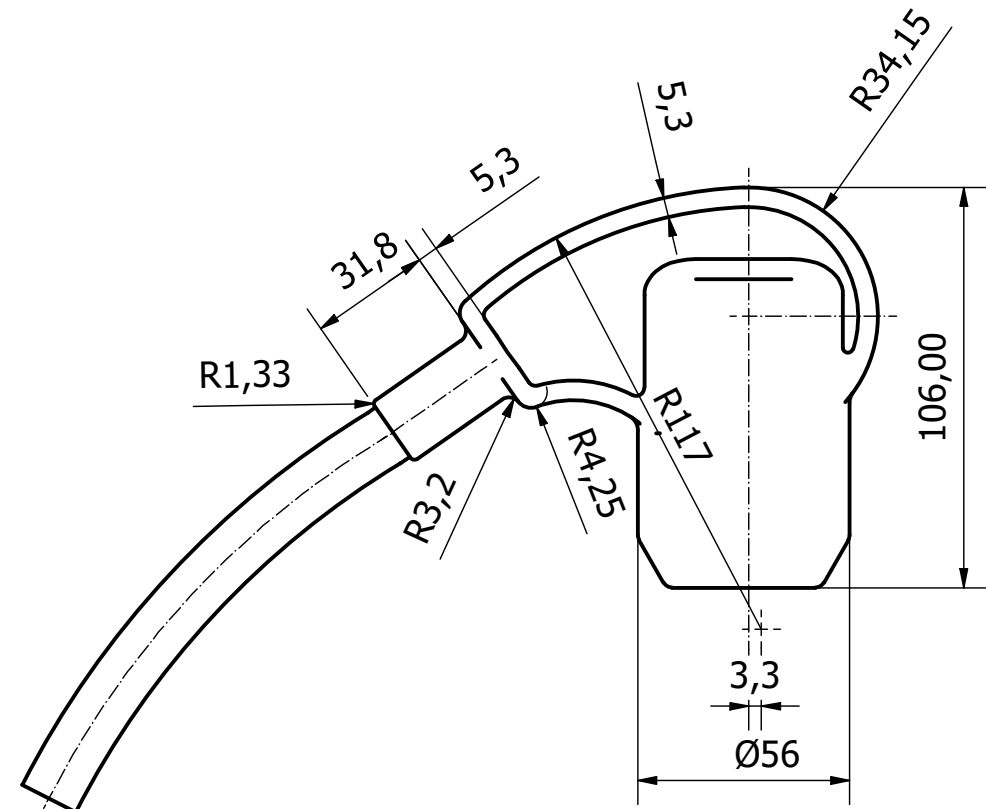
Autor:  
Iván Vázquez Llopis

Fecha:  
21/08/2022

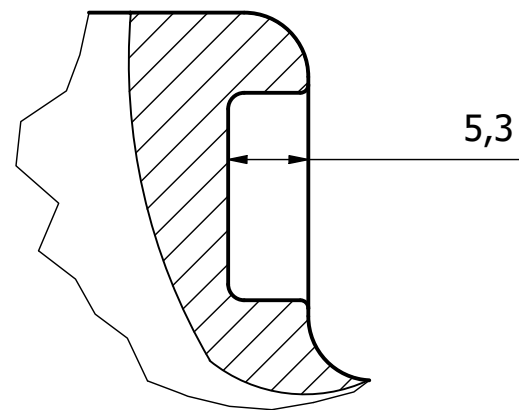
Hoja:  
18/57

3:4

# 21



B ( 2:1 )



1:2

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Conector bujía

Autor:

Iván Vázquez Llopis

Fecha:

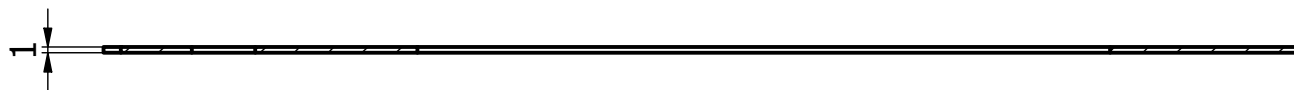
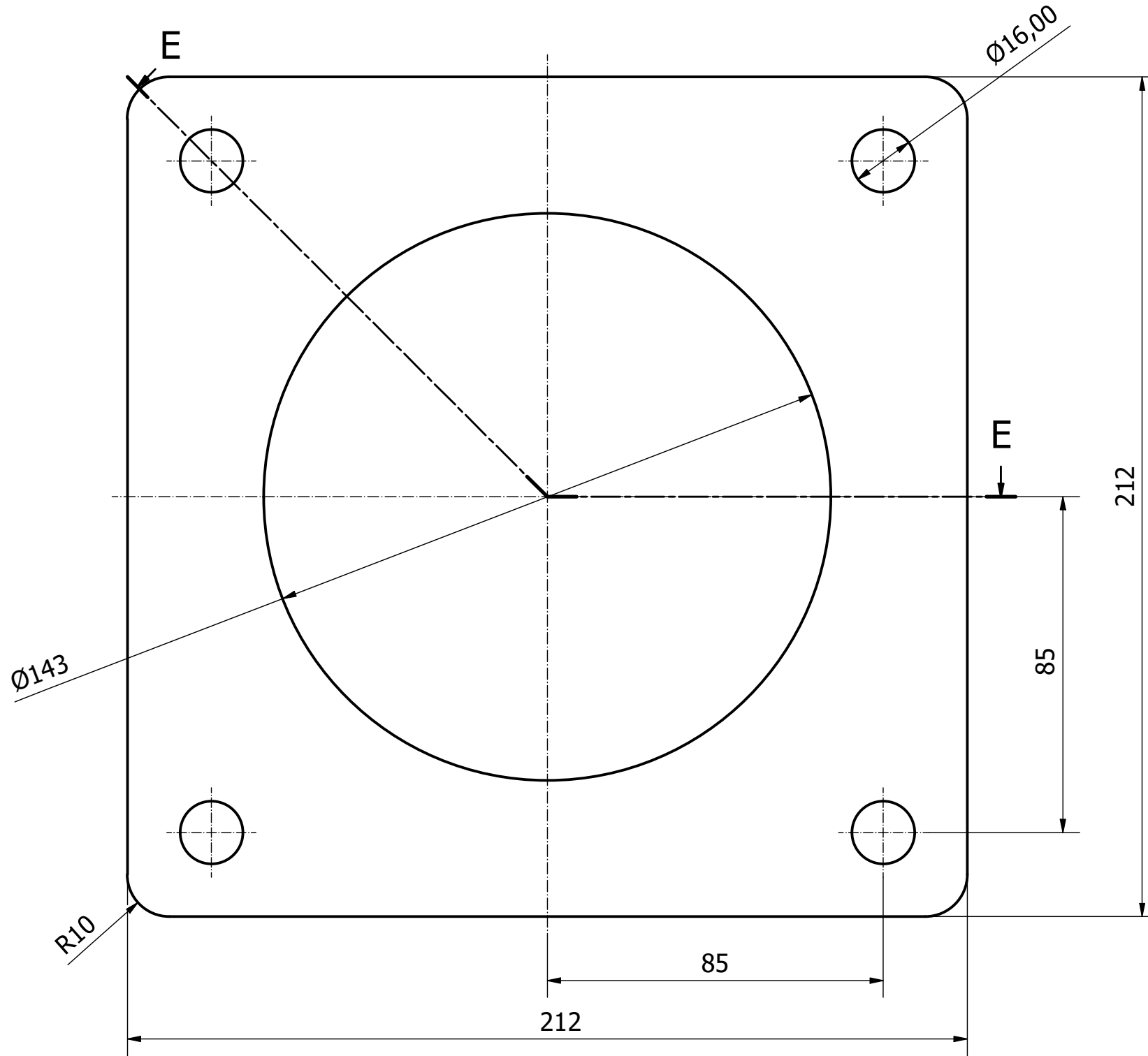
30/08/2022

Hoja:

19/57



22



E-E

3:4

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR ENGINYERIA INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:  
DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

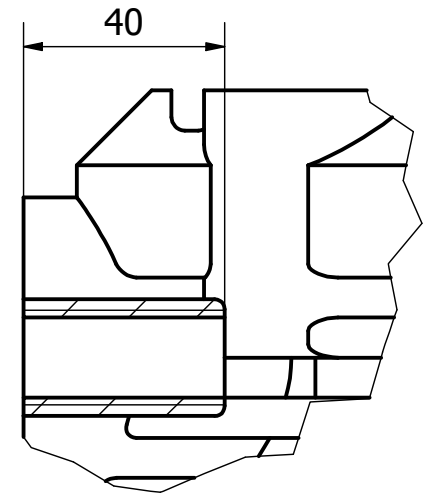
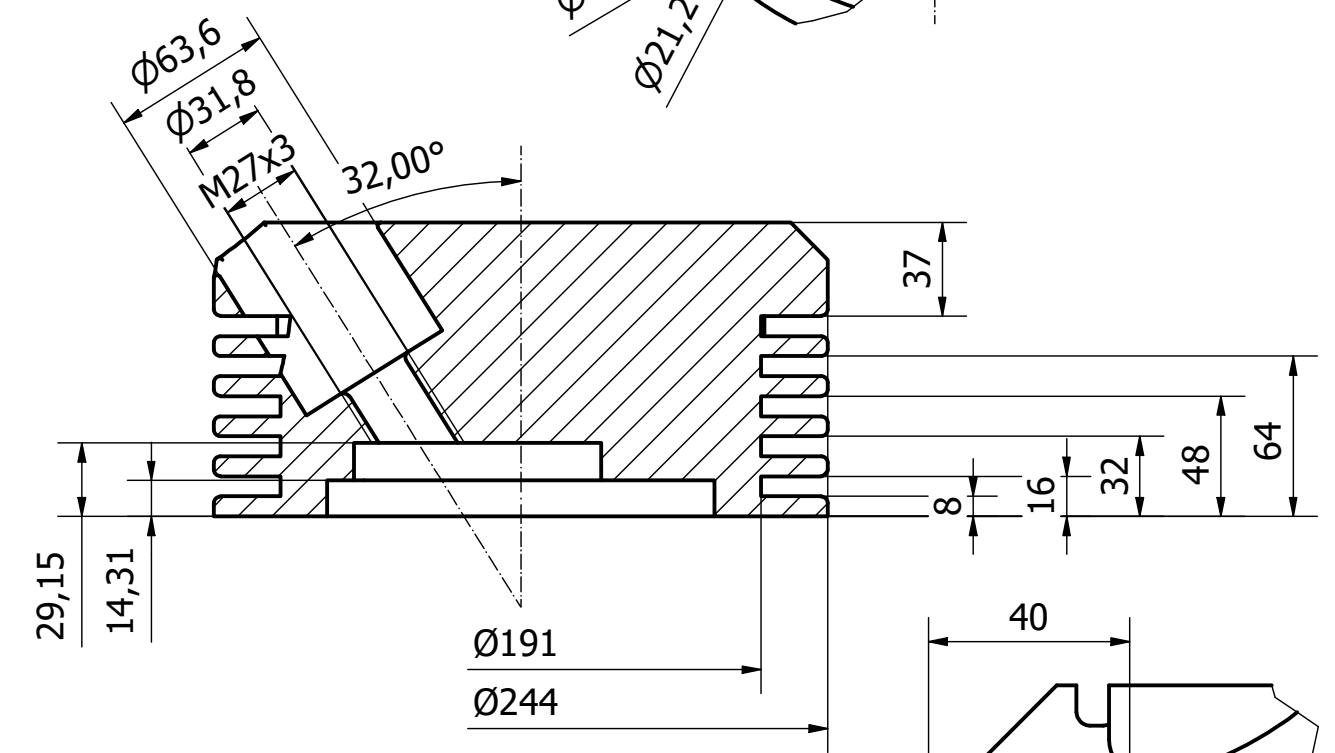
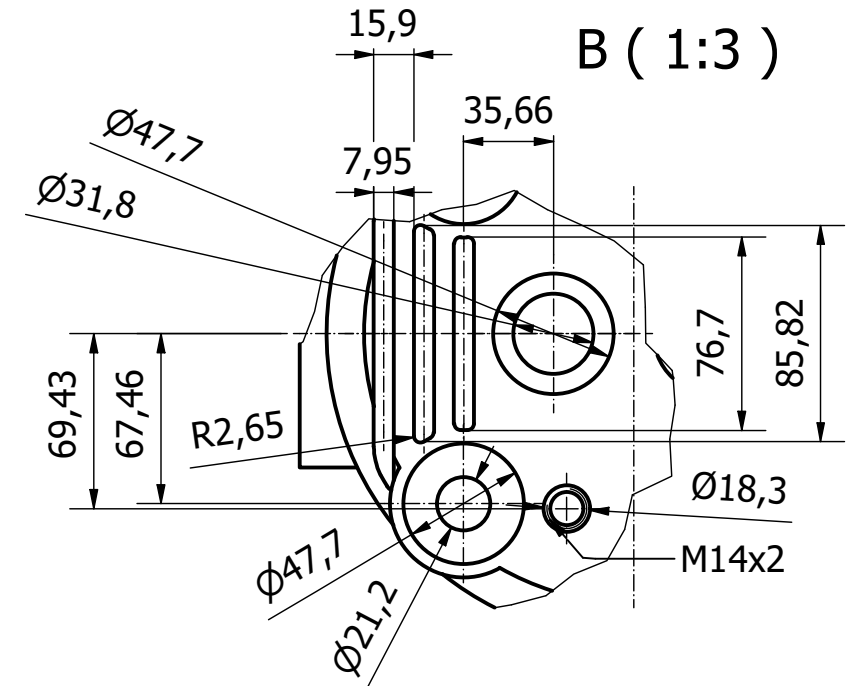
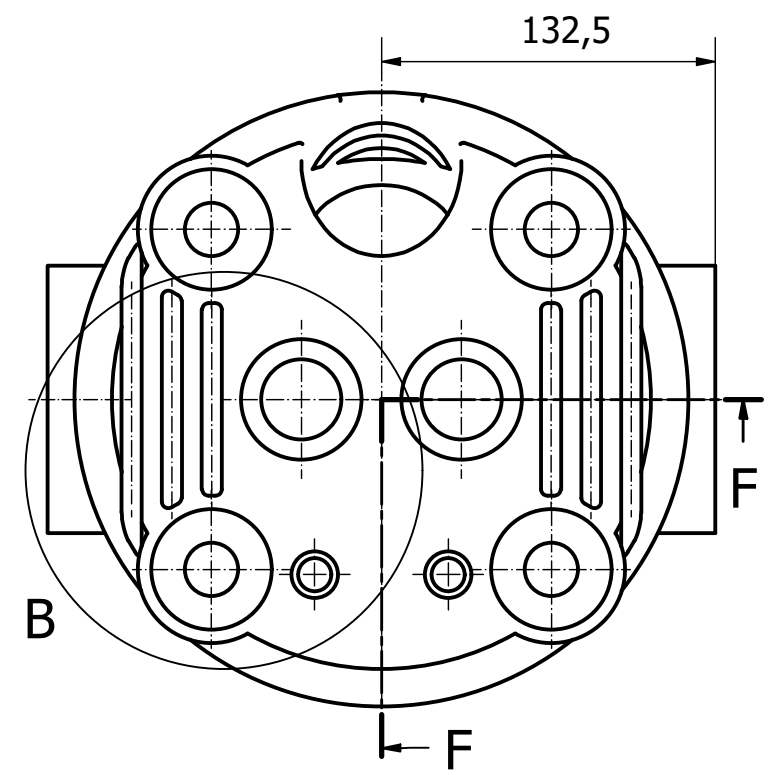
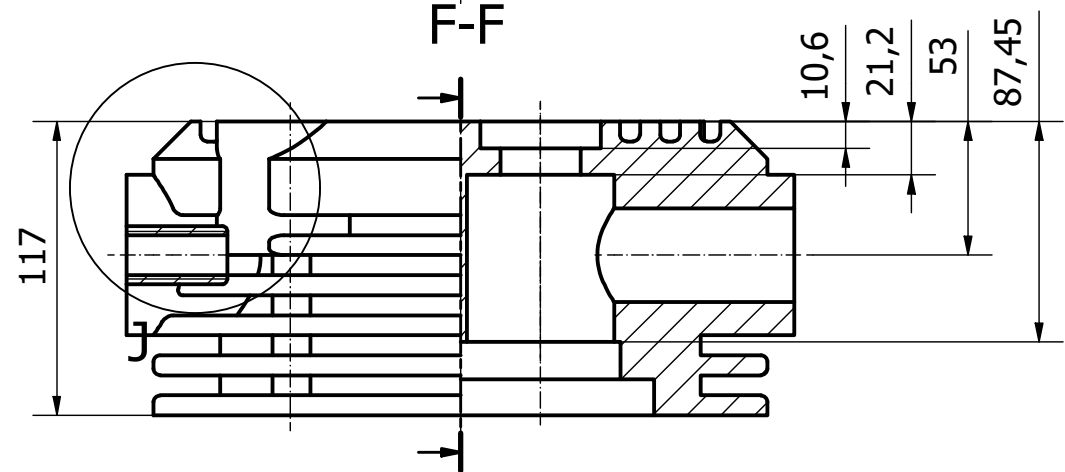
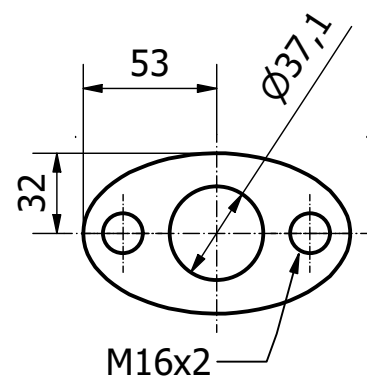
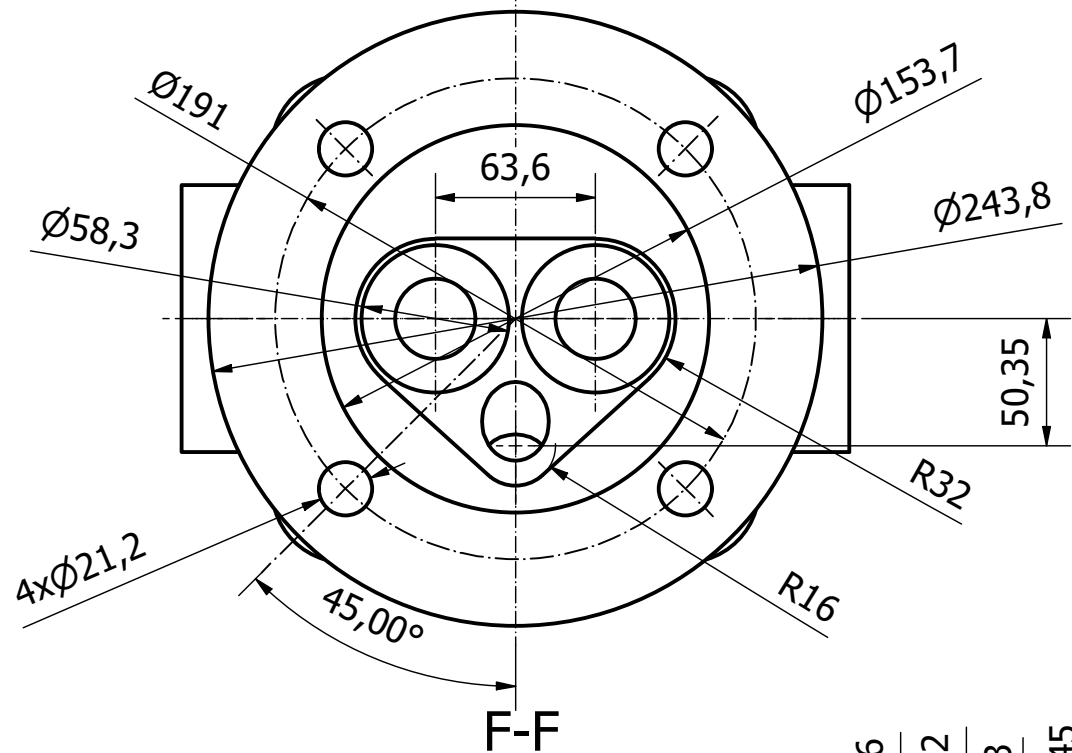
Junta base cilindro

Autor: Iván Vázquez Llopis

Fecha: 23/08/2022

Hoja: 20/57

# 23



J (2:3)

1:3

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR ENGINYERIA INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto: DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

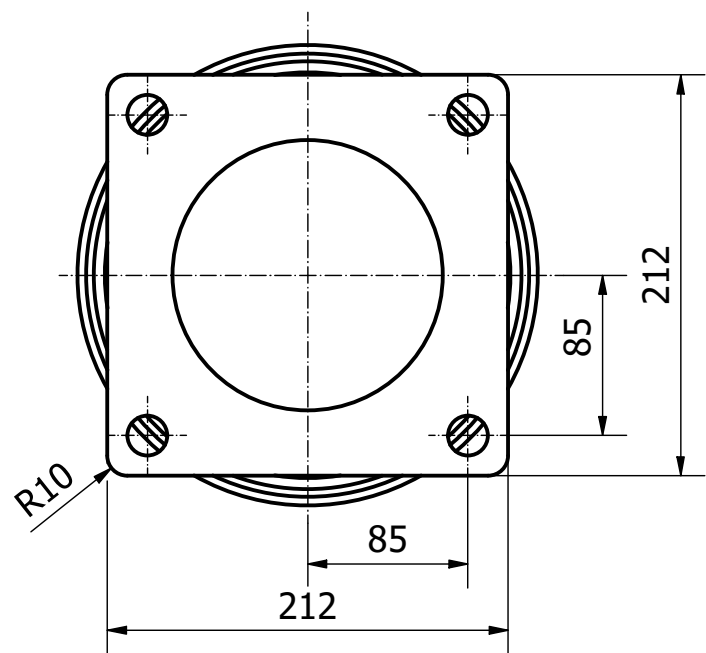
Plano: Culata

Autor: Iván Vázquez Llopis

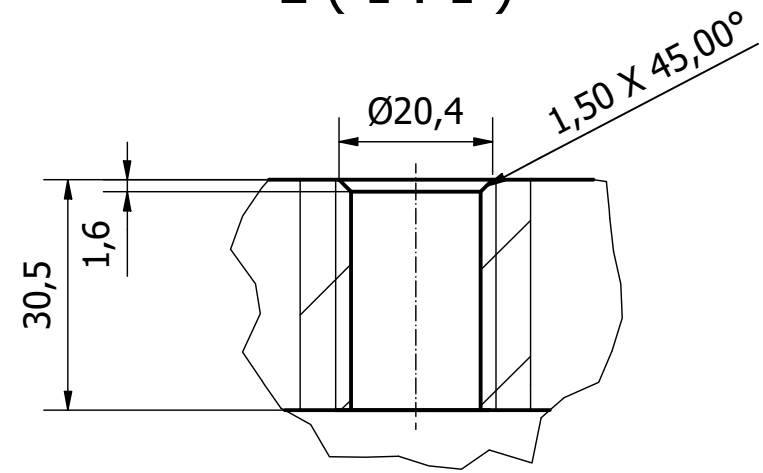
Fecha: 23/08/2022

Hoja: 21/57

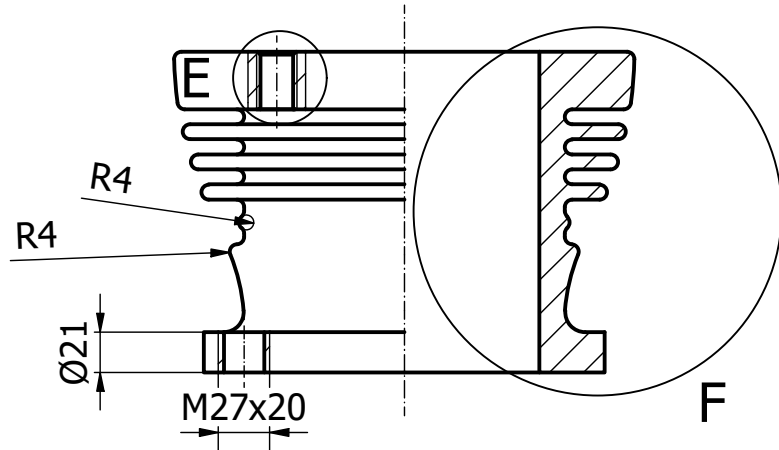
# 24



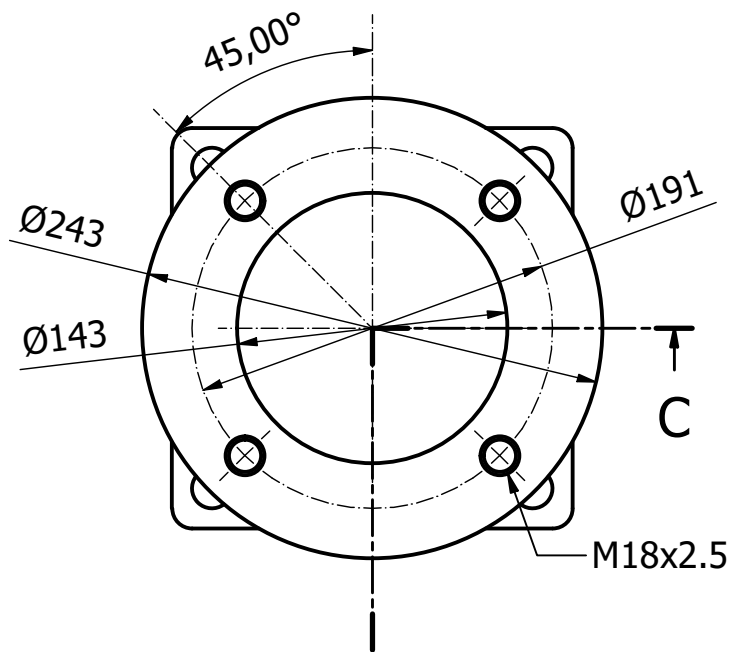
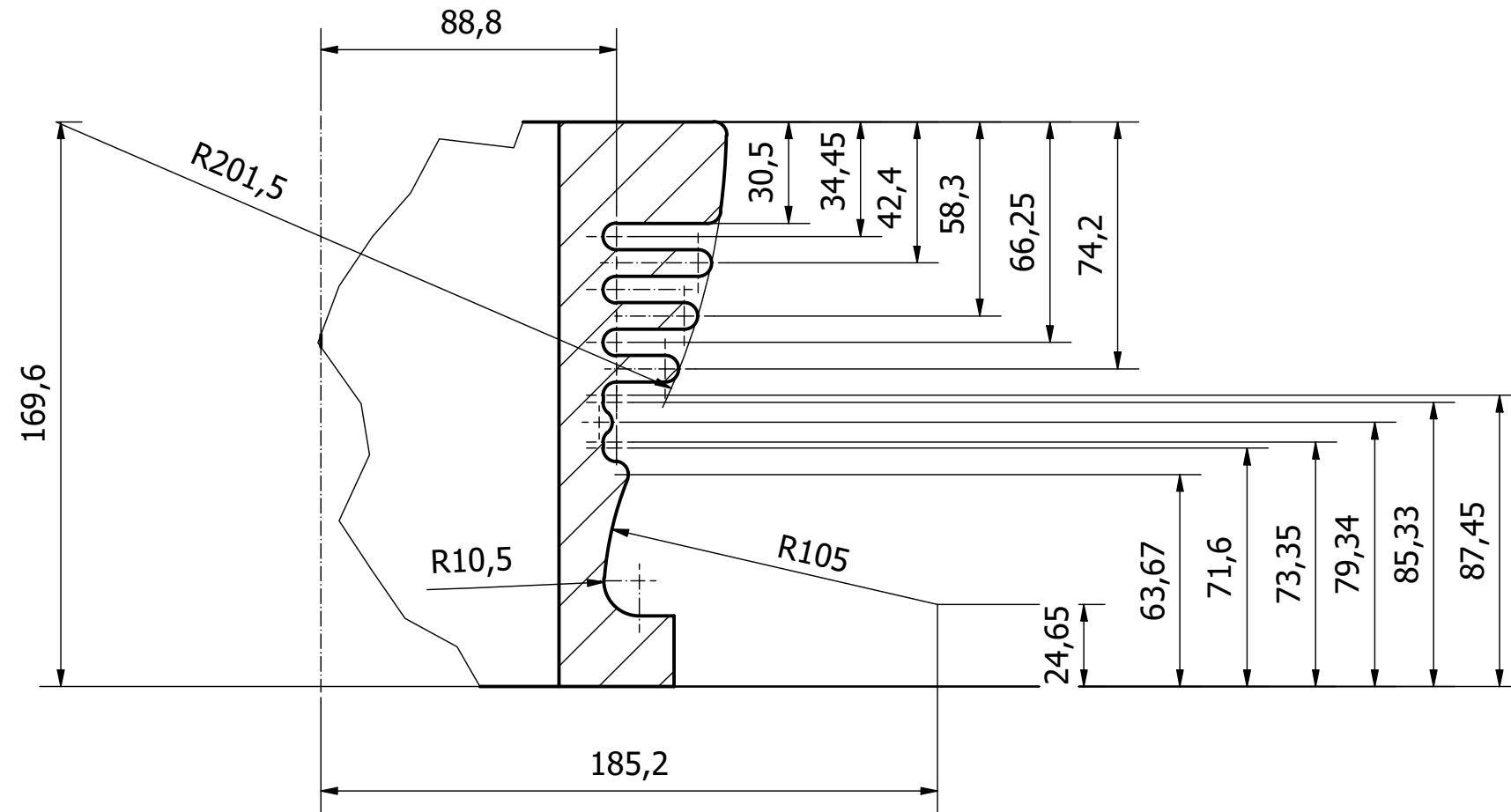
E (1:1)



