



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Diseño de un extensor de pistón para motor óptico de encendido por compresión para aplicaciones pesadas

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: Sellés Simón, Daniel

Tutor/a: Micó Reche, Carlos

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

Sellés Simón, Daniel. 2021-2022. Diseño de un extensor de pistón para motor óptico de encendido por compresión para aplicaciones pesadas.

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto es el diseño de una pieza conocida como “Extensor del pistón” para la futura fabricación de un nuevo motor transparente por parte del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos. Dicha máquina es un tipo de motor de combustión interna alternativo que permite visualizar los fenómenos que ocurren en el interior de la cámara de combustión del cilindro. Esta pieza es un elemento esencial para garantizar al mismo tiempo el funcionamiento del motor y la posibilidad de observar lo que pasa en su interior. Además, el motor está destinado para aplicaciones de “Alta carga” (camiones, grandes grupos electrógenos, maquinaria pesada, etc.), cuatro veces más grande que cualquier otro que se haya fabricado antes en el Departamento.

El TFG aborda tareas como la definición de las condiciones de operación y los esfuerzos a los que se va a someter la pieza, así como la selección de materiales adecuados para la aplicación. Estudiar alternativas de diseño de la pieza en función de los materiales seleccionados, asistido con análisis de esfuerzos mediante herramientas de diseño CAD y simulación por elementos finitos. Selección del proceso de fabricación y finalmente realización de presupuesto de fabricación de cada una de las alternativas de las piezas diseñadas.

En cuanto a las competencias específicas de grado se refiere, se van a aplicar conocimientos de termodinámica aplicada, ingeniería gráfica, ingeniería de materiales, así como elasticidad y resistencia de materiales al comportamiento de sólidos reales y principios de la resistencia de materiales. Por otra parte, en cuanto a la aplicación de competencias generales podemos destacar, sobre todo, capacidad de resolución de problemas con iniciativa, toma de decisiones, análisis y resolución de problemas, diseño y proyecto.

## **PALABRAS CLAVE**

Motor de combustión interna alternativa, extensor del pistón, motor óptico,  
materiales

Sellés Simón, Daniel. 2021-2022. Design of a piston extender for optical compression ignition engine for heavy applications.

## **SUMMARY**

The aim of this project is the design of a part known as the "Piston Extender" for the future manufacture of a new transparent engine by the Department of Machines and Thermal Engines. This machine is a type of alternative internal combustion engine that makes it possible to visualise the phenomena occurring inside the combustion chamber of the cylinder. This part is an essential element to ensure both the operation of the engine and the possibility of observing what is going on inside it. In addition, the engine is intended for "High Load" applications (trucks, large generators, heavy machinery, etc.), four times larger than any other engine ever produced in the Department.

The TFG addresses tasks such as the definition of the operating conditions and stresses to which the part will be subjected, as well as the selection of suitable materials for the application. Studying design alternatives for the part depending on the materials selected, assisted by stress analysis using CAD design tools and finite element simulation. Selection of the manufacturing process and, finally, preparation of the manufacturing budget for each of the alternatives for the parts designed.

As far as the specific competences of the degree are concerned, knowledge of applied thermodynamics, graphic engineering, materials engineering, as well as elasticity and resistance of materials will be applied to the behaviour of real solids and the principles of the resistance of materials. On the other hand, as far as the application of general competences is concerned, we can highlight, above all, the ability to solve problems with initiative, decision-making, analysis and problem-solving, design and project.

## **KEY WORDS**

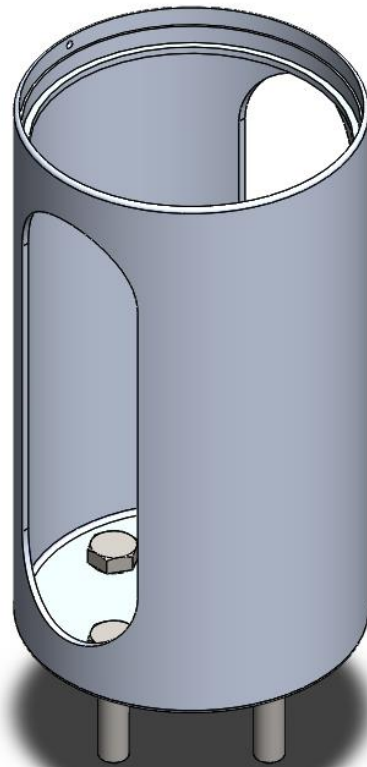
Alternative internal combustion engine, piston extender, optical engine, materials.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

**Diseño de un extensor de pistón para motor óptico de encendido por  
compresión para aplicaciones pesadas.**

DOCUMENTO 1 - ÍNDICE GENERAL



Grado: **Grado en Ingeniería Mecánica**  
Tutor: **Micó Reche, Carlos**  
Autor: **Sellés Simón Daniel**  
Curso: **2021-2022**



## **ÍNDICE DEL PROYECTO**

DOCUMENTO 1 - ÍNDICE GENERAL

DOCUMENTO 2 - MEMORIA

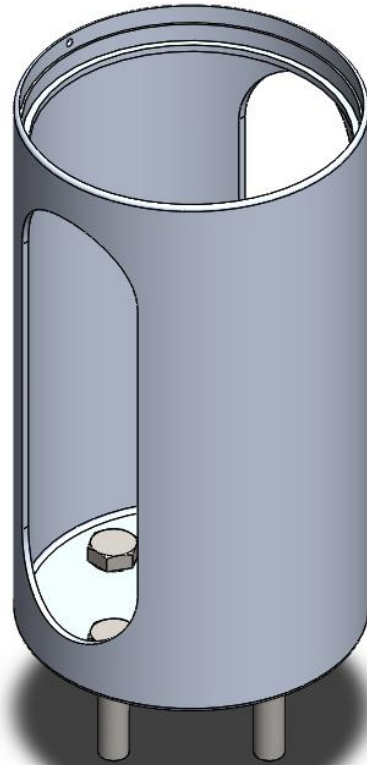
DOCUMENTO 3 - PLANOS



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

**Diseño de un extensor de pistón para motor óptico de encendido por  
compresión para aplicaciones pesadas.**

DOCUMENTO 2 - MEMORIA



Grado: **Grado en Ingeniería Mecánica**  
Tutor: **Micó Reche, Carlos**  
Autor: **Sellés Simón Daniel**  
Curso: **2021-2022**

## ÍNDICE DE MEMORIA

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>6</b>
Introducción .....	6
Motor óptico .....	7
Pistón bowditch.....	8
Partes del motor óptico tipo bowditch.....	8
Objetivos .....	10
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>11</b>
<b>DISEÑO DEL EXTENSOR DEL PISTÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>SELECCIÓN DEL MATERIAL</b> .....	<b>15</b>
<b>ANÁLISIS E ITERACIONES</b> .....	<b>19</b>
Método de elementos finitos .....	20
Criterio de von Mises.....	21
Proceso de análisis .....	22
Resultados de los análisis.....	27
Aleación de aluminio <b>series 3003</b> (36 MPa) .....	27
Aleación de aluminio <b>series 356.0-T6</b> (152MPa) .....	31
Aleación de aluminio <b>series 4032</b> (315MPa) .....	35
Diseño final.....	41
Aspectos para tener en cuenta .....	41
Montaje del extensor en el motor transparente .....	41
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>44</b>
Método de fabricación .....	44
Soldadura por arco de tungsteno con gas .....	45
Moldeo por gravedad .....	46
Mecanizado.....	46



Fundición.....	47
Embutición.....	47
Comparaciones.....	48
Detalle del proceso de fabricación.....	49
<b>PRESUPUESTO .....</b>	<b>51</b>
Precio de programas para el diseño .....	51
Precios unitarios.....	51
Material en bruto.....	52
Tiempos de trabajo.....	52
Presupuesto por contrata .....	52
<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>53</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>54</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Partes de un motor óptico. “Development of Next Generation Optical Engines.” <sup>[2]</sup> .....	9
Ilustración 2. Esquema ilustrativo de las partes en contacto con el extensor de pistón. Fuente: Autor.....	11
Ilustración 3. Esquema ilustrativo de las partes de anclaje entre extensor de pistón y vaso. Fuente: Autor. ....	13
Ilustración 4. Búsqueda 1 de materiales. A través de MatWeb. <sup>[3]</sup> .....	17
Ilustración 5. Comparativa de materiales. A través de MatWeb. <sup>[3]</sup> .....	18
Ilustración 6. Comparativa del análisis de sensibilidad de malla. Fuente: Autor.....	21
Ilustración 7. Diseño del extensor. Fuente: Autor.....	24
Ilustración 8. Zonas de contacto entre componentes Fuente: autor .....	25
Ilustración 9. Zonas de anclaje. Fuente: Autor. ....	25
Ilustración 10. Sección del extensor. Zona de aplicación de presión. Fuente: Autor .....	26
Ilustración 11. Zona de aplicación de presiones. Fuente: Autor. ....	26
Ilustración 12. Iteración 1.1 Tensiones. Fuente: Autor.....	28
Ilustración 13. Iteración 1.1 Desplazamientos. Fuente: Autor.....	29
Ilustración 14. Iteración 1.2 Tensiones. Fuente: Autor.....	30
Ilustración 15. Iteración 1.2 Desplazamientos. Fuente: Autor.....	31
Ilustración 16. Iteración 2.1 Tensiones. Fuente: Autor.....	32
Ilustración 17. Iteración 2.1 Desplazamientos. Fuente: Autor.....	33
Ilustración 18. Iteración 2.2 Tensiones. Fuente: Autor.....	34
Ilustración 19. Iteración 2.2 Desplazamientos. Fuente: Autor.....	35
Ilustración 20. Iteración 3.1 Tensiones. Fuente: Autor.....	36
Ilustración 21. Iteración 3.1 Desplazamientos. Fuente: Autor.....	37
Ilustración 22. Iteración 3.2 Tensiones. Fuente: Autor.....	38
Ilustración 23. Iteración 3.2 Desplazamientos. Fuente: Autor.....	39
Ilustración 24. Esquema de las diferentes partes que interactúan con el extensor de pistón para su montaje. Fuente: Autor .....	42

Ilustración 25. Sección de vista lateral del montaje del espejo en el motor. Fuente: Autor.....43

Ilustración 26. Proceso de fabricación de moldeo por gravedad. Fuente: Aula virtual <sup>[6]</sup>.....46

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Documento del motor. Facilitado por el Departamento de Máquinas y Motores Térmicos. ....	12
Tabla 2. Gráfica presión-tiempo facilitada a partir de las tablas del Departamento de Máquinas y motores Térmicos. Fuente: Autor.....	17
Tabla 3. Comparativa de valores del análisis de malla. Fuente: Autor ..	21
Tabla 4. Gráfica presión-tiempo facilitada a partir de las tablas del Departamento de Máquinas y motores Térmicos. Fuente: Autor.....	23
Tabla 5. Ubicación del valor del tiempo. Fuente: Autor .....	27
Tabla 6. Comparación de resultados de análisis. Fuente: Autor.....	39
Tabla 7. Procesos de fabricación posibles para el extensor de pistón. Fuente: Autor.....	45
Tabla 8. Tabla comparativa de las ventajas y desventajas de los diferentes procesos de fabricación. Fuente: Autor .....	48

## CAPÍTULO 1

### INTRODUCCIÓN

Actualmente, los motores de combustión interna alternativos (MCIA) tienen una gran repercusión a nivel mundial, pues son utilizados para múltiples aplicaciones como pueden ser la industria y generación de energía pero, sobre todo, son muy utilizados para el transporte.

Los MCIA hoy en día están muy demandados en el ámbito de transporte ya sea para automóviles, maquinaria pesada o para la propulsión ferroviaria y naval entre otros. Esta alta demanda a lo largo de muchos años ha generado consecuencias perjudiciales muy considerables para el medio ambiente, pues el 25% de emisiones totales del efecto invernadero en España están provocadas por el transporte<sup>[1]</sup>. Esta es una de las principales causas de que en los últimos años las leyes cada vez han sido más rigurosas y es muy probable que continúen siendo así.

Todo esto da lugar a que actualmente se sigan realizando estudios de alternativas para la reducción de las emisiones además de cumplir objetivos que se plantean en los países. Una de las alternativas es la sustitución del motor de combustión por el motor eléctrico en vehículos, pues de esta manera se reducen las emisiones “Tank-to-wheel” que se refiere a las emisiones al momento de conducir este tipo de vehículos, pero, al cambiar el motor también cambian las dimensiones, el tiempo de carga y además hace falta infraestructura para la carga de baterías lo que los hace todavía menos adecuados para cualquier aplicación.

En definitiva, los MCIA siguen siendo los motores ideales para aplicaciones pesadas en comparación al motor eléctrico, de hecho, los primeros cubren todos los problemas que tienen los segundos gracias a su autonomía, robustez y bajo par motor.

Los motores diésel continuarán teniendo mucha importancia a lo largo de los próximos años, por eso, es necesario continuar realizando investigaciones. Así se puede conseguir optimizar o mejorar su

funcionamiento, reduciendo la emisión de contaminantes y solucionar problemas que ocurran en la cámara de combustión.

Una investigación o desarrollo de estos motores se basa en ver lo que ocurre en el interior de los cilindros del motor y para ello se utilizan instalaciones especiales de observación directa por medio de un motor óptico.

Un motor óptico es, a grandes rasgos, una herramienta de estudio para motores de combustión interna por la que se observa directamente el funcionamiento del interior de la cámara de combustión a partir de ciertas modificaciones del motor original.

El motor se construirá en el Departamento de Máquinas y Motores Térmicos y será el de mayores dimensiones hasta la fecha de aproximadamente cuatro veces mayor al más grande que se haya fabricado en el Departamento. Además, tienen experiencia en el uso y diseño de herramientas como los motores ópticos.

Se ha visto que los MCIA continúa siendo interesante para la aplicación en vehículos pesados, por eso la investigación de estos es necesaria y los motores ópticos son una opción ideal de herramienta de estudio.

## MOTOR ÓPTICO

El motor óptico es una máquina que simula el funcionamiento de un MCIA a través de un único pistón con su respectivo cilindro. Reproduce el funcionamiento al igual que un motor común pero además tiene modificaciones por donde se puede ver el interior de la cámara de combustión. De esta manera se puede ver los flujos y trayectorias del combustible para estudiar o desarrollar.

Ya ha quedado claro para qué sirve un motor óptico. A continuación, se explicará el tipo de motor óptico que se va a utilizar en esta tesis, así como las partes de este.

## PISTÓN BOWDITCH

El “Pistón Bowditch” hace referencia a un diseño concreto de motor óptico. De los diferentes tipos que hay, el diseño de pistón bowditch es el que se va a utilizar.

## PARTES DEL MOTOR ÓPTICO TIPO BOWDITCH

A grandes rasgos, un motor óptico se basa en los siguientes componentes:

- Cabezal de pistón: se trata de un cilindro macizo compuesto por un vaso, una tuerca para enroscar al extensor y un cabezal de cuarzo que se ubica encima del extensor del pistón. El cabezal es de cuarzo para poder ver a través de él.
- Extensor de pistón: cilindro metálico hueco con una o dos ranuras laterales por donde se aprecia el espejo de su interior. El extensor debe ser de una medida suficiente para que cuando el pistón y la biela hagan su recorrido el espejo de su interior siga intacto y no deje de verse para que así, a través de él, se pueda apreciar sin interrupciones el ciclo completo de la cámara de combustión.
- Espejo: se encarga de proyectar la imagen de la cámara de combustión de manera más accesible y cómoda. Está estático y se coloca a  $45^\circ$  en el interior del extensor de pistón.
- Biela y cigüeñal: sistema de transmisión de movimiento rotatorio a lineal. La biela se conecta con la parte inferior del extensor para transmitir el movimiento.
- Cilindro: Guía por donde trabaja el sistema
- Bloque motor: bancada de fundición donde se monta todo el sistema

- Motor eléctrico: encargado de regular la velocidad del motor.

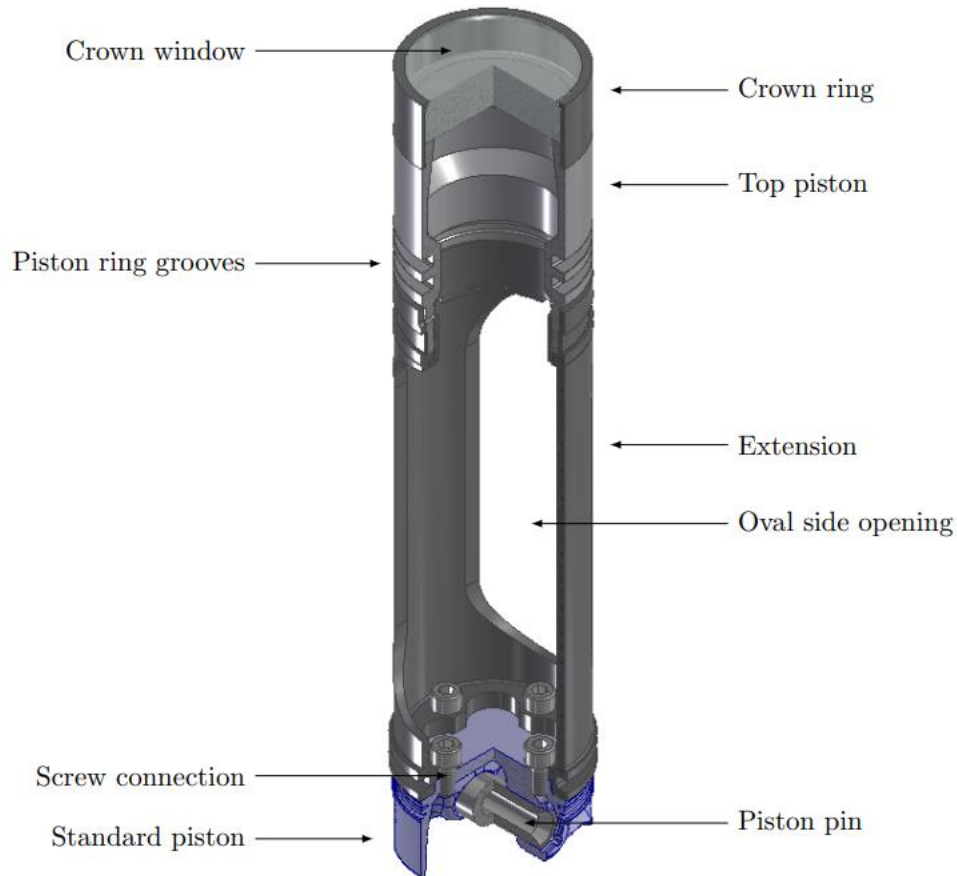


Ilustración 1. Partes de un motor óptico. "Development of Next Generation Optical Engines."<sup>[2]</sup>

Para que un pistón bowditch funcione, es indispensable el extensor que se trata de uno de los elementos más importantes ya que es la pieza en la que se va a basar este TFG.

