

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Organización Industrial

Modelado y animación en 3D de un motor de vapor
oscilante de un cilindro con Solid Edge

Autor: Alfonso Emilio Martínez Del Río

Tutor: Rafael Ortiz Marín

Dpto. Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Organización Industrial

Modelado y animación en 3D de un motor de vapor oscilante de un cilindro con Solid Edge

Autor:

Alfonso Emilio Martínez Del Río

Tutor:

Rafael Ortiz Marín

Dpto. de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2021

Modelado y animación en 3D de un motor de vapor oscilante de un cilindro con Solid Edge

Autor: Alfonso Emilio Martínez Del Río

Tutor: Rafael Ortiz Marín

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2021

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis amigos

Este trabajo se centra en el modelado y recreación virtual con Solid Edge de un motor de vapor oscilante de un cilindro.

Se realiza un breve recorrido por la historia del motor, se contextualiza el de vapor y se explica detalladamente sus características para luego hablar de la herramienta Solid Edge y seguidamente pasar a describir el modelado de sus componentes, el ensamblaje final y la animación del mecanismo de funcionamiento del motor.

Abstract

This work focuses on Solid Edge modelling and virtual recreation of a single-cylinder oscillating steam engine. A brief journey through the history of the engine is made, the engine is contextualized and its characteristics are explained in detail. Then, the Solid Edge tool is described along with the modeling of its components, the final assembly and the animation of the drive mechanism engine operation.

Índice

Resumen	ix
Abstract	xi
Índice	i
Índice de Figuras	i
1 Introducción	1
1.1. <i>Objetivos y motivación</i>	1
1.2. <i>Metodología usada</i>	1
1.3. <i>Estructura del trabajo</i>	2
2 Estado del arte	3
2.1 <i>Motor térmico.</i>	3
2.2 <i>Breve contexto histórico.</i>	4
2.3 <i>Máquina de vapor</i>	6
2.4 <i>Contexto histórico</i>	7
3 Funcionamiento	17
3.1 <i>Principios físicos de la máquina de vapor</i>	17
3.2 <i>Vaporización y condensación</i>	17
3.3 <i>Funcionamiento de la máquina de vapor de cilindro oscilante</i>	17
4 Selección del software	20
4.1 <i>Sistemas CAD</i>	20
4.2 <i>Justificación del software elegido</i>	22
5 Modelado	23
5.1 <i>Conjunto Base</i>	23
5.1.1 Base	23
5.1.2 Cojinete de fricción	26
5.2 <i>Subconjunto Base-Bloque soporte-Conducto</i>	27
5.2.1 Bloque Soporte	27
5.2.2 Conducto	29
5.3 <i>Conjunto Cigüeñal</i>	29
5.3.1 Eje	29
5.3.2 Leva	30
5.3.3 Manivela	31
5.3.4 Casquillo	31
5.3.5 Arandela	32
5.3.6 Volante de Inercia	33
5.4 <i>Conjunto Cilindro</i>	35
5.4.1 Cilindro	35
5.4.2 Tapa	37
5.4.3 Eje	38
5.5 <i>Pistón-Biela</i>	39
5.6 <i>Muelle</i>	41

6	Ensamblado	43
6.1	<i>Conjunto Base</i>	43
6.2	<i>Conjunto Cigüeñal</i>	44
6.3	<i>Conjunto Cilindro</i>	45
6.4	<i>Subensamblado 1</i>	46
6.5	<i>Subensamblado 2</i>	47
7	Recreación virtual	49
8	Renderizado con Keyshot	53
8.1	<i>Software Keyshot</i>	53
8.2	<i>Interfaz y funcionamiento</i>	53
8.3	<i>Renderizado del motor</i>	58
9	Conclusiones y Desarrollos Futuros	63
	Referencias	65

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Ilustración 1: Motor alternativo de vapor (izq.) y turbina de vapor (dcha.) [2]</i>	3
<i>Ilustración 2: Motor alternativo (izq.) y turbina de gas (dcha.) [2]</i>	3
<i>Ilustración 3: Motor rotativo (izq.) y motor cohete (dcha.) [2]</i>	4
<i>Ilustración 4: Motor Stirling [4]</i>	4
<i>Ilustración 5: Motor Otto [5]</i>	4
<i>Ilustración 6: Turbina de Gustav De Laval [7]</i>	5
<i>Ilustración 7: Turbina de Parsons [9]</i>	5
<i>Ilustración 8: Turbinia barco propulsado con la Turbina de Parsons [13]</i>	6
<i>Ilustración 9: Máquina de Vapor [16]</i>	6
<i>Ilustración 10: Eolípila de Herón de Alejandría [18]</i>	7
<i>Ilustración 11: Máquina de Giovanni Branca [20]</i>	7
<i>Ilustración 12: Máquina de Savery (1698) [21]</i>	8
<i>Ilustración 13: El motor atmosférico de Newcomen [24]</i>	8
<i>Ilustración 14: La máquina de vapor rotativa de Watt [25]</i>	9
<i>Ilustración 15: Vehículo de carretera impulsado por vapor [28]</i>	9
<i>Ilustración 16: Motor de bombeo de Trevithick (sistema Cornish) [30]</i>	10
<i>Ilustración 17: Vehículo Puffing Devil de Trevithick [31]</i>	10
<i>Ilustración 18: Dibujo de la locomotora Penydarren [32]</i>	11
<i>Ilustración 19: Trevithick Steam Carriage [33]</i>	11
<i>Ilustración 20: Dibujo del barco Charlotte Dundas por Robert Bowie [34]</i>	11
<i>Ilustración 21: Boceto del barco de vapor de Fulton 1802 [35]</i>	12
<i>Ilustración 22: Savannah barco mixto de vapor y velas [37]</i>	12
<i>Ilustración 23: Locomotora patentada por Stephenson [39]</i>	12
<i>Ilustración 24: Plano del interior del Ictíneo II (1858) [40]</i>	13
<i>Ilustración 25: Caldera de vapor de tubo de agua de Babcock y Wilcox [42]</i>	13
<i>Ilustración 26: Maqueta de la caldera de vapor de tubo de agua de Babcock y Wilcox [28]</i>	14
<i>Ilustración 27: La primera turbina de vapor de Parsons [45]</i>	14
<i>Ilustración 28: Sistema de central geotérmica [46]</i>	14
<i>Ilustración 29: Perforaciones de admisión y escape del vapor. Modificado de [48].</i>	18
<i>Ilustración 30: Funcionamiento de la máquina de vapor oscilante. Modificado de [48].</i>	18
<i>Ilustración 31: Logo CATIA [54].</i>	20
<i>Ilustración 32: Logo SolidWorks [55].</i>	21
<i>Ilustración 33: Logo SiemensNX [56].</i>	21
<i>Ilustración 34: Logo SketchUp [57].</i>	21