C-C



F (1:2)



1:4

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

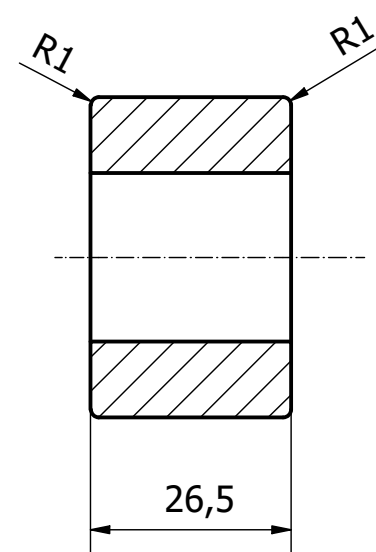
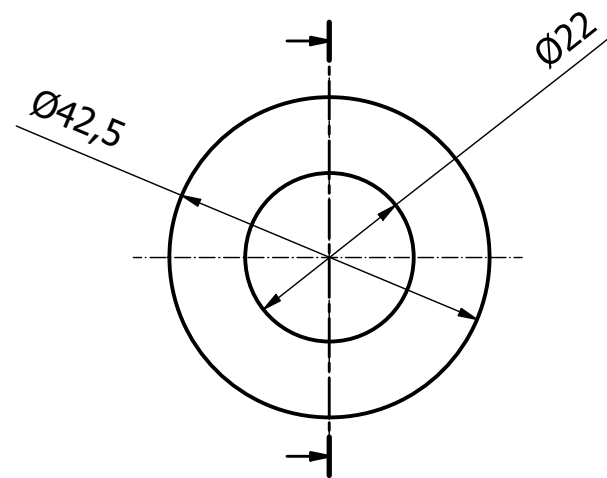
Cilindro

Autor:  
Iván Vázquez Llopis

Fecha:  
22/08/2022

Hoja:  
22/57

25



1:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Separador balancines

Autor:

Iván Vázquez Llopis

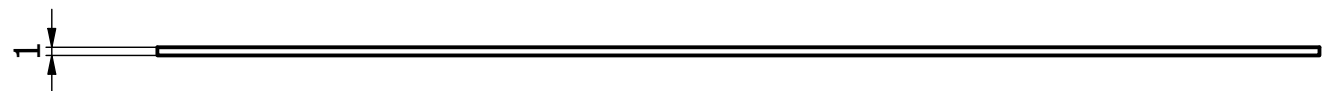
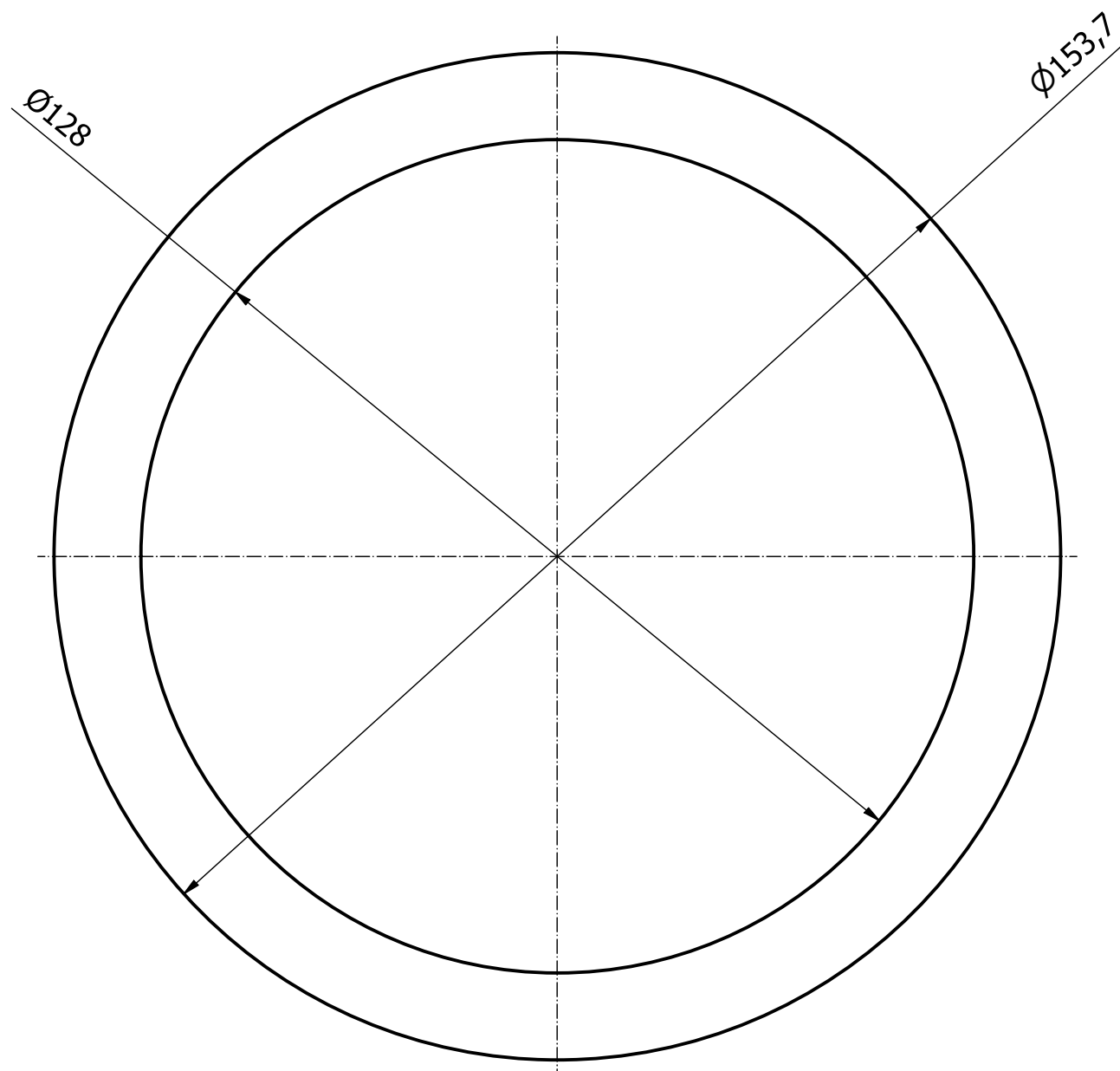
Fecha:

24/08/2022

Hoja:

23/57

# 26



1:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:  
DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

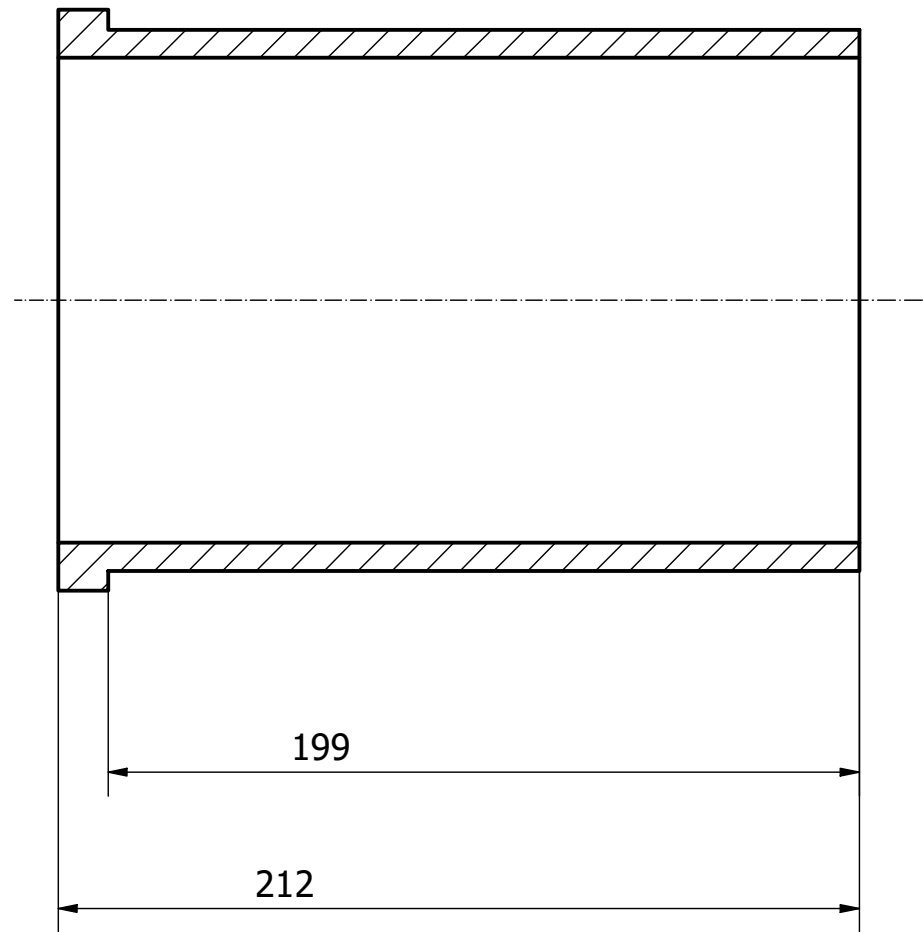
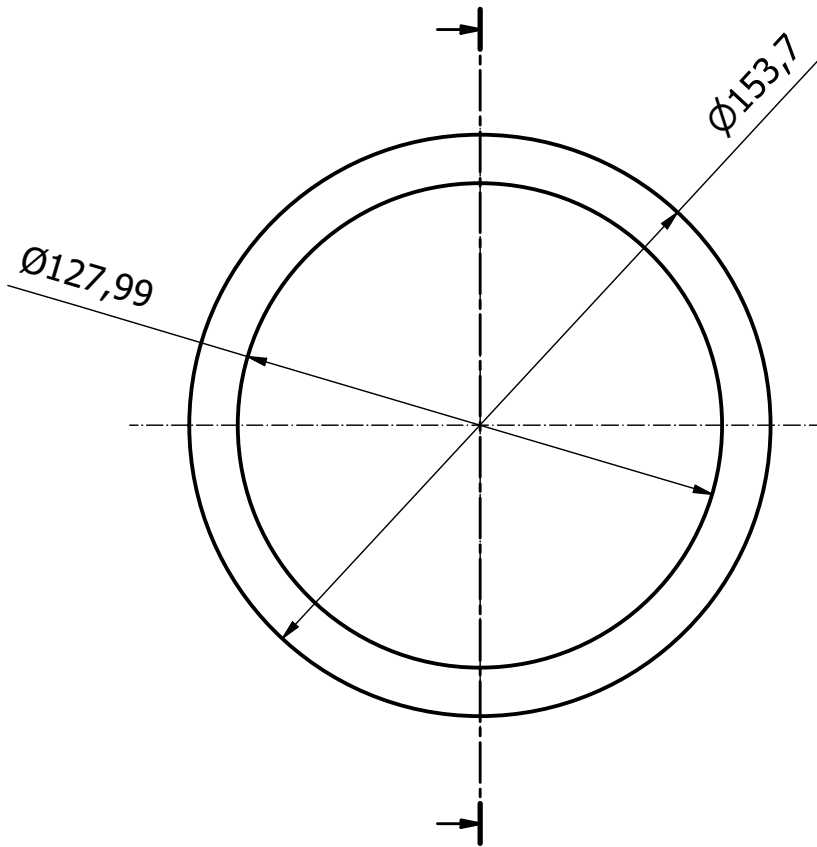
Plano:  
Junta superior cilindro

Autor:  
Iván Vázquez Llopis

Fecha:  
23/08/2022

Hoja:  
24/57

27



1:2

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Camisa

Autor:

Iván Vázquez Llopis

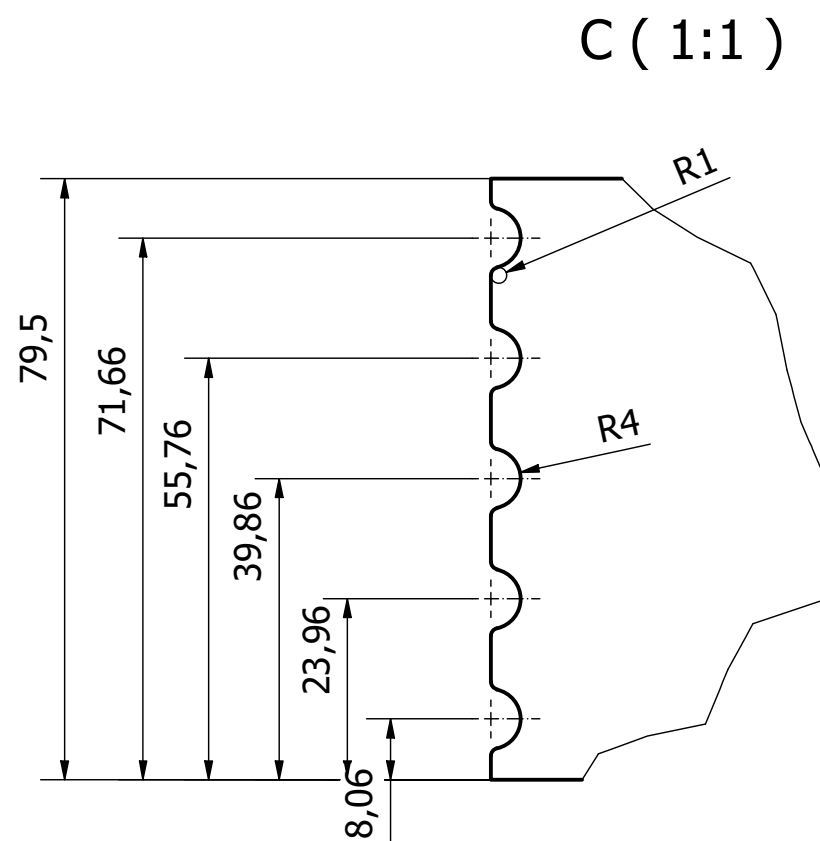
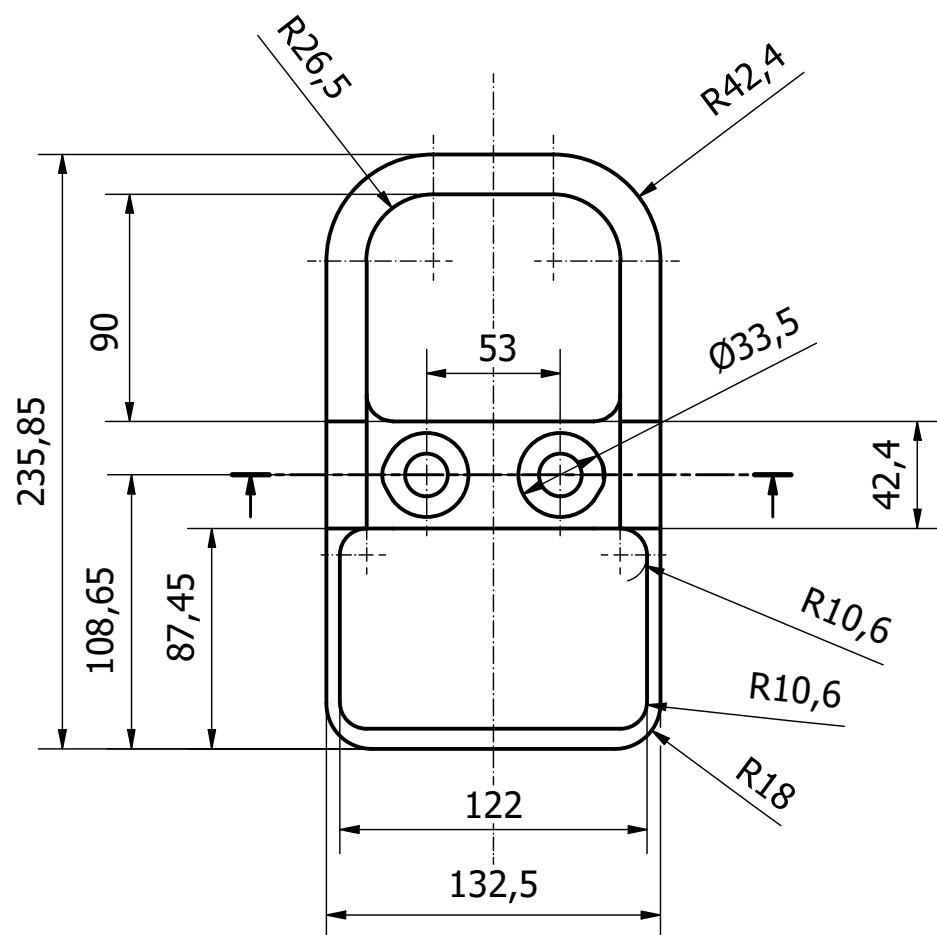
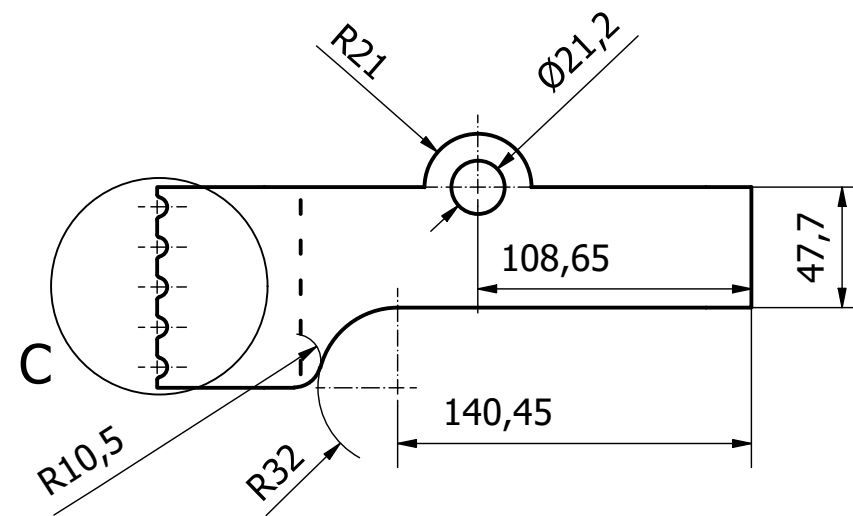
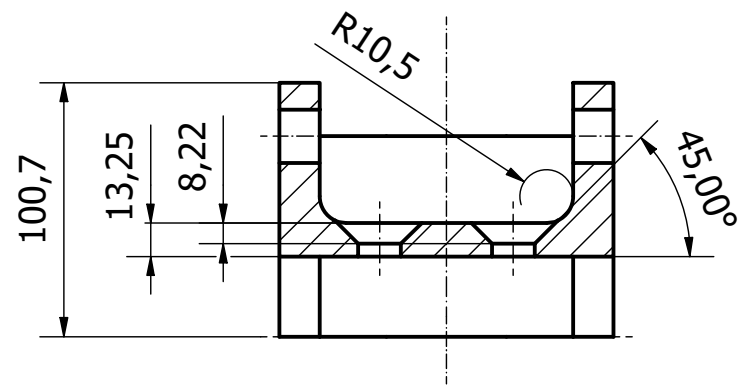
Fecha:

21/08/2022

Hoja:

25/57

# 29



1:3

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Soporte balancines

Autor:

Iván Vázquez Llopis

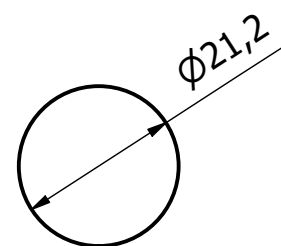
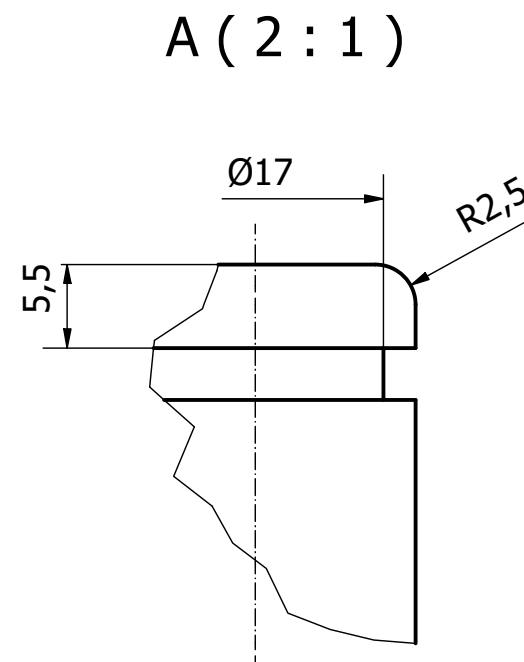
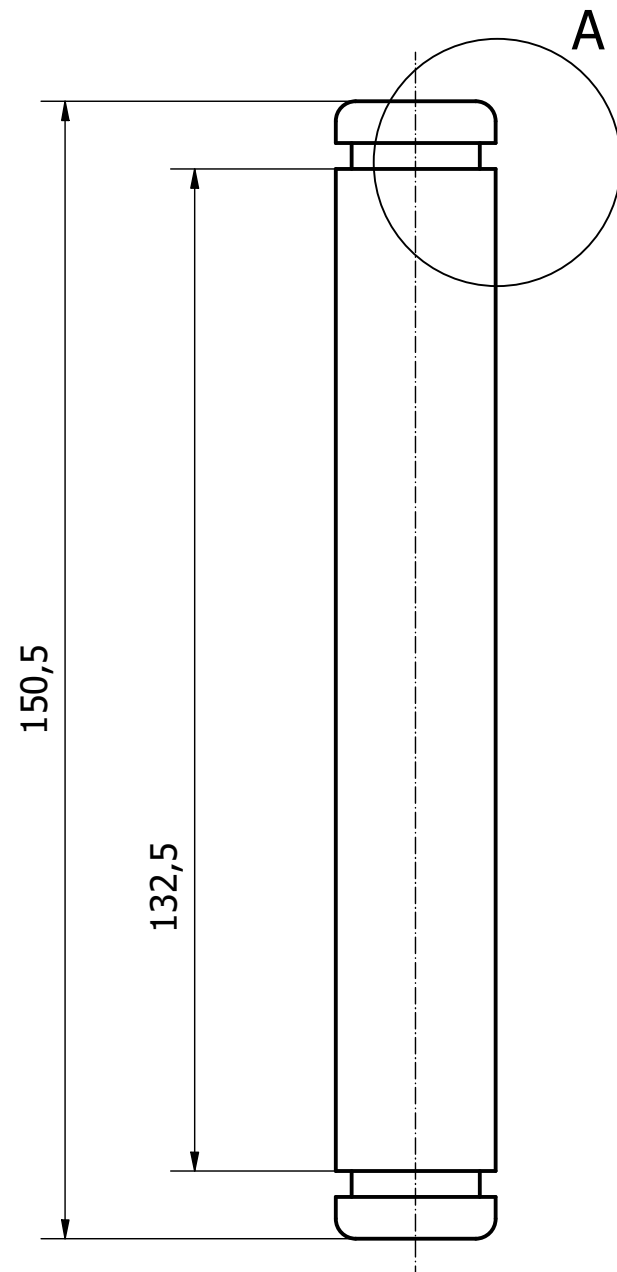
Fecha:

25/08/2022

Hoja:

26/57

# 32



1:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Pasador balancines

Autor:

Iván Vázquez Llopis

Fecha:

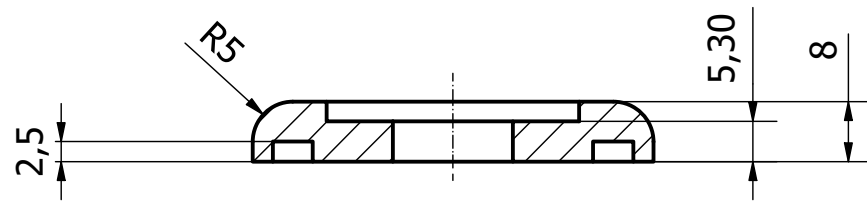
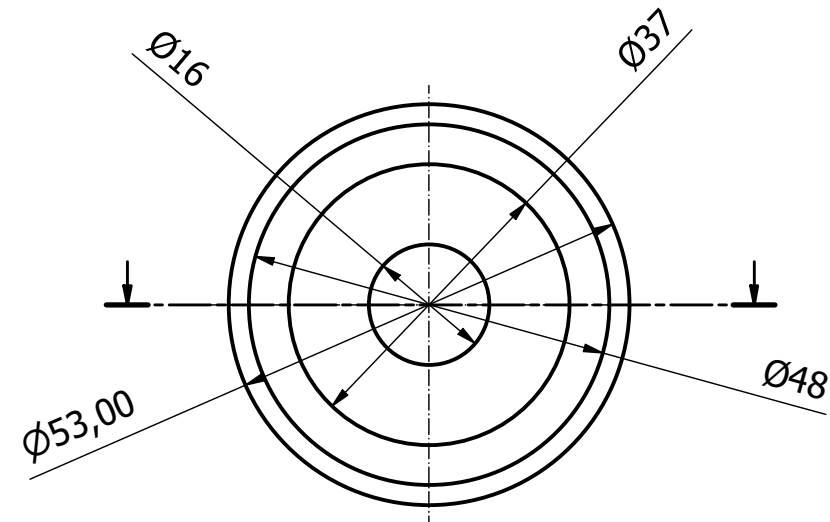
23/08/2022

Hoja:

27/57



33



1:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Retenedor resorte válvula

Autor:

Iván Vázquez Llopis

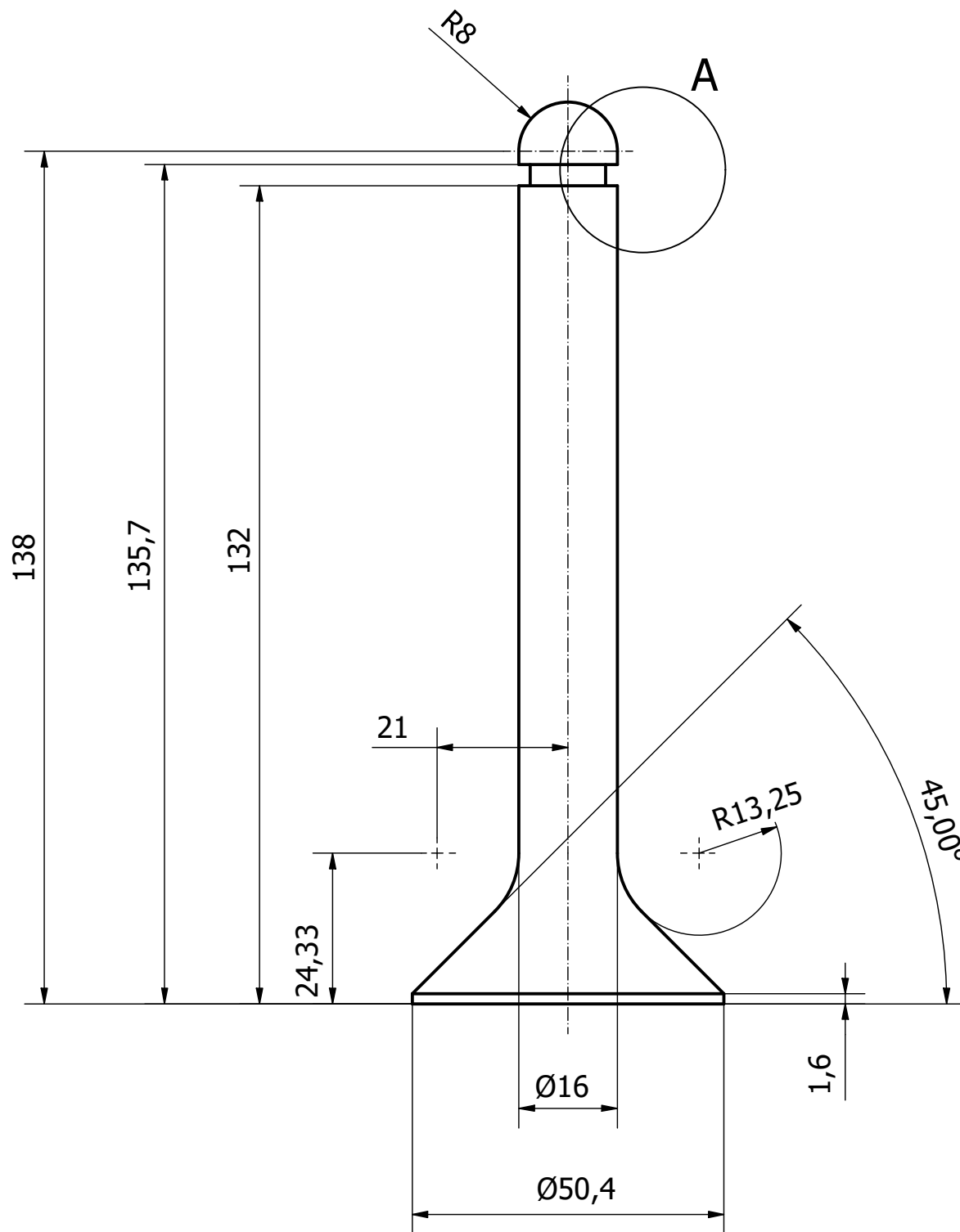
Fecha:

30/08/2022

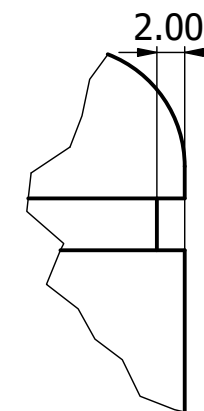
Hoja:

28/57

34



A (2 : 1)



1:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Válvula

Autor:

Iván Vázquez Llopis

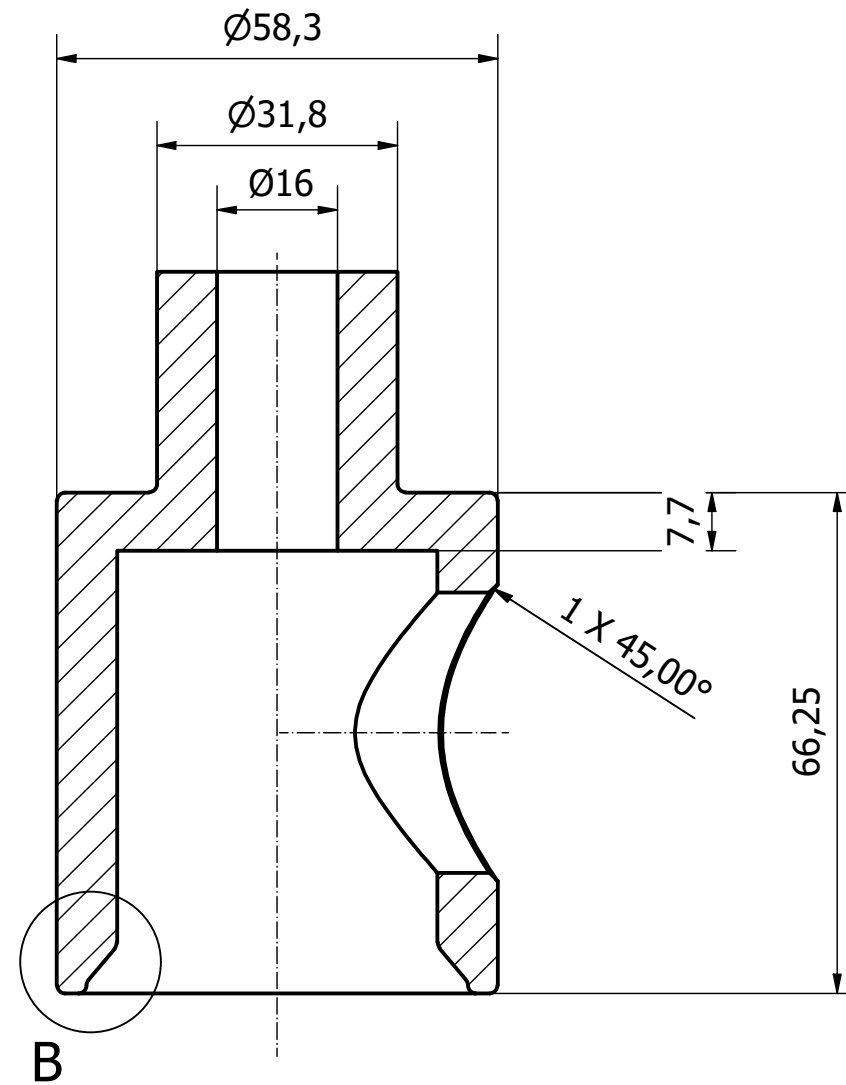
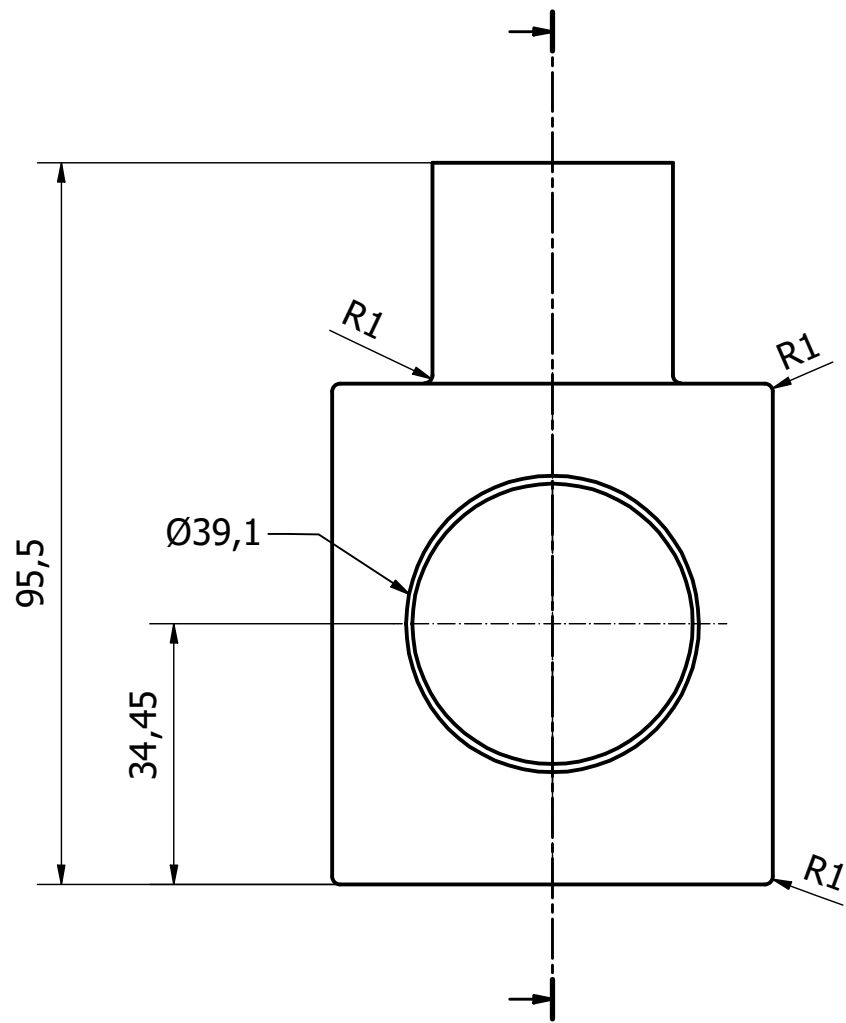
Fecha:

25/08/2022

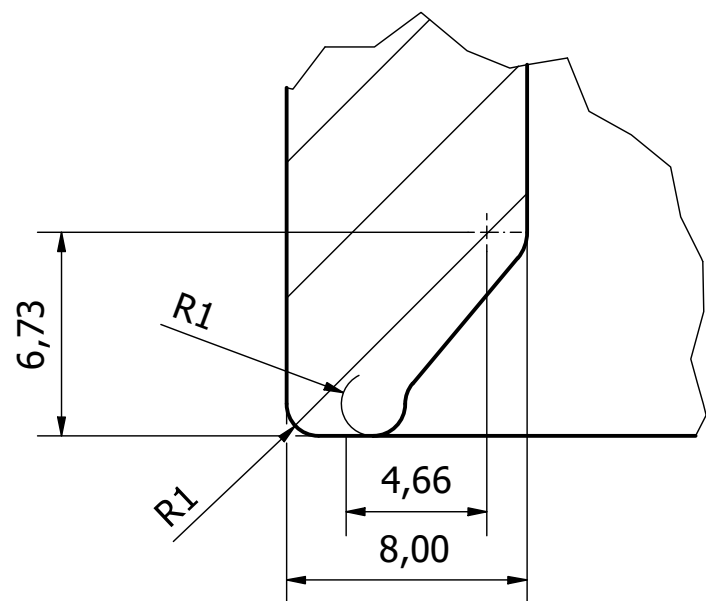
Hoja:

29/57

# 35



B (4 : 1)



1:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Cubierta válvula

Autor:

Iván Vázquez Llopis

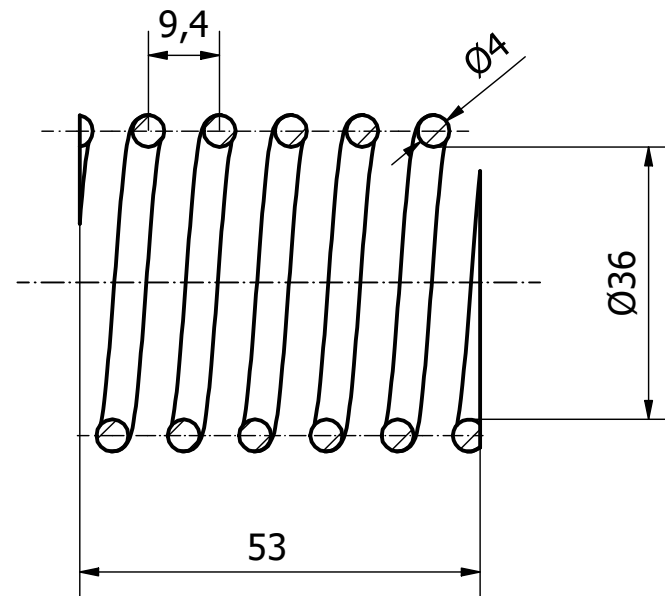
Fecha:

22/08/2022

Hoja:

30/57

36



1:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Resorte

Autor:

Iván Vázquez Llopis

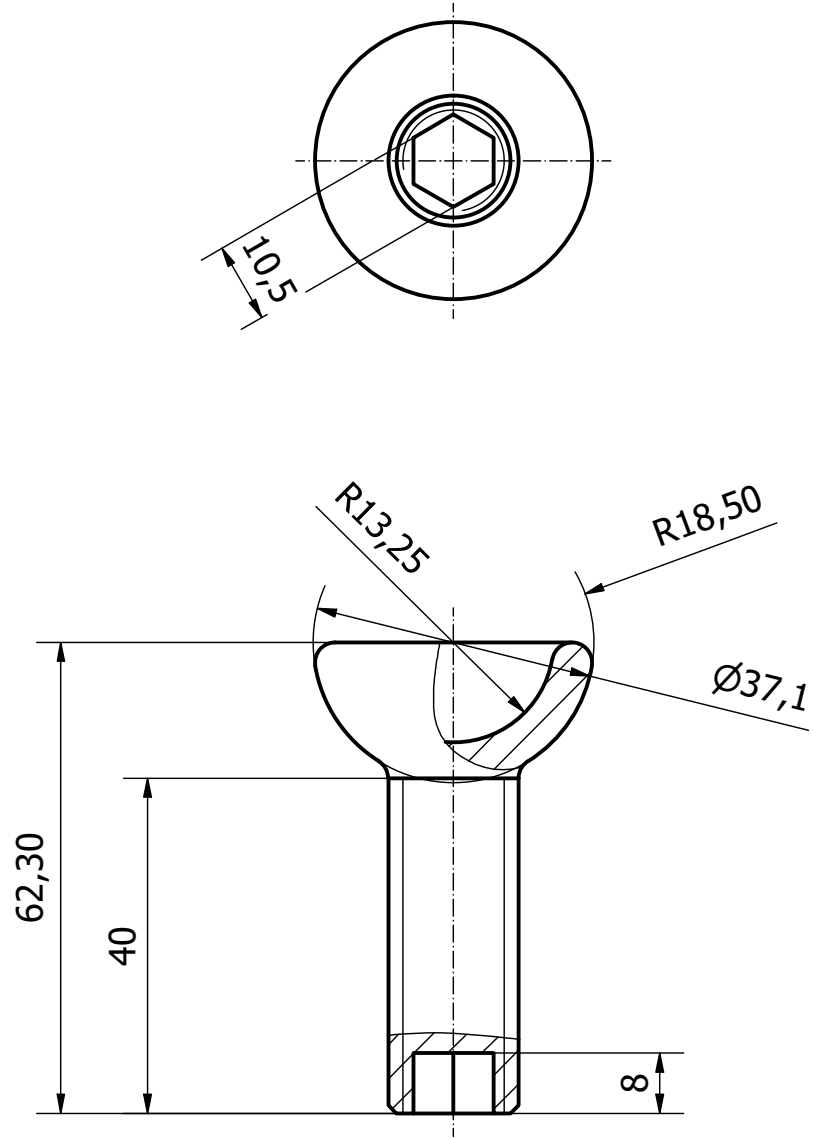
Fecha:

24/08/2022

Hoja:

31/57

# 38



1:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Soporte varilla sistema de levas

Autor:

Iván Vázquez Llopis

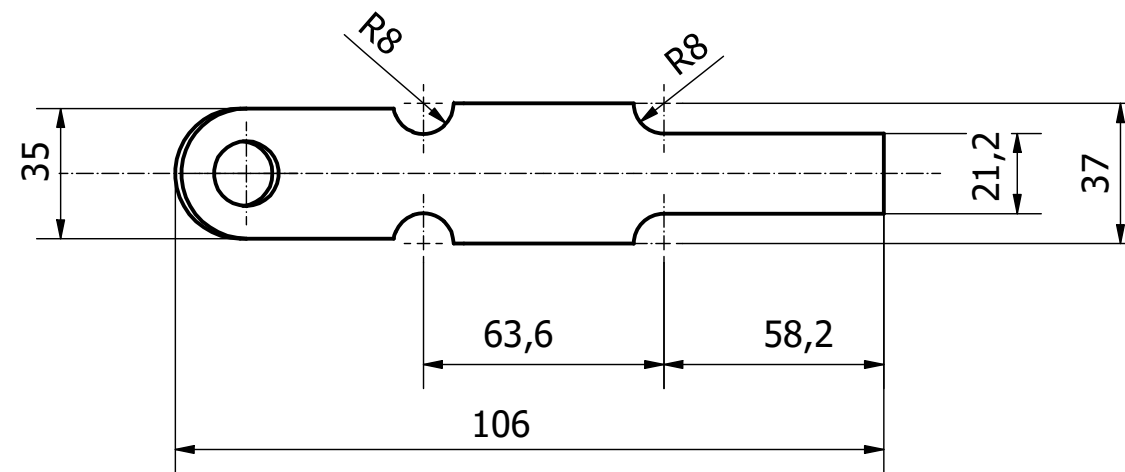
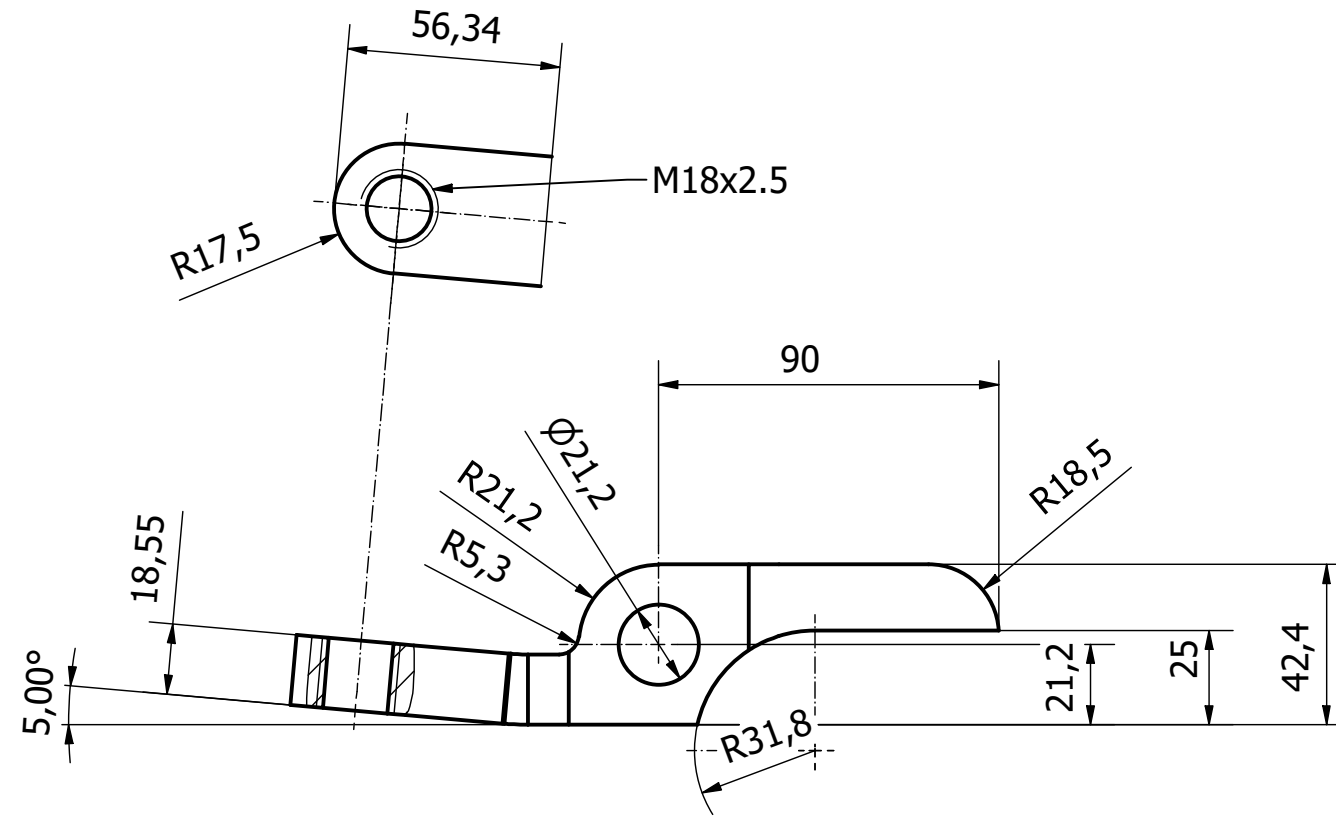
Fecha:

25/08/2022

Hoja:

32/57

# 39



1:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Brazo oscilante

Autor:

Iván Vázquez Llopis

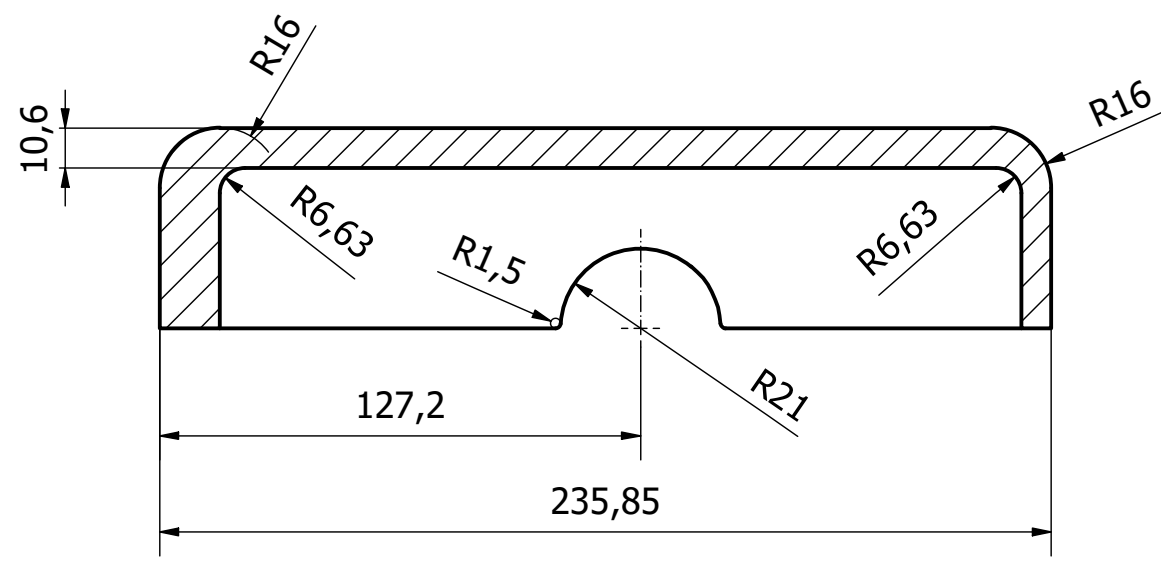
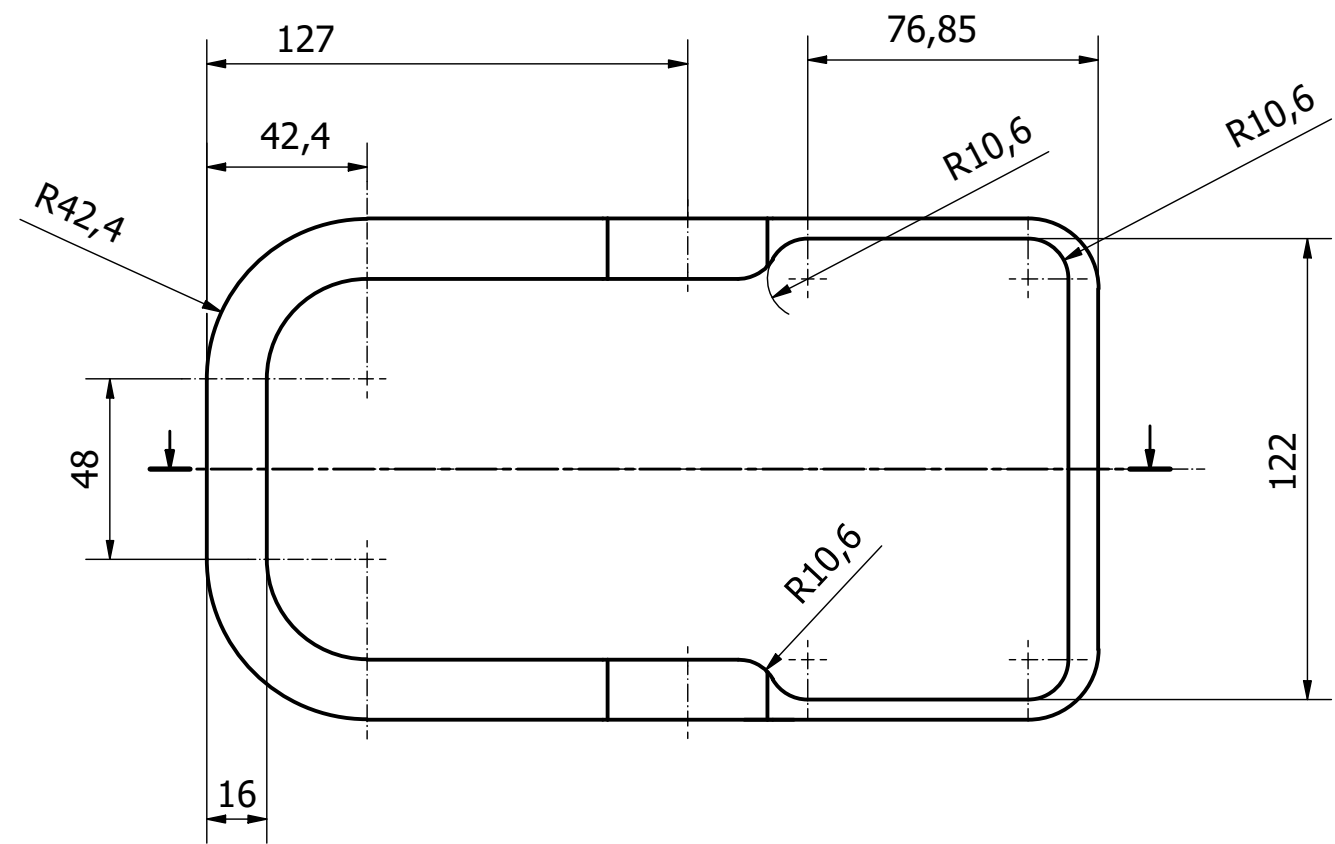
Fecha:

21/08/2022

Hoja:

33/57

# 41



1:2

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



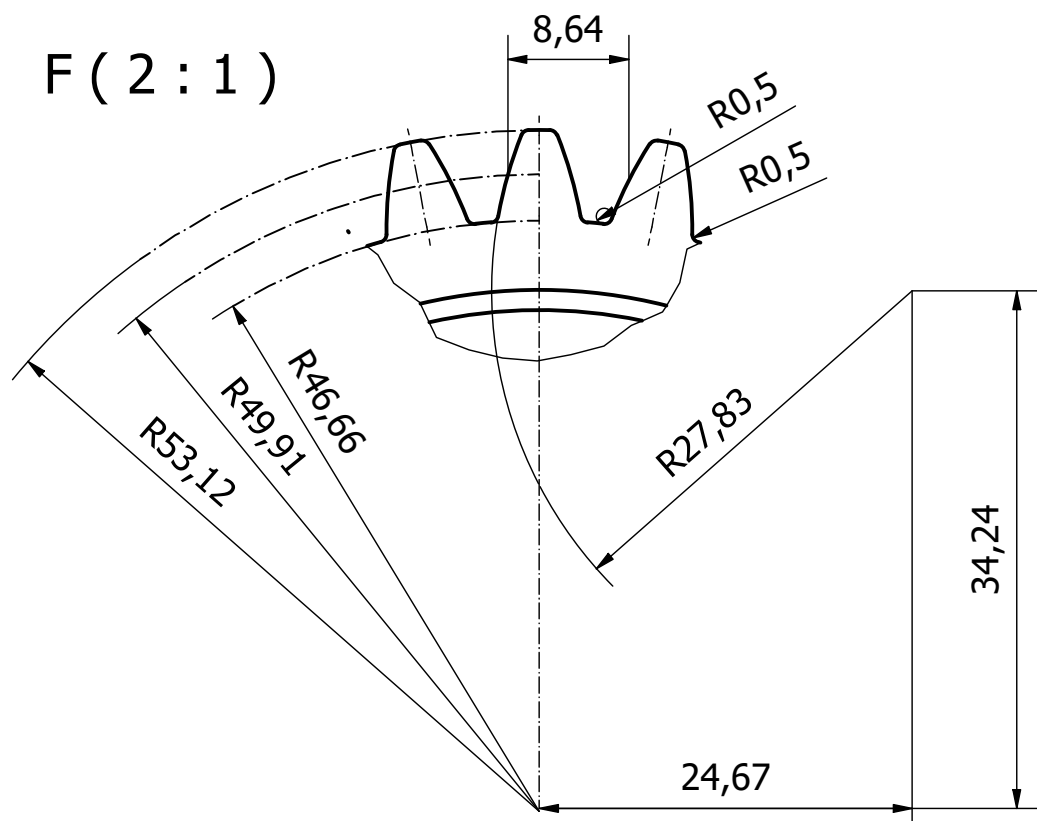
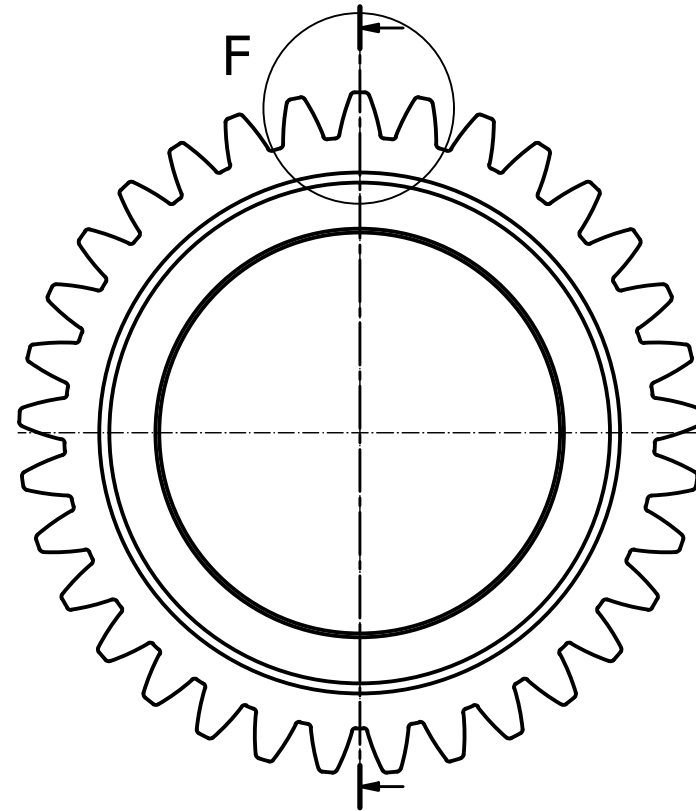
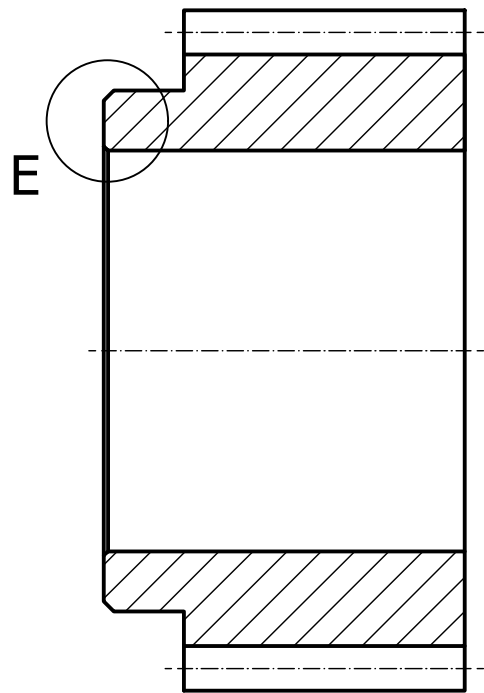
ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:  
DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:  
Cubierta balancines

Autor: Iván Vázquez Llopis  
Fecha: 22/08/2022  
Hoja: 34/57

# 43



E (2:1)

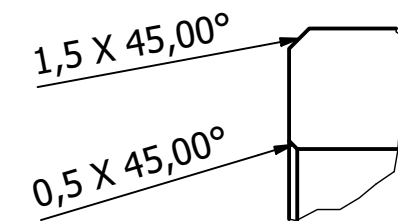


TABLA	
DATOS DE LA RUEDA	
Módulo (m)	2,75
Nº de dientes (Z)	33

1:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Rueda planetaria

Autor:

Iván Vázquez Llopis

Fecha:

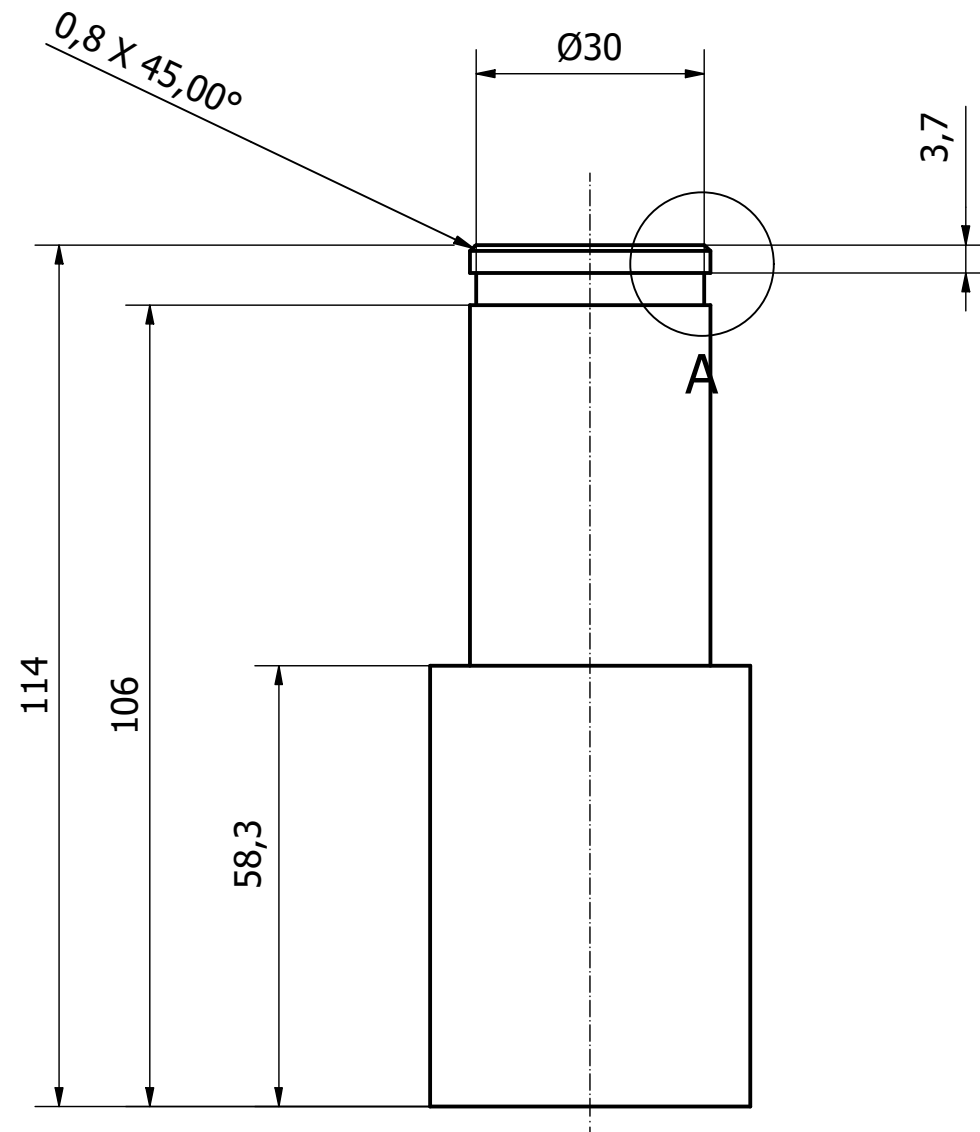
03/09/2022

Hoja:

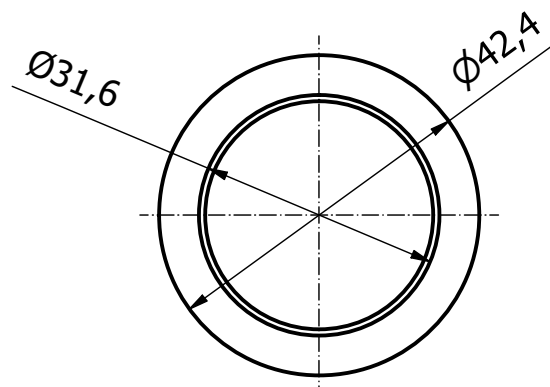
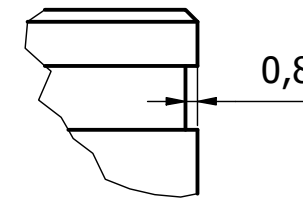
35/57



44



A ( 2 : 1 )



1:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR ENGINYERIA INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Eje engranaje planetario

Autor:

Iván Vázquez Llopis

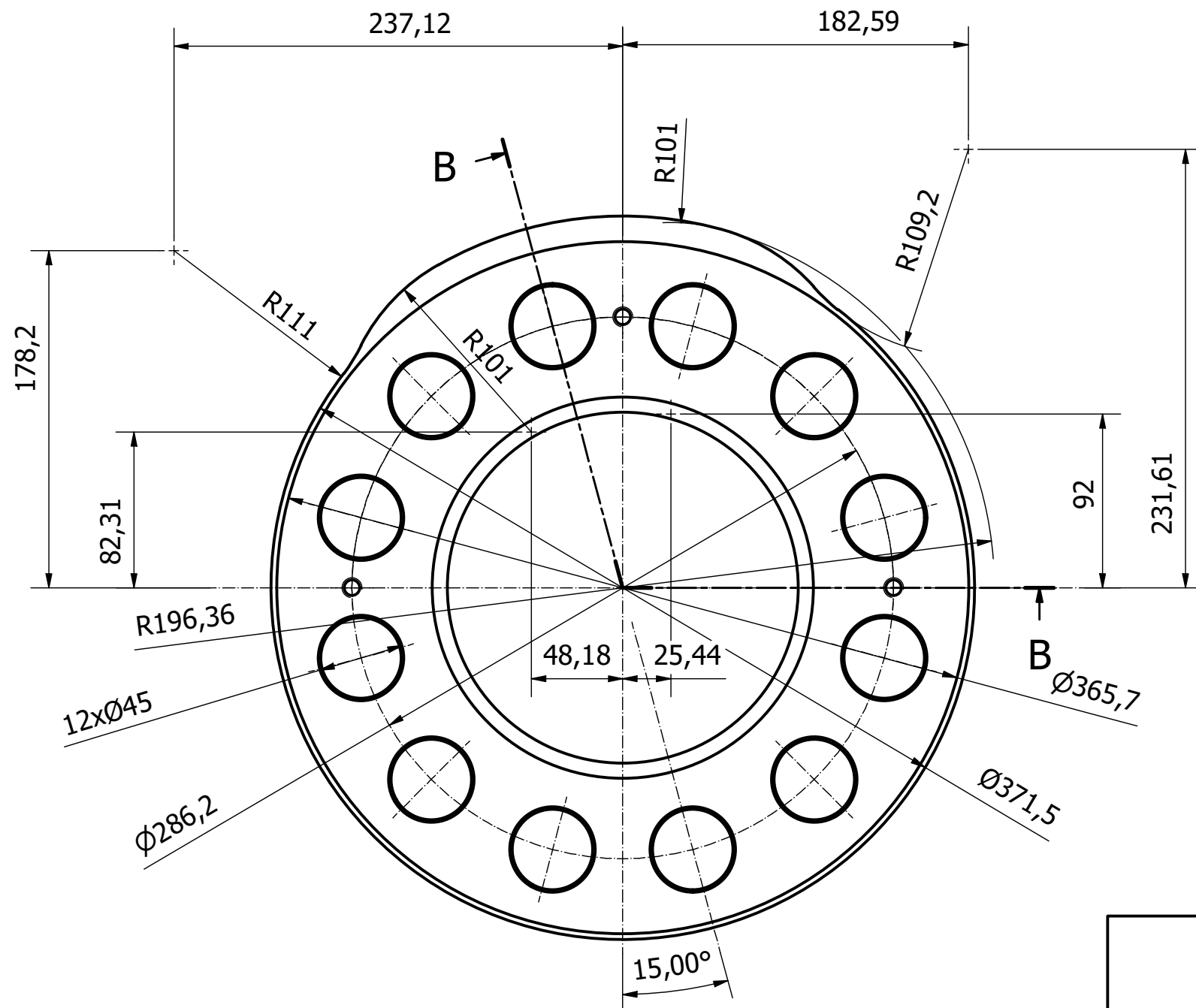
Fecha:

23/08/2022

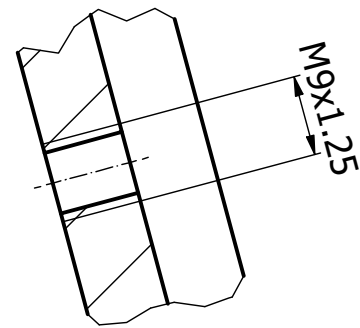
Hoja:

36/57

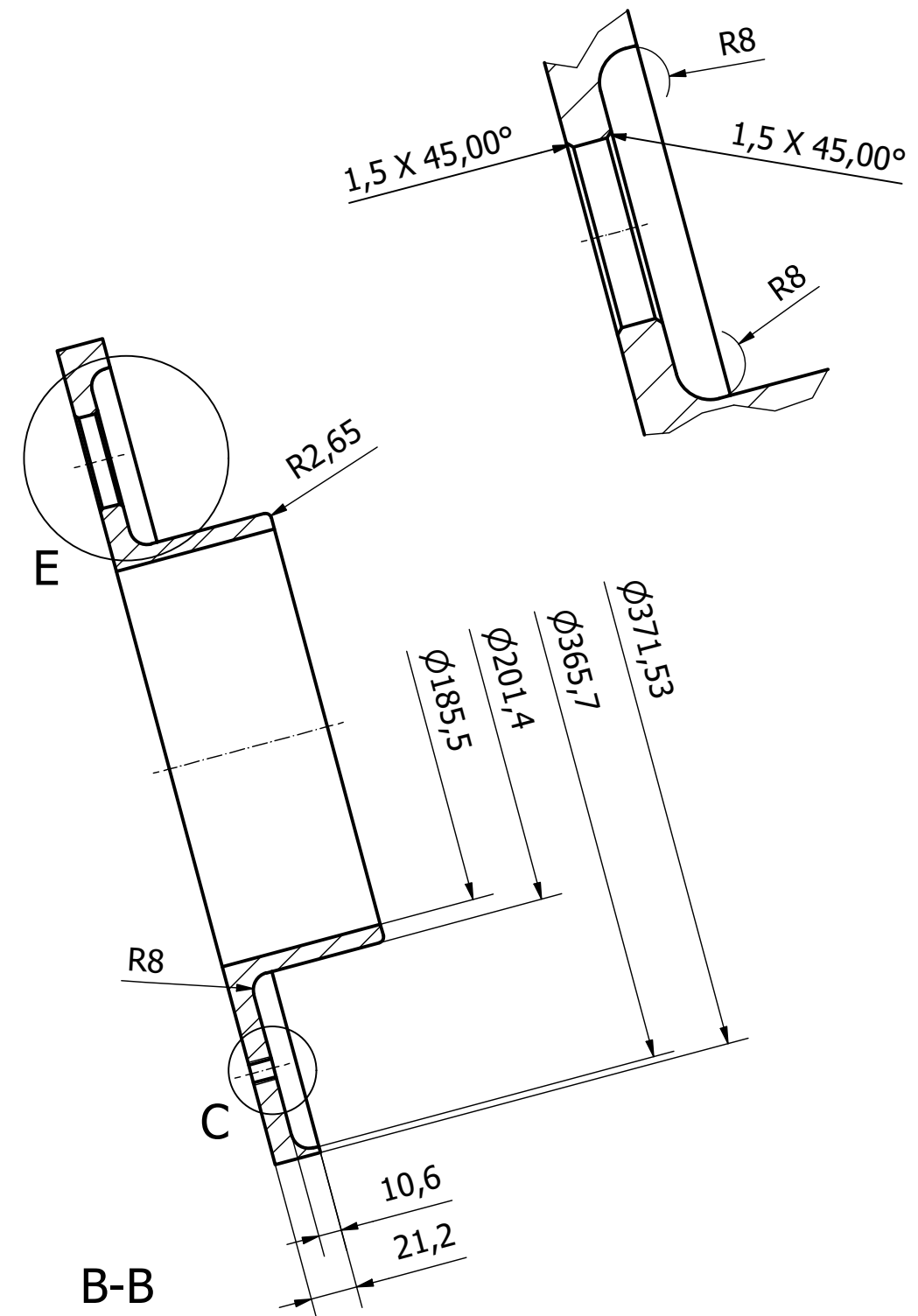
# 47



C ( 1:1 )



E ( 2:3 )



TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Disco de leva delantero

Escala:

1:3

Sistema:

Autor:

Iván Vázquez Llopis

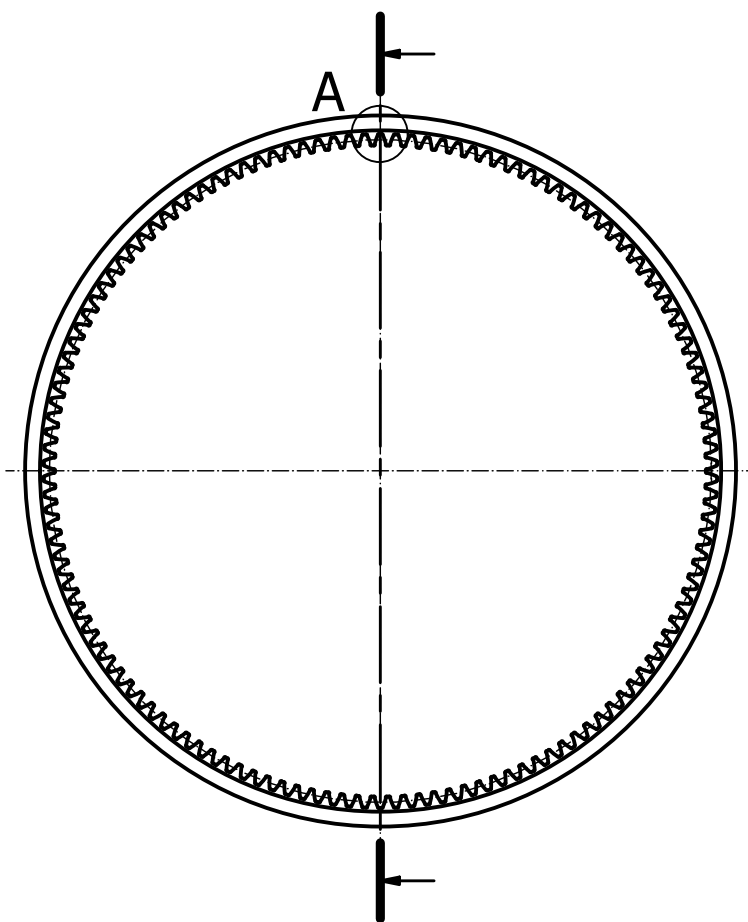
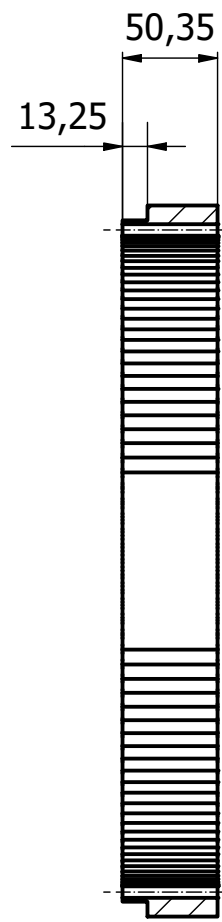
Fecha:

23/08/2022

Hoja:

37/57

# 48



A ( 2:1 )