Hace falta el motor eléctrico porque por sí solo no es capaz de generar la potencia suficiente para moverse. Además, para que cumpla con las condiciones reales del motor que representa hace falta acondicionar la entrada de aire con relación a la presión, temperatura y composición para poder reproducir unas condiciones realistas dentro del cilindro. Cosa que no ocurriría si no se ajustaran esos parámetros debido a que las modificaciones del motor óptico como son las dimensiones o el peso deben ser compensadas de alguna manera.



Para realizar el diseño del extensor, en el siguiente apartado, se comentarán los objetivos y criterios a seguir para su ejecución.

## OBJETIVOS

El objetivo del proyecto es el diseño de una pieza conocida como “Extensor de pistón” para la futura fabricación de un nuevo motor transparente por parte del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia.

Se trata de un motor para aplicaciones de “Alta carga” (camiones, grandes grupos electrógenos, maquinaria pesada, etc.), cuatro veces más grande que cualquier otro que se haya fabricado en el Departamento.

El TFG aborda objetivos como la definición de las condiciones de operación y esfuerzos a los que se va a someter la pieza, así como la definición de materiales adecuados para la aplicación. Estudiar alternativas que permitirá definir el material, asistido con análisis de esfuerzos mediante herramientas de diseño CAD y simulación por elementos finitos. Definición del proceso de fabricación y finalmente determinación de presupuesto de la pieza diseñada.

En cuanto a algunas tareas que se pueden mencionar, la memoria se estructurará describiendo qué es un motor transparente y para qué sirve, generar la estructura de la pieza a partir de las medidas necesarias para que realice el funcionamiento correcto, desarrollo de los análisis necesarios a través de la herramienta SolidWorks junto a la selección de los materiales con la herramienta online MatWeb. Además, se explicará el diseño final de la pieza y la manera en que se monta en el motor. Por último, se hará una selección del método de fabricación, análisis económico y planos de fabricación para poder llevar a cabo la pieza.

## CAPÍTULO 2

### DISEÑO DEL EXTENSOR DEL PISTÓN

El diseño del extensor influirá de manera considerable en el funcionamiento del motor, por eso existen ciertos criterios que se deben cumplir de acuerdo con el diseño de un extensor de pistón para un motor óptico tipo Bowditch.

Estos criterios son: reducción de la deformación, reducción del peso y resistencia del material.

La relación de compresión es el valor que indica las veces que se ha expandido el volumen aire-combustible tras la combustión. Esta relación es la principal razón para limitar las deformaciones en la medida de lo posible, pues a mayor deformación del extensor menor relación de compresión alcanzará el motor óptico.

En la siguiente ilustración se representan las partes genéricas que están en contacto con el extensor. De esta manera queda claro de qué parte se estará hablando a medida que se redacte el diseño.

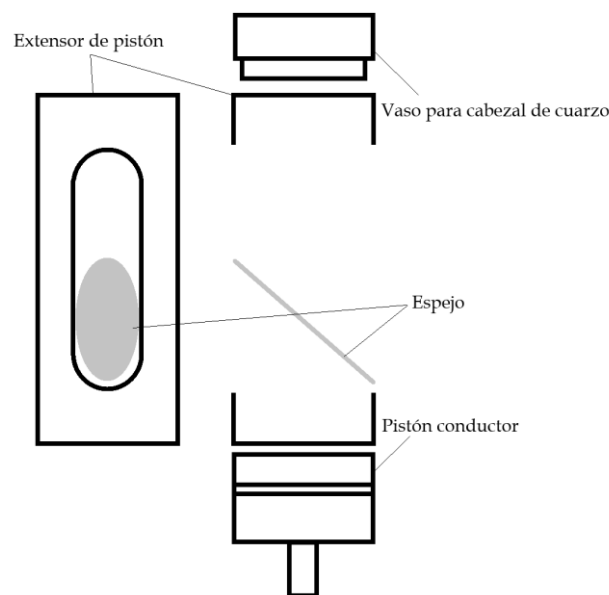


Ilustración 2. Esquema ilustrativo de las partes en contacto con el extensor de pistón. Fuente: Autor.

Para abordar el diseño se deben establecer unas referencias o puntos de partida y unas condiciones de contorno iniciales.

El primer paso es tener en cuenta las características del motor original. De aquí el extensor es el que se debe adaptar en diámetro exterior para que coincida con el del pistón conductor y la carrera del pistón también es un valor muy importante a tener en cuenta en el diseño. La tabla está recogida del documento facilitado por el Departamento de Máquinas y Motores Térmicos. (Ver tabla 1)

## **DATOS TÉCNICOS**

### **DATOS GENERALES**

<b>Marca</b> .....	<b>CATERPILLAR</b>
<b>Modelo</b> .....	<b>C15 ACERT</b>
<b>Tipo de combustible</b> .....	<b>Gas-oil</b>
<b>Número de cilindros</b> .....	<b>6</b>
<b>Disposición</b> .....	<b>En línea</b>
<b>Diámetro</b> .....	<b>137,2 mm</b>
<b>Carrera</b> .....	<b>171,4 mm</b>
<b>Cilindrada</b> .....	<b>15,2 litros</b>
<b>Relación de compresión</b> .....	<b>18:1</b>
<b>Aspiración</b> .....	<b>Turboalimentado y Postenfriador aire-aire</b>
<b>Refrigeración</b> .....	<b>Circuito separado JW</b>
<b>Velocidad</b> .....	<b>2100 rpm</b>

*Tabla 1. Documento del motor. Facilitado por el Departamento de Máquinas y Motores Térmicos.*

Las condiciones de contorno están basadas en el tipo de pistón bowditch, son dimensiones que deben cumplirse para que el resto de los componentes encajen o interactúen correctamente con el extensor y son las siguientes:

1. El extensor debe tener forma cilíndrica y ser hueco.
2. El cilindro debe tener una forma determinada en la parte superior para que el vaso se acople adecuadamente
3. La base del cilindro estará atornillada al pistón conductor
4. El extensor debe tener en el lateral un agujero desde donde se verá el espejo y tiene que ser suficientemente largo para que

cuando el pistón conductor desplace al extensor, el espejo se siga viendo sin interrupciones.

Para evaluar cada zona característica del pistón se realizará un barrido desde la parte superior hasta la inferior. Se pueden distinguir tres zonas que son las primeras que se van a estudiar para el diseño. Estas son la conexión del extensor con el vaso, los agujeros laterales y la unión del extensor con el pistón conductor.

Para la parte superior del extensor se ha utilizado las medidas de un diseño existente del vaso para desarrollar las dimensiones y conseguir un encaje adecuado.

El vaso se rosca con una tuerca que se mete por debajo del extensor. Además, se coloca un pasador en el lateral atravesando el extensor y el vaso para que el vaso se mantenga siempre en la misma posición cuando se monta (Ver Ilustración 3).

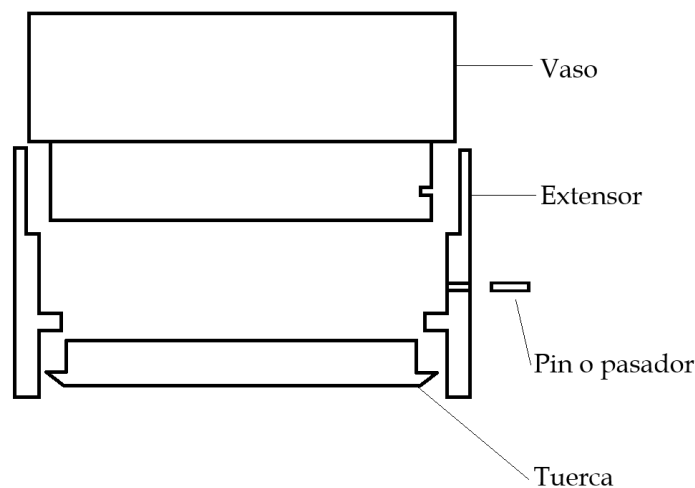


Ilustración 3. Esquema ilustrativo de las partes de anclaje entre extensor de pistón y vaso. Fuente: Autor.

Las dimensiones exactas aparecen anexadas en el anexo de planos que se incluye en la memoria.

Para definir un tamaño adecuado de los orificios del extensor hay que tener en cuenta que el espejo tiene que entrar en el extensor sin que exista

roce a la hora del funcionamiento. El diámetro mayor del espejo es de 80.82 mm más la carrera (117.40 mm) dará un total de 198.22 mm de alto que se aumenta hasta 202 mm para que exista un margen y evitar el rozamiento entre el espejo y el extensor. En cuanto al ancho, el espejo tiene un diámetro menor de 57.15 mm, si se realiza de 63.15 mm de ancho habrá un espacio entre espejo y extensor de 3 mm por cada lateral, suficiente para evitar el contacto en su funcionamiento teniendo en cuenta que posiblemente aparezcan vibraciones.

Por tanto, los orificios laterales quedan de tal manera que:

$$h_{to} = h_e + r_{tc} + x \quad (1)$$

$$a_t = a_e + x \quad (2)$$

Donde:  $h_{to}$  es la altura total del orificio,  $h_e$  es la altura total del espejo,  $r_{tc}$  es el recorrido total de la carrera,  $a_t$  es el ancho total del agujero,  $a_e$  es el ancho del espejo y  $x$  el aumento para evitar roces.

Por tanto, el valor de la altura total del agujero es

$$h_{to} = 88.82 + 117.4 + 3.78 = 202 \text{ mm}$$

Y el valor de la anchura total del agujero es

$$a_t = 57.15 + 6 = 63.15 \text{ mm}$$

Los orificios deben estar en el centro del extensor y en las dos caras para que la pieza sea simétrica.

Para definir la zona que une el extensor de pistón con el pistón conductor se debe realizar un análisis para seleccionar la posición y la cantidad de elementos de sujeción necesarios para soportar las fuerzas a las que estarán sometidos. También es importante reducir en la medida de lo posible la cantidad y tamaño de los elementos de sujeción que en este caso serán tornillos DIN 933.

Para evaluar correctamente si la cantidad de tornillos y el diámetro que se ha escogido es el ideal para el anclaje es necesario ensamblar en la pieza

los elementos de sujeción y realizar simulaciones. La carga en la simulación representa a la inercia equivalente en el punto más desfavorable que es cuando el pistón está llegando al punto muerto superior y se frena. En ese momento el extensor lleva una velocidad considerable y se realiza una deceleración muy importante que implica la aparición de esfuerzos en la pieza y el anclaje.

En los siguientes apartados se definen con más rigurosidad los valores y condiciones para cumplir con el diseño.

## SELECCIÓN DEL MATERIAL

Para el desarrollo de un producto la selección de materiales es una parte muy importante puesto que resuelve varios aspectos como por ejemplo la resistencia a deformaciones, variaciones de temperaturas o a la corrosión.

En este caso, para seleccionar el material más adecuado se realizó un proceso de descarte de materiales desechando así las clases de materiales que no cumplían las condiciones o solicitudes del trabajo hasta encontrar el más adecuado.

El primer paso fue distinguir las familias de material, en las que encontramos polímeros, elastómeros, vidrios, cerámicos, metálicos e híbridos.

Es evidente que los elastómeros, los vidrios y los cerámicos quedan descartados, pues los primeros no sirven debido a su baja rigidez y los segundos y terceros debido a su alta fragilidad. Pues una pequeña deformación en estos últimos generaría una fractura inmediata.

Por tanto, quedan los materiales poliméricos, metálicos e híbridos.

El siguiente paso para identificar un material que se adapte al diseño fue utilizar un programa de selección a partir de las propiedades que necesita cumplir el material. Se trata de una herramienta online que se llama MatWeb.

MatWeb es una página online y tiene una base de datos muy completa en la que se encuentra una inmensa cantidad de materiales. Además, tiene diferentes tipos de búsquedas de material ya sea por propiedades, por nombre del fabricante o por la composición, entre otras.

En el caso del extensor de pistón, el criterio de búsqueda fue a partir de las propiedades del material. Los rangos de valores que debe cumplir el material y que se introdujeron en el buscador fueron los siguientes:

- La temperatura de trabajo ronda entre 75 y 180 °C [8] para el extensor cuando el motor trabaja alrededor de 1500 rpm. Entonces el primer criterio para la búsqueda del material es seleccionar un rango similar en el buscador.
- La segunda condición que debe cumplir es fuerza de tensión que puede soportar el material, como se ha visto en el anterior apartado, la presión máxima de trabajo era 9.03 MPa. Este valor es la máxima presión transmitida desde la cámara de combustión hacia el extensor del pistón y queda definida a través de la gráfica presión tiempo (Tabla 2) que está generada a partir de la tabla de presiones facilitada por el Departamento de Máquinas y Motores Térmicos. Para buscar un material con esta característica se introducirá en el buscador que la mínima fuerza de tensión sea el máximo valor de presión de trabajo, redondeando, se selecciona un valor mínimo de 10 MPa.

## GRÁFICA PRESIÓN - TIEMPO

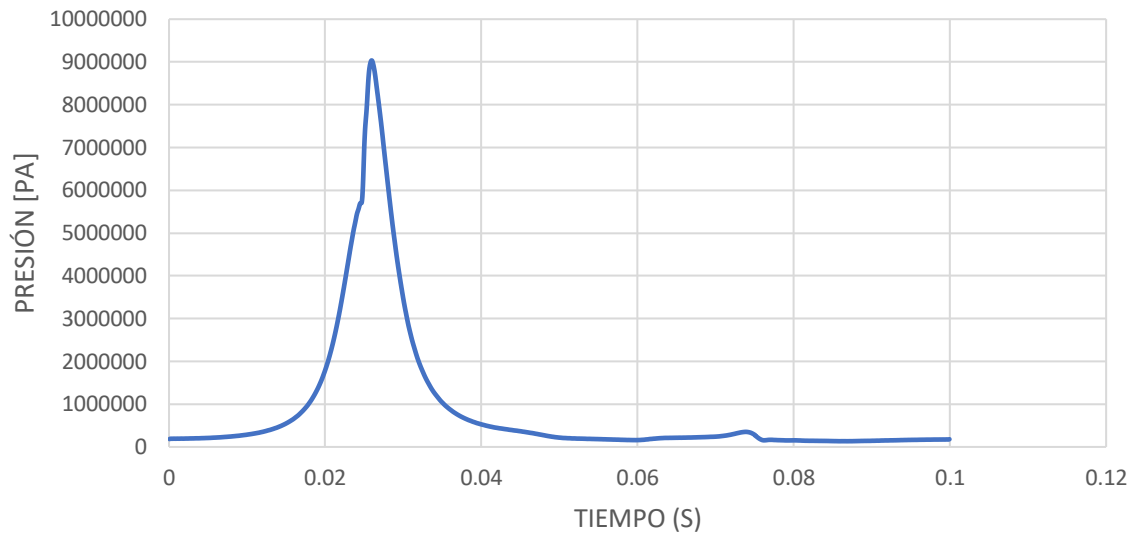


Tabla 2. Gráfica presión-tiempo facilitada a partir de las tablas del Departamento de Máquinas y motores Térmicos. Fuente: Autor.

- El siguiente criterio para seguir es seleccionar, dentro de los materiales que aparezcan en el buscador de MatWeb, los materiales que tengan mayor dureza. Pues una alta dureza equivale a minimizar la deformación. La escala seleccionada para comparar las durezas es la escala Brinell. En el buscador, se selecciona la dureza Brinell y en el apartado del valor máximo se pone el valor más alto posible

Con estos tres criterios se realiza la búsqueda en MatWeb y los resultados son los siguientes:

Select	Material Name	Service Temperature (Group) (°C)	Tensile Strength, Yield (MPa)	Hardness, Brinell
<input type="checkbox"/> 1	<a href="#">Overview of materials for Aluminum Alloy.</a>	60.0 - 649	1.24 - 730	12.0 - 1110
<input type="checkbox"/> 2	<a href="#">Overview of materials for Copper Alloy.</a>	70.0 - 1000	0.250 - 1520	20.0 - 420
<input type="checkbox"/> 3	<a href="#">Overview of materials for Lead Alloy.</a>	82.0 - 121	6.00 - 1130	3.00 - 33.0
<input type="checkbox"/> 4	<a href="#">Overview of materials for Solder/Braze Alloy.</a>	88.0 - 1540	10.0 - 252	0.900 - 40.0

Ilustración 4. Búsqueda 1 de materiales. A través de MatWeb. <sup>[3]</sup>



La lista de materiales que aparece tras la búsqueda lleva consigo los rangos de temperatura de trabajo, resistencia a la tracción (límite elástico) y durezas que comprende cada material.

Viendo en detalle los rangos de temperatura, se descartan todos los materiales que no cumplan estrictamente la temperatura máxima de trabajo ya que es un requisito indispensable para que el extensor funcione correctamente y no se deteriore. En este caso se descarta únicamente la aleación de plomo.

También hay que tener en cuenta la densidad de cada material, por lo que dentro de las tres aleaciones que quedan, se seleccionará el material menos pesado. En este caso la aleación de aluminio (Ilustración 5). Además, hay que remarcar que el aluminio es un material resistente y ligero que es muy utilizado en la industria automotriz.