<i>Ilustración 35: Logo de Solid Edge [58].</i>	21
<i>Ilustración 36: Logo de Creo [59].</i>	22
<i>Ilustración 37: Logo de Inventor [60].</i>	22
<i>Ilustración 38: Conjunto base</i>	23
<i>Ilustración 39: Boceto</i>	23
<i>Ilustración 40: Protusión y vaciado 1</i>	23
<i>Ilustración 41: Vaciado 2</i>	24
<i>Ilustración 42: Vaciado 3</i>	24
<i>Ilustración 43: Agujeros</i>	24
<i>Ilustración 44: Agujero para cojinete.</i>	24
<i>Ilustración 45: Características de los avellanados</i>	25
<i>Ilustración 46: Avellanados</i>	25
<i>Ilustración 47: Agujeros</i>	25
<i>Ilustración 48: Planta de la base terminada</i>	25
<i>Ilustración 49: Base modelada</i>	26
<i>Ilustración 50: Protusión</i>	26
<i>Ilustración 51: Vaciado 1</i>	26
<i>Ilustración 52: Vaciado 2</i>	26
<i>Ilustración 53: Cojinete modelado</i>	27
<i>Ilustración 54: Arbol de modelado</i>	27
<i>Ilustración 55: Boceto</i>	27
<i>Ilustración 56: Protusión</i>	27
<i>Ilustración 57: Agujeros con rosca</i>	28
<i>Ilustración 58: Vaciados 1</i>	28
<i>Ilustración 59: Vaciados 2</i>	28
<i>Ilustración 60: Bloque soporte modelado</i>	28
<i>Ilustración 61: Conducto modelado</i>	29
<i>Ilustración 62: Conjunto cigüeñal</i>	29
<i>Ilustración 63: Protusión</i>	29
<i>Ilustración 64: Vaciado</i>	30
<i>Ilustración 65: Eje modelado</i>	30
<i>Ilustración 66: Protusión</i>	30
<i>Ilustración 67: Vaciado</i>	30
<i>Ilustración 68: Agujero con rosca</i>	31
<i>Ilustración 69: Leva modelada</i>	31
<i>Ilustración 70: Manivela modelada</i>	31
<i>Ilustración 71: Protusión y vaciado del Casquillo</i>	32
<i>Ilustración 72: Casquillo modelado</i>	32
<i>Ilustración 73: Arandela modelada</i>	32

<i>Ilustración 74: Protusión</i>	33
<i>Ilustración 75: Simetría</i>	33
<i>Ilustración 76: Vaciados</i>	33
<i>Ilustración 77: Patrón circular</i>	34
<i>Ilustración 78: Agujero roscado</i>	34
<i>Ilustración 79: Volante de inercia</i>	34
<i>Ilustración 80: Conjunto cilindro</i>	35
<i>Ilustración 81: Cilindro</i>	35
<i>Ilustración 82: Protusión</i>	35
<i>Ilustración 83: Vaciado</i>	36
<i>Ilustración 84: Agujero roscado M8</i>	36
<i>Ilustración 85: Agujeros roscados M4</i>	36
<i>Ilustración 86: Cilindro modelado</i>	37
<i>Ilustración 87: Boceto</i>	37
<i>Ilustración 88: Vaciados</i>	37
<i>Ilustración 89: Protusión</i>	38
<i>Ilustración 90: Rosca</i>	38
<i>Ilustración 91: Rosca</i>	38
<i>Ilustración 92: Protusión</i>	39
<i>Ilustración 93: Chaflan y protusión</i>	39
<i>Ilustración 94: Protusiones</i>	39
<i>Ilustración 95: Chaflan</i>	40
<i>Ilustración 96: Vaciado</i>	40
<i>Ilustración 97: Modelado Pistón biela</i>	40
<i>Ilustración 98: Boceto</i>	41
<i>Ilustración 99: Modelo del Muelle</i>	41
<i>Ilustración 100: Base y Cojinete</i>	43
<i>Ilustración 101: Base con un Cojinete montado</i>	43
<i>Ilustración 102: Piezas que conforman el conjunto Cigüeñal</i>	44
<i>Ilustración 103: Modelo del conjunto Cigüeñal</i>	44
<i>Ilustración 104: Piezas que conforman el conjunto Cilindro</i>	45
<i>Ilustración 105: Union Tapa y Cilindro</i>	45
<i>Ilustración 106: Conjunto Cilindro</i>	45
<i>Ilustración 107: Base, Bloque soporte y Conductos</i>	46
<i>Ilustración 108: Base y Bloque soporte</i>	46
<i>Ilustración 109: Subensamblado 1</i>	46
<i>Ilustración 110: Componentes del Subensamblado 2</i>	47
<i>Ilustración 111: Perspectiva y planta del ensamblado del motor</i>	47
<i>Ilustración 112: Motor de vapor de un cilindro oscilante</i>	49