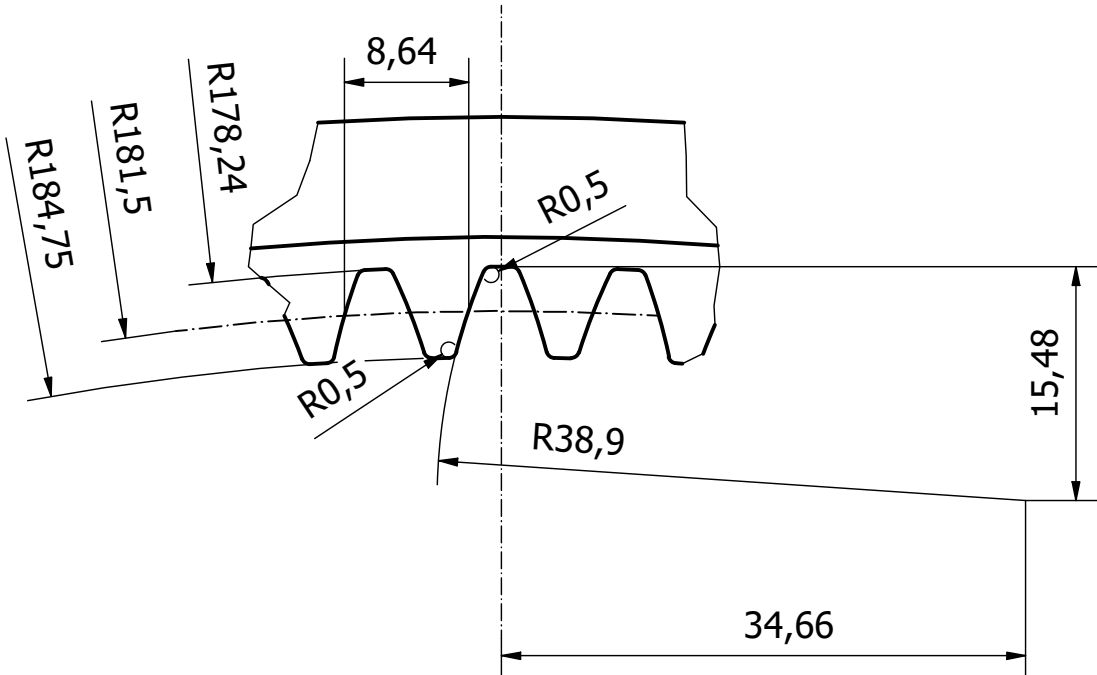


TABLA	
Datos de la rueda	Columna 2
Módulo (m)	2,75
Nº de dientes (Z)	132

1:4

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

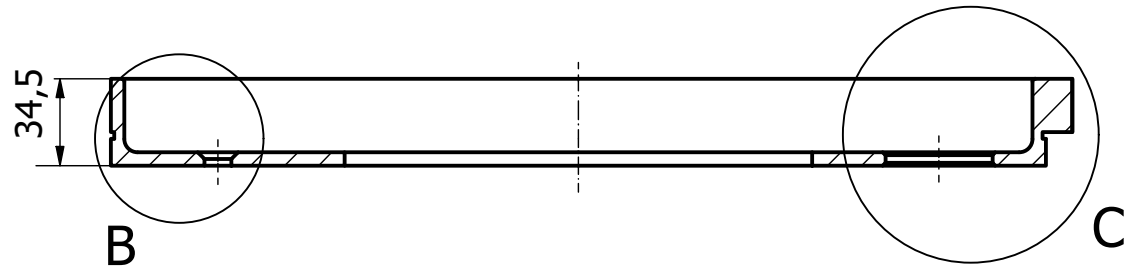


ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR ENGINYERIA INDUSTRIAL VALÈNCIA

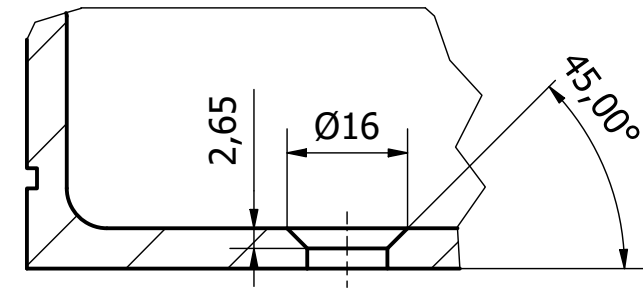
Proyecto:		
DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1		
Plano:		
Rueda dentada hueca		
Autor:	Fecha:	Hoja:
Iván Vázquez Llopis	24/08/2022	38/57

# 49

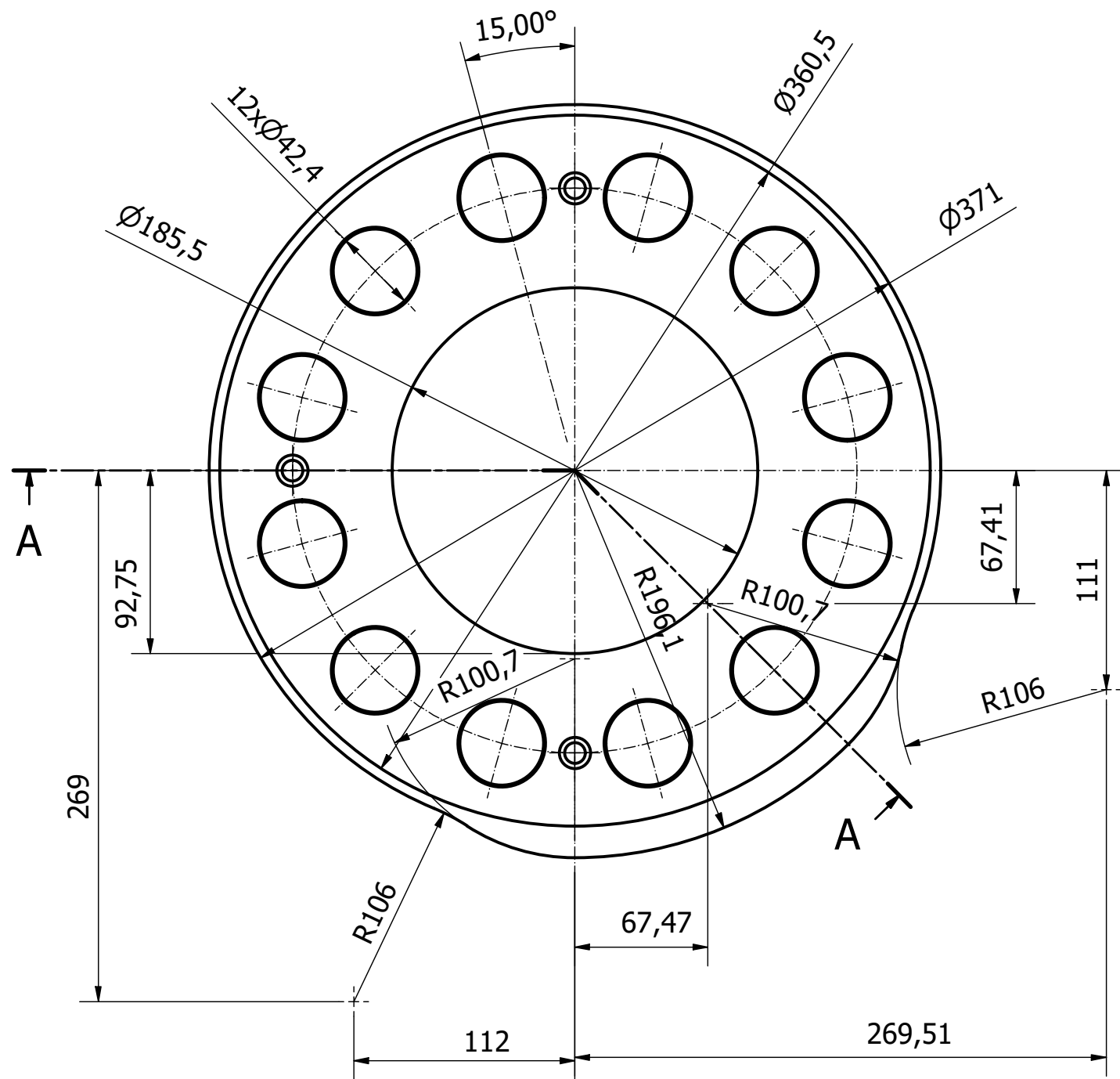
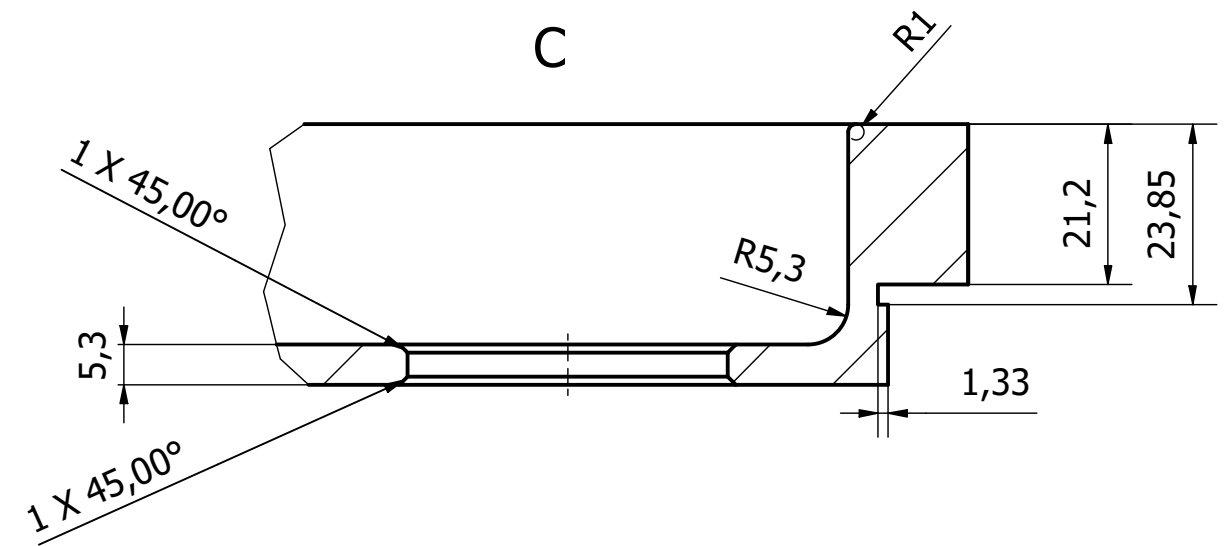
A-A



B



C



1:3

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Disco de leva trasero

Autor:

Iván Vázquez Llopis

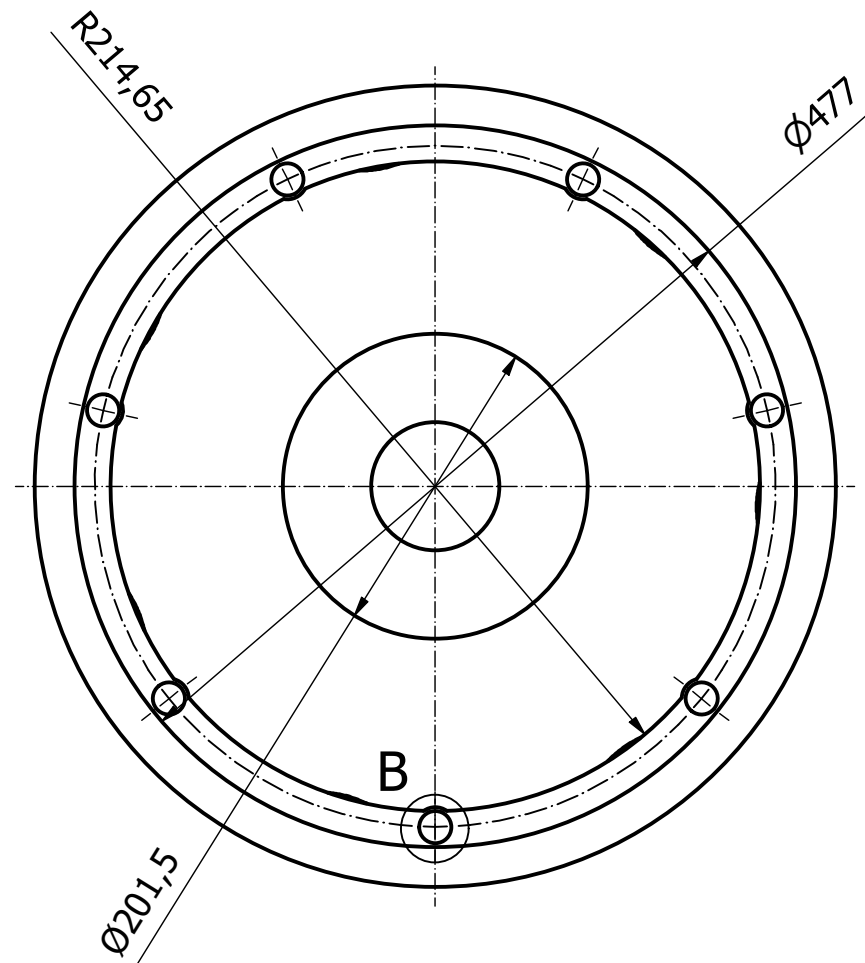
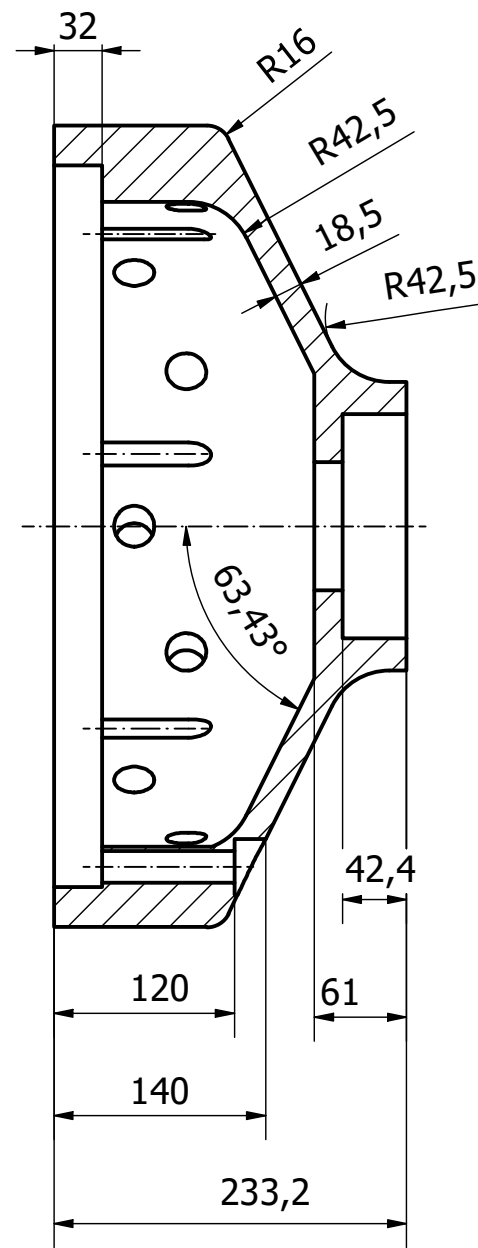
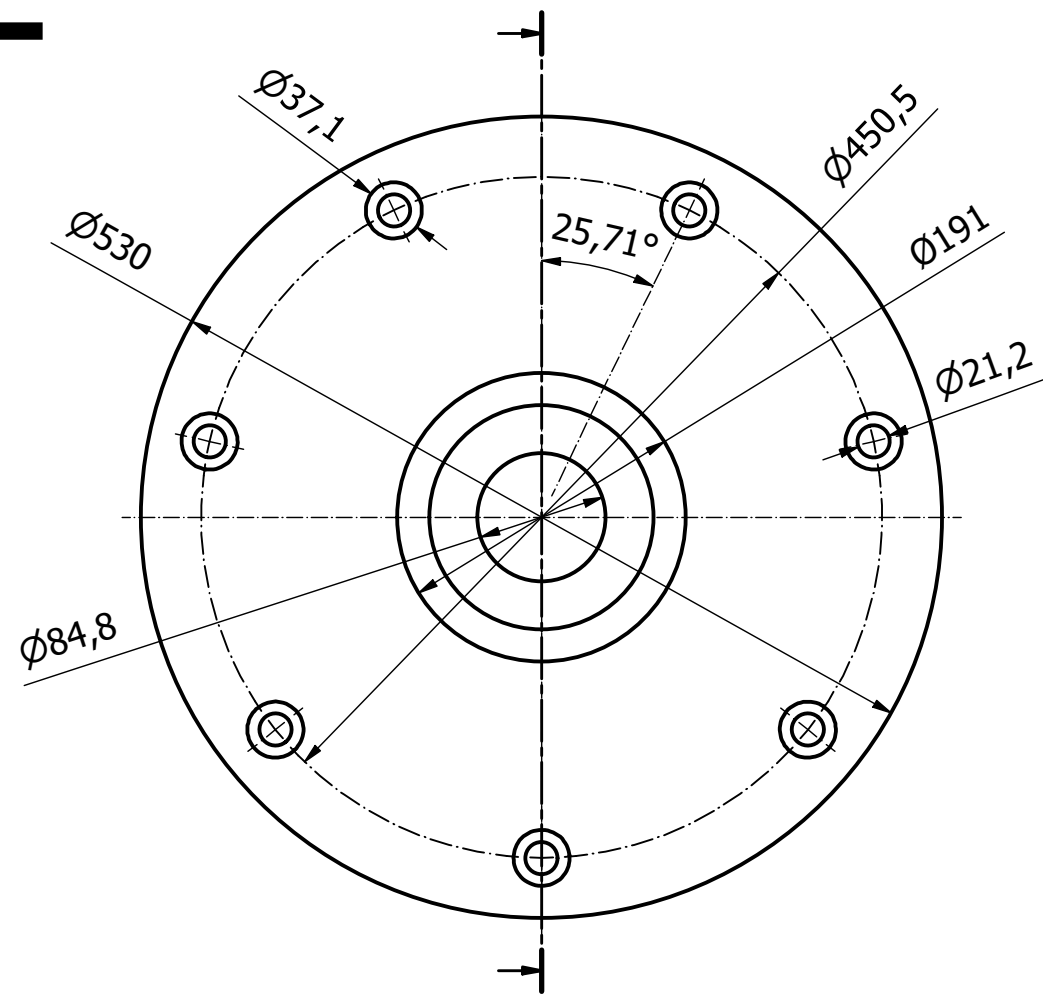
Fecha:

22/08/2022

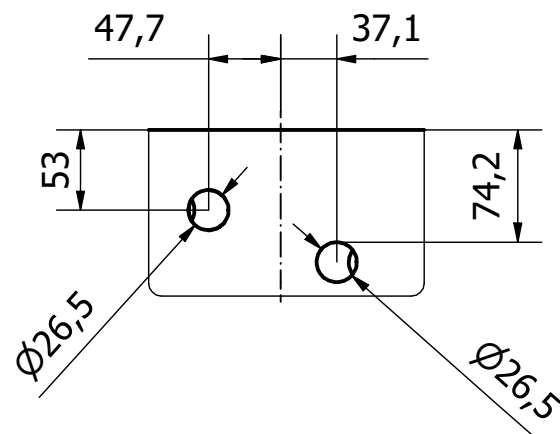
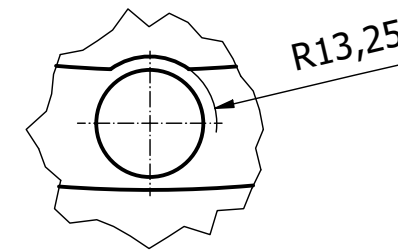
Hoja:

39/57

# 52



B (2 : 3)



1:5

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR ENGINYERIA INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Tapa frontal bloque motor

Autor:

Iván Vázquez Llopis

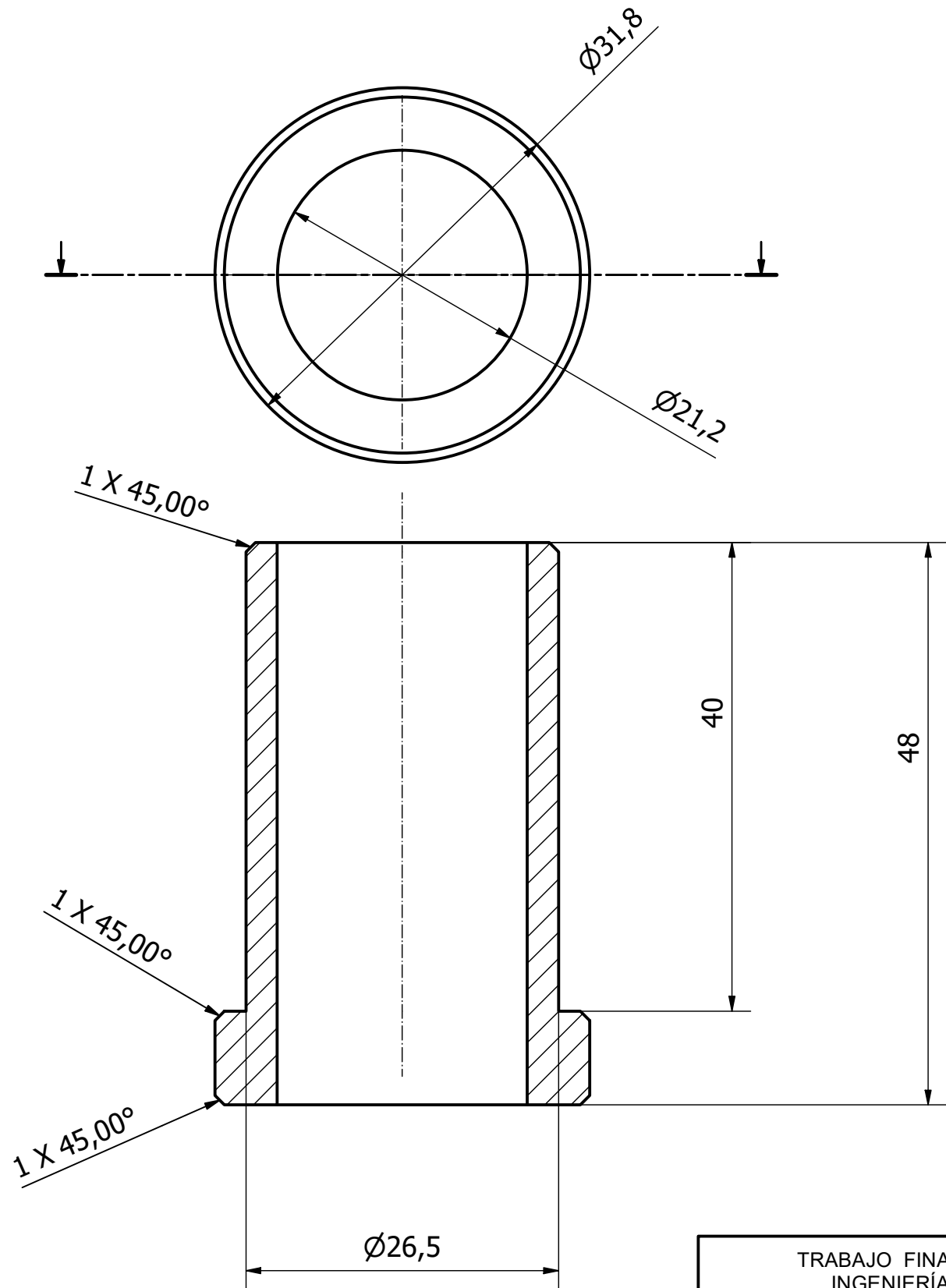
Fecha:

25/08/2022

Hoja:

40/57

53



2:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Cojinete

Autor:

Iván Vázquez Llopis

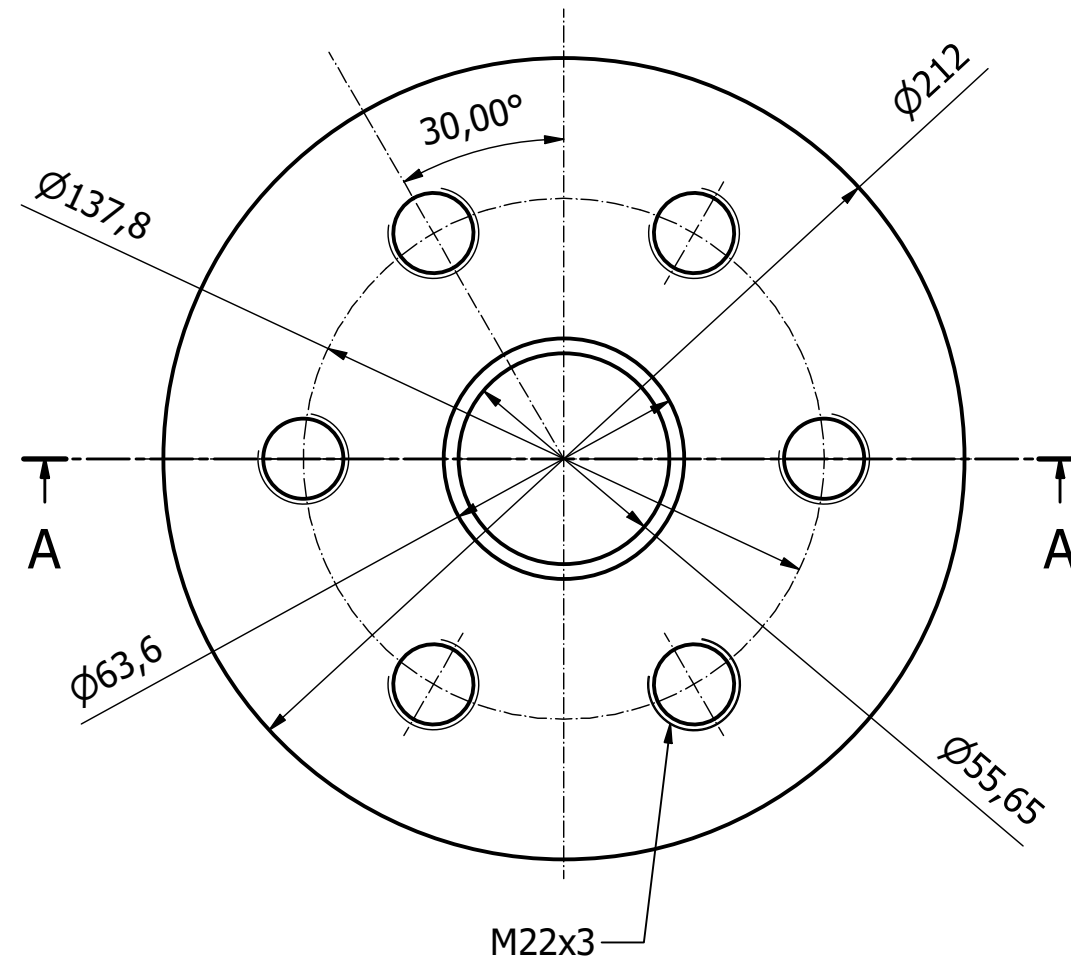
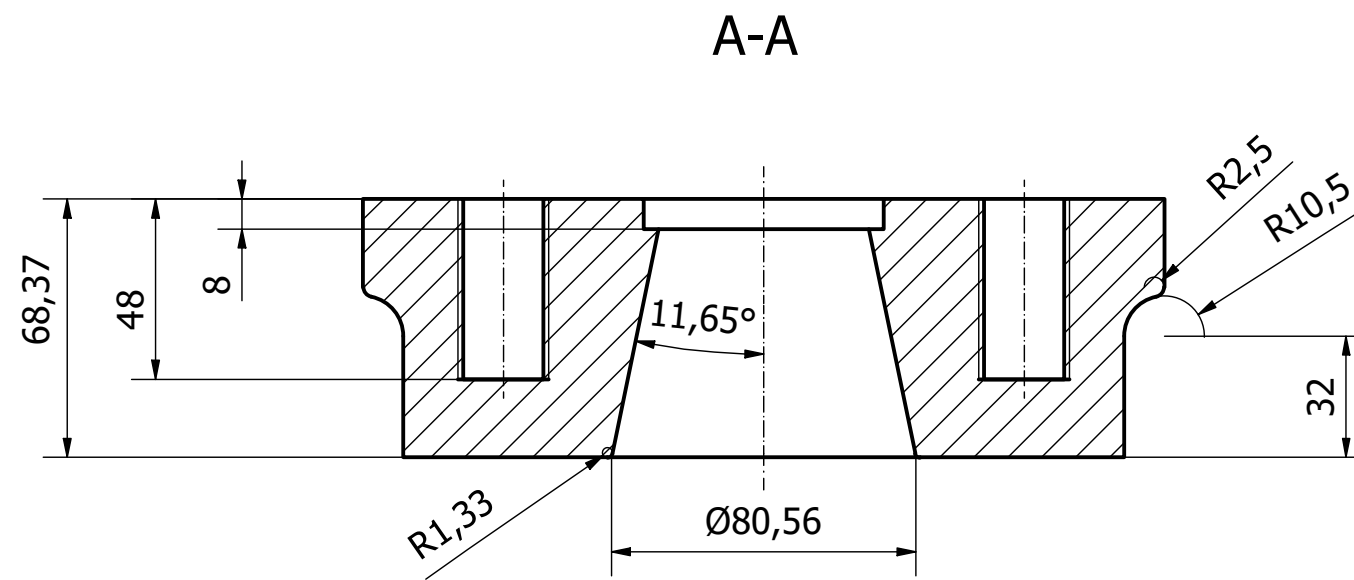
Fecha:

21/08/2022

Hoja:

41/57

# 55



1:2

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Soporte de disco

Autor:

Iván Vázquez Llopis

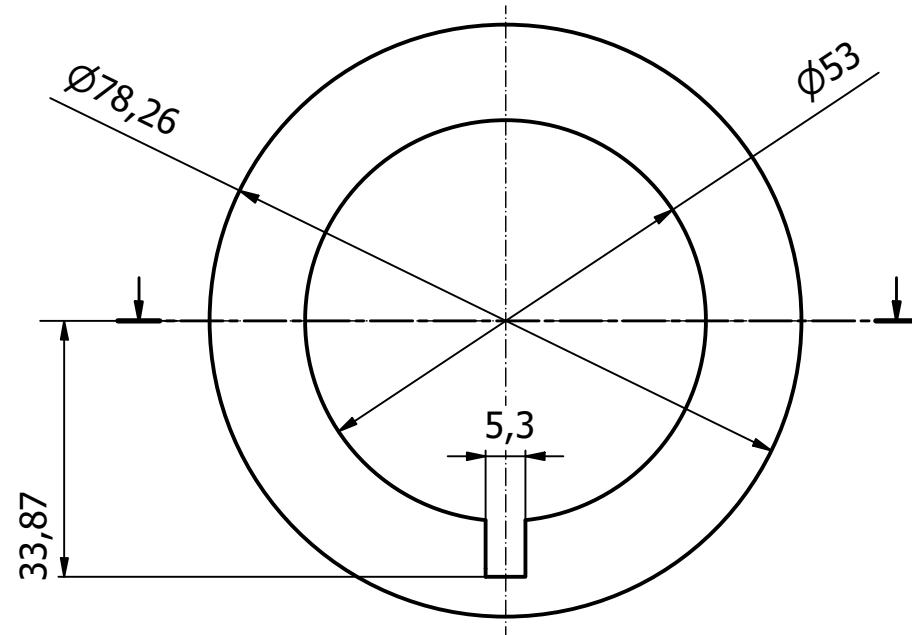
Fecha:

25/08/2022

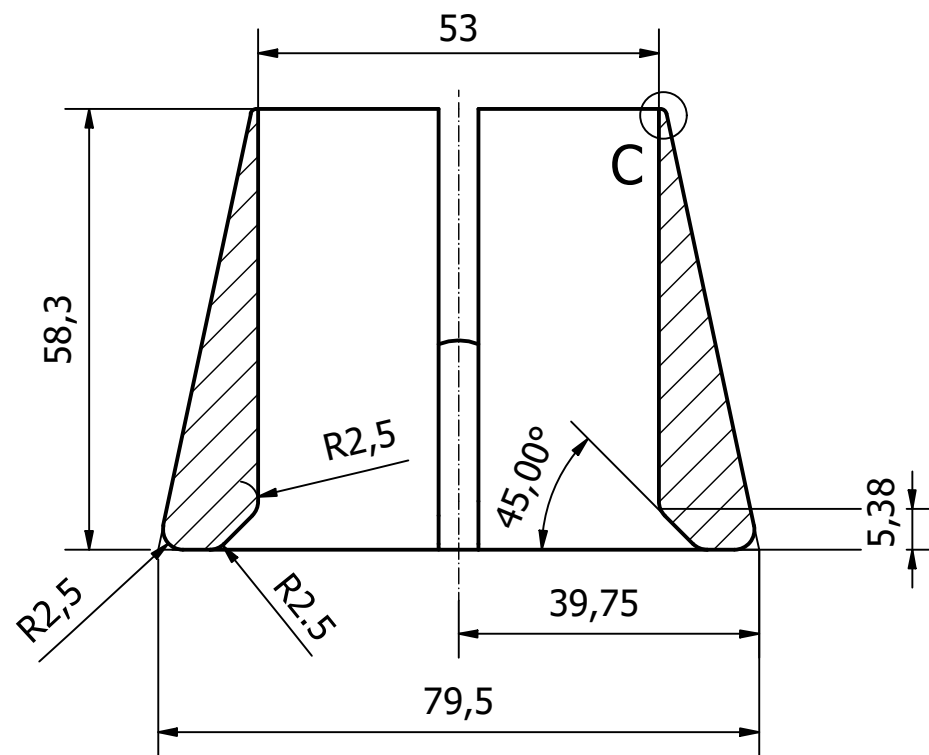
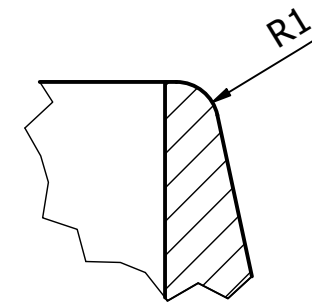
Hoja:

42/57

# 56



C (7:1)



1:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Cono

Autor:

Iván Vázquez Llopis

Fecha:

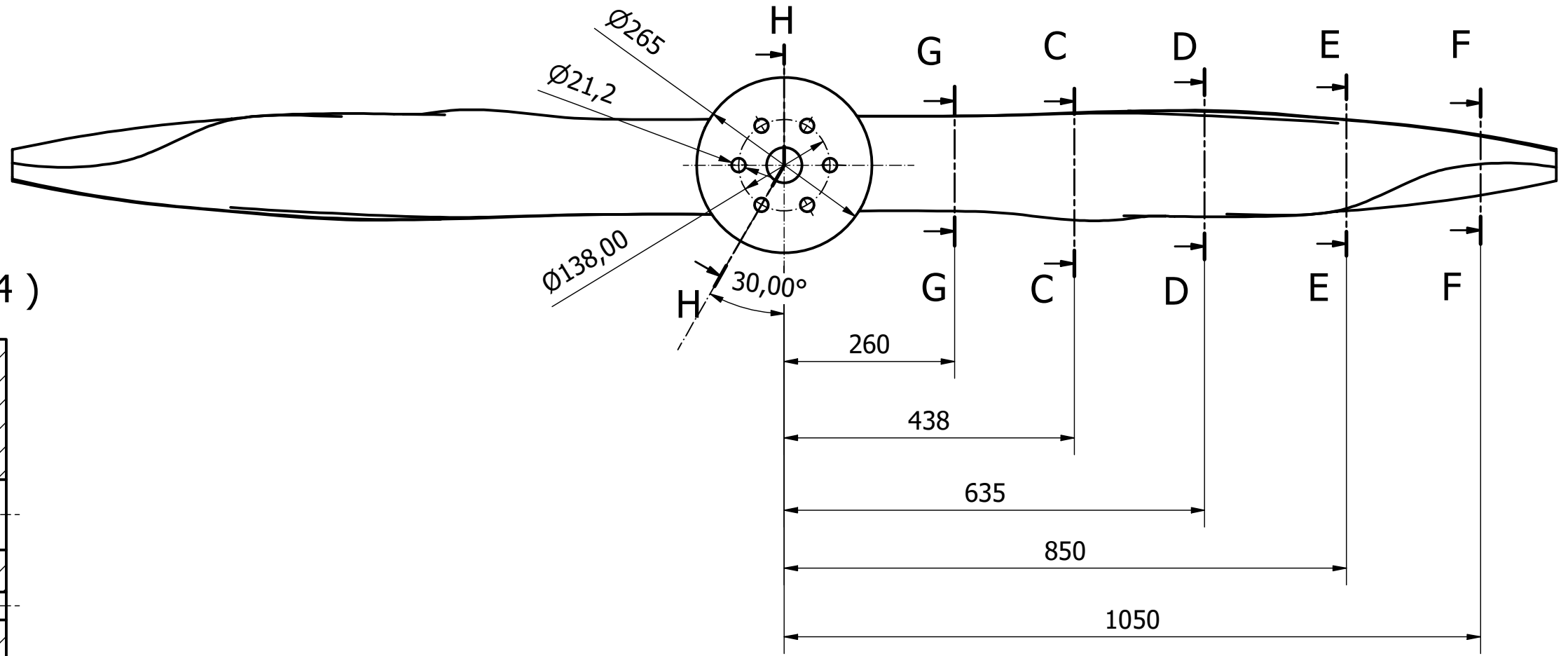
21/08/2022

Hoja:

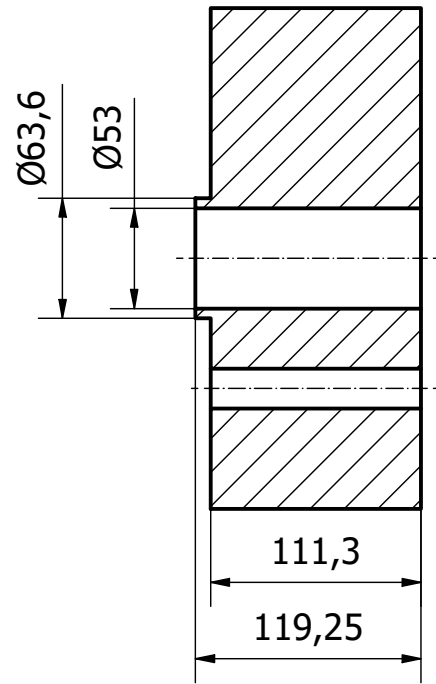
43/57



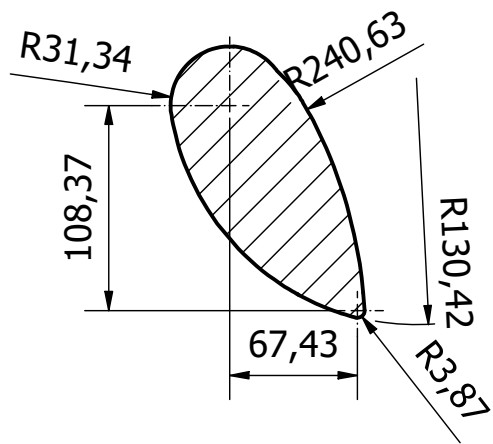
# 57



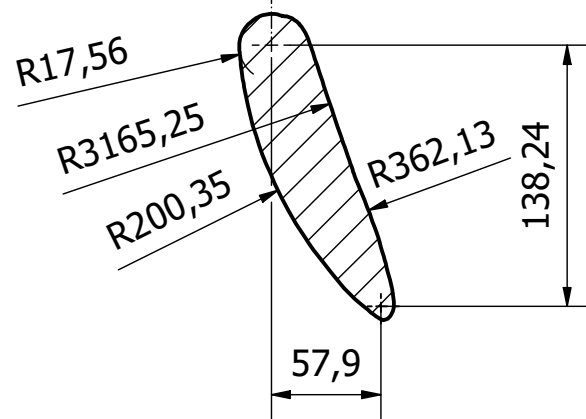
H-H (1 : 4)



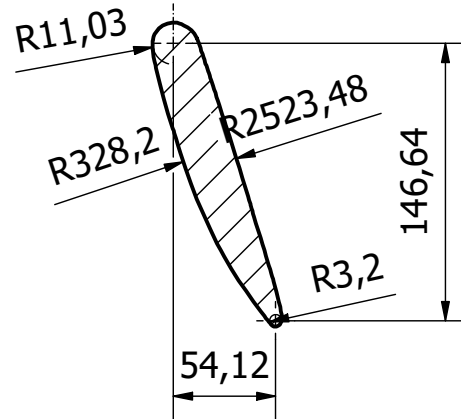
G-G (1 : 4)



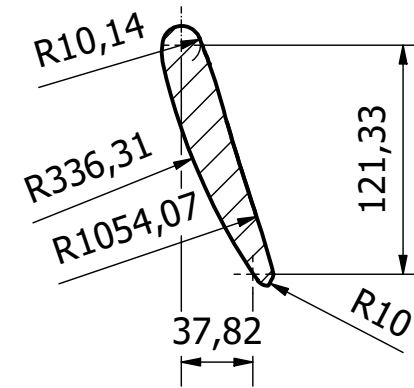
C-C (1 : 4)



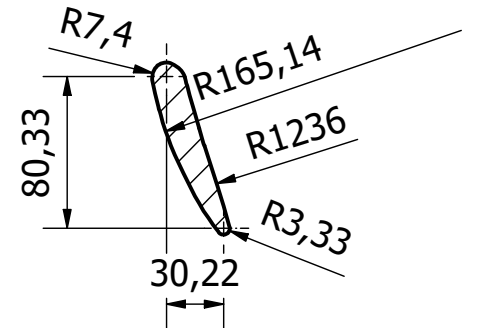
D-D (1 : 4)



E-E (1 : 4)



F-F (1 : 4)



1:8

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Hélice

Autor:

Iván Vázquez Llopis

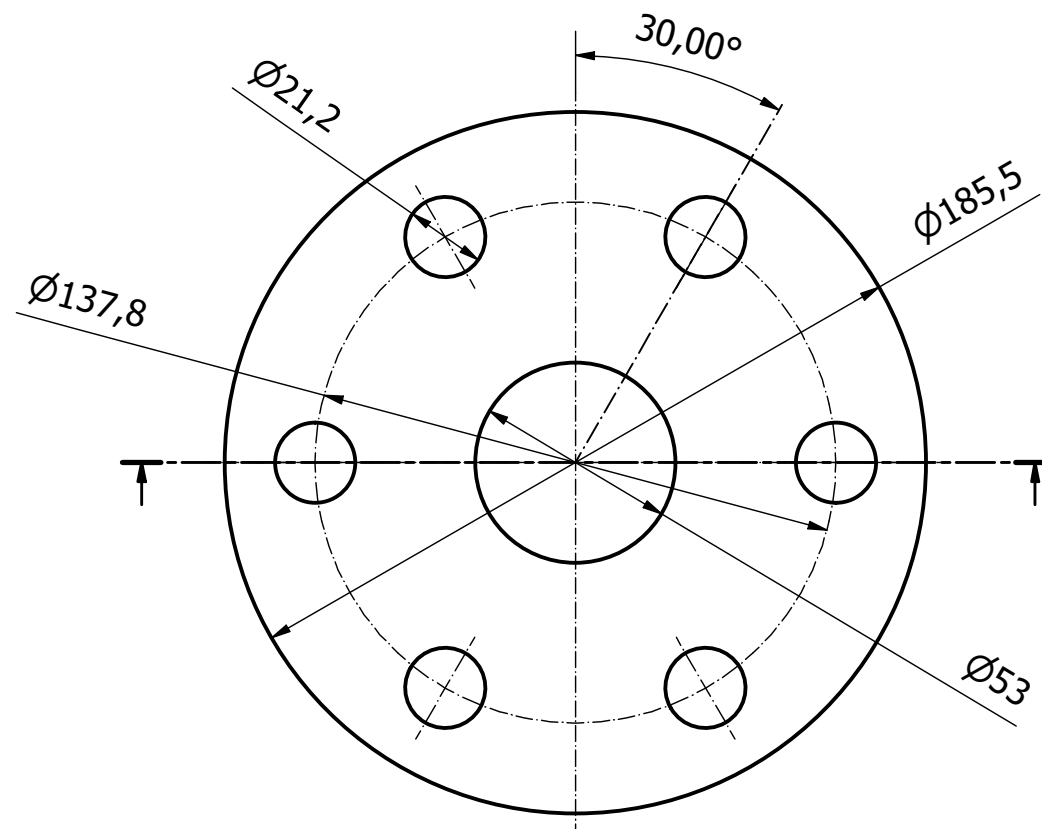
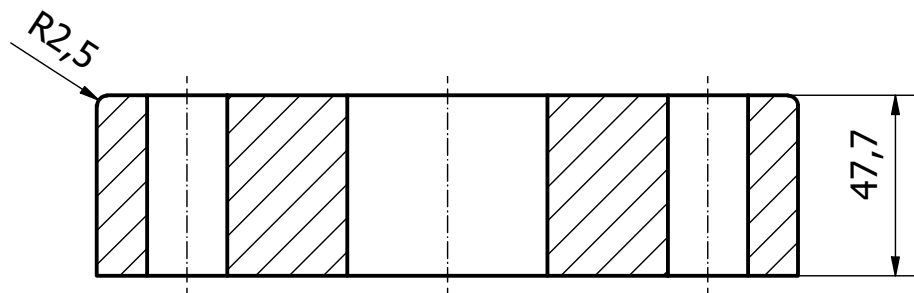
Fecha:

31/08/2022

Hoja:

44/57

# 58



1:2

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Nariz

Autor:

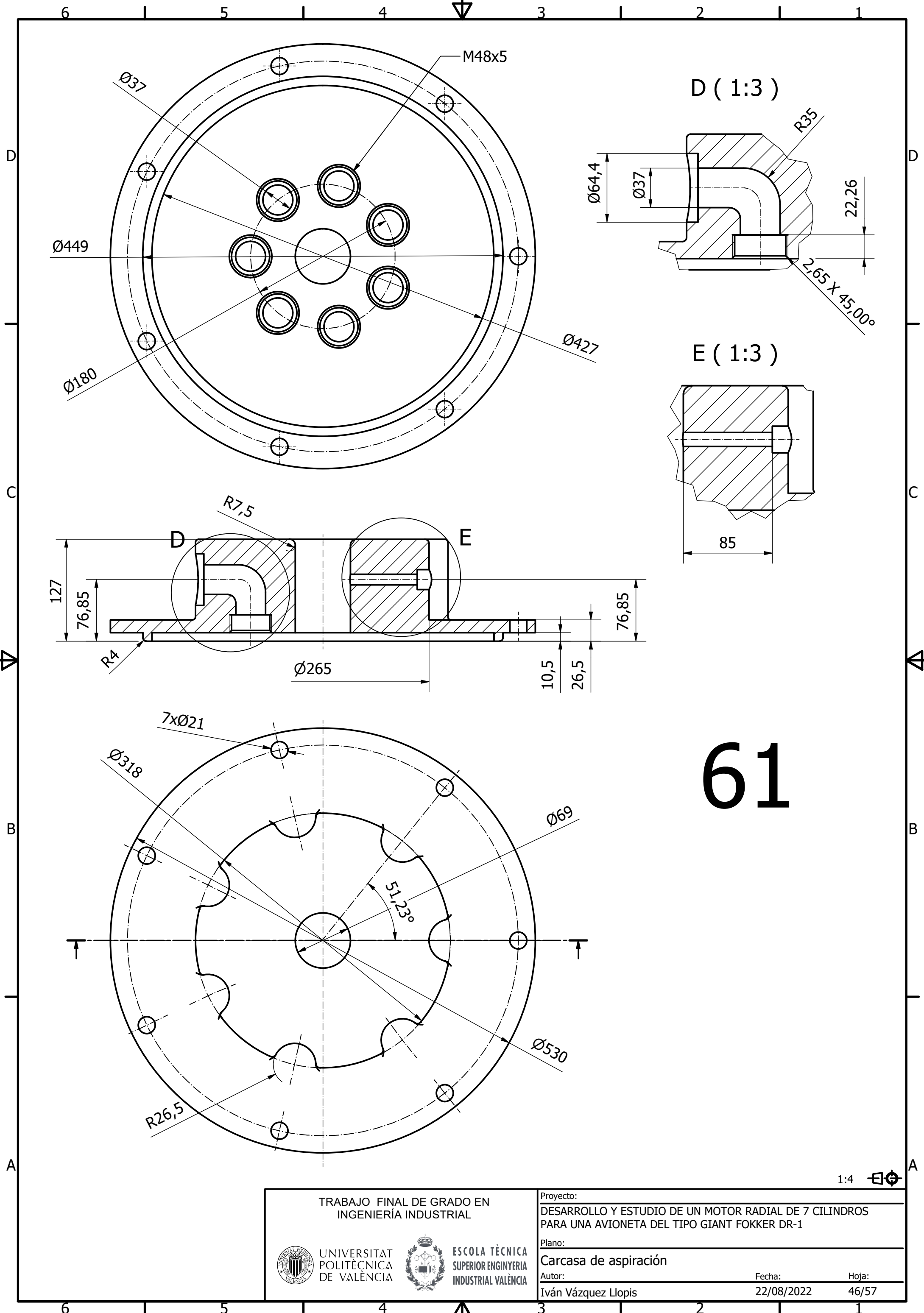
Iván Vázquez Llopis

Fecha:

23/08/2022

Hoja:

45/57



61

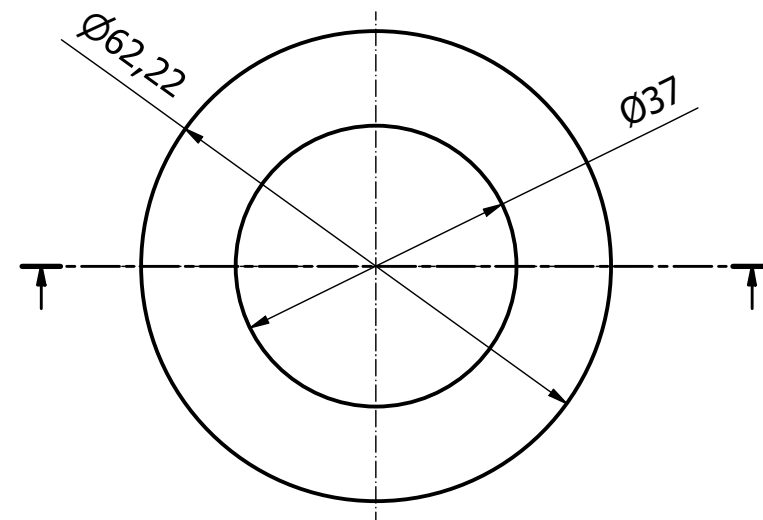
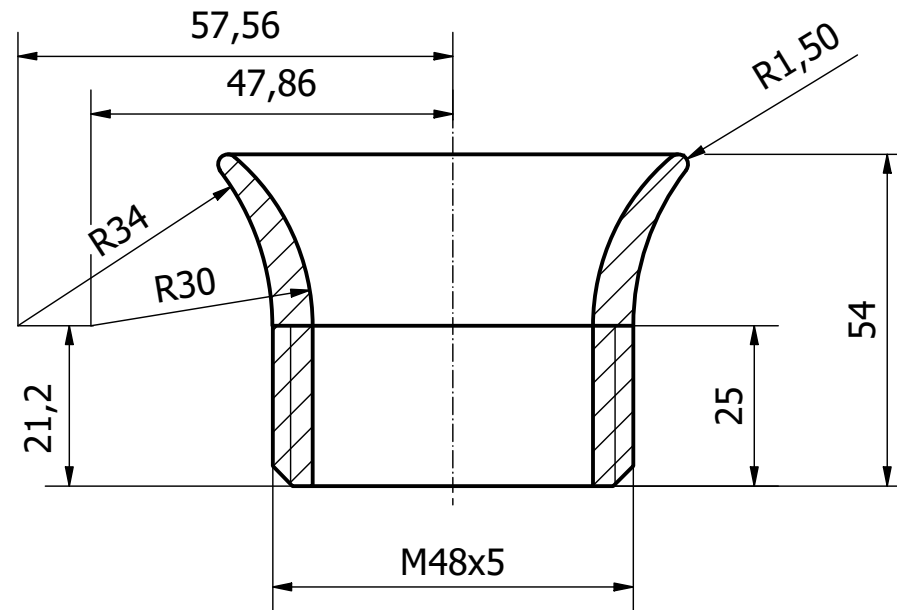
TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL


 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
 
 ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR ENGINYERIA INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:		
DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1		
Plano:		
Carcasa de aspiración		
Autor:	Fecha:	Hoja:
Iván Vázquez Llopis	22/08/2022	46/57

1:4 

62



1:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Vaso guía

Autor:

Iván Vázquez Llopis

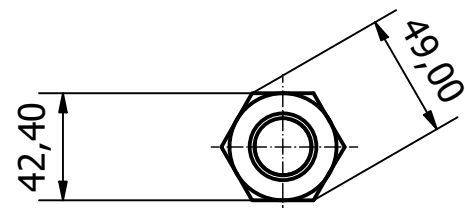
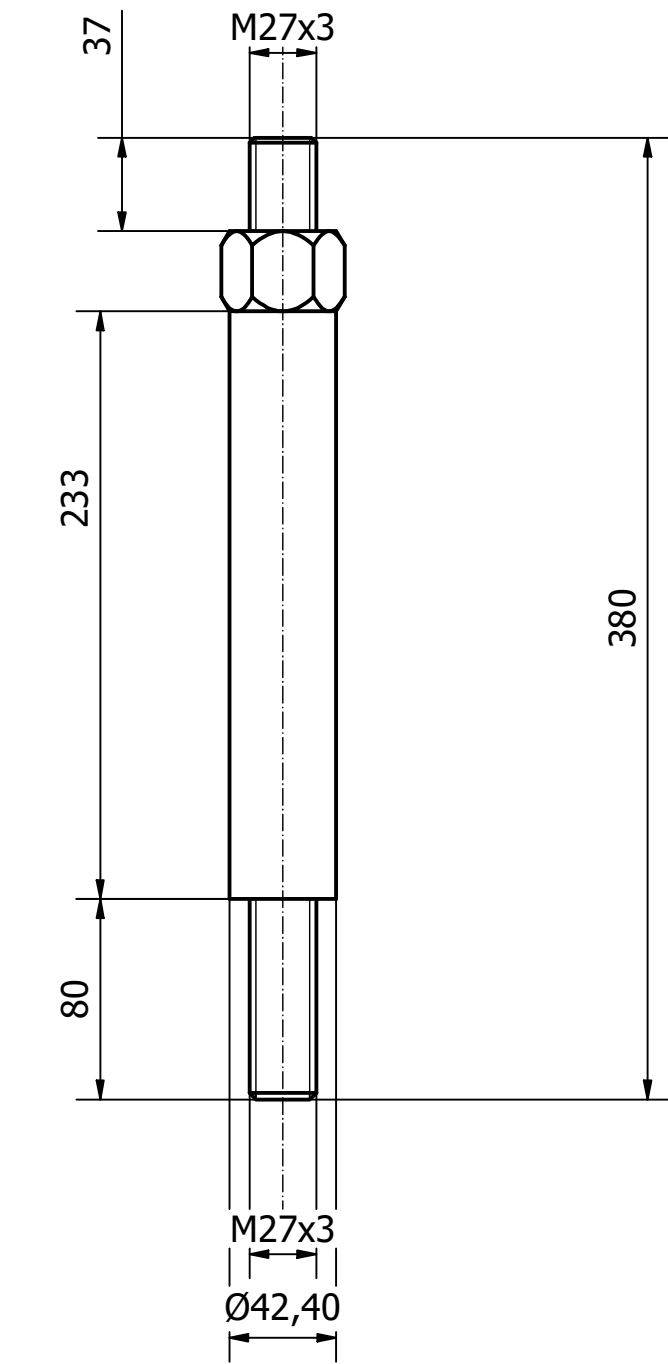
Fecha:

27/08/2022

Hoja:

47/57

63



1:3

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Separador

Autor:

Iván Vázquez Llopis

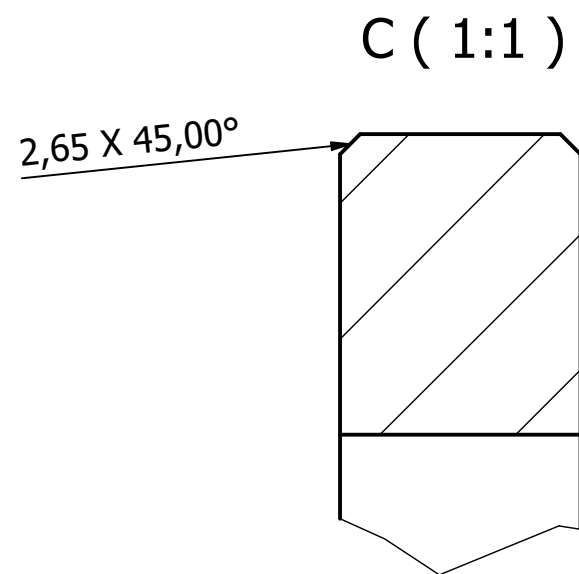
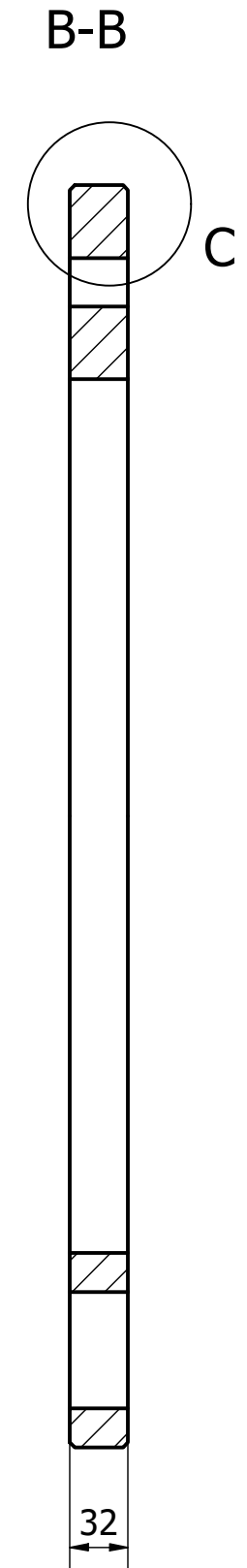
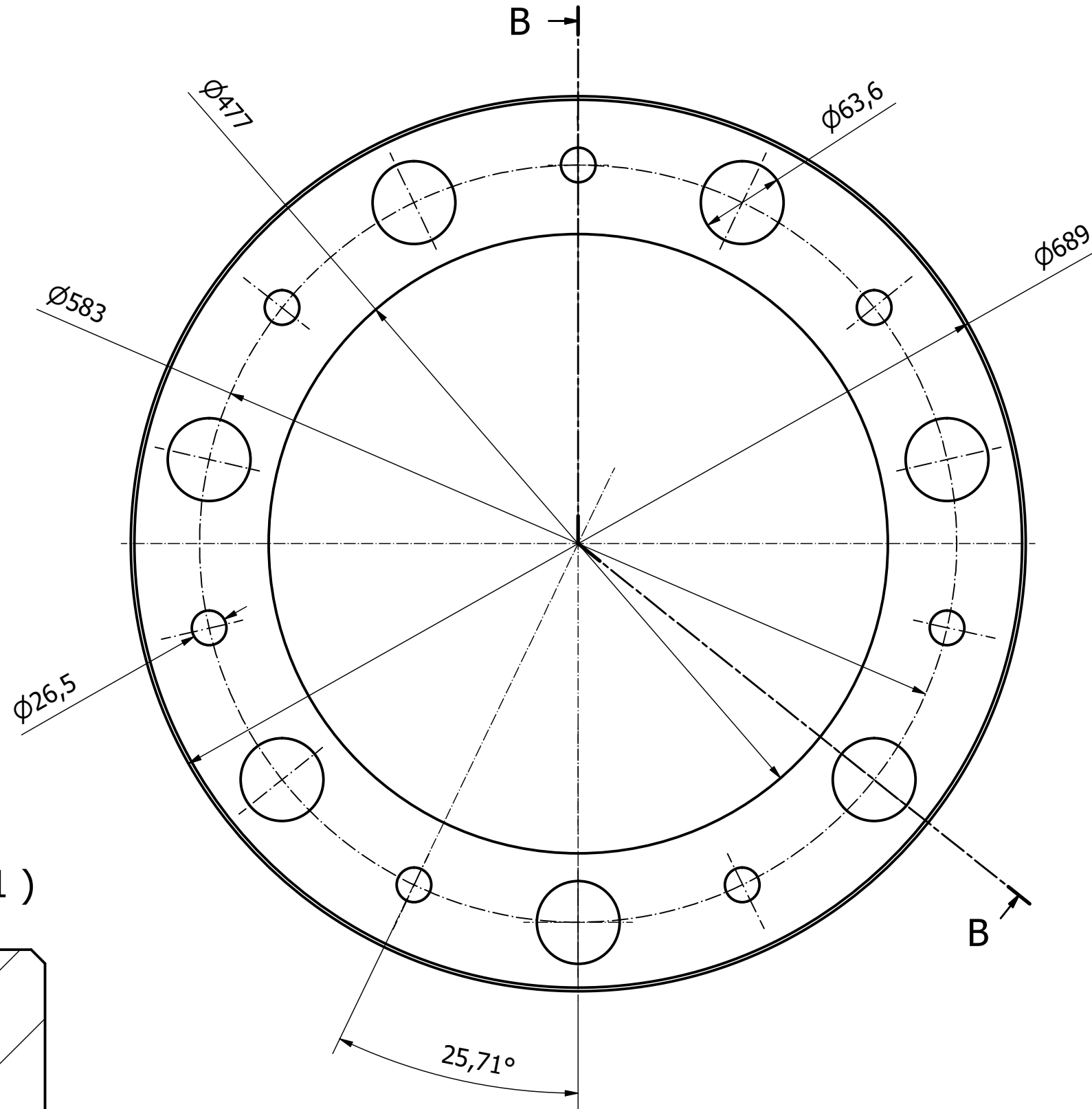
Fecha:

24/08/2022

Hoja:

48/57

# 64



1:4

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO BGI BIT FOKKER DR-1

Plano:

Anillo de montaje

Autor:

Iván Vázquez Llopis

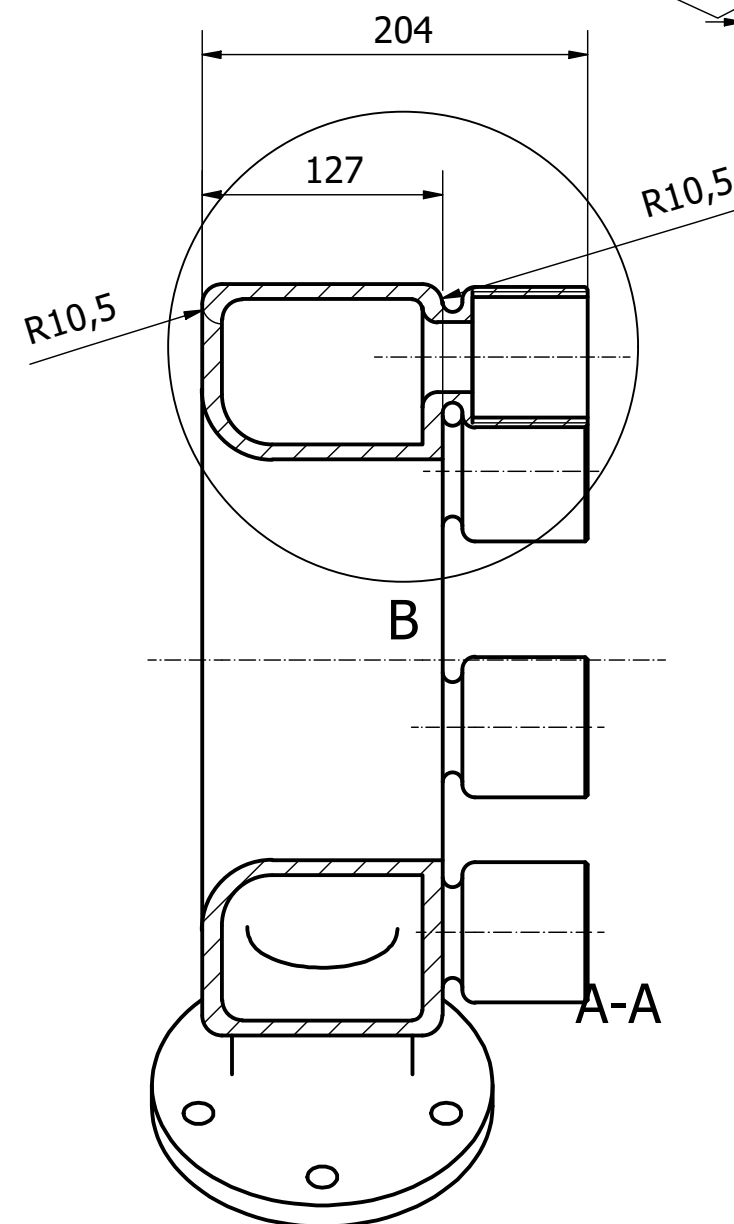
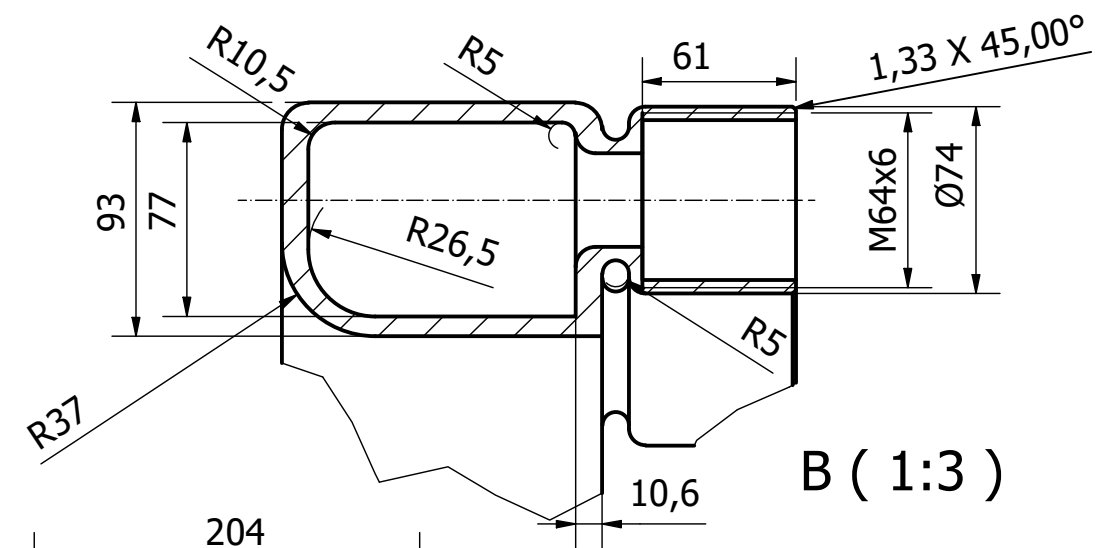
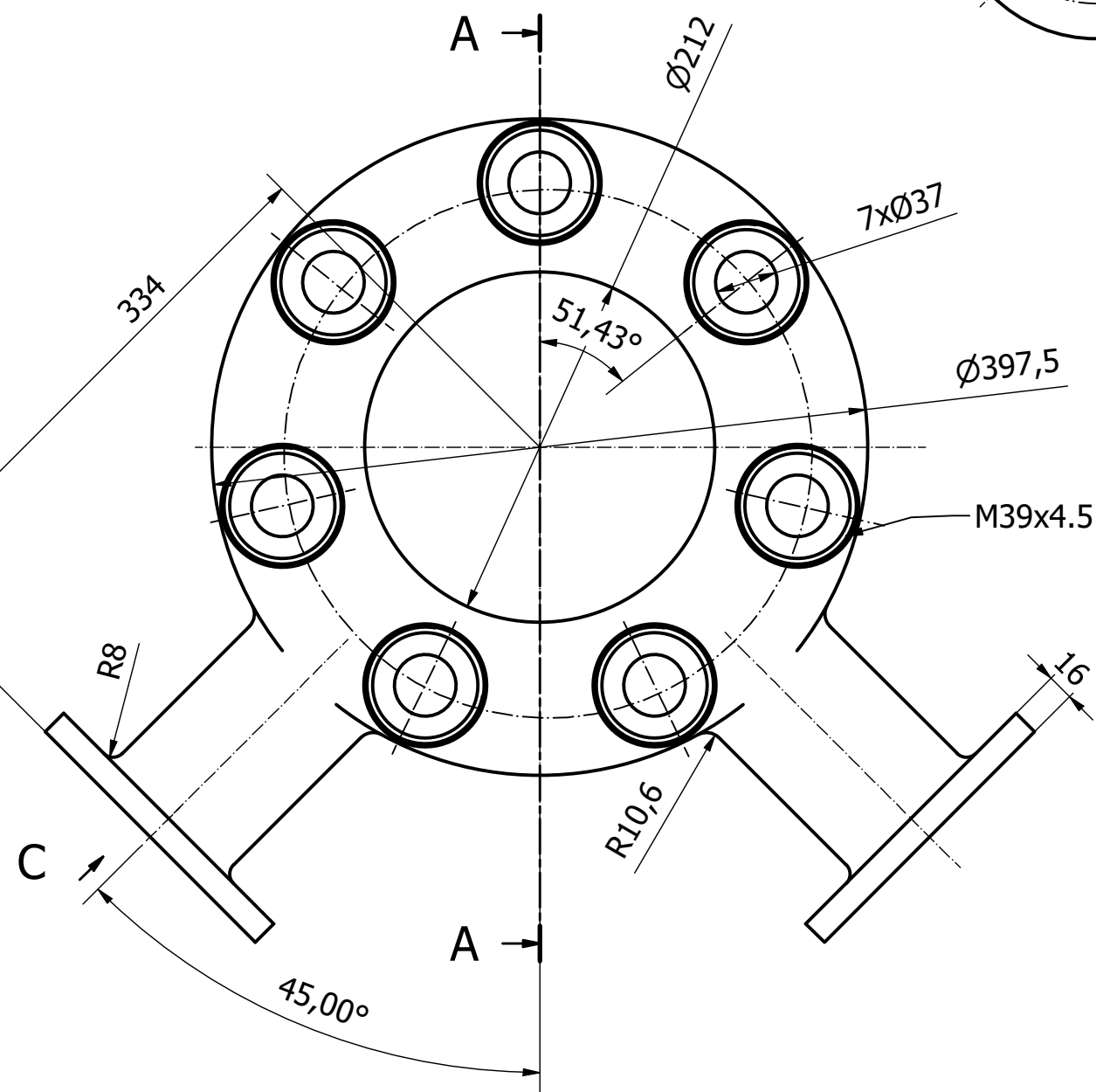
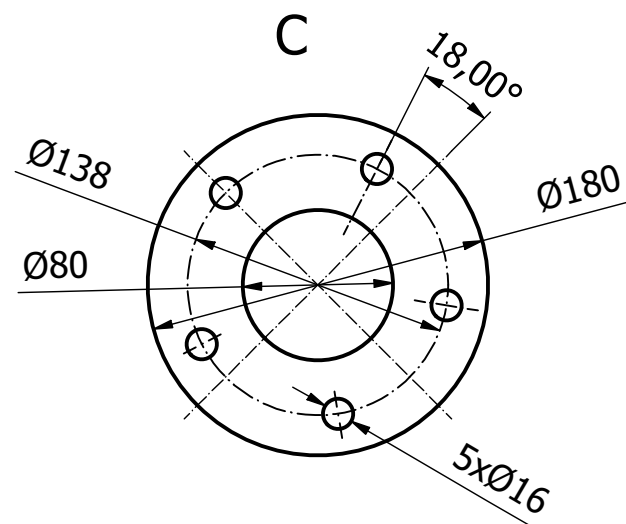
Fecha:

21/08/2022

Hoja:

49/57

# 65



1:4

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Colector gases de escape

Autor:

Iván Vázquez Llopis

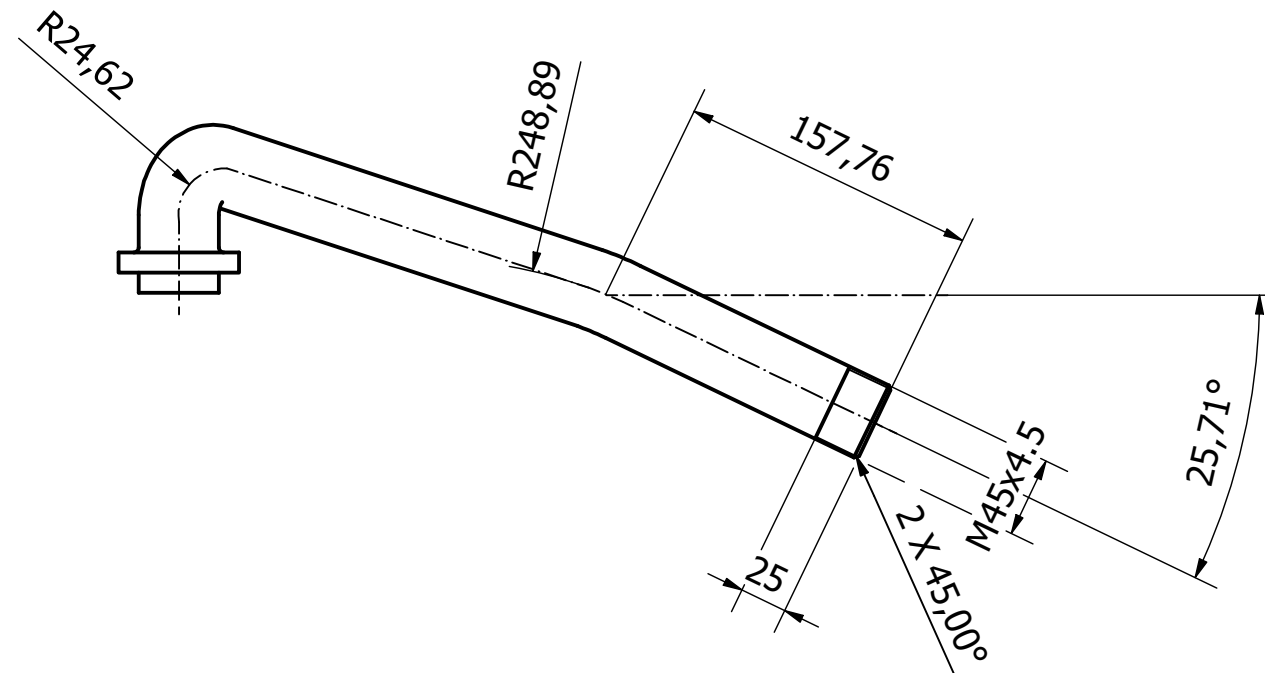
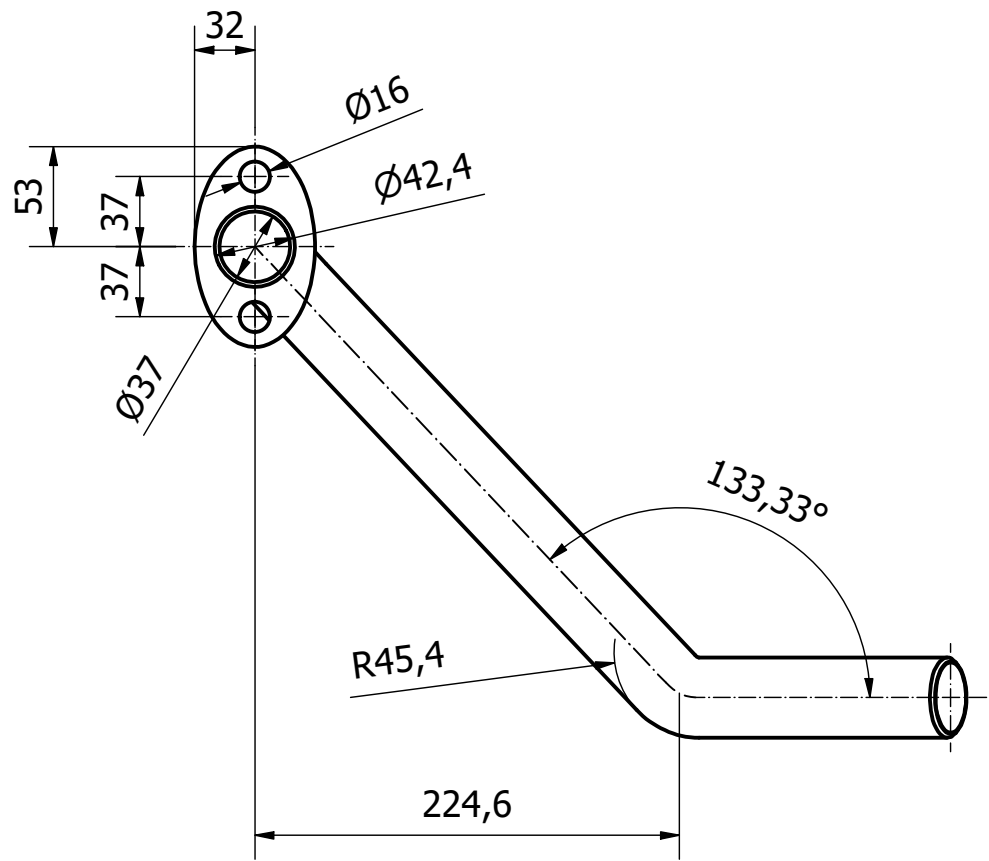
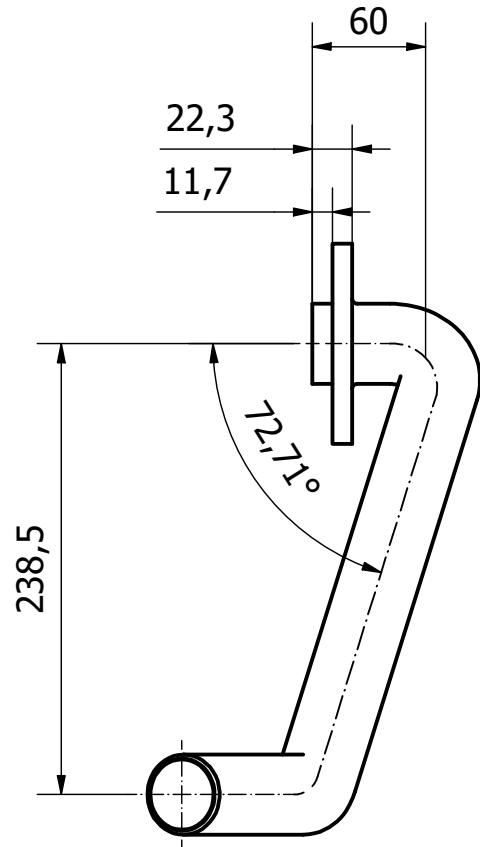
Fecha:

22/08/2022

Hoja:

50/57

# 70



1:4

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Tubo de admisión

Autor:

Iván Vázquez Llopis

Fecha:

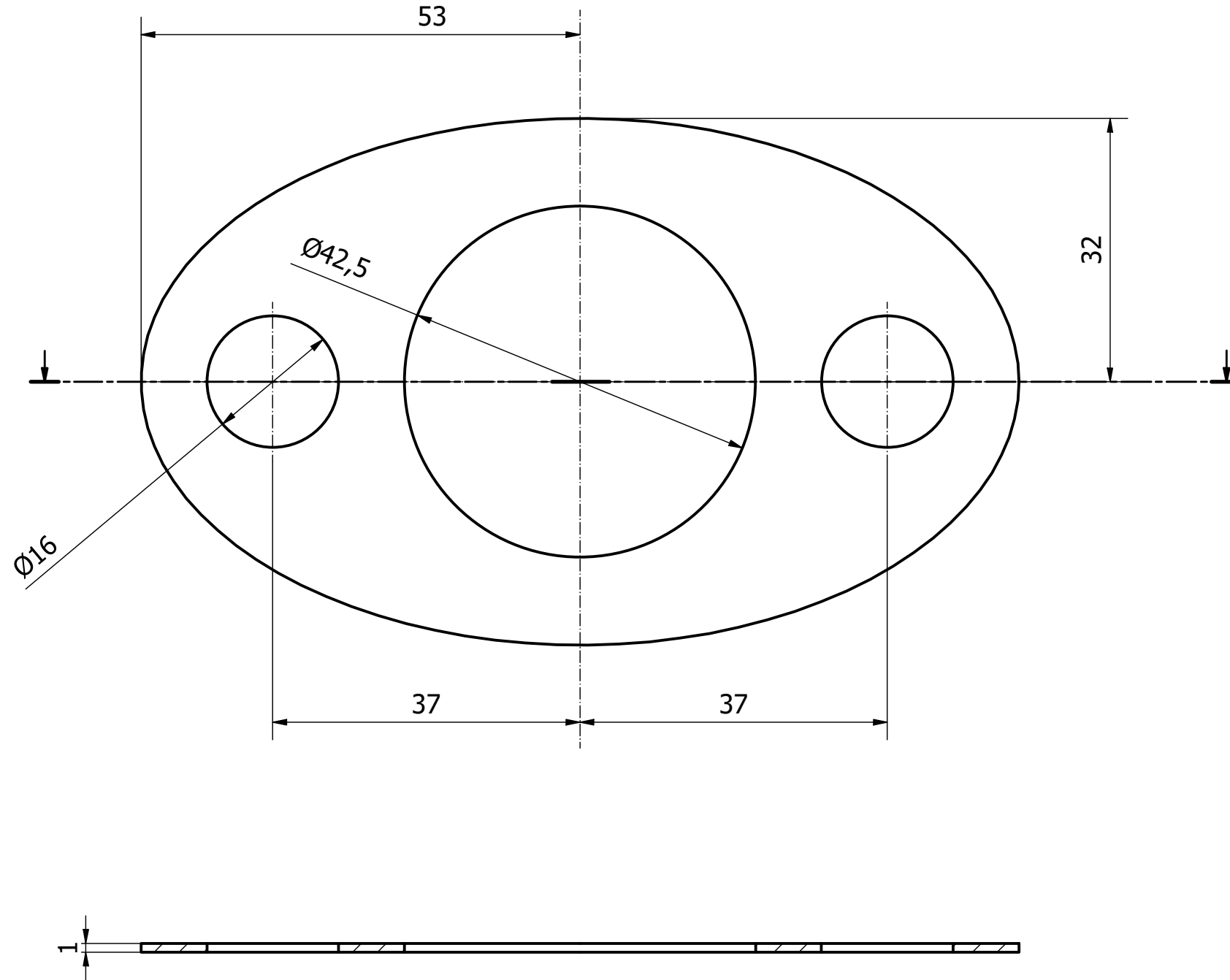
25/08/2022

Hoja:

51/57



# 71



3:2

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Junta de brida

Autor:

Iván Vázquez Llopis

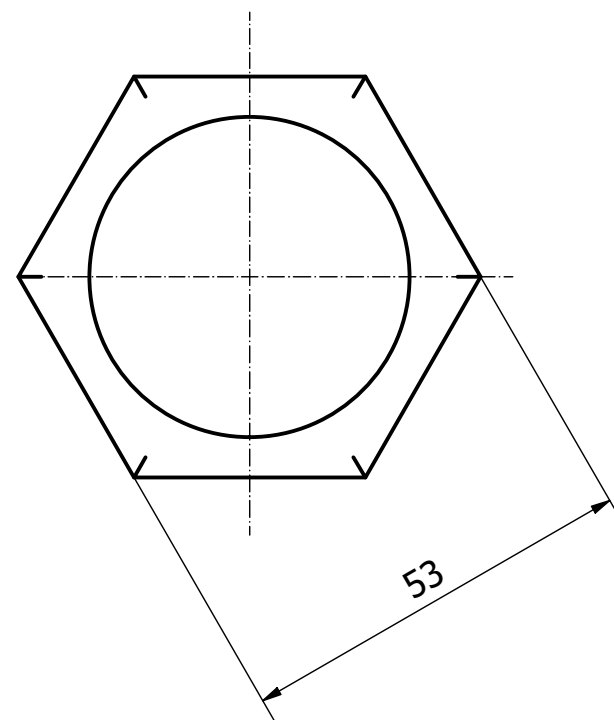
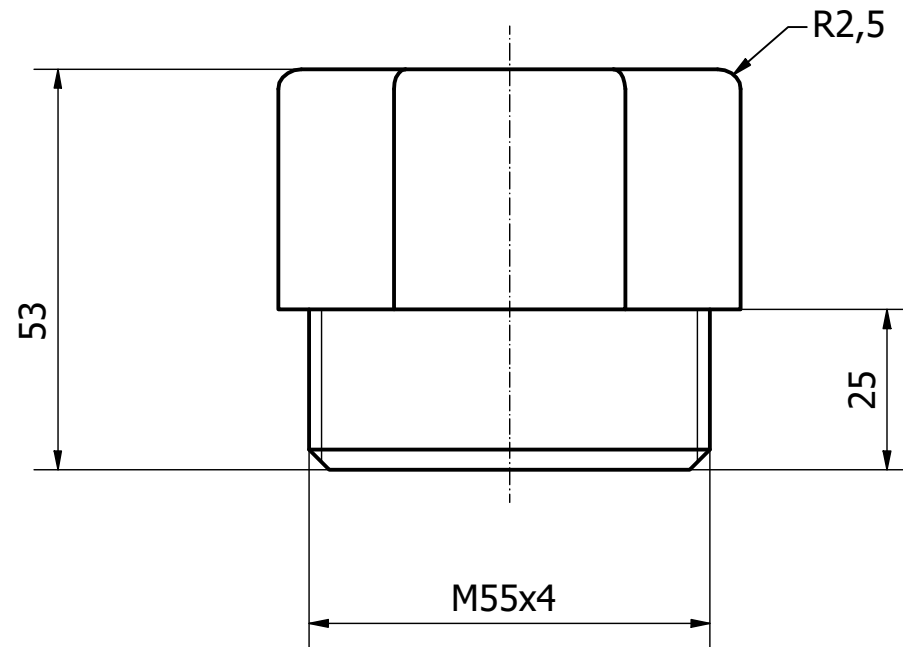
Fecha:

23/08/2022

Hoja:

52/57

# 72



1:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Unión tubo de admisión

Autor:

Iván Vázquez Llopis

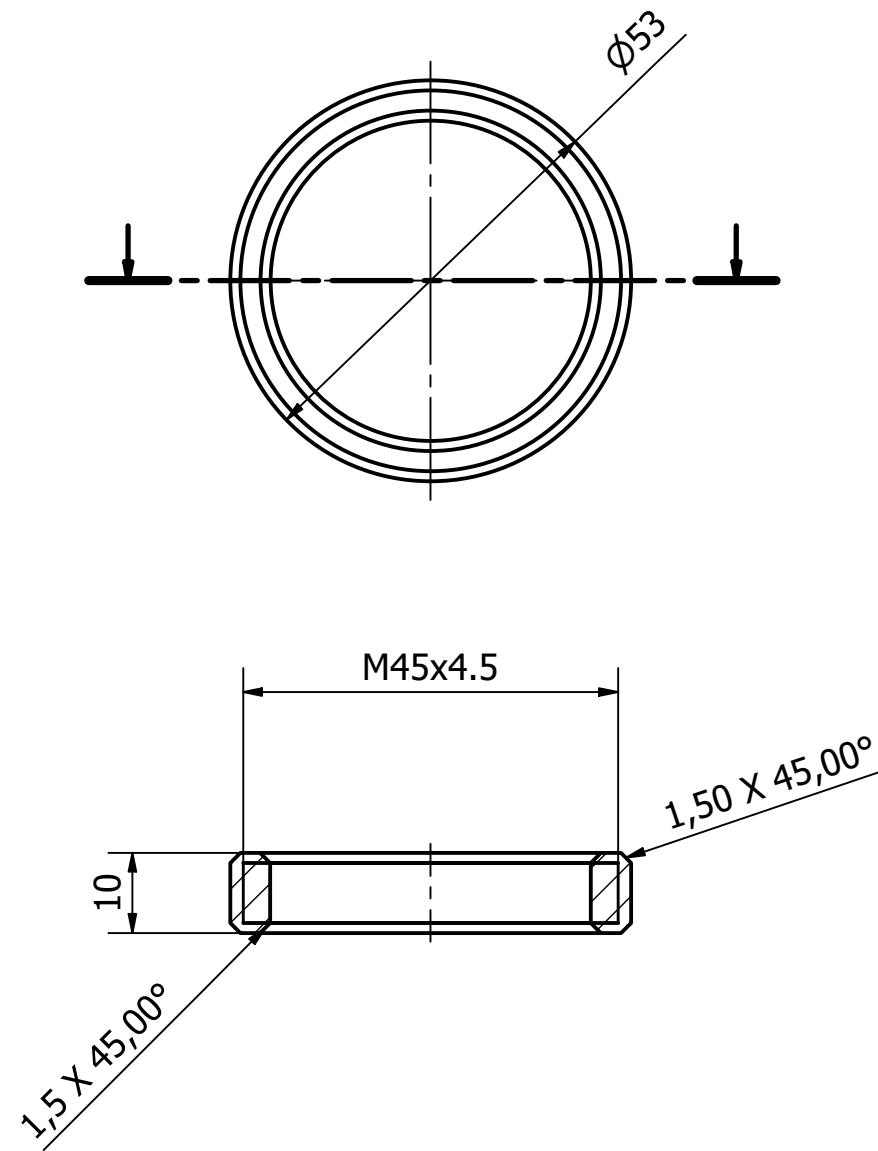
Fecha:

31/08/2022

Hoja:

53/57

# 73



1:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Anillo tubo de admisión

Autor:

Iván Vázquez Llopis

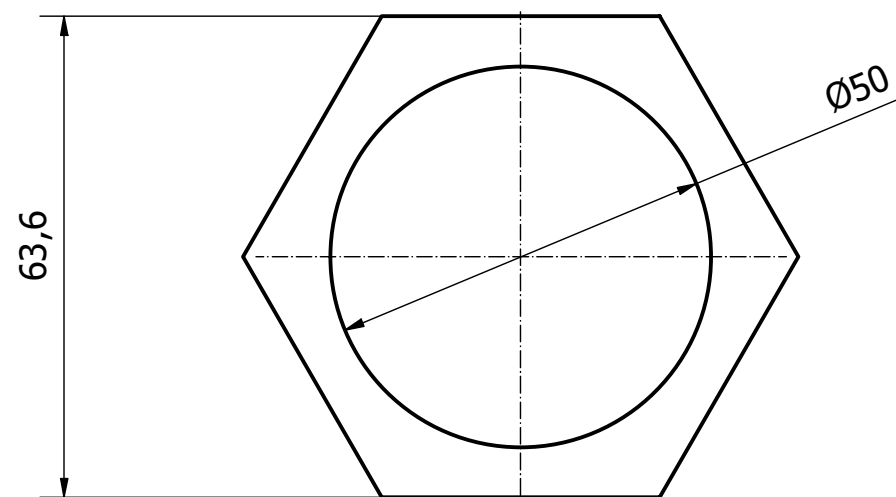
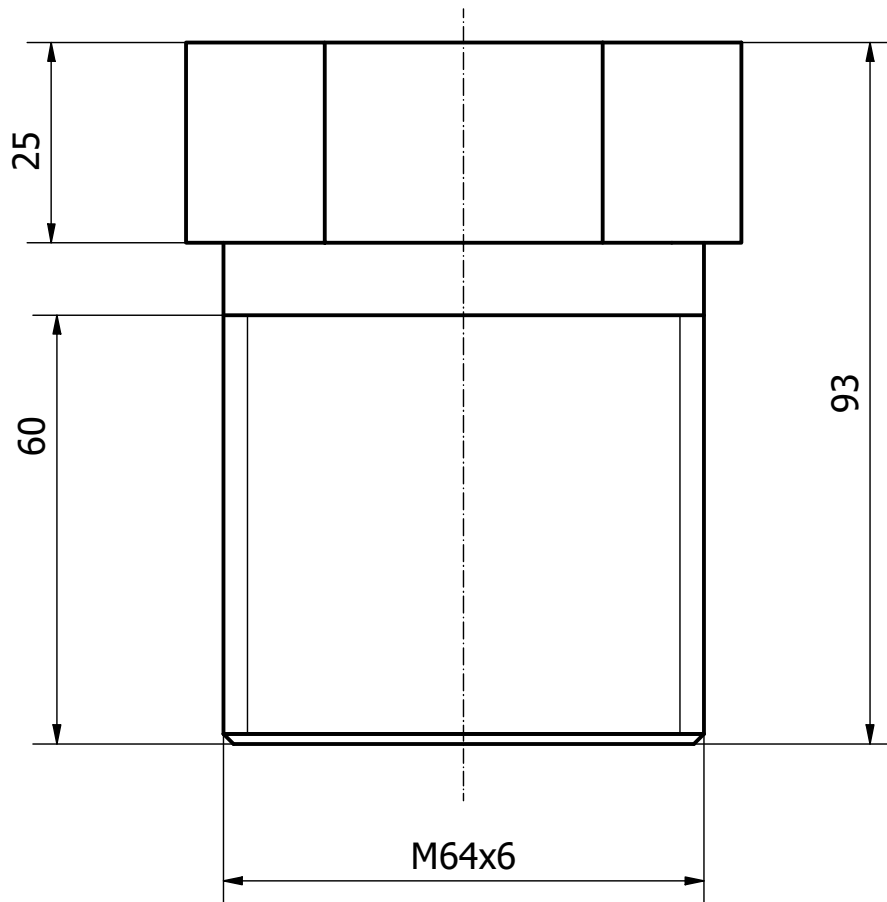
Fecha:

21/08/2022

Hoja:

54/57

# 74



1:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Tuerca tubo de escape

Autor:

Iván Vázquez Llopis

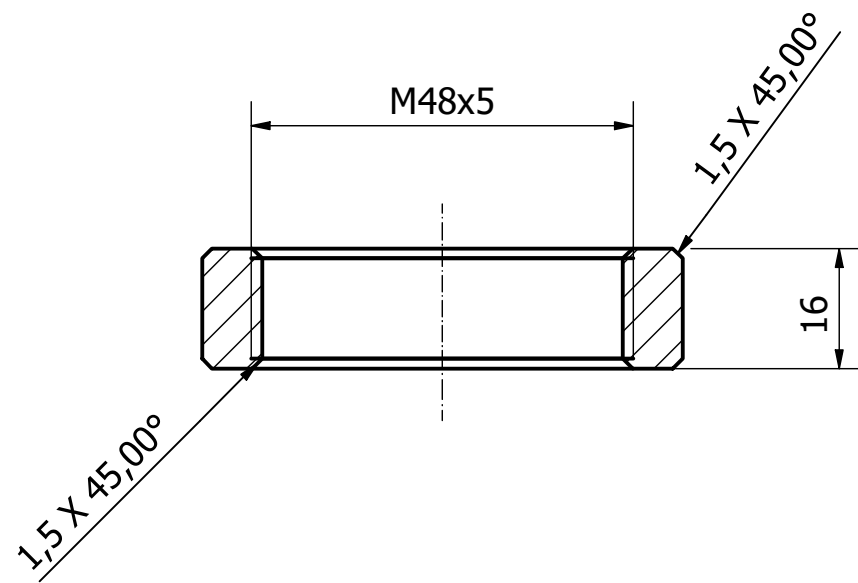
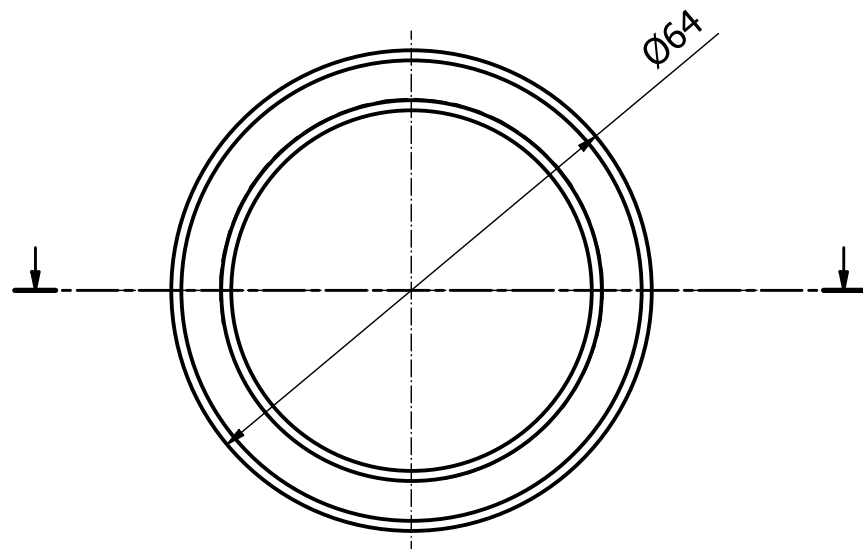
Fecha:

31/08/2022

Hoja:

55/57

# 75



1:1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Tope de acero

Autor:

Iván Vázquez Llopis

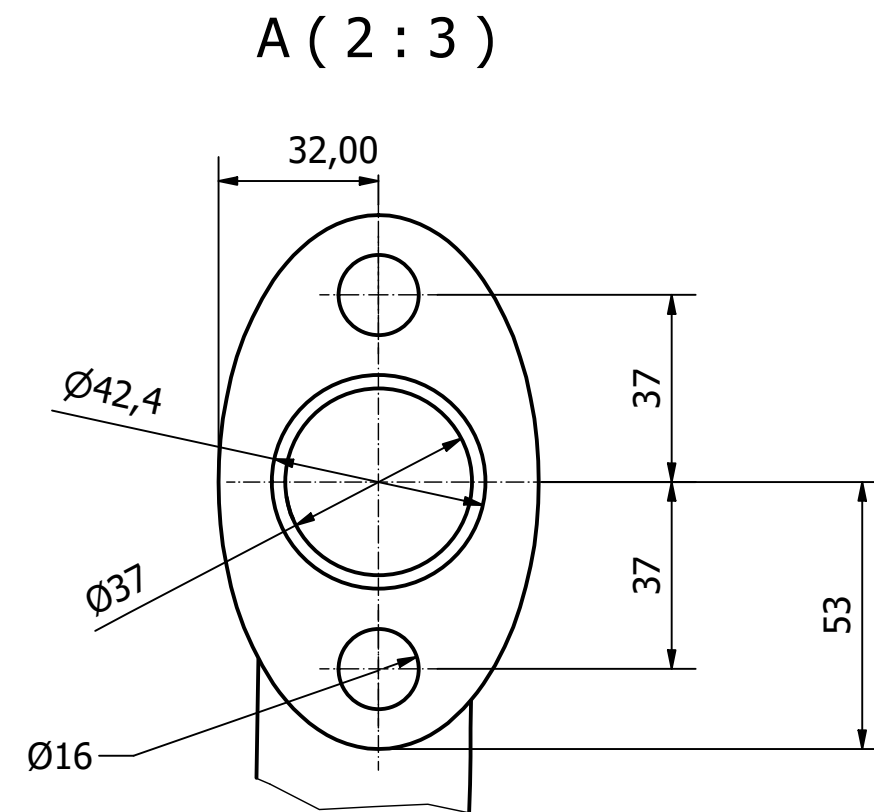
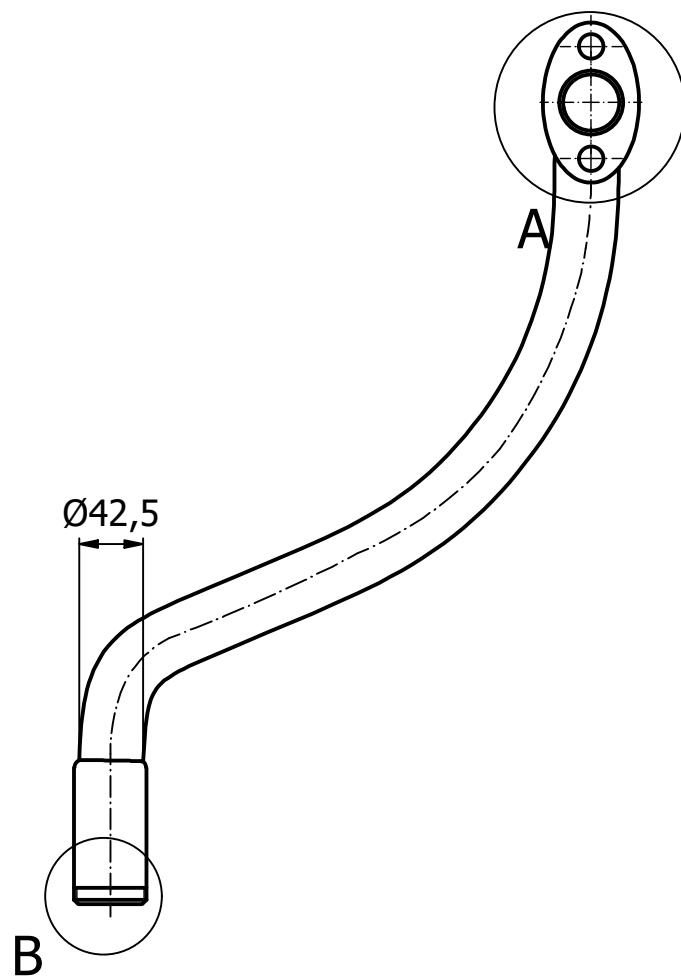
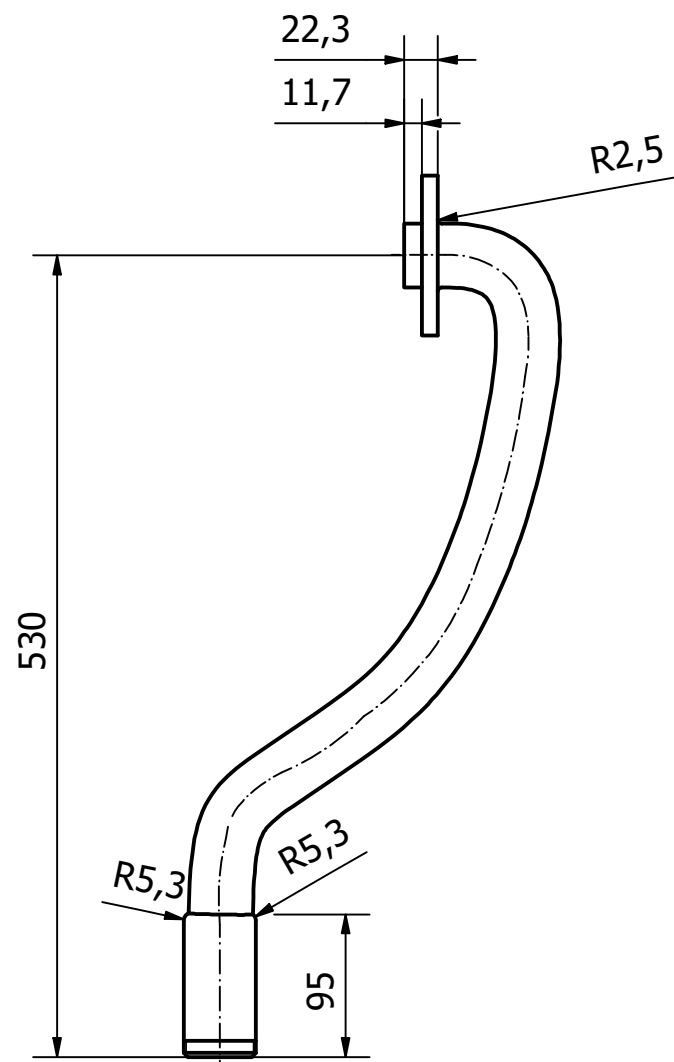
Fecha:

25/08/2022

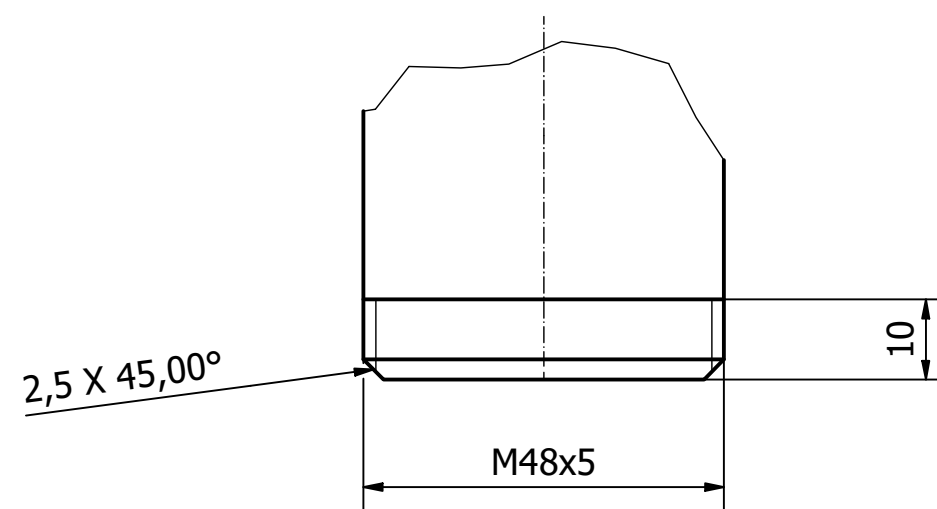
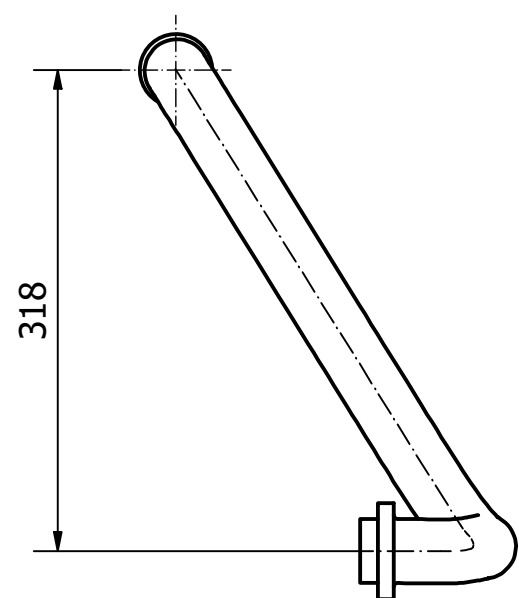
Hoja:

56/57

# 76



B (1:1)



1:5

TRABAJO FINAL DE GRADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto:

DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN MOTOR RADIAL DE 7 CILINDROS  
PARA UNA AVIONETA DEL TIPO GIANT FOKKER DR-1

Plano:

Tubo de escape

Autor:

Iván Vázquez Llopis

Fecha:

31/08/2022

Hoja:

57/57