Folder: My Folder	Overview of materials for Aluminum Alloy	Overview of materials for Lead Alloy	Overview of materials for Solder/Braze Alloy
Manage This Folder REMOVE SELECTED	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Physical</b>			
Density (g/cc)	0.0160 - 3.63	8.15 - 11.7	0.750 - 19.1
Water Absorption (%)	--	--	5.00 - 35.0
Porosity (%)	0.0800 - 0.300	--	--

Ilustración 5. Comparativa de materiales. A través de MatWeb. [3]

Hasta ahora, con ayuda de la aplicación MatWeb, se ha podido seleccionar el material que cumple con todos los requisitos mencionados. A continuación, se realiza una investigación de los tipos de aleaciones de aluminio para seleccionar el más adecuado para las simulaciones o, al menos, aquellos que cumplan los criterios de la mejor manera posible.

La manera que se ha seguido para seleccionar el tipo concreto de aleación de aluminio es seleccionar de manera arbitraria tres aleaciones comprendidas entre un amplio rango en cuanto al límite elástico. El

objetivo es obtener la aleación menos pesada y que soporte los esfuerzos con cierto margen, pero sin excederse.

El método de resolución será el siguiente.

Las aleaciones seleccionadas tienen un valor de límite elástico bajo (36 MPa) medio (152 MPa) y alto (315 MPa) pues han sido concretamente las aleaciones de aluminio series 3003, 356.0-T6 y 4032 respectivamente. Estas aleaciones, se han seleccionado por ser aleaciones de aluminio ricos en silicio que ofrece al material resistencia mecánica, resistencia al desgaste, dureza y además tiene baja densidad. [9]

Se realiza el análisis para cada material partiendo de un diseño en común. En este caso el diseño es de 3 milímetros de espesor tanto del cilindro como de la base del extensor. A partir de los valores que salgan en los resultados, se modifican los espesores del diseño de cada material para ajustarlo a las sollicitaciones necesarias. Una vez cada diseño esté finalizado, se hará una comparación de precios y densidad para seleccionar el más adecuado.

Así, el material seleccionado definirá completamente el diseño exacto del extensor de pistón.

## ANÁLISIS E ITERACIONES

En la ingeniería de diseño de máquinas poder realizar análisis y estudios virtuales a través de herramientas de análisis CAD ha facilitado la optimización del diseño de los productos.

Por eso, en este TFG se recurre al software SolidWorks para realizar simulaciones y optimizar el diseño. De esta manera, se pretende comprobar que el diseño final resista los esfuerzos que se le apliquen cuando la pieza esté en el motor.

## MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

A la hora de realizar los análisis para el extensor de pistón, se va a utilizar el programa SolidWorks junto al complemento SolidWorks Simulation. Este complemento se basa en el análisis de geometrías o cuerpos a través del método de elementos finitos.

EL método de elementos finitos se utiliza para la mejora y diseño de aplicaciones y productos industriales de geometría compleja. Además, se utiliza para solucionar cálculos manuales muy complejos como es el caso del extensor de pistón.

El método que tiene el programa para aproximar las complejas ecuaciones con el análisis que realiza es a partir del método de elementos finitos, que se basa en dividir superficialmente la geometría que se estudia en elementos que a su vez están unidos entre sí a través de los nodos.

La geometría se divide en un conjunto de elementos que están unidos a través de los nodos. Un elemento es una unidad de división de una estructura la cual no interseca entre otras divisiones. Un nodo es la unión de dos o más elementos y el conjunto de elementos y nodos forman una malla.

Se trata del único método de cálculo viable dada la complejidad de práctica o imposibilidad de solucionar analíticamente el problema. Y es necesario realizar un análisis de sensibilidad de malla para comprobar qué valores que muestra el programa no están condicionados por el tipo de elementos o tamaño de elementos que se han seleccionado.

Con este análisis se pretende lograr encontrar el mínimo esfuerzo computacional que además garantice que los resultados sean correctos.

El análisis se ejecuta comparando los diferentes rangos de tamaños posibles de elementos que permite el programa. En este caso se seleccionan tres tamaños: grueso, normal y fino. (Ver Ilustración 6)

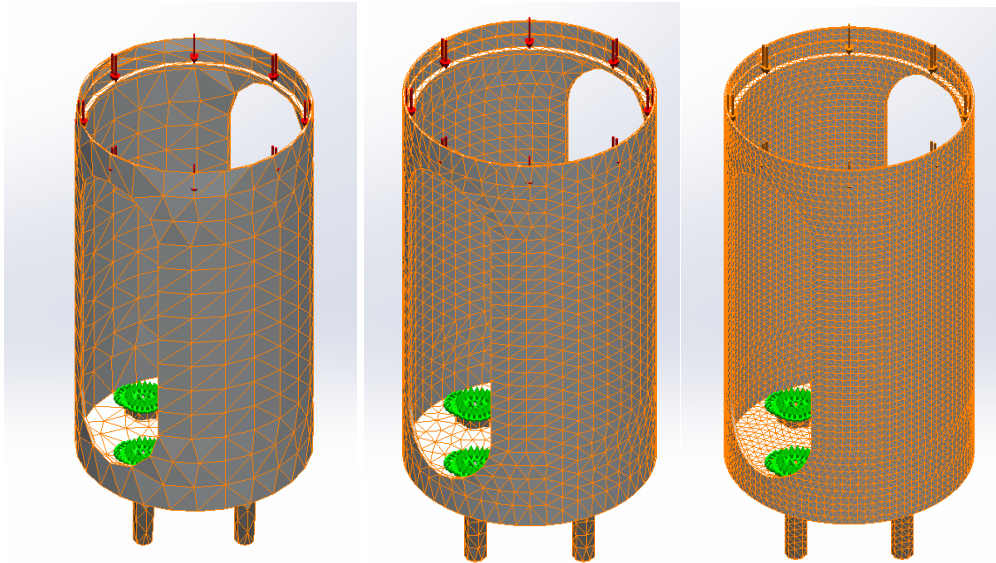


Ilustración 6. Comparativa del análisis de sensibilidad de malla. Fuente: Autor

En la siguiente tabla aparecen las comparaciones de los tamaños de los tamaños del análisis y sus respectivas cantidades de elementos y nodos, así como los desplazamientos y tensiones.

Tamaño del elemento	Elementos	Nodos	Desplazamiento [mm]	Tensiones [MPa]
20	3396	1234	19.84	1751
10	8211	2903	10.35	2964
5	26726	8978	18.96	1014

Tabla 3. Comparativa de valores del análisis de malla. Fuente: Autor

Como se aprecia en la tabla, las diferencias entre un tipo de malla y otro son más que considerables, por lo que se utilizará la malla más fina posible para poder afinar al máximo los resultados de los análisis.

### CRITERIO DE VON MISES

Para definir la resistencia de un material dúctil, el criterio de tensión de von Mises se puede utilizar en esta situación debido a que el material seleccionado es el aluminio.

El criterio de von Mises estudia la teoría del fallo de los materiales dúctiles al aplicar sobre ellos un esfuerzo. Y define que la energía de

distorsión aplicada en un punto por unidad de volumen no deformará el material siempre y cuando no se supere la energía de distorsión por unidad de volumen del material.

Dicho de otra manera, si el esfuerzo aplicado en un punto supera el límite elástico en ese mismo punto, el material sufre deformaciones y se desplaza.

La expresión de von Mises se expresa a partir de las tensiones principales que son las que actúan perpendiculares a la superficie donde se aplica el esfuerzo. La siguiente expresión describe esta descripción:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (3)$$

Siendo

- $\sigma_{VM}$ : Tensión von Mises
- $\sigma$ : Tensión ejercida en el punto

En cuanto al cálculo de las tensiones, el programa las calcula a través de la deformación unitaria y los desplazamientos.

Se le llama punto cuadrático al punto central del elemento. Las simulaciones calculan el valor tanto de desplazamiento como de deformación unitaria en cada nodo del cuerpo. Por último, el programa extrapola esos valores al punto cuadrático para determinar el valor final desde el centro del elemento.

## PROCESO DE ANÁLISIS

Para realizar correctamente los diferentes análisis en la aplicación SolidWorks, se genera un nuevo proyecto de simulación no lineal. Este tipo de simulación es la correspondiente para el extensor del pistón porque la pieza va a soportar, en el motor, esfuerzos dinámicos, es decir que varían en el tiempo (Ver Tabla 4).

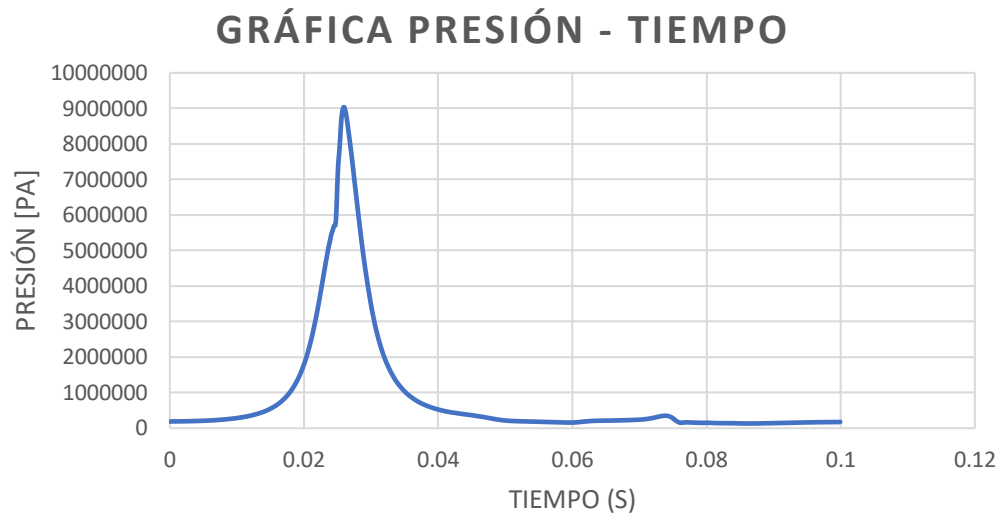
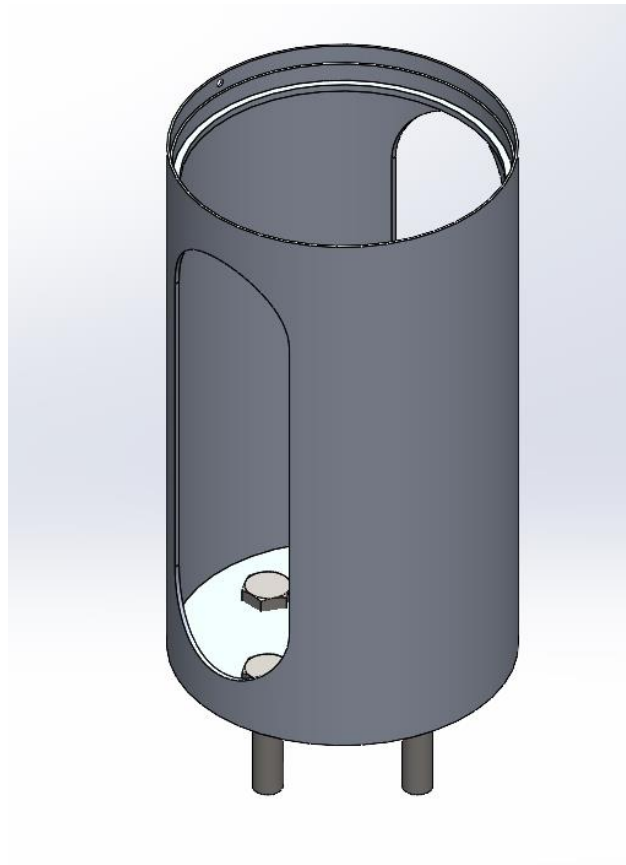


Tabla 4. Gráfica presión-tiempo facilitada a partir de las tablas del Departamento de Máquinas y motores Térmicos. Fuente: Autor.

Para el análisis se colocan los tornillos para más adelante poder ubicar las sujeciones.

También se selecciona el tipo de material tanto del extensor como de los tornillos.



*Ilustración 7. Diseño del extensor. Fuente: Autor.*

A continuación, se seleccionan las conexiones o iteraciones locales entre piezas. En este caso los tornillos sujetarán el extensor de pistón por la base. Por eso se seleccionan la superficie superior de la base y la superficie inferior de las cabezas de los tornillos a través de la opción unión rígida. Puesto que entre los tornillos y el extensor no existirá movimiento, es decir, se moverán de manera uniforme. (Ver ilustración 8 y 9)

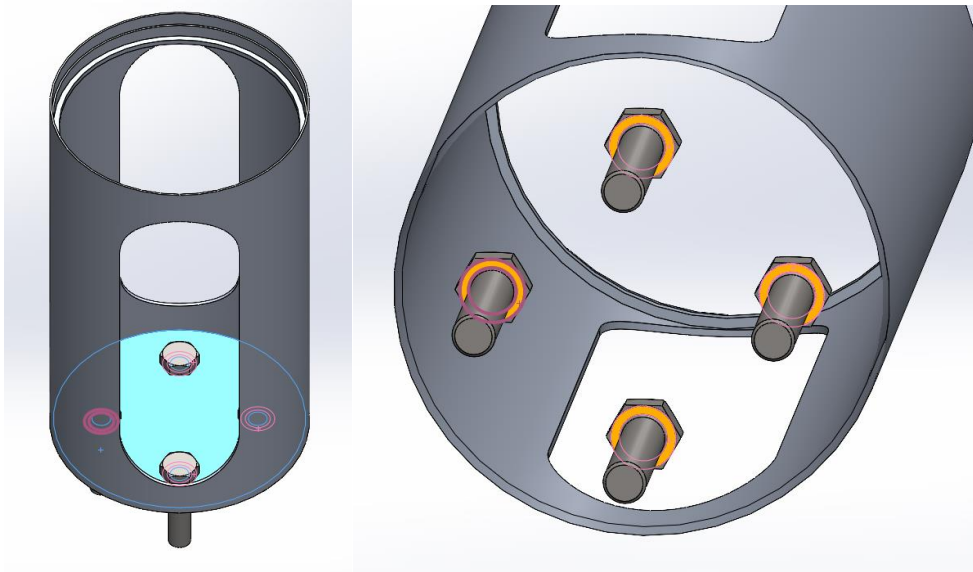


Ilustración 8. Zonas de contacto entre componentes Fuente: autor

Las sujeciones simulan la oposición al movimiento en el análisis. Se seleccionan los elementos que se consideran geometrías rígidas. Esta consideración se establece para simular el punto más crítico y donde mayor presión recibe del recorrido del extensor que es cuando alcanza el punto muerto superior, es decir, la posición más alta vertical. (Ver Ilustración 9)

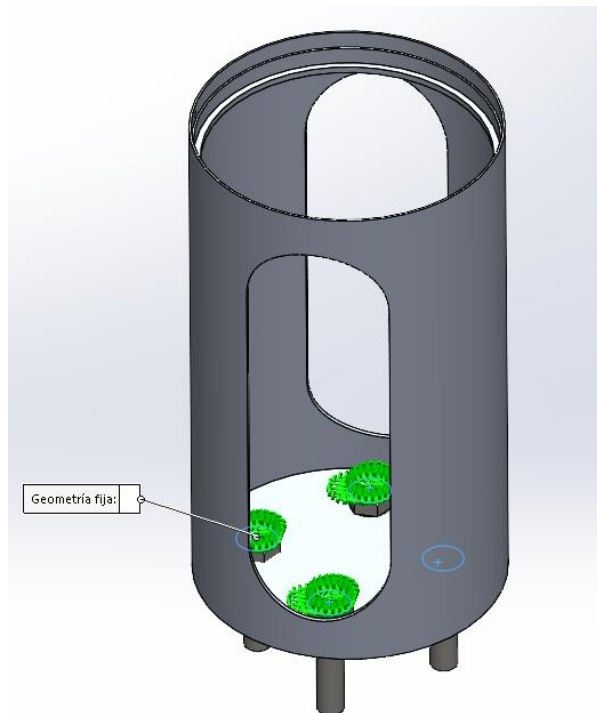


Ilustración 9. Zonas de anclaje. Fuente: Autor.



La presión se debe aplicar en la zona donde descansa el vaso, pues es la zona que está en contacto con el extensor y esa área recibe dicha presión que se genera en la cámara de combustión (dentro del cilindro) y que se transmite a través del vaso hacia el extensor. (Ver Ilustraciones 10 y 11)

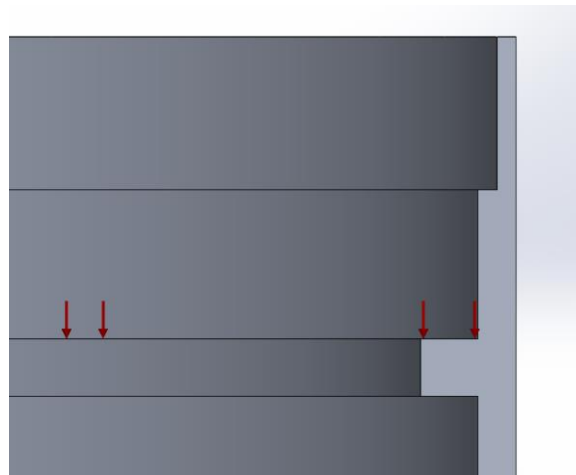


Ilustración 10. Sección del extensor. Zona de aplicación de presión. Fuente: Autor

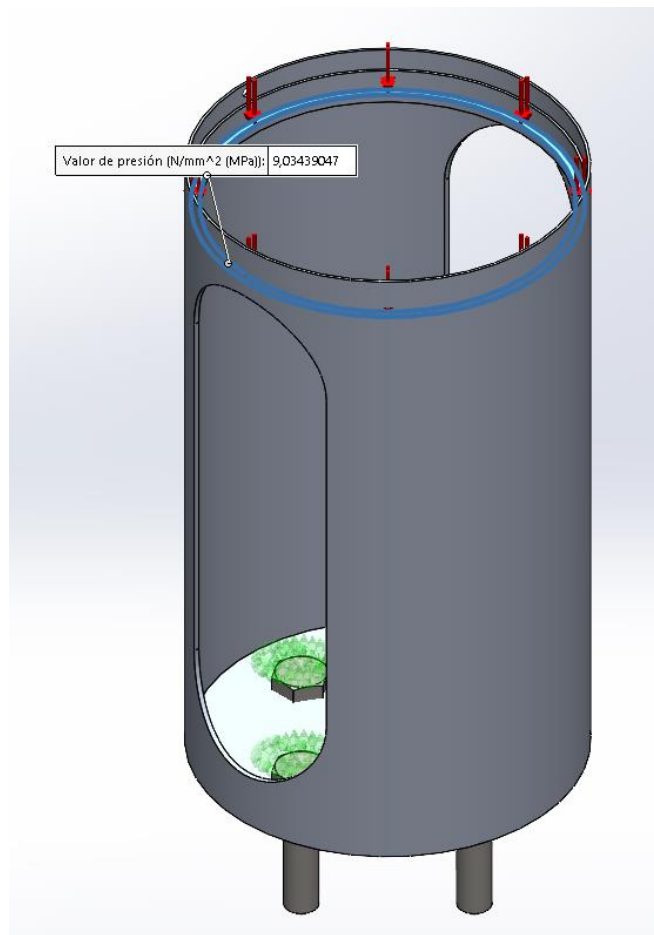


Ilustración 11. Zona de aplicación de presiones. Fuente: Autor.