<i>Ilustración 113: Vista con motor.</i>	49
<i>Ilustración 114: Código QR.</i>	50
<i>Ilustración 115: Explosionado axial en la dirección del eje X.</i>	50
<i>Ilustración 116: Explosionado 2.</i>	51
<i>Ilustración 117: Explosionado 3.</i>	51
<i>Ilustración 118: Logo de Keyshot [61]</i>	53
<i>Ilustración 119: Pantalla de inicio</i>	53
<i>Ilustración 120: Modelo importado</i>	54
<i>Ilustración 121: Materiales.</i>	54
<i>Ilustración 122: Ambiente seleccionado</i>	55
<i>Ilustración 123: Blackplate incorporado al entorno anterior</i>	55
<i>Ilustración 124: Cambiar los parámetros colores (dcha.) y texturas (izq.)</i>	56
<i>Ilustración 125: Herramienta Scene.</i>	56
<i>Ilustración 126: Barras de herramientas Material (izda.) y Luz (dcha.).</i>	57
<i>Ilustración 127: Barra de herramientas Camara (izda. y centro) e Imagen (dcha.).</i>	57
<i>Ilustración 128: Modelo Importado</i>	58
<i>Ilustración 129: Vista superior motor de vapor</i>	58
<i>Ilustración 130: Vista inferior motor de vapor</i>	59
<i>Ilustración 131: Vista principal motor de vapor</i>	59
<i>Ilustración 132: Vista posterior motor de vapor</i>	59
<i>Ilustración 133: Vista lateral izquierda motor de vapor</i>	60
<i>Ilustración 134: Vista lateral derecha motor de vapor</i>	60
<i>Ilustración 135: Perspectiva 1</i>	60
<i>Ilustración 136: Perspectiva 2</i>	61
<i>Ilustración 137: Ejemplo de análisis de esfuerzos con elementos finitos [63].</i>	63

1 INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivos y motivación

El objetivo de este proyecto es modelar, ensamblar y animar un motor de vapor de un cilindro oscilante, partiendo de los planos, para la construcción de modelos a escala, dibujados por De Waal.

Son varios los motivos por los que se ha elegido esta propuesta:

- En todos los proyectos de ingeniería y arquitectura, el uso de programas Computer-Aided Design/Manufacturing (CAD/CAM) son una parte fundamental. Permiten detectar incompatibilidades y errores en los planos, animación o ensamblaje del modelo sin incurrir en ningún tipo de coste de producción.
- Al modelar, una por una todas las piezas que conforman el motor, se logra llegar a un nivel mucho más elevado de conocimiento mecánico sobre dicho mecanismo.
- La máquina de vapor, constituye uno de los ingenios más notables en la historia del conocimiento científico, y uno de los más trascendentales en la transformación económica, social y tecnológica de la sociedad desde mediados del siglo XVIII.
- Estudio y análisis de los motores de vapor, sus orígenes, evolución y aplicaciones.
- Conocer más en profundidad el manejo del programa CAD Solid Edge tras cursar la asignatura de Diseño Asistido por Ordenador.

1.2. Metodología usada

La herramienta CAD empleada es el software Solid Edge, que engloba el total de los aspectos de un proceso de desarrollo: dibujo 2D y diseño 3D, simulación, fabricación y gestión de datos entre otros. Aunque no tiene un módulo específico para CAM. [1]

Inicialmente, se presenta el motor de vapor a modelar, sus orígenes, historia, funcionamiento y aplicaciones.

A continuación, se modelan las piezas del motor en el entorno de trabajo *Pieza*, con las medidas obtenidas a partir de los planos. Una vez obtenidas las piezas, se definen sus posiciones y orientaciones relativas para luego proceder al ensamblaje de los distintos subconjuntos que componen el motor. Posteriormente, se realiza el ensamblaje de todos ellos entre sí.

Previo al ensamblaje y para asegurar un correcto montaje después, se efectúan dos análisis con *Solid edge* en los subconjuntos: el análisis de interferencias para detectar posibles errores de diseño y el análisis de restricciones para verificar que todas las piezas puedan estar correctamente ensambladas. Tras el ensamblaje completo el motor se renderiza.

Para ofrecer una visión realista del funcionamiento del motor, se realiza un vídeo en el que se muestra la simulación del mecanismo. Para ello se ha hecho uso de la opción *Motores* incluida en el entorno de trabajo *Conjunto*.

1.3. Estructura del trabajo

Este documento se ha dividido en varios capítulos:

En el Capítulo 1, *Introducción*, se muestra una visión general del trabajo y se detallan los objetivos.

En el Capítulo 2, *Estado del Arte*, se sintetiza la evolución de los motores térmicos hasta la actualidad, contextualizando el de vapor.

En el Capítulo 3, *Selección del software*, se presenta la herramienta CAD escogida Solid Edge y se compara con otros programas de modelado que se comercializan.

En el Capítulo 4, *Funcionamiento*, se define la actividad del motor en general y la función que tiene cada pieza dentro del conjunto.

En el Capítulo 5, *Modelado*, se explica el modelado de cada una de las piezas del motor apoyándose en las imágenes del proceso seguido.

En el Capítulo 6, *Ensamblado*, se describe el procedimiento de montaje, los diferentes subconjuntos que componen el motor y los vínculos que se establecen entre las piezas.

En el Capítulo 7, *Recreación virtual*, se proporciona una descripción exhaustiva de la animación que se adjuntará junto a este documento, e incluye una simulación del movimiento del motor y un explosionado para apreciar el despiece.

En el Capítulo 8, *Renderizado*, se presenta el programa KeyShot con el que se ha renderizado y el resultado obtenido.

En el Capítulo 9, se exponen los *resultados obtenidos*, las *conclusiones* y *posibles futuros desarrollos* de este trabajo.

Por último, se especifican *las referencias* que han sido citadas en el texto

.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Motor térmico.

La máquina de vapor fue una invención tecnológica que propicio un salto cualitativo en la sociedad de la época e impulso este tipo de energía, al sentar las bases sobre las que nacerían nuevos avances tecnológicos. En el siglo XIX los motores de combustión revolucionaron el transporte terrestre, marítimo y aéreo.

Un motor es toda máquina capaz de transformar cualquier tipo de energía en energía mecánica. El tipo de energía que transforman puede ser: química, mecánica, eléctrica y térmica.

El motor térmico quema combustible para aprovechar la energía liberada en forma de calor y transformarla en energía mecánica o movimiento. El movimiento producido puede ser alternativo o rotativo.

Si la combustión tiene lugar fuera del motor, las máquinas reciben el nombre de motores de combustión externa y si la combustión tiene lugar dentro de la máquina, motores de combustión interna. [2]

Motores de combustión externa.

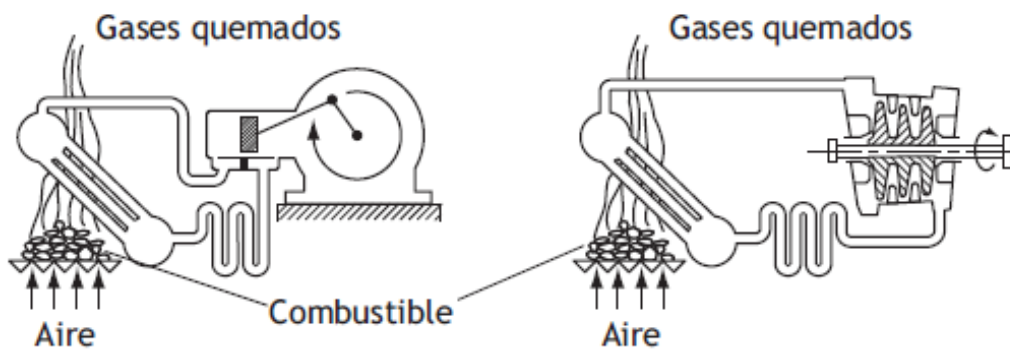


Ilustración 1: Motor alternativo de vapor (izq.) y turbina de vapor (dcha.) [2]

Motores de combustión interna.

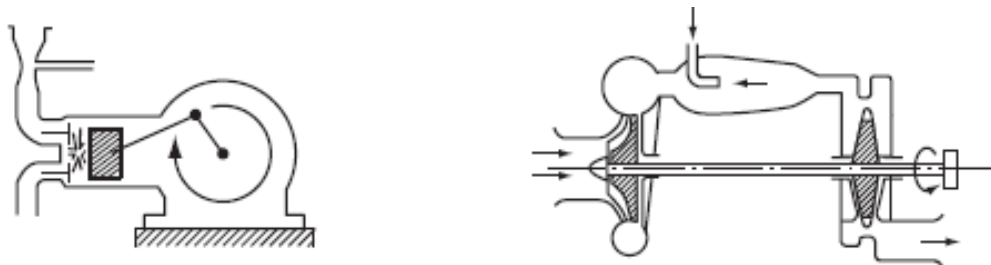


Ilustración 2: Motor alternativo (izq.) y turbina de gas (dcha.) [2]



Ilustración 3: Motor rotativo (izq.) y motor cohete (dcha.) [2]

2.2 Breve contexto histórico.

En 1816 Robert Stirling inventa el motor de aire caliente o Motor Stirling. Al igual que la máquina de vapor este motor es accionado por calor.

Posee un ciclo cerrado de expansión y contracción cíclica. Para que el gas realice la expansión y contracción se necesita una fuente de calor y otra de frío. Su alto precio y gran peso impidieron su éxito. [3]

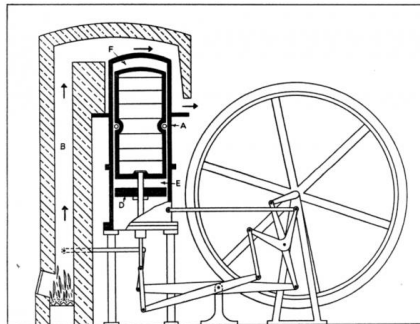


Ilustración 4: Motor Stirling [4]

En 1876 Nikolaus Otto desarrolla el motor de combustión interna. Este motor no necesita una fuente de calor externa, sino que la energía se obtiene de la explosión de una mezcla previamente comprimida de combustible y aire. Este tipo de motores, junto con los motores diésel, son los más utilizados en la actualidad. [5]

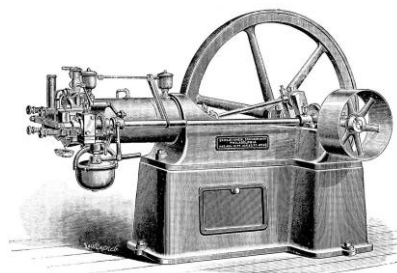


Ilustración 5: Motor Otto [5]

En 1878, Carl Gustav De Laval desarrollaría la turbina de vapor de acción. El funcionamiento de una turbina se basa en proyectar un gas sobre los álabes de un rotor, obteniendo de esta forma un movimiento circular. [6]

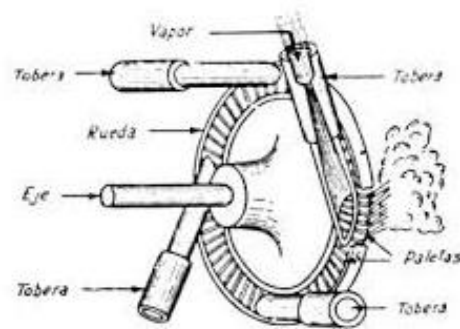


FIG. 11-L. — Turbina de acción simple. (De Laval).

Ilustración 6: Turbina de Gustav De Laval [7]

En 1884 Charles Algernon Parsons patentó la turbina de vapor de reacción. La diferencia entre ambas turbinas reside en que la de reacción obtiene la energía de la caída tanto de la presión como de la energía cinética, mientras que en las de acción la energía se obtiene solo de la caída de energía cinética. [8]

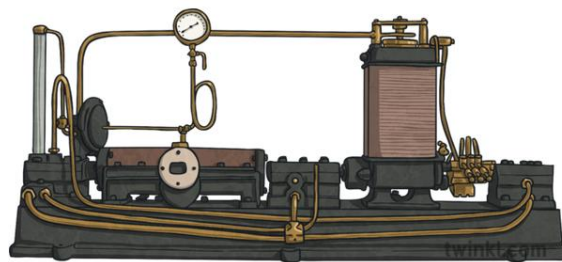


Ilustración 7: Turbina de Parsons [9]

En 1893 Rudolf Diesel desarrolló el motor que lleva su nombre. La principal diferencia con el motor de gasolina es la ausencia de chispa, ya que los motores diésel utilizan la auto-ignición. [10]

A finales de siglo XIX, los avances se centraron, en mejorar la potencia y reducir el tamaño de las máquinas térmicas. En los inicios del XX los sistemas de combustión interna y las turbinas de vapor eran la alternativa, prueba de ello es que la fuente principal de generación de electricidad, hasta mediados de siglo, fueron las turbomáquinas de vapor.

A día de hoy la máquina de vapor es un motor muy poco usado, pero en cambio el motor Stirling atrae el interés de los fabricantes por sus bajas emisiones contaminantes.

En el sector aeronáutico las turbinas son ampliamente utilizadas. Sus últimos desarrollos se centran en como utilizar de manera más eficiente su energía.

En la industria automovilística, se emplean principalmente los motores de gasolina (Otto) y diésel, aunque en la actualidad los avances de este sector se orientan más a los motores eléctricos.