Por último, en las propiedades del análisis se indica el tiempo final del ciclo.

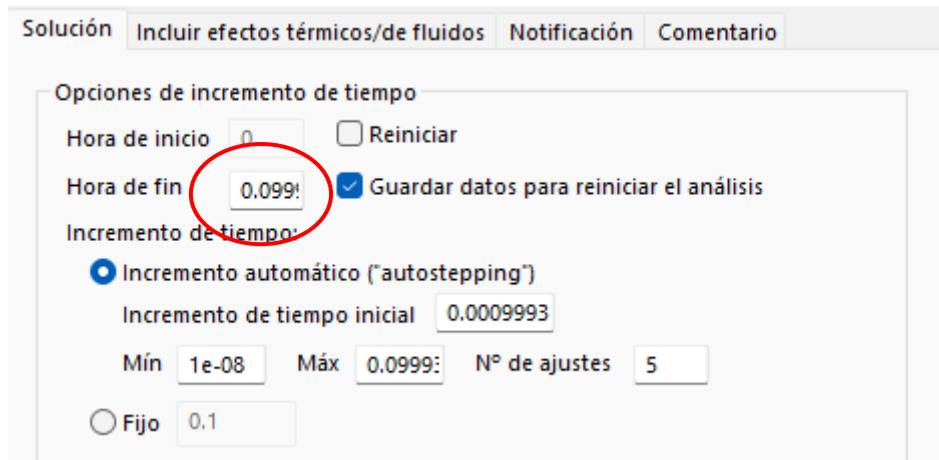


Tabla 5. Ubicación del valor del tiempo. Fuente: Autor

Este es el procedimiento tomado para todos los análisis.

## RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

Para analizar los resultados se analizan los valores que aparecen en las figuras. Se estudiarán dos figuras por iteración que corresponden la primera a las tensiones que se generan en el extensor y las segundas a los desplazamientos.

El orden de los materiales para cada análisis ha sido el siguiente:

Aleación de aluminio **series 3003** (36 MPa)

### *Iteración 1.1*

En la primera iteración que se realiza con la aleación de aluminio, se puede observar que la pieza se ha deformado. El punto máximo de tensión aparece cerca de los tornillos, pero no se identifica ningún color diferente al azul. Esto se debe porque ha aparecido un valor tan alto que la pieza probablemente pandease y se ha detenido el análisis.

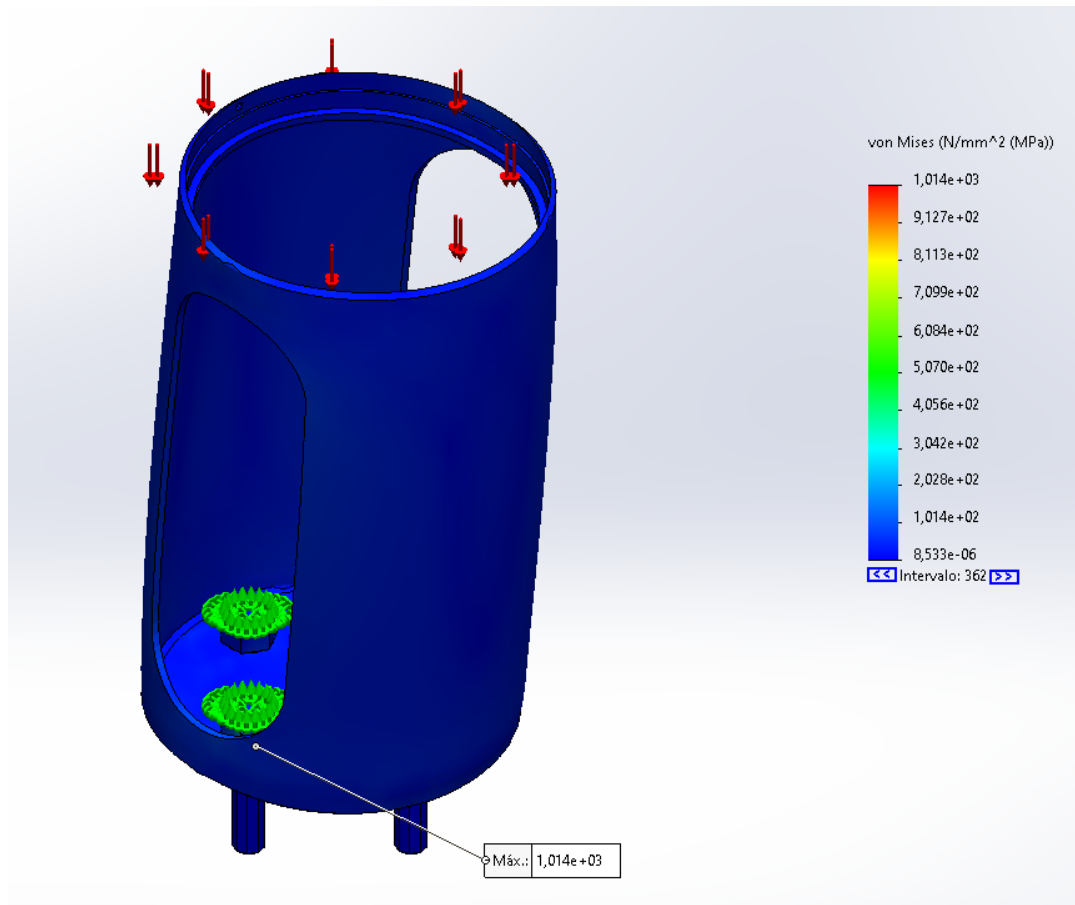


Ilustración 12. Iteración 1.1 Tensiones. Fuente: Autor

En cuanto a los desplazamientos, el valor de máximo desplazamiento es 18.96 mm, el color en rojo que aparece en la siguiente imagen en la tabla de la derecha. (Ver Ilustración 13)

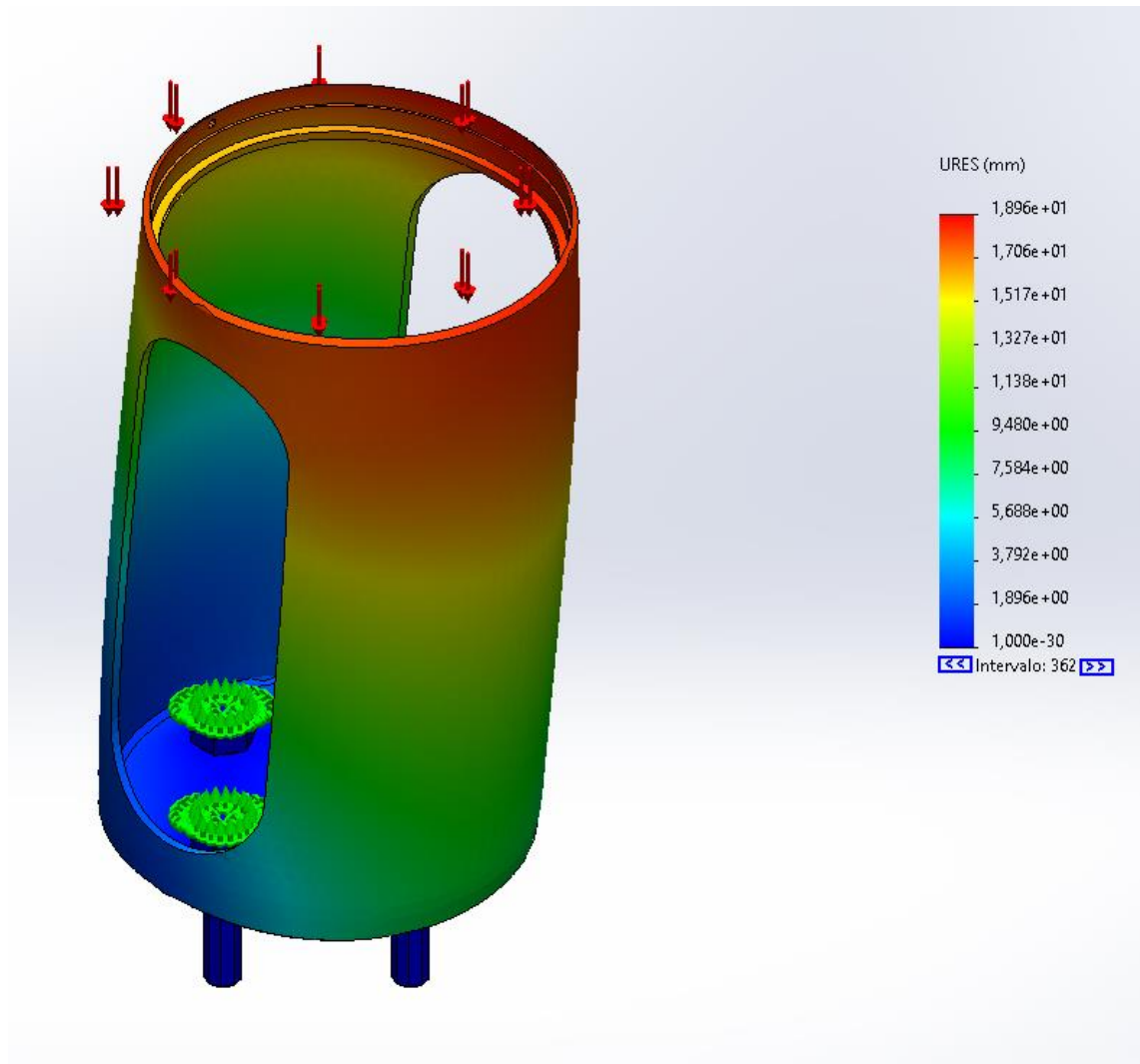


Ilustración 13. Iteración 1.1 Desplazamientos. Fuente: Autor

Dadas las grandes deformaciones y al análisis incompleto, se procede a aumentar en 1 milímetro el espesor de la pieza, tanto en el espesor de las paredes como en el espesor de la base. Con este cambio, se busca conseguir que la estructura del extensor soporte mejor las solicitaciones.

### *Iteración 1.2*

La segunda iteración del primer material muestra, que a pesar del aumento de espesor las deformaciones a simple vista son evidentes. Las tensiones generadas están por encima del límite elástico y debido a la gran deformación el análisis indica una tensión máxima de 2195 MPa. Un valor muy por encima del límite elástico del material. Este valor es tan elevado probablemente por el hecho de que la deformación ha sobrepasado el

límite elástico y ha continuado deformando el material. Pues en la figura de los desplazamientos aparece un desplazamiento de 22mm.

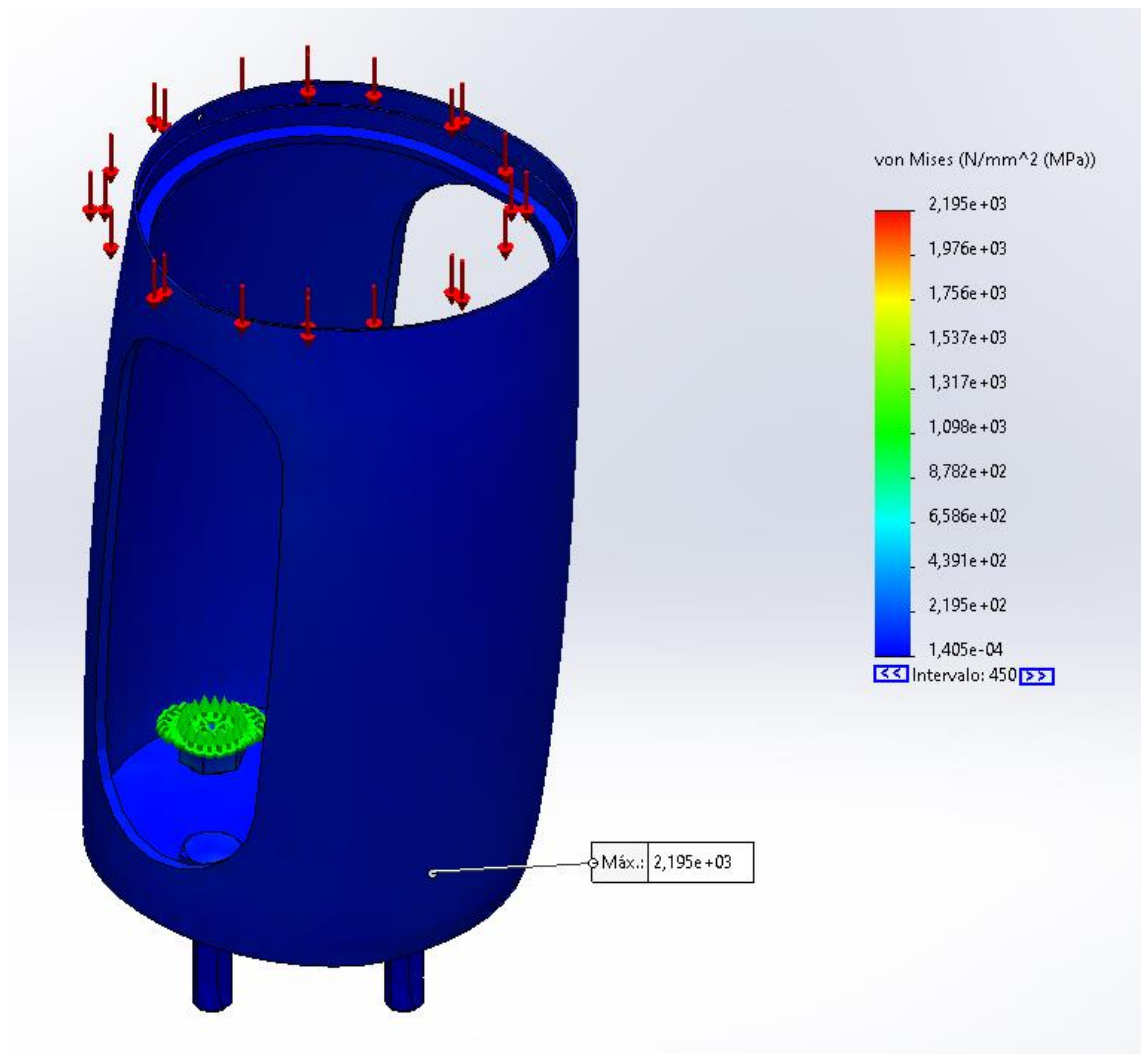


Ilustración 14. Iteración 1.2 Tensiones. Fuente: Autor

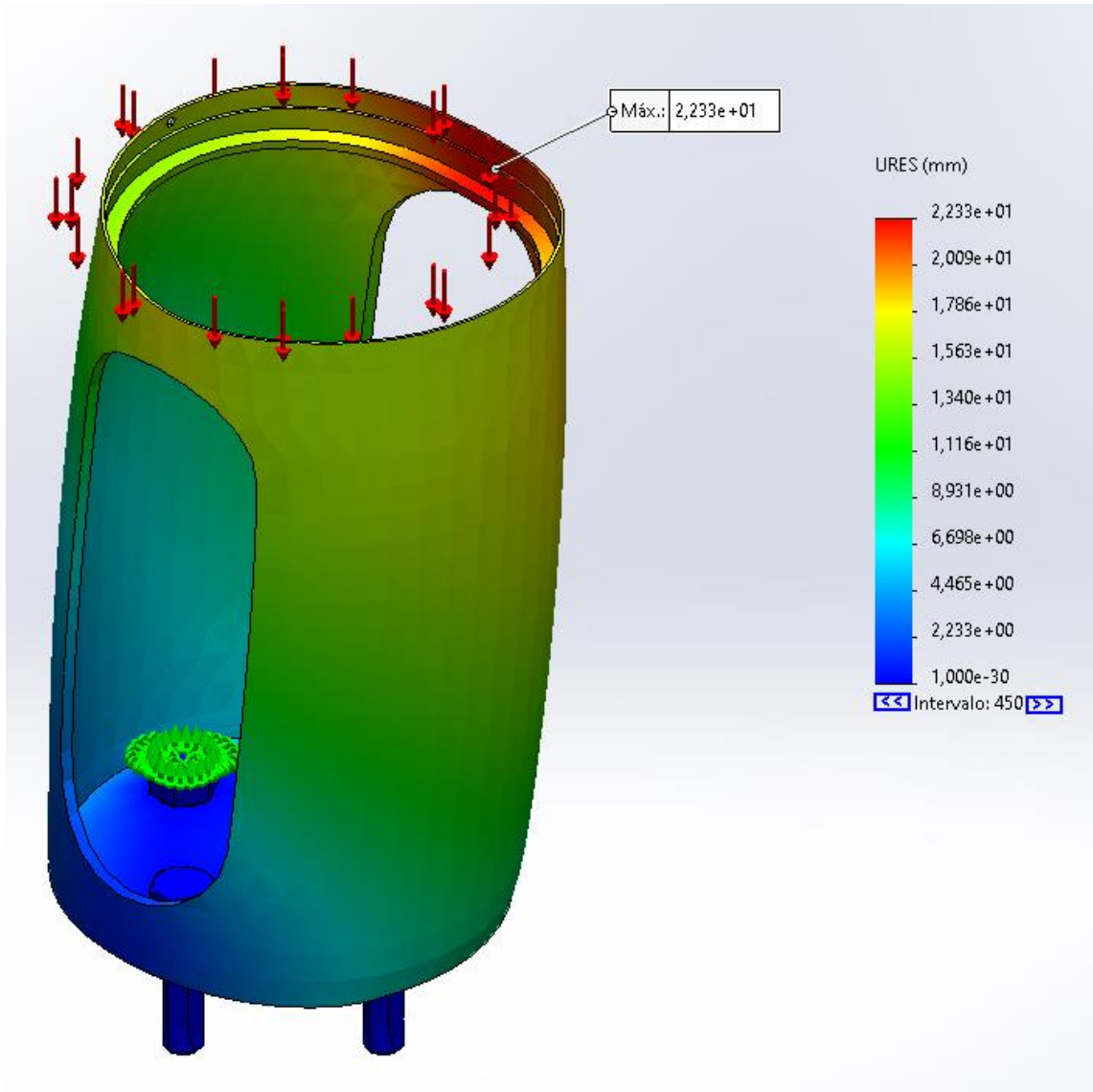


Ilustración 15. Iteración 1.2 Desplazamientos. Fuente: Autor

Aleación de aluminio series 356.0-T6 (152MPa)

### Iteración 2.1

La ilustración 16 muestra un comportamiento estable, debido a que las tensiones generadas (68.49 MPa) no superan la tensión máxima del material, por tanto el material con la geometría principal de 3 milímetros de espesor resiste los esfuerzos.

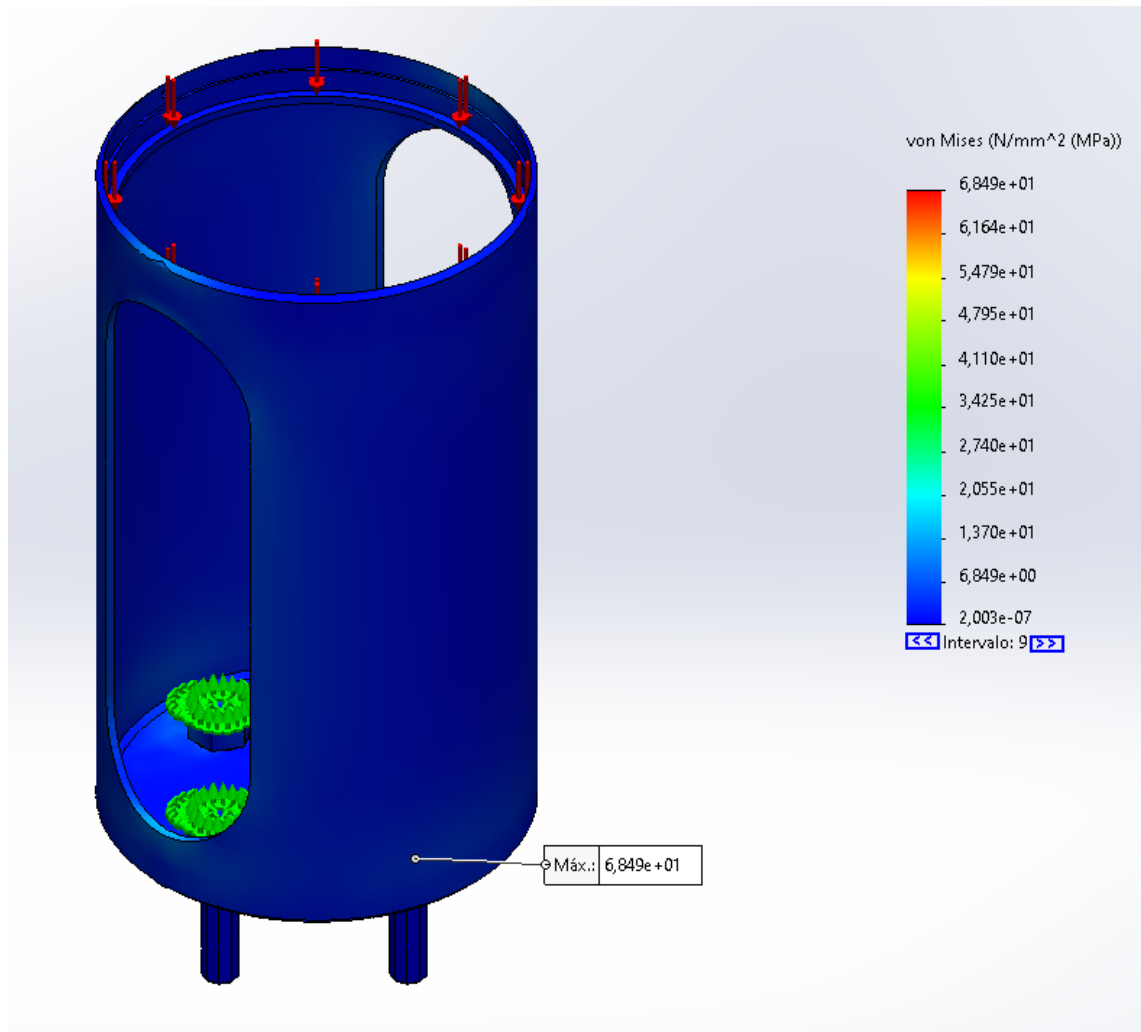


Ilustración 16. Iteración 2.1 Tensiones. Fuente: Autor

Por otra parte, la figura de los desplazamientos (Ilustración 17) sí que soporta un desplazamiento máximo de 6.28 milímetros en la parte superior del extensor. Estos desplazamientos se producen debido a la geometría variable en la parte superior del extensor. Pues en algunos puntos existen aristas donde la geometría es perpendicular, necesaria para que el vaso se pueda sujetar con el extensor. Por eso esta geometría no se puede cambiar. Pero el espesor del resto del cilindro sí. Entonces en la siguiente iteración se aumenta el espesor del cilindro para tratar de disminuir los desplazamientos, pero se mantiene el espesor de la base puesto que por ahora sí que ha funcionado.

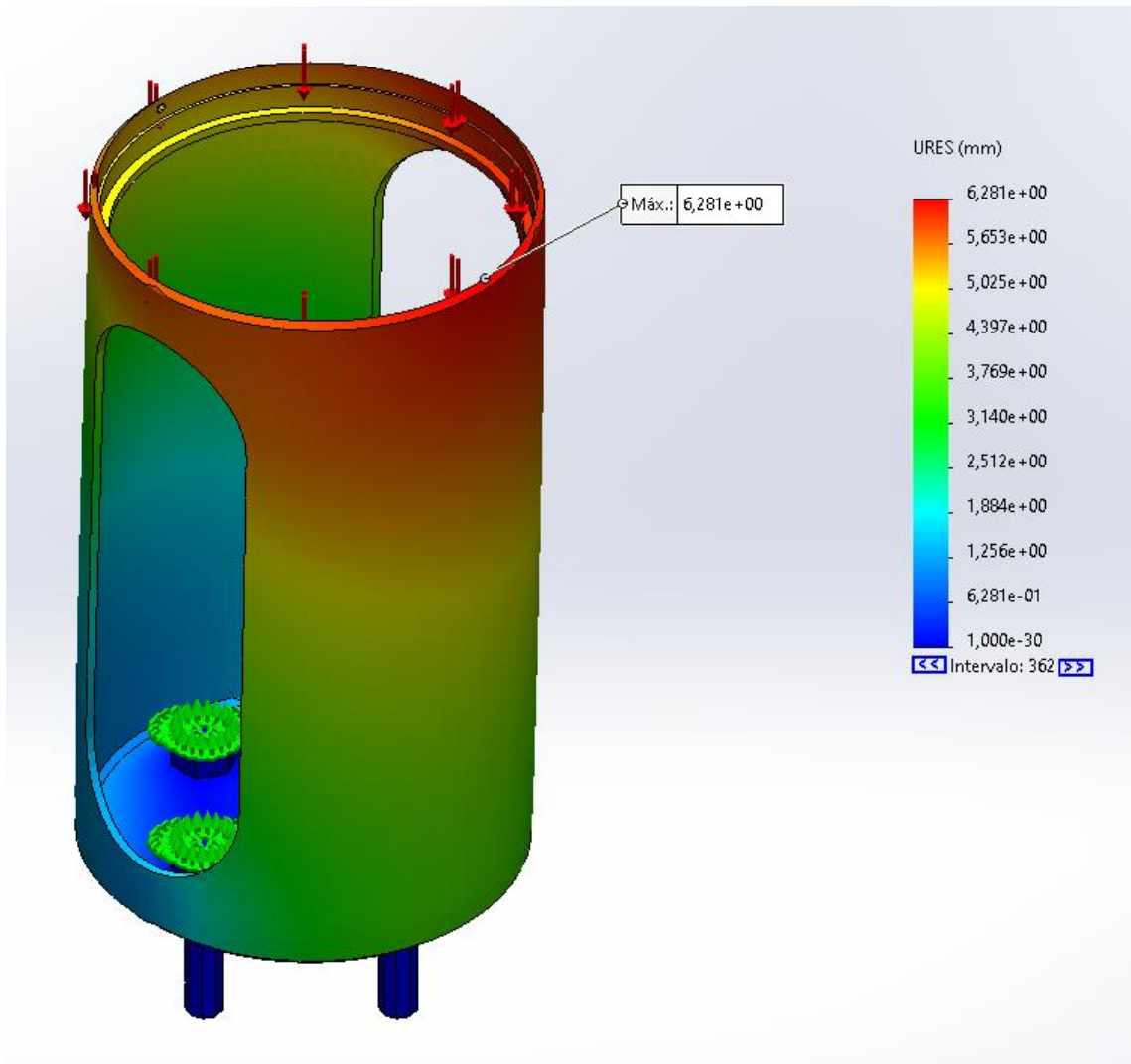


Ilustración 17. Iteración 2.1 Desplazamientos. Fuente: Autor

### Iteración 2.2

Desarrollando la segunda iteración del material 356.0-T6 recordamos que los espesores utilizados en esta ocasión son: espesor del cilindro 4 milímetros y espesor de la base 3 milímetros.

El análisis indica que el material soporta las tensiones, pues el punto de máxima tensión tiene un valor de 94.95 MPa. La tensión máxima ha aumentado en comparación a la iteración 2.1. Esto se debe a que el peso del extensor ha aumentado y se ha mantenido el espesor de la base de este.



Para ver si realmente merece la pena este cambio hay que revisar los valores de los desplazamientos.

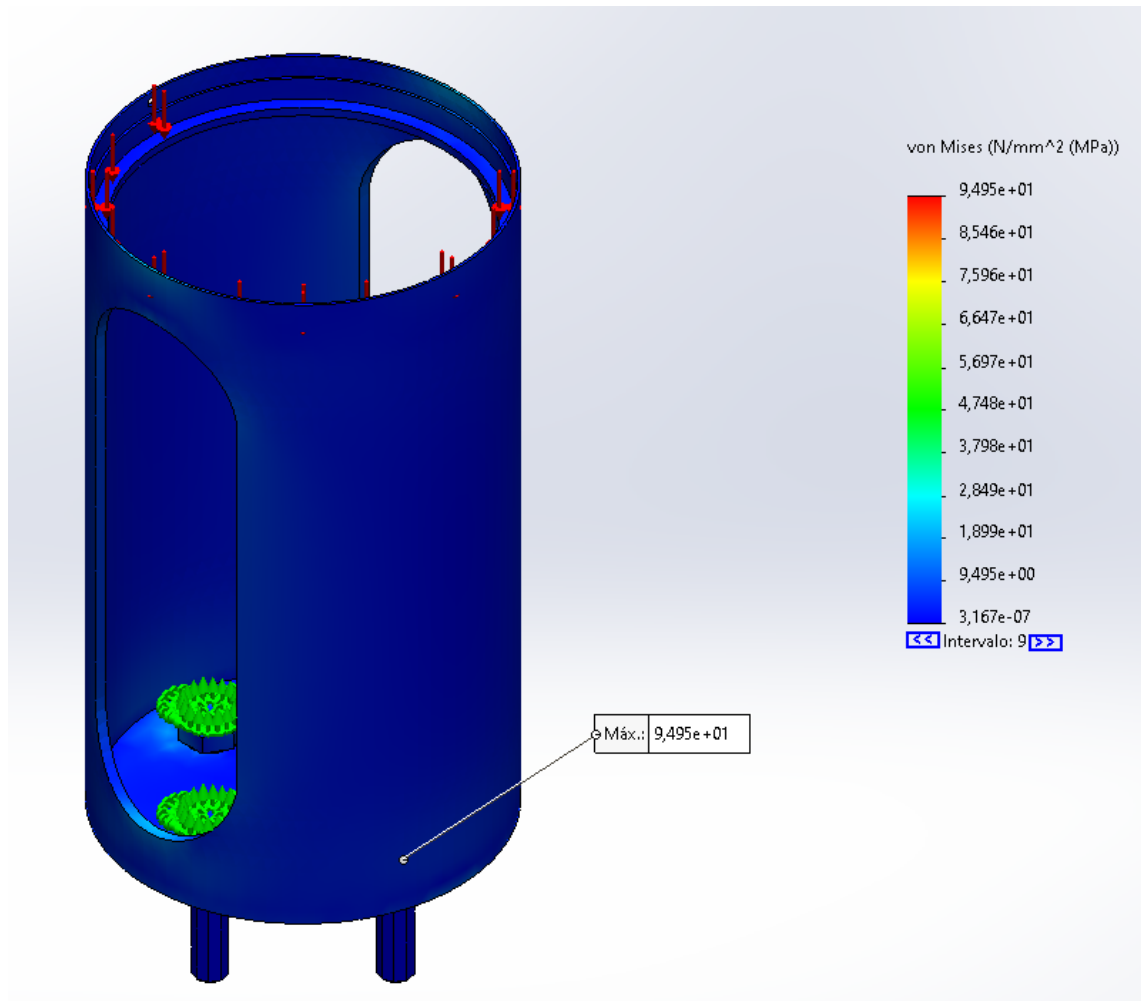


Ilustración 18. Iteración 2.2 Tensiones. Fuente: Autor

En cuanto a los desplazamientos, en la anterior iteración (2.1) el valor máximo de desplazamiento fue 6.28 mm frente a los 2.77 mm desplazados en este último análisis.

Esto supone una mejora de las características mecánicas generales del extensor del pistón debido a que las tensiones se siguen soportando y los desplazamientos han disminuido.

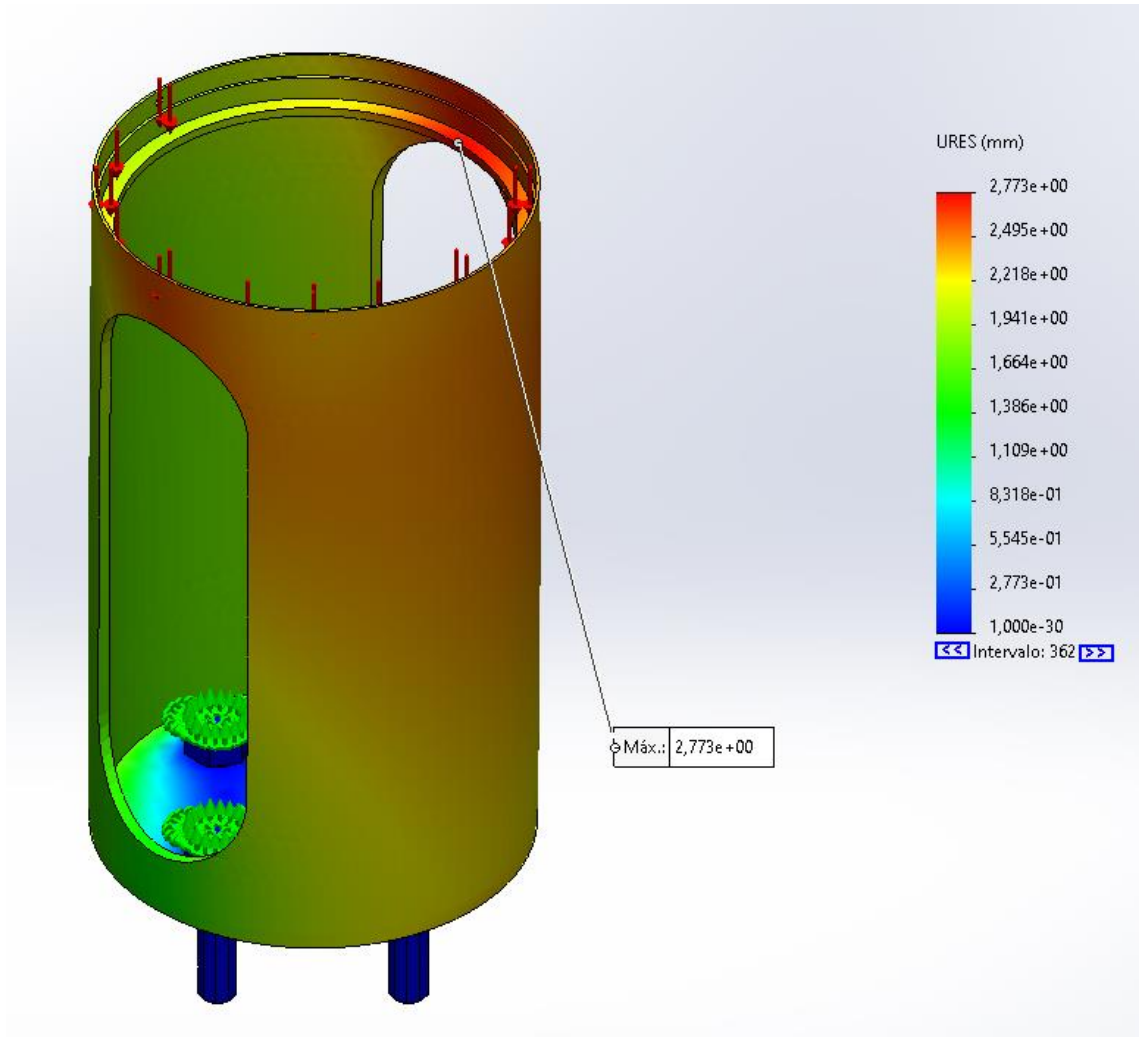


Ilustración 19. Iteración 2.2 Desplazamientos. Fuente: Autor

Aleación de aluminio **series 4032** (315MPa)

### *Iteración 3.1*

Para la aleación 4032 se puede apreciar que el espesor de 3 milímetros tanto en el cilindro como en la base es suficiente para soportar las tensiones, pues solo 68.26 MPa no alcanza ni un tercio de la tensión que puede llegar a soportar el extensor con este tipo de material sin deformarse.