En la navegación marítima, la aparición de la máquina de vapor supuso un avance significativo. Sin embargo, la eficiencia poco elevada de este tipo de motores marinos, llevó a sustituirlos por las turbinas de vapor. El primer barco que la utilizó fue el Turbinia, del ingeniero Charles Algernon Parsons en 1894. Posteriormente, los motores diésel con menor consumo de combustible y una mayor eficiencia térmica las desbancaron, salvo los submarinos nucleares que usan turbinas de vapor a alta presión como plantas motrices o plantas generadoras. [11], [12].

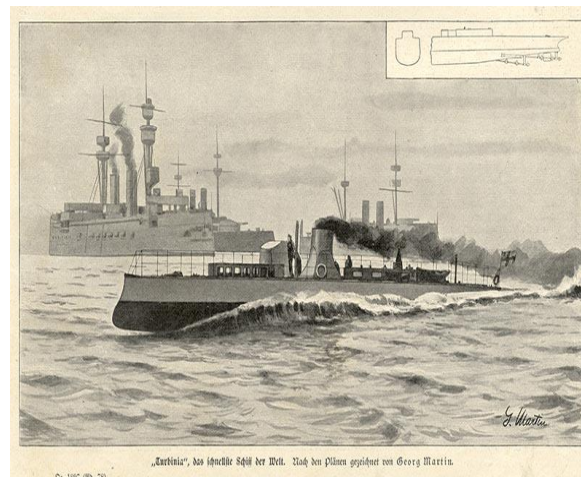


Ilustración 8: Turbinia barco propulsado con la Turbina de Parsons [13]

En el transporte ferroviario las locomotoras de vapor fueron fundamentales desde principios del siglo XIX hasta que a mediados del XX fueron reemplazadas por las locomotoras diésel y eléctricas más baratas y potentes. [14]

2.3 Máquina de vapor

La máquina de vapor es un dispositivo para convertir la energía térmica del calor que produce un combustible en trabajo mecánico utilizando como elemento transmisor el vapor de agua.

Su principio fundamental es la conversión del calor en trabajo. Este trabajo depende, como en todas las máquinas térmicas, del salto de temperatura, es decir, de la diferencia de temperatura del vapor antes de expandirse y de la que tiene al evacuar al exterior.

Para su funcionamiento se genera vapor de agua en un depósito cerrado por calentamiento desde la caldera, este vapor entra en el cilindro empujando un pistón. Mediante un mecanismo de biela-manivela, el movimiento lineal alternativo del pistón del cilindro se transforma en un movimiento de rotación que acciona, por ejemplo, las ruedas de una locomotora o el rotor de un generador eléctrico. Una vez alcanzado el final de carrera el émbolo retorna a su posición inicial y expulsa el vapor de agua utilizando la energía cinética de un volante de inercia. Este vapor de agua expulsado, se dirige al condensador, que lo enfría y lo devuelve al depósito en forma de agua, comenzando así de nuevo el ciclo. [15]

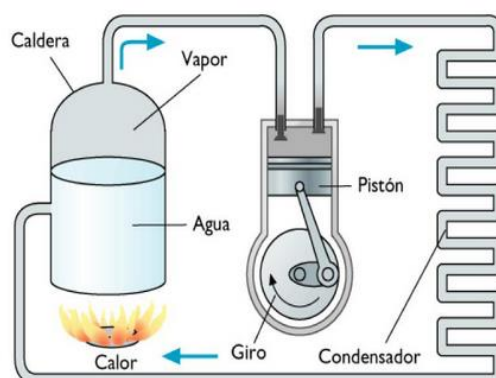


Ilustración 9: Máquina de Vapor [16]

2.4 Contexto histórico

Se pasa a describir cronológicamente la evolución de esta invención y como sus aplicaciones influyeron a lo largo de la historia en la sociedad y en la técnica.

La eolípila, inventada por Herón de Alejandría alrededor del año 100, es considerada la primera máquina de vapor. Se basaba en el mismo principio que hace que giren los aspersores de jardín, excepto en que la fuerza motriz era el vapor en vez de la presión del agua. Esta máquina estaba compuesta por una cámara (generalmente esférica) unida a dos tubos situados en direcciones opuestas por donde era expulsado el vapor, haciendo girar al mecanismo. La eolípila de Herón era un juguete, hecho para entretener más que para hacer un trabajo útil. Este dispositivo asombraba a los fieles congregados en un templo al hacer que una puerta se abriera cuando se encendía un fuego en el altar. [17]



Ilustración 10: Eolípila de Herón de Alejandría [18]

No hubo gran evolución en este ámbito hasta el siglo XVII, cuando en 1629 Giovanni Branca diseñó una máquina capaz de realizar un movimiento en base al impulso que producía sobre unos mecanismos el vapor que salía por un caño. Se desconoce si la máquina se construyó, pero es una de las máquinas precursoras de lo que a día de hoy se conocen como turbinas de acción. [19]

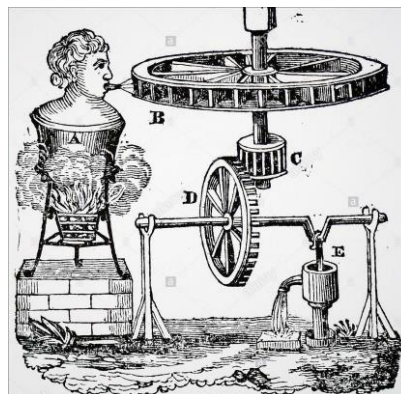


Ilustración 11: Máquina de Giovanni Branca [20]

A finales del siglo XVIII se empezaron a diseñar máquinas de vapor con gran éxito comercial. Thomas Savery, ingeniero militar inglés, inventó la primera máquina de este tipo en 1698, a la que llamó *la amiga del minero*, ya que resolvía el principal problema de la minería de la época, extraer agua de minas y pozos. [21]

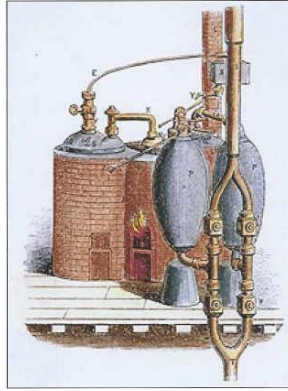


Ilustración 12: Máquina de Savery (1698) [21]

La máquina estaba formada básicamente por un recipiente de forma oval lleno de agua, bastante similar a una olla, al que se le insuflaba vapor de agua calentado en una caldera por un tubo situado en su parte inferior provisto de una válvula. El vapor de agua hacía subir el agua, que era expulsada a través de un segundo tubo situado en su parte superior, el cual estaba dotado asimismo de una válvula de cierre. Una vez que el recipiente estaba lleno de vapor y con las dos válvulas convenientemente cerradas, se enfriaba bañando de agua fría su parte exterior así el vapor se condensaba de nuevo en agua y se creaba un vacío parcial en el recipiente que hacía subir el agua, empujada por la presión atmosférica, por un tercer tubo hundido en la fuente de agua situada en un nivel inferior que había que extraer o subir. [22]

Hay un límite teórico de unos 32 pies para la distancia que el agua puede ser levantada por un vacío y un límite práctico de unos veinte pies debido a la imperfección del vacío y las conexiones. Esto no era suficiente para las profundas minas de cobre, estaño y carbón de Inglaterra. Además, el tiempo requerido para que la caldera se enfriara repercutía en la velocidad de bombeo limitándola. [23]

La máquina de vapor de Savery no pudo ser mejorada para resolver el problema del bombeo de agua. Se requería un nuevo diseño y un nuevo principio de funcionamiento. Thomas Newcomen lo proporcionó.

El motor Newcomen, se compone de un un pistón en un cilindro conectado a un balancín que esta unido a una bomba. Con ayuda de una caldera el cilindro se llena de vapor y empuja el pistón. Luego se rocía agua dentro del cilindro creando un vacío. Esto empuja el pistón hacia abajo tirando de la varilla de la bomba y en el otro lado del balancín hacia arriba, levantando así el agua. La apertura y cierre de las válvulas para la inyección alterna de vapor y agua se accionaba automáticamente para que el motor y la bomba pudieran funcionar continuamente. [23]

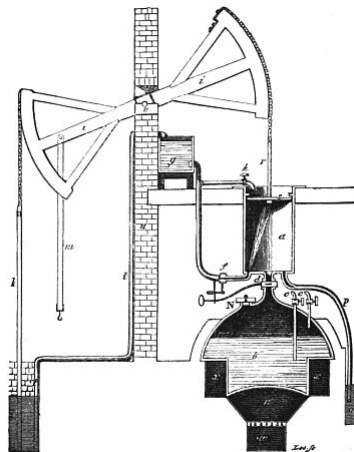


Ilustración 13: El motor atmosférico de Newcomen [24]

Mientras reparaba un modelo de máquina de vapor Newcomen en 1764, James Watt quedó impresionado por el desperdicio de vapor. En mayo de 1765, después de luchar con el problema de mejorarlo, de repente encontró una solución: el condensador separado, su primer y más grande invento. Watt se había dado cuenta de que la pérdida de calor latente (el calor que implica el cambio de estado de una sustancia, por ejemplo, sólida o líquida) era el peor defecto del motor Newcomen y que, por lo tanto, la condensación debía efectuarse en una cámara distinta del cilindro, pero conectada a él. [25]

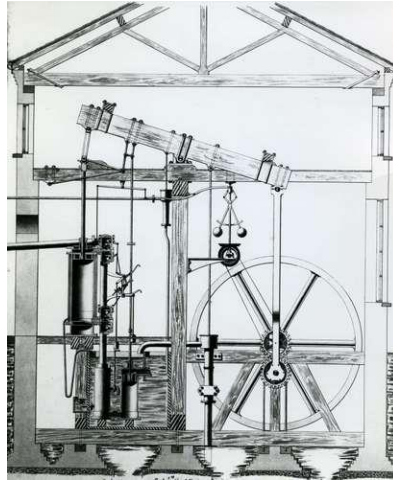


Ilustración 14: La máquina de vapor rotativa de Watt [25]

Watt también agregó muchos otros refinamientos, tales como válvulas de control automático que se abrían y cerraban mediante la acción alternativa del propio pistón, así como un regulador centrífugo que controlaba la cantidad de vapor que llegaba a la máquina, lo que permitía mantener una velocidad constante. Esta idea de usar parte de la salida del proceso para regular el proceso en sí, se llama retroalimentación. Es una parte esencial del diseño de muchos sistemas mecánicos y electrónicos modernos. Este invento fue, junto con otros acontecimientos, el precursor de la Revolución Industrial. [26]

Cugnot fue uno de los primeros en emplear con éxito un mecanismo de vapor para convertir el movimiento rectilíneo de un pistón en movimiento rotatorio mediante un dispositivo de trinquete. Una pequeña versión de su Fardier, vehículo a vapor de tres ruedas, funcionó en 1769.

Sin embargo, el vehículo era muy inestable debido a la mala distribución del peso. El rendimiento de la caldera también era particularmente deficiente, incluso para los estándares de la época, ya que era necesario volver a encender el fuego y elevar el vapor cada cuarto de hora aproximadamente, lo que reducía considerablemente la velocidad general. Después de realizar un pequeño número de pruebas, el proyecto fue abandonado y el experimento del ejército francés con vehículos mecánicos llegó a su fin. [27]

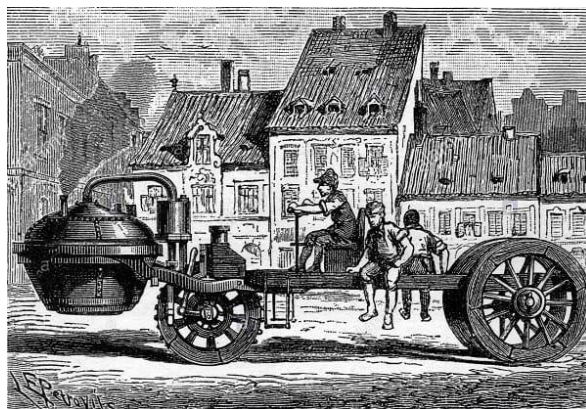


Ilustración 15: Vehículo de carretera impulsado por vapor [28]

Trevithick se centró en mejorar la eficiencia de la máquina de vapor de baja presión extremadamente grande de James Watt. Pensó que la utilización de vapor a altas presiones permitiría que los motores fueran mucho más compactos y eficientes. En 1797, desarrolló un exitoso motor de alta presión que pronto tuvo una gran demanda para extraer el mineral y los desechos de las minas. Sus motores compactos podían transportarse en un vagón agrícola a las minas. [29]

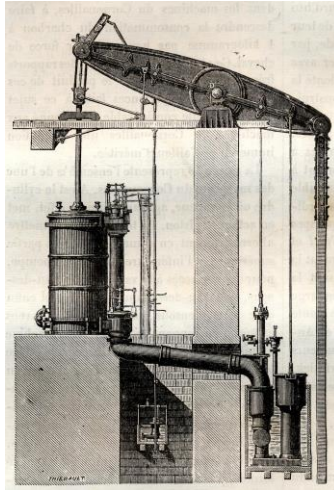


Ilustración 16: Motor de bombeo de Trevithick (sistema Cornish) [30]

En 1801, Trevithick presentó su primer vehículo conocido como Puffing Devil. Junto con el de Nicolas-Joseph Cugnot, fue de los primeros vehículos en moverse por sí solo y de transportar pasajeros a la velocidad de 8 km/h. [29]

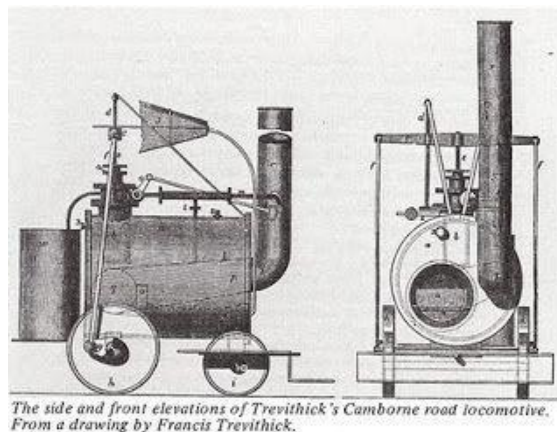


Ilustración 17: Vehículo Puffing Devil de Trevithick [31]

En 1803, Trevithick produjo la primera máquina de vapor del mundo que funcionó sobre railes. La locomotora alcanzó velocidades de casi cinco millas por hora durante el viaje de nueve millas. La locomotora Pen-y-darren se diseñó para que el vapor de escape subiera por la chimenea, lo que producía una corriente de aire que extraía los gases calientes del fuego con más fuerza a través de la caldera, un principio de ingeniería novedoso y vital para el éxito del motor de alta presión. Pero la locomotora resultó ser demasiado pesada, lo que provocaba la rotura de los railes y no tuvo éxito. [29]

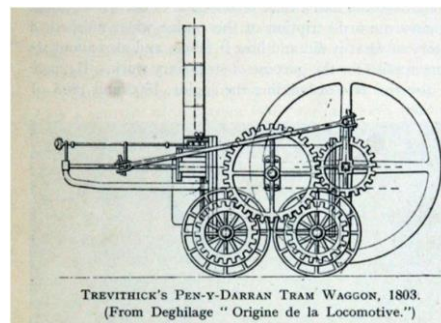


Ilustración 18: Dibujo de la locomotora Penyardren [32]

También en 1803 construyó el *London Steam Carriage*, una diligencia de correos con un motor a vapor. Este carruaje fue conducido por las calles de Londres transportando pasajeros. Sin embargo, resultaba caro de mantener en comparación con el carruaje tirado por caballos, por lo que no tuvo éxito. [29]

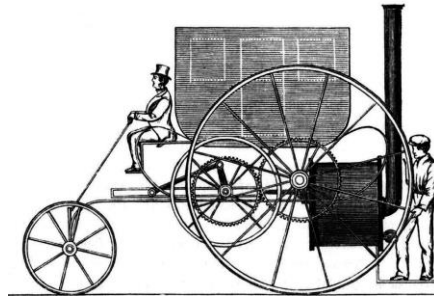


Ilustración 19: Trevithick Steam Carriage [33]

En el mismo año 1802, el ingeniero escocés William Symington construyó el "primer barco de vapor práctico" del mundo, el *Charlotte Dundas*, con el motor de vapor horizontal que patentó en 1801. [34]

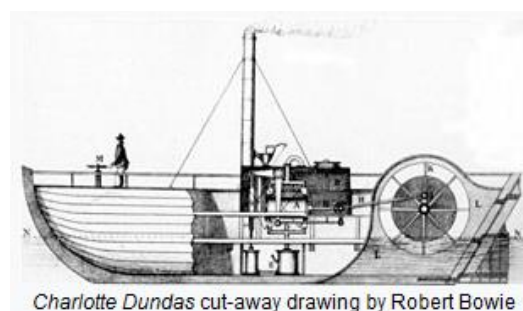


Ilustración 20: Dibujo del barco Charlotte Dundas por Robert Bowie [34]

Robert Fulton fue un ingeniero estadounidense que realizaba que en 1807 construyó el *North River Steamboat*, más tarde conocido como *Clermont*. Sin ser el inventor de la navegación a vapor, Fulton le dio el impulso definitivo al lograr hacerla funcional y económicamente viable. [35], [36]

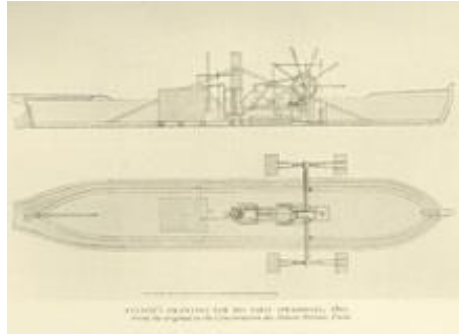


Ilustración 21: Boceto del barco de vapor de Fulton 1802 [35]

En 1819 el motovelero *Savannah*, un buque mixto a vela y vapor, realizó la travesía del Atlántico. Con el auxilio de la rueda de paletas, pudo completar el viaje en sólo 27 días, en vez de los 35 o 40 días que invertían los veleros en aquellos tiempos. [37]

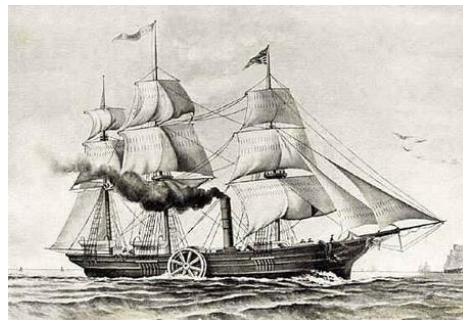


Ilustración 22: Savannah barco mixto de vapor y velas [37]

Dado que Savannah cruzó el Atlántico principalmente a vela, algunas fuentes afirman que el primer barco de vapor transatlántico fue el SS Royal William, que lo cruzó en 1833. Utilizaba velas únicamente durante el mantenimiento de las calderas. Otros reclamantes son los barcos de vapor británicos, el SS Great Western de Brunel y el SS Sirius de Menzies, que se dirigieron a Nueva York en 1838, utilizando únicamente energía de vapor. [28]

En 1824, el físico francés Nicolas Léonard Sadi Carnot publica sus trabajos sobre el segundo principio de la termodinámica lo que supone el despegue definitivo de la propulsión a vapor. [38]

Cinco años más tarde, en 1829, George Stephenson y su hijo, Robert, construyeron la famosa locomotora Rocket, que utilizaba una caldera multitubo, práctica que continuó en posteriores generaciones de máquinas de vapor. Comentar que Stephenson ya había utilizado para transportar carbón en la mina Killingworth su "motor de viaje" en 1814. [39]

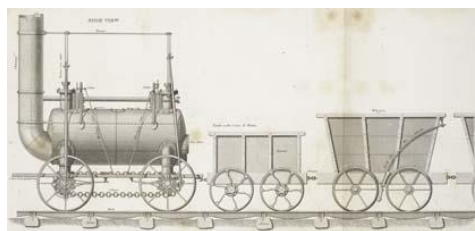


Ilustración 23: Locomotora patentada por Stephenson [39]

El Ictíneo I fue un sumergible o submarino construido por el inventor español Narciso Monturiol en 1859 que logró navegar completamente sumergido durante 2 horas y 20 minutos a una profundidad de 20 m. Posteriormente construyó el Ictíneo II en 1864. Fue el primer submarino propulsado por vapor y su botadura se produjo en el Puerto de Barcelona. [40]

En la superficie usaba un motor a vapor, pero bajo el agua dicho motor habría consumido rápidamente el oxígeno del submarino, por lo que Monturiol recurrió a la química para inventar un motor que consumía una mezcla de clorato potásico, zinc y peróxido de manganeso. Con este método la reacción que movía la hélice liberaba oxígeno, que tras ser tratado se usaba en el casco para la tripulación y también alimentaba un motor de vapor auxiliar que ayudaba a propulsar la nave bajo el agua. [41]

Ningún otro sumergible utilizó un sistema de propulsión anaeróbica hasta 1940, cuando la armada alemana probó un sistema utilizando los mismos principios a partir del peróxido de hidrógeno como combustible en las turbinas Walter; éstas sirvieron de motor en el submarino experimental V-80. [40]

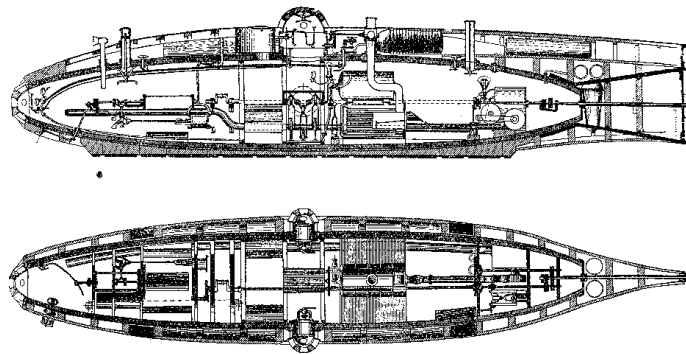


Ilustración 24: Plano del interior del Ictíneo II (1858) [40]

Stephen Wilcox y George Babcock diseñaron y fabricaron en 1867 la primera caldera de vapor de tubo de agua que aumentaba las superficies de calentamiento para una mayor eficiencia. [42]

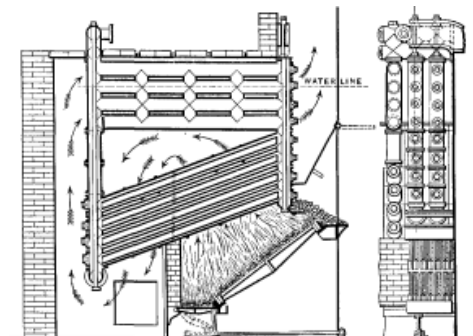


Ilustración 25: Caldera de vapor de tubo de agua de Babcock y Wilcox [42]

La idea principal de su diseño era la seguridad, por la que se sacrificaban todas las demás características siempre que entraban en conflicto. La caldera consistía en un nido de tubos horizontales, que actuaba como depósito de vapor y agua, situado arriba y conectado en cada extremo por juntas atornilladas a un segundo nido de tubos calefactores inclinados llenos de agua. Los tubos se colocaron uno encima del otro en filas verticales, formando cada fila y su extremo de conexión una sola pieza fundida. Se realizaron orificios para las manos en cada extremo para su limpieza. Los tubos internos se ubicaron dentro de los tubos inclinados con el fin de ayudar a la circulación. Esta invención estableció el estándar para generar energía por vapor de manera segura. [43]

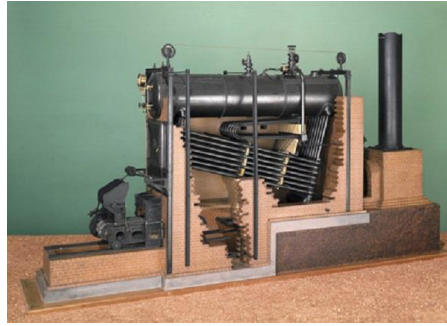


Ilustración 26: Maqueta de la caldera de vapor de tubo de agua de Babcock y Wilcox [28]

La siguiente evolución de los motores de vapor lleva a 1884 cuando Charles Algernon ingeniero británico, crea la turbina de vapor de reacción como ha sido expuesto anteriormente en el epígrafe 2.2 de este capítulo. La turbina funcionó por etapas. En cada etapa, la expansión del vapor se limitó a la menor permitida, extrayendo la mayor cantidad de