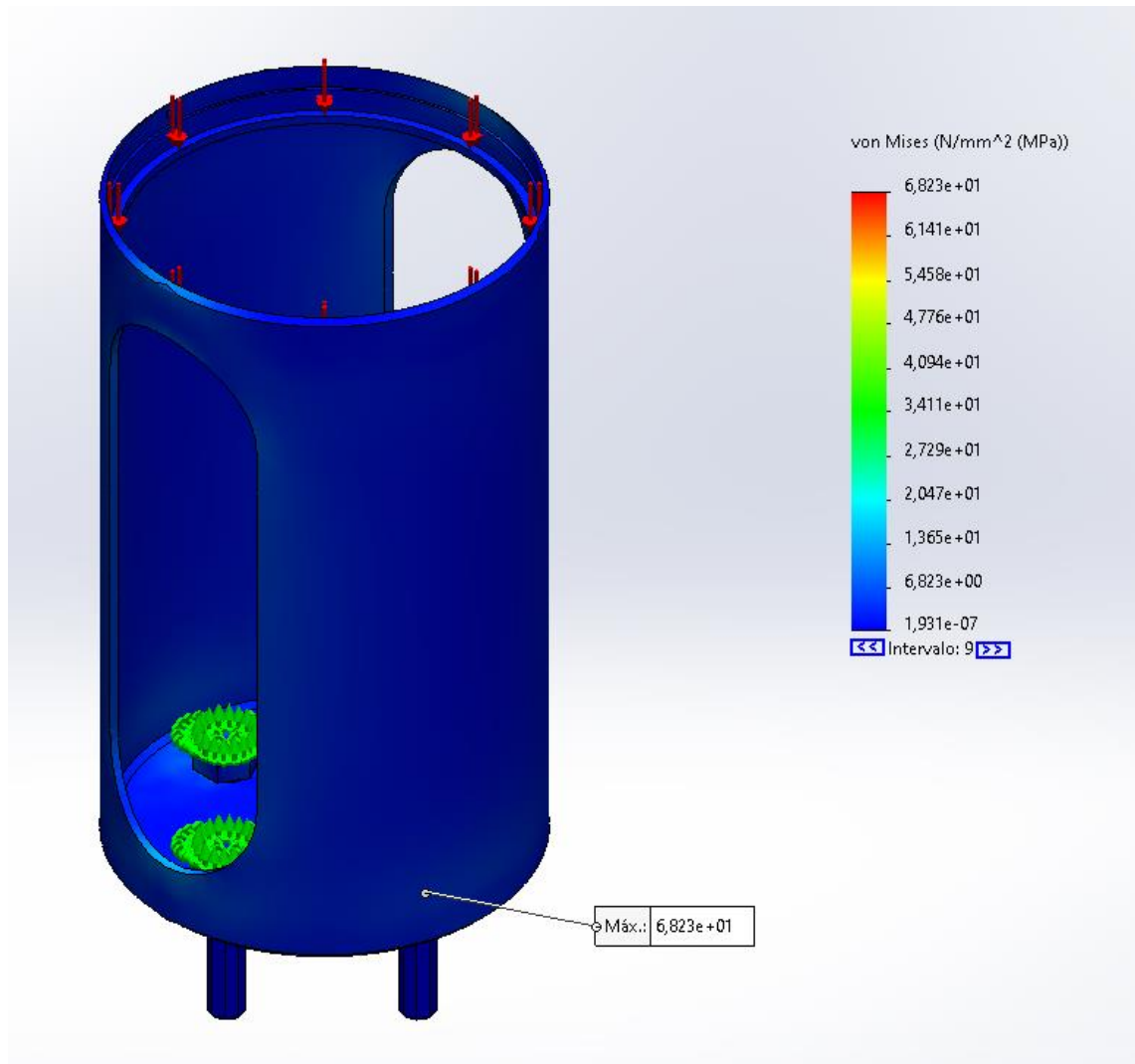


Ilustración 20. Iteración 3.1 Tensiones. Fuente: Autor

Como se puede ver en la siguiente imagen, los desplazamientos en este primer análisis son muy bajos. Se procede a reducir el espesor general de toda la pieza a 2 milímetros.

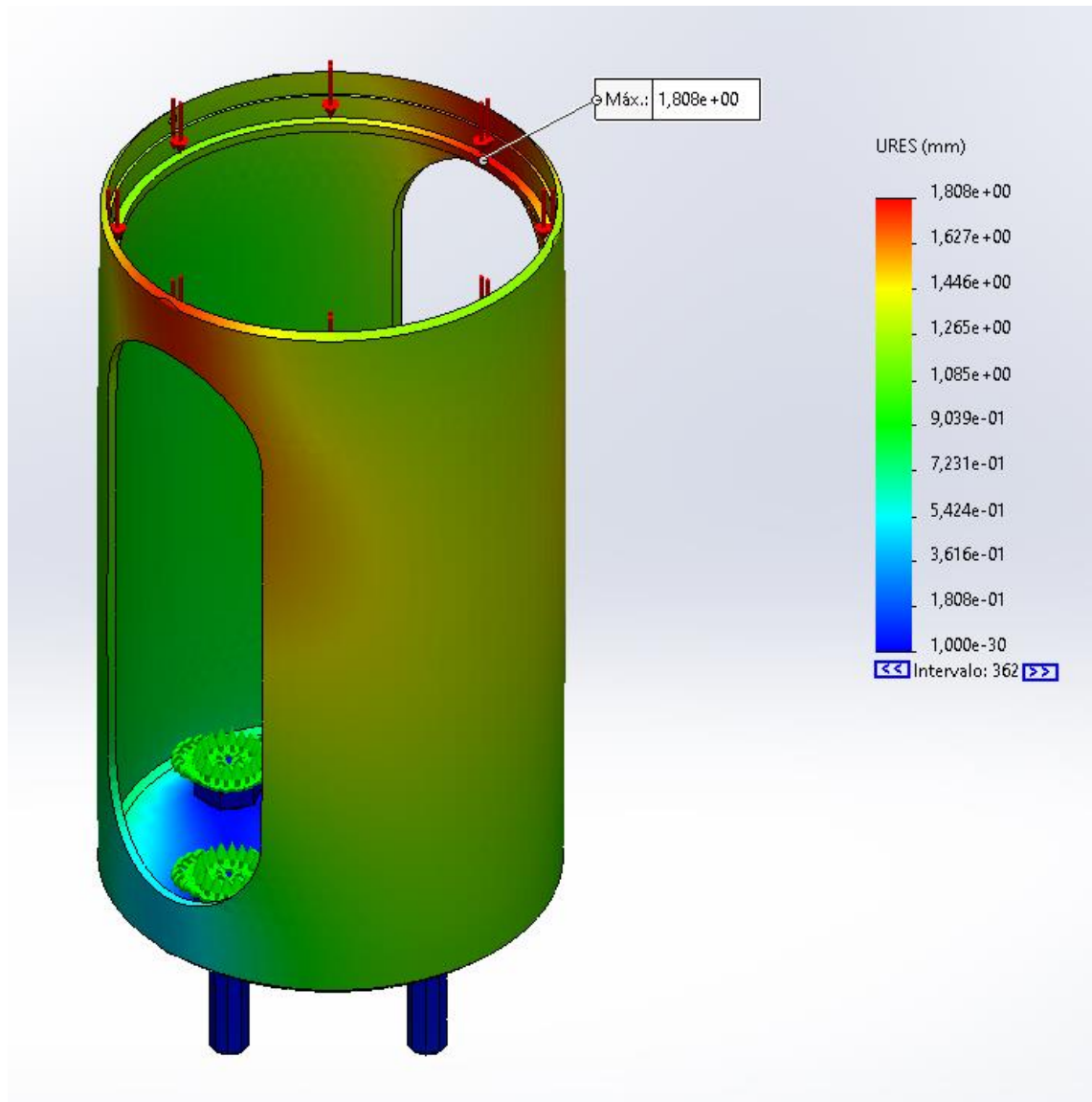


Ilustración 21. Iteración 3.1 Desplazamientos. Fuente: Autor

### Iteración 3.2

Esta última iteración describe una deformación notable. La que indica que las tensiones han superado el límite elástico. Caso similar al ocurrido en las iteraciones del primer material. Como se ha comentado antes, si las tensiones ascienden hasta valores muy altos significa que el desplazamiento ha sido alto también, como aparece en la figura X donde los desplazamientos máximos han llegado hasta 59 milímetros en algunos puntos. Evidentemente, este diseño con estos parámetros no están dentro del diseño que se busca debido a que no cumple los requisitos del análisis.

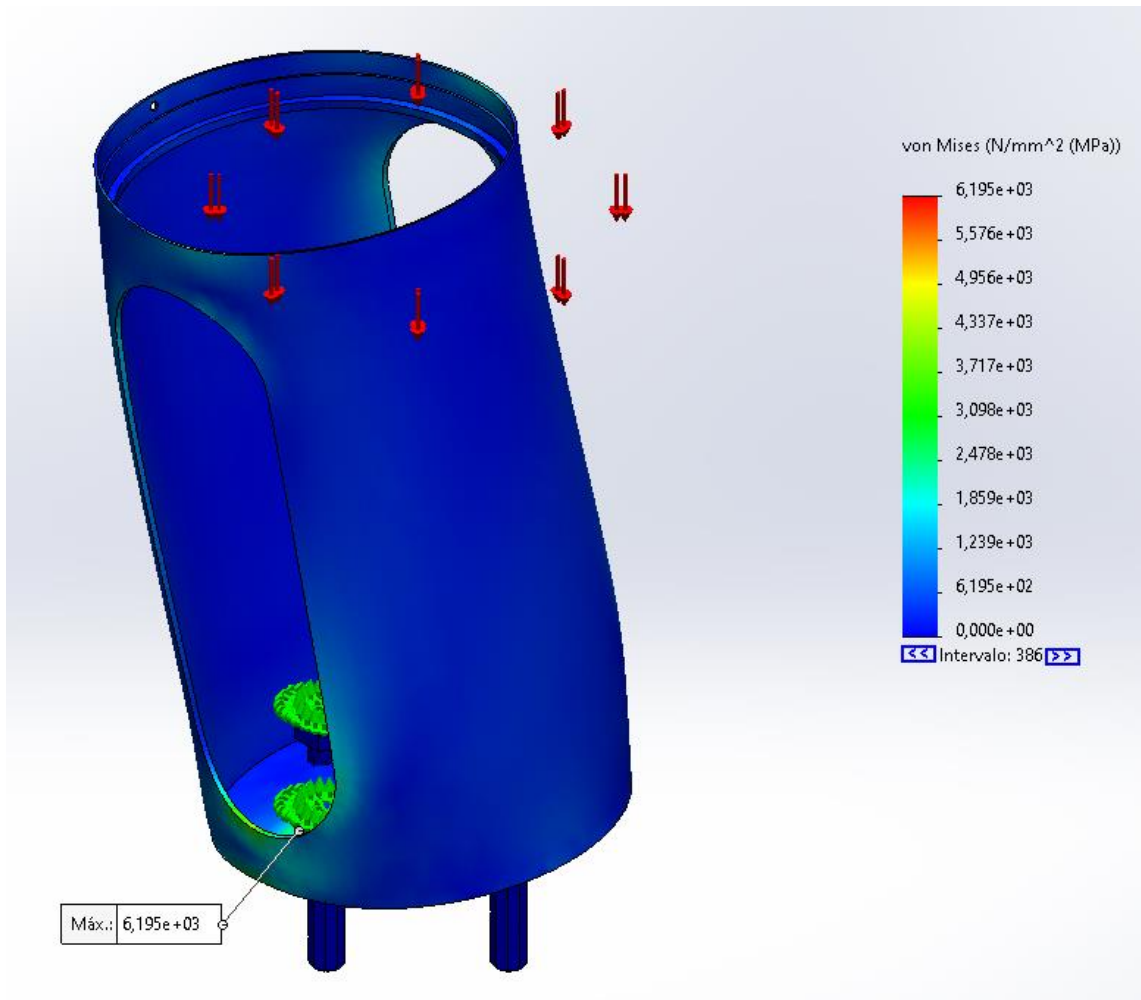


Ilustración 22. Iteración 3.2 Tensiones. Fuente: Autor

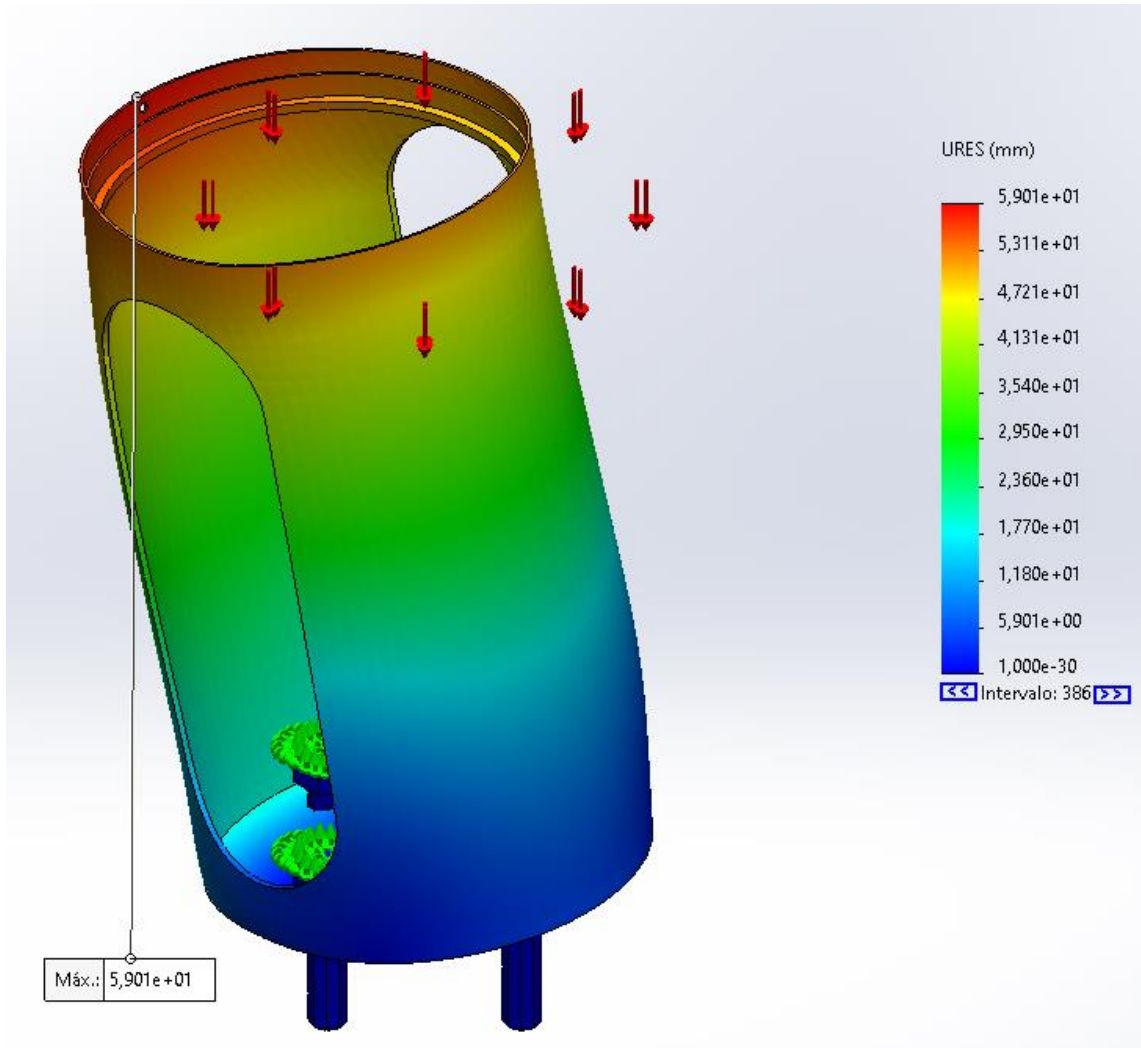


Ilustración 23. Iteración 3.2 Desplazamientos. Fuente: Autor

A continuación, se realiza una comparación de los valores obtenidos a partir de los análisis de elementos finitos.

	Iteración 1.1	Iteración 1.2	Iteración 2.1	Iteración 2.2	Iteración 3.1	Iteración 3.2
Tensión [MPa]	1014	2195	68.49	94.95	68.23	6195
Desplazamientos [mm]	18.96	22.33	6.28	2.77	1.8	59.01
Material	3003	3003	356.0-T6	356.0-T6	4032	4032
Espesores [Cilindro x Base]	3x3	4X4	3x3	4x3	3x3	2x2

Tabla 6. Comparación de resultados de análisis. Fuente: Autor.

En la tabla6 aparecen agrupados los valores más relevantes de los análisis realizados. Para comenzar a seleccionar la aleación específica junto a su espesor se deben descartar los análisis que no han estado dentro de

los límites elásticos que se necesitaban. Por tanto, las iteraciones 1.1, 1.2 y 3.2 quedan descartadas.

Además, junto a las iteraciones ya se descarta la aleación de aluminio 3003. Esto ha sido provocado dado a su bajo límite elástico.

Continuando con la comparación, los desplazamientos de las iteraciones restantes han sido 6.28 para el material 356.0 con espesores de 3 milímetros tanto en cilindro como en base del extensor. La segunda iteración del diseño de este material entrega una parte de la resistencia del límite elástico debido al espesor del cilindro aumentado a costa de reducir a 2.77mm los desplazamientos, lo que conlleva a una notable mejora pero también a un aumento de peso del diseño.

Por otra parte, el material de aleación de aluminio 4032 de espesores 3x3 consigue las mismas prestaciones de cara a la tensión como el material 356.0 pero, además, reduce las deformaciones hasta 1.8 milímetros. Es por esto último que el material que más se adapta al diseño del extensor del pistón es la aleación de aluminio series 4032. Pues al seleccionar este material, se garantiza el correcto funcionamiento del extensor del pistón en el motor a partir del estudio a través del análisis de elementos finitos expuesto.

## DISEÑO FINAL

Desarrollados los apartados anteriores, se han completado el diseño final y queda completamente definido. Pues se ha realizado el modelo, los análisis oportunos y la elección de material más adaptada, así como los planos que aparecen en el anexo de planos de este documento.

El extensor de pistón para motor óptico para estudio de simulaciones de alta carga es una pieza de aleación de aluminio 4032. Una aleación aluminio-silicio que tiene una muy buena resistencia a la deformación y alta dureza.

La pieza es para una sola fabricación. En particular se destinará para el laboratorio del departamento de Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia.

Los análisis del conjunto del motor para el cual se ha diseñado la pieza son para el motor óptico equivalente al motor Caterpillar C15 INDM Acert con el que se realizarán simulaciones y estudios del motor.

## ASPECTOS PARA TENER EN CUENTA

Antes de la puesta a punto en el motor es necesario evaluar que la pieza coincida con las dimensiones que se indican en los planos para evitar problemas a la hora del montaje y/o funcionamiento del motor. Además, es recomendable obtener probetas del material del que se fabrica y realizar "in situ" ensayos a tracción y compresión para verificar que el material es el correcto y asegurar que no existan riesgos que puedan poner en peligro a la instalación.

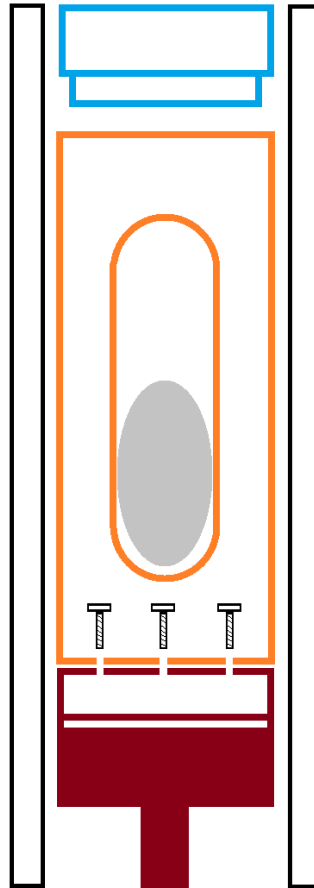
## MONTAJE DEL EXTENSOR EN EL MOTOR TRANSPARENTE

El montaje del extensor del pistón se realiza de la siguiente manera:

Antes del montaje, el pistón conductor debe tener los agujeros de los tornillos en tal posición que cuando el extensor se coloque y se introduzcan los tornillos, coincidan los espacios laterales del extensor con los espacios del bloque motor (Imagen X). Esta disposición es de vital



importancia para más adelante poder colocar el espejo desde el lateral, pues si no se coloca correctamente no habrá espacio suficiente para el espejo.



*Ilustración 24. Esquema de las diferentes partes que interactúan con el extensor de pistón para su montaje. Fuente: Autor*

Cuando el pistón conductor (Rojo oscuro) está colocado sobre la biela, se atornilla el extensor (Naranja) al pistón a través de los tornillos con una llave inglesa, pues los tornillos son hexagonales y hará falta para enroscarlos.

El vaso del motor óptico (Azul) se deja caer encima del extensor y se coloca el pasador lateral para fijar la posición. Después se introduce por el espacio lateral del extensor la tuerca que va debajo del vaso y de esta manera se sujetan extensor con vaso. (Ver Ilustración 24)

Por último, se atornilla un soporte en la bancada para el espejo.

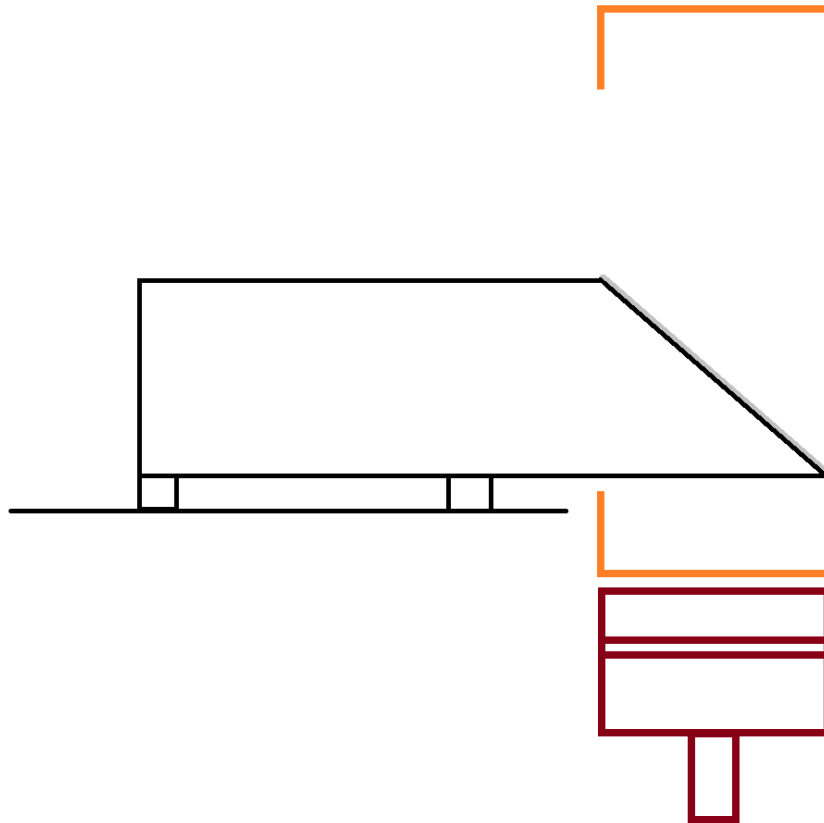


Ilustración 25. Sección de vista lateral del montaje del espejo en el motor. Fuente: Autor.

Así queda definido el montaje de la parte correspondiente al motor que interactúa con el extensor de pistón.

## CAPÍTULO 3

### MÉTODO DE FABRICACIÓN

En ingeniería realizar la selección adecuada para la fabricación de un producto es tan importante como el diseño. Generalmente, una pieza se diseña teniendo en cuenta el método de fabricación y de esta manera poder seleccionar la alternativa más adecuada para reducir al mínimo los recursos.

Se debe tener presente cuántas unidades de piezas se van a fabricar. Este factor indica si un tipo de fabricación sería más válido que otro. Por ejemplo, si hay que generar una pieza de plástico, despreciando características del material y uso de la pieza, la cual se puede fabricar a través de inyección o por mecanizado, sería conveniente fabricar un molde para inyección si hubiese que fabricar una alta cantidad de unidades porque este método es rápido y económico a la hora de fabricar mucha cantidad de piezas. Por otra parte, si solo hubiese que fabricar pocas unidades y de manera puntual, es posible que fuese más interesante la fabricación por mecanizado ya que el tiempo de preparación y fabricación es corto y más económico.

Por todo esto, la selección del método de fabricación es un factor muy importante a la hora de diseñar y fabricar un producto.

Existen varios procesos de fabricación para el extensor de pistón que podrían ser válidos. No obstante, hay que tener en cuenta el material que se va a utilizar, pues un proceso de fabricación que altere en un alto grado la estructura interna del material puede generar fisuras que actúen como concentradores de tensiones y la pieza podría romperse.

Para seleccionar el proceso más adecuado, primero se van a describir los posibles procesos de fabricación y se realizará una comparación.

El primer paso es indicar qué cantidad de piezas se van a fabricar. En el caso del extensor de pistón únicamente se va a fabricar una pieza, pues se

trata de una pieza de estudio para un motor particular que no se va a comercializar. Es por esto por lo que la pieza no es comercial ni está normalizada, por lo que se debe fabricar específicamente. Esto repercute en el costo final debido al tiempo y recursos que se deben invertir para la fabricación.

El segundo paso es indicar el material, en este caso aluminio 4032. Este paso descarta procesos de fabricación que estén adecuados a otros grupos de materiales tales como vidrios o polímeros.

En la siguiente tabla, aparecen los procesos que más se adaptan a la fabricación del extensor teniendo en cuenta las indicaciones anteriores.

Procesos de fabricación
Soldadura de arco de tungsteno con gas
Moldeo por gravedad
Mecanizado
Fundición
Embutición profunda

Tabla 7. Procesos de fabricación posibles para el extensor de pistón. Fuente: Autor.

#### Soldadura por arco de tungsteno con gas

El proceso de fabricación a través de la soldadura se efectuaría comenzando con una bobina de chapa (Figura X) la cual se desenrolla introduciéndose en una máquina que a través de una línea de rodillos formadores moldean el perfil de la chapa hasta generar un perfil de circular. Una vez generado ese perfil, el tubo se suelda y se corta a la medida deseada. Este paso sería el que formaría el cilindro del extensor, teniendo en cuenta que después se debería soldar a través de otra soldadura una chapa del espesor necesario en la base para crear la estructura principal del extensor de pistón.

El problema con este proceso de fabricación es el material y los esfuerzos que debe soportar la pieza. El aluminio, limita la soldadura adecuada por el endurecimiento excesivo que generaría la temperatura a

la hora unir las piezas. Si las piezas se endurecen más, también se hacen más frágiles por lo que el extensor podría fracturarse al estar en funcionamiento.

#### Moldeo por gravedad

El proceso de fabricación de moldeo por gravedad consiste en introducir el material colado en una matriz de un cilindro hueco que gira sobre su propio eje. El material se deja en su interior girando hasta que se enfría y una vez se obtiene el bruto, se mecaniza para obtener las dimensiones necesarias.

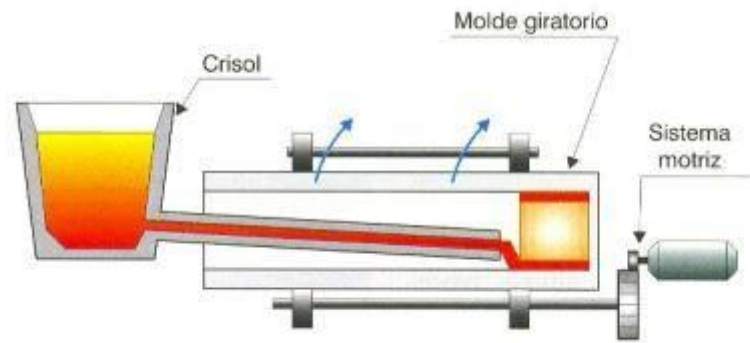


Ilustración 26. Proceso de fabricación de moldeo por gravedad. Fuente: Aula virtual [6]

Este proceso de fabricación es muy utilizado para las camisas de los cilindros de un motor, pero, para el extensor de pistón no sería lo más adecuado porque la base del extensor es perpendicular al eje de rotación y quedarían sin cubrir o con menor densidad por las fuerzas centrífugas.

#### Mecanizado

Una de las fabricaciones más comunes a la hora de hacer una pieza metálica es a través del mecanizado por torno y fresadora.

Para fabricar la pieza a través de este proceso se debe adquirir un redondo del material en bruto de 140 mm de diámetro y cortarlo a 240 mm de longitud. Se introduciría en el torno desbastando el interior hasta 1,5 milímetros por encima del espesor final y después se realizaría un acabado con la herramienta correspondiente. A continuación, la pieza se ubicaría en un taladro para realizar los agujeros de la base del extensor y del

pasador. Por último, la pieza pasaría a la fresadora y se mecanizarían los laterales por donde se introduce el espejo.

El proceso de fabricación de este objeto sería válido, pero hay que tener en cuenta que el desbaste de un diámetro en bruto de 140 milímetros hasta un espesor de 3 milímetros daría lugar al desperdicio de una cantidad considerable de material y el posible desgaste de una o más herramientas de corte. Por eso, se debe hacer una comparación con otros procesos para seleccionar el más adecuado.

#### Fundición

La fundición es otro proceso de fabricación que consiste en derretir la materia prima en proporciones justas para el material que se quiere obtener. En el caso del extensor de pistón la fundición en arena sería la más adecuada, aunque el acabado superficial y la exactitud de geometría que brinda este proceso no es muy exacto y habría que recurrir a un postproceso, durando más tiempo el proceso de fabricación.

El proceso de fundición empieza fabricando un molde un poco más grande que el extensor. A este prototipo se le colocan otras piezas pegadas a él para verter el metal y también otro conducto para dejar salir el aire a la hora de introducir el aluminio colado. La pieza se debe dejar enfriar y una vez solidificado se retira del molde.

Por último, se eliminan los canales por donde se vierte y sale el aire. Si es necesario, se puede mecanizar la pieza para que quede con un mejor acabado.

Este proceso de fabricación es caro, pero está enfocado a la fabricación de piezas únicas o prototipos.

#### Embutición

El proceso de embutición parte de la fabricación de varias matrices para la formación de piezas cóncavas para generar una profundidad progresiva

en varios pasos y evitar que se seccione al hiperextender el material porque dicha matriz trabaja como cizalla en radios pequeños.

Para la fabricación en este proceso se debe calcular los diámetros de la matriz que prensa el material, también hace falta calcular el espesor y diámetro del redondo, así como las matrices necesarias para completar el proceso.

Para saber la cantidad de matrices necesarias hace falta calcular cuántas operaciones se van a realizar hasta obtener la forma deseada.

Se trata de un proceso en frío que se utiliza para altos volúmenes de fabricación dado que se debe crear un punzón y una matriz para cada paso a la hora de generar la pieza.

#### Comparaciones

Para concluir este apartado, se resume una tabla con las condiciones de cada tipo de fabricación.

Procesos de fabricación	Coste	Posprocesado	Para producción	Tiempo
Soldadura por arco de tungsteno con gas	Medio	Mucho	Alta	Medio
Moldeo por gravedad	Alto	Mucho	Alta	Medio
Mecanizado	Bajo	Normal	Baja	Bajo
Fundición en arena	Alto	Poco	Baja	Medio
Embutición profunda	Alto	Normal	Alta	Bajo

Tabla 8. Tabla comparativa de las ventajas y desventajas de los diferentes procesos de fabricación. Fuente: Autor

Comparando los costes, cantidad de posprocesado, volúmenes de producción para lo que están diseñados y tiempo de fabricación se puede observar que el mecanizado, referido a través de torno, fresadora y taladro, tiene más ventajas en comparación al resto de procesos. Pues se trata de un proceso dedicado a una producción pequeña o individual de una sola pieza y que además solo necesitan las operaciones de torneado, fresado y taladrado si no se desea un acabado a través de un pulido. Por otra parte, también se debe mencionar algunas desventajas del mecanizado, pues para esta pieza en particular, puede que el proceso de mecanizado desde un bruto de estas dimensiones ( $\varnothing$  140 milímetros) hasta

una pieza hueca de pocos milímetros genere un tiempo de fabricación más elevado y aumenten los gastos de recursos como el consumo de energía de las máquinas y el desgaste de las herramientas. Pero a comparación con el resto de las fabricaciones es la más viable por el bajo coste relativo, no tiene posprocesado o al menos únicamente habría que realizar un pulido, pero en este caso no es necesario un acabado muy específico para el extensor.

### DETALLE DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

Para fabricar el extensor, primero se debe adquirir un bruto redondo de diámetro 140 y 240 milímetros de largo.

El primer paso para la fabricación de esta pieza es vaciar el bruto a través de taladros realizados en el torno. Para este proceso el torno puede ser tanto manual como de Control Numérico Computarizado (CNC) excepto los redondeos. Se sujeta con el mandril del torno la pieza y en el contrapunto se instalan las brocas de diámetro 10, 20, 30, 40, 50, 63 y 80 respectivamente para cada pasada hasta una profundidad de 233 milímetros, para dejar margen y poder hacer un acabado estándar más adelante.

El siguiente paso desbastar el resto del interior del cilindro con la herramienta correspondiente hasta alcanzar un diámetro interior de 122.2 milímetros. Espesor al que se sustituirá la herramienta para acabar la pieza respetando la geometría.

A continuación, en la parte exterior se realiza el mismo proceso para acabar el exterior del cilindro con el espesor correspondiente.

Para los taladros, hace falta una broca de diámetro 12 para los cuatro agujeros donde pasarán los tornillos y otro taladro de diámetro 3.24 milímetros para el agujero del pasador.



Por último, con la fresadora CNC se termina la pieza eliminando el material de los dos laterales para generar los orificios para el espejo y también se aplanan la cara de la base hasta el espesor de 3 milímetros.

No es necesario hacerle un pulido a la pieza debido a que únicamente va a tener sujeciones con las piezas que interactúa a través de turcas y tornillos y no se debe deslizar por ninguna superficie ni estar en contacto con ningún rodamiento u otro elemento que deba llevar un ajuste específico.

De esta manera, el **proceso de fabricación a través de mecanizado** queda definido como más ideal para el extensor de pistón.

## PRESUPUESTO

El presupuesto son los costes económicos que tienen todos los procesos y recursos para fabricar el extensor de pistón. Para abarcar el presupuesto primero se define el gasto unitario tanto de la parte de diseño; que incluye los programas utilizados; la compra del material, el costo de la mano de obra y el costo de la maquinaria. También se indica el precio total del material.

El peso para obtener el precio final del material en bruto se ha calculado a partir de la densidad y de las dimensiones del redondo.

Después, se realiza el desglose de los tiempos de trabajo tanto de diseñador, como de operario y de programas utilizados. Se debe tener en cuenta que existen gastos directos y suponer unos gastos indirectos equivalentes al 3,5% del total.

Por último, se suman los costes totales, beneficio industrial, gastos generales y una vez calculados se le incluye el 21% de iva para obtener el precio del coste final.

### PRECIO DE PROGRAMAS PARA EL DISEÑO

Programa	Precio licencia anual	Horas laborales año	Precio por hora
SolidWorks	4,999.00 €	1826	2.74 €
Office	126.00 €	1826	0.07 €

### PRECIOS UNITARIOS

Factor	Precios unitarios
Aleación de aluminio	3.14 €/Kg
Diseñador	11.60 €/h
Licencia SolidWorks	2.74 €/h
Licencia Office	0.07 €/h
Operario	8.00 €/h
Torno	25.00 €/h
Fresadora	25.00 €/h
Taladro	25.00 €/h

### MATERIAL EN BRUTO

Material	Dimensiones bruto (mm)	Cantidad (Kg)	Precio
Acero 1.4006	Ø140 x 240	10.07	31.62 €

### TIEMPOS DE TRABAJO

	Tiempo de trabajo (h)	Precio
Diseñador	300	3,480.00 €
Licencia SolidWorks	200	547.54 €
Licencia Office	250	17.25 €
Torno	4	150.00 €
Fresadora	1.5	37.50 €
Taladro	0.5	12.50 €
Operario	8	64.00 €
	Coste total directo	4,259.29 €
	Coste total indirecto	149.08 €
	Coste total	4,408.36 €

### PRESUPUESTO POR CONTRATA

Coste total	4,439.98 €
Beneficio industrial (6%)	266.40 €
Gastos generales (15%)	666.00 €
Total	5,372.38 €
IVA (21%)	1,128.20 €
Coste total final	6,500.58 €

El coste final del extensor de pistón para el motor óptico es de **6,500.58** euros.

## CONCLUSIÓN

Una vez terminado el proyecto, se puede observar que los objetivos planteados al principio se han completado con éxito. Como conclusiones, se puede ver que:

Se han definido las condiciones de operación a través de la descripción de estas y se ha desarrollado una gráfica que representa los esfuerzos a los que se ha sometido la fuerza para más adelante introducirlos en la simulación CAD.

Se ha realizado un estudio de las alternativas de diseño en relación con el material seleccionado e introducido en el análisis de esfuerzos a través de la herramienta de diseño CAD y simulación por elementos finitos.

La selección del proceso de fabricación se ha desarrollado realizando un breve desarrollo de las posibles maneras de elaboración y una comparación para la posterior selección del proceso de fabricación más adecuado.

Por último y en lo que al presupuesto se refiere, se ha elaborado un estudio económico que engloba todos los aspectos necesarios para una posible fabricación de la pieza diseñada.

## BIBLIOGRAFÍA

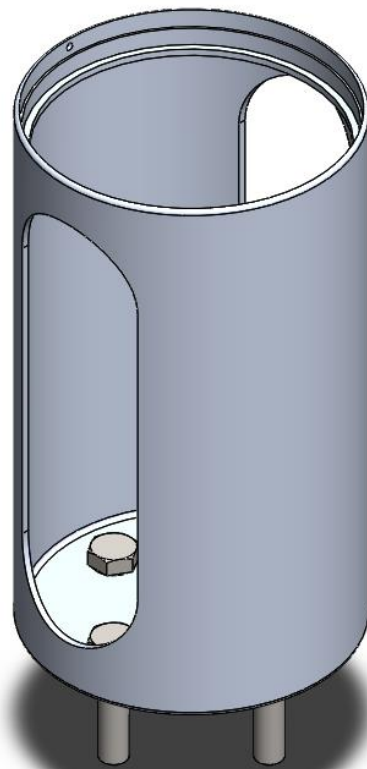
- [1] **Miteco.gob.es**. Sector transporte. 2022. Recuperado de:  
<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/transporte.aspx>
- [2] Clasén, Kristoffer and Anders Dahl. (2016). **“Development of Next Generation Optical Engines.”**
- [3] Online Materials Information Resource - **MatWeb**, 2022 Recuperado de: [matweb.com](http://matweb.com)
- [4] Novejarque Cervera, M. (2019). **Diseño de instalación experimental para el estudio de los procesos de combustión en Motores de Combustión Interna Alternativos para aplicaciones pesadas mediante el uso de técnicas de visualización y medida**. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10251/130346>
- [5] Miles, PC. **“The History and Evolution of Optically Accessible Research Engines and Their Impact on Our Understanding of Engine Combustion.”** Keynote Papers. Columbus, Indiana, USA. October 19–22, 2014. V002T08A003. ASME. Recuperado de: <https://doi.org/10.1115/ICEF2014-5701>
- [6] **Aula virtual**. Birt LH. Recuperado de: <https://ikastaroak.birt.eus>
- [7] Domingo Padrol, Mariano. (Ed. Segunda). (1992). **DIBUJO INDUSTRIAL. A. CHEVALIER**
- [8] Vedula, R. T., Stuecken, T., Schock, H., Squibb, C., & Hardman, K. (2017). **Optical Engine Operation to Attain Piston Temperatures Representative of Metal Engine Conditions**. SAE International Journal of Engines, 10(3), 767–777. Recuperado de: <https://www.jstor.org/stable/26285085>
- [9] Barona López , G., & Velasteguí López, E. (2020). **Materiales de aleación aluminio-silicio aplicados en la fabricación de partes de motores de combustión interna alternativos** Parte II. ConcienciaDigital, 3(2), 6-16. Recuperado de: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i2.1203>
- [9] **Apuntes de Materiales I y II**
- [10] **Apuntes de Materiales, Diseño y Reestyling**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

**Diseño de un extensor de pistón para motor óptico de encendido por  
compresión para aplicaciones pesadas.**

DOCUMENTO 3 - PLANOS



Grado: **Grado en Ingeniería Mecánica**

Tutor: **Micó Reche, Carlos**

Autor: **Sellés Simón Daniel**

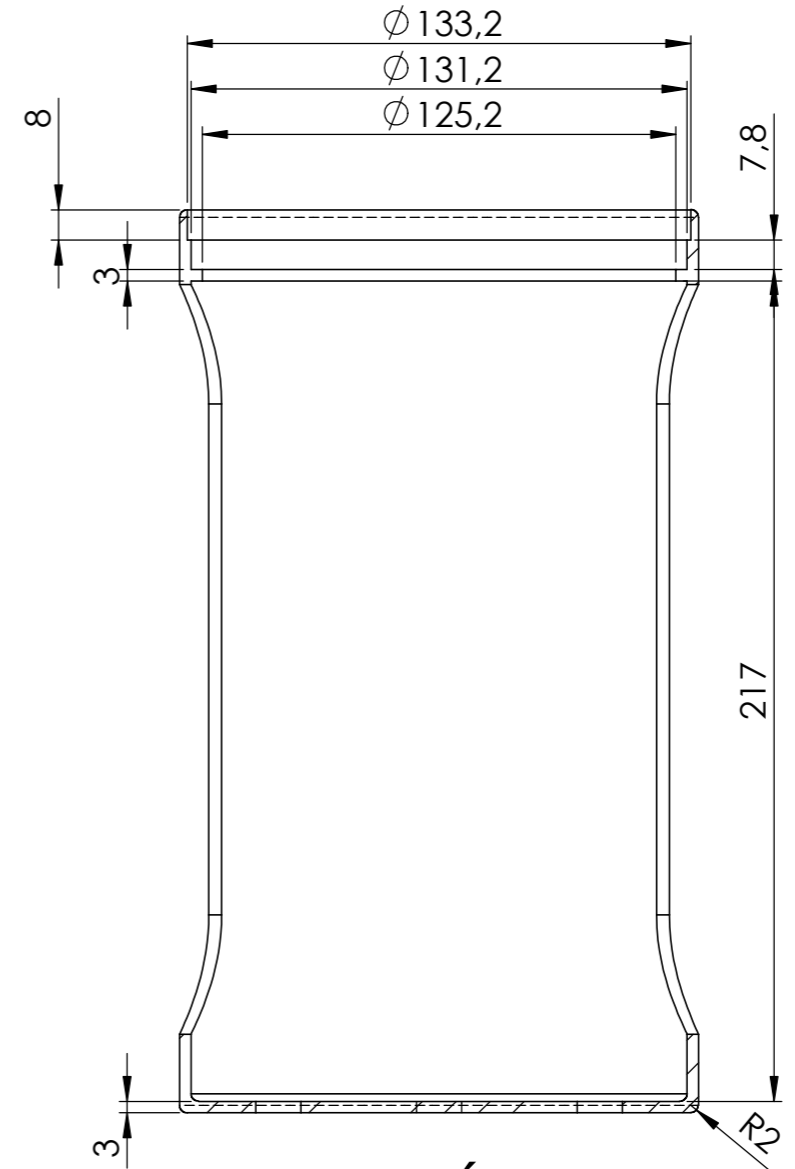
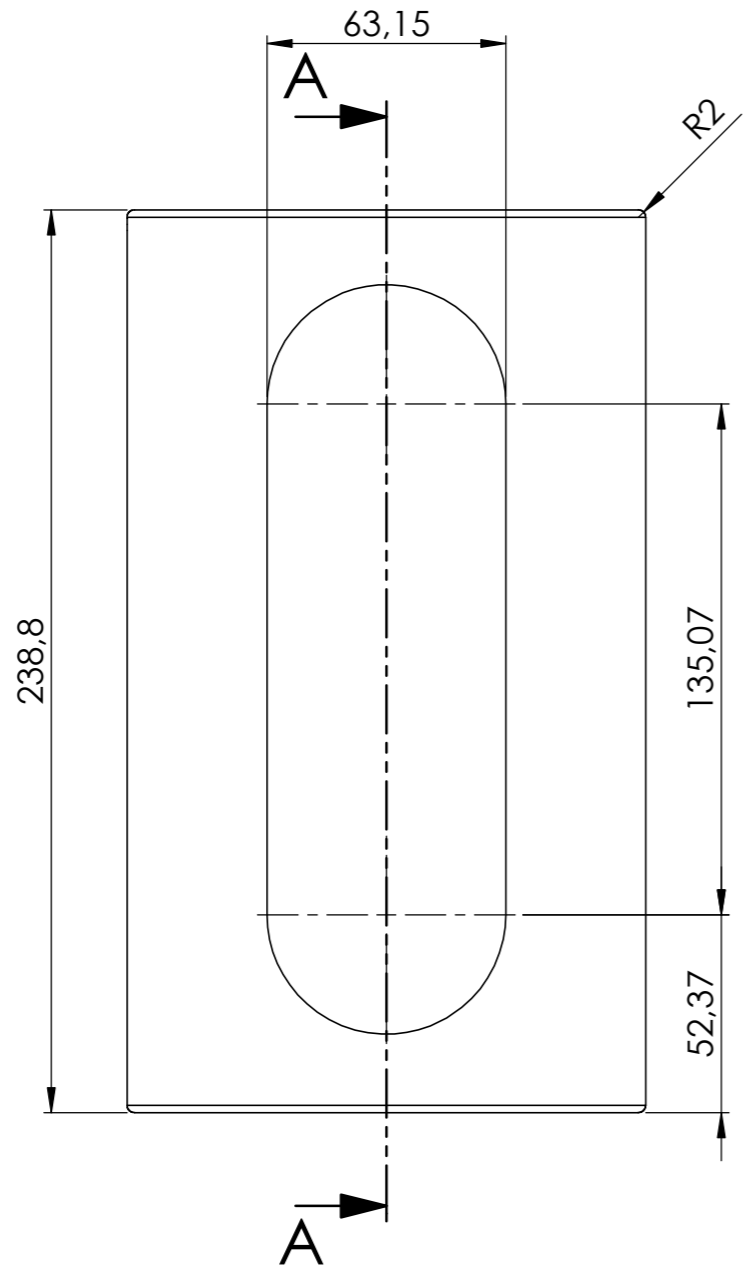
Curso: **2021-2022**



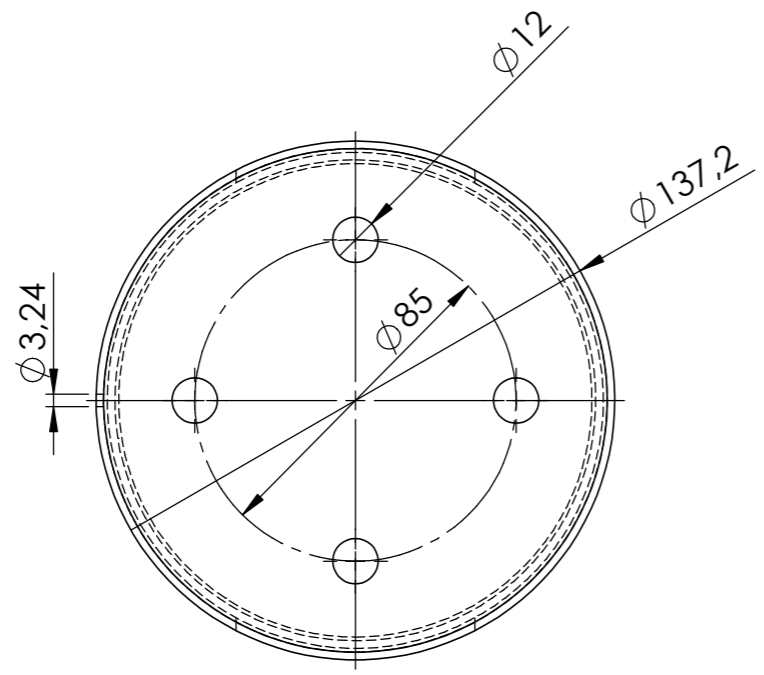
## ÍNDICE


PLANO 1 - EXTENSOR DE PISTÓN

PLANO 2 - VASO PARA EXTENSOR DE PISTÓN

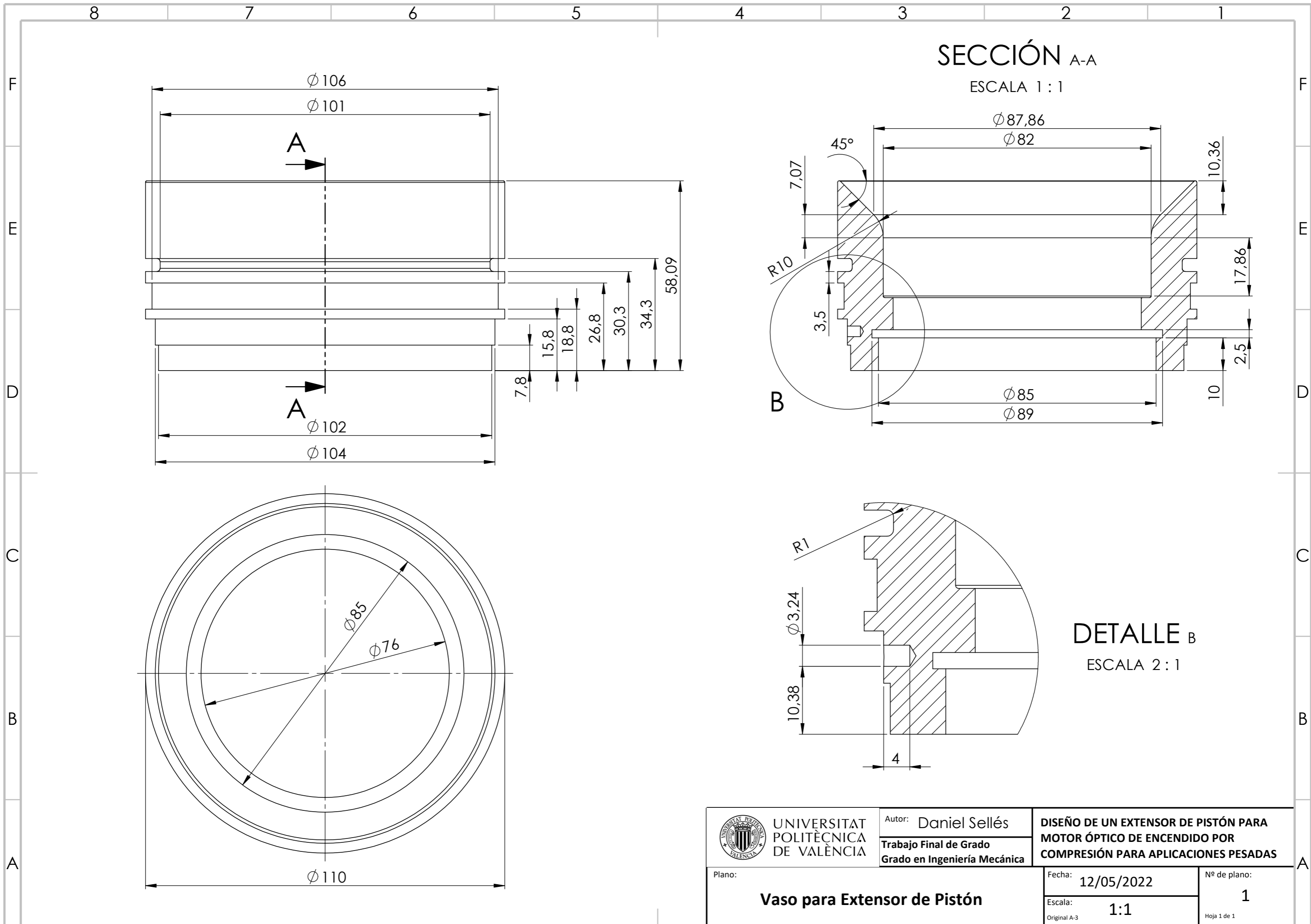



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 2



 UNIVERSITAT POLITÀCNICA DE VALÈNCIA	Autor: Daniel Sellés	<b>DISEÑO DE UN EXTENSOR DE PISTÓN PARA MOTOR ÓPTICO DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN PARA APLICACIONES PESADAS</b>	
	Trabajo Final de Grado Grado en Ingeniería Mecánica		
Plano: <b>EXTENSOR DE PISTÓN</b>		Escala: 1:2 Original A-3	Hoja 1 de 1





 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	Autor: Daniel Sellés	<b>DISEÑO DE UN EXTENSOR DE PISTÓN PARA MOTOR ÓPTICO DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN PARA APLICACIONES PESADAS</b>
	Trabajo Final de Grado Grado en Ingeniería Mecánica	
Plano:	Fecha: 12/05/2022	Nº de plano: 1
<b>Vaso para Extensor de Pistón</b>	Escala: 1:1	Hoja 1 de 1
	Original A-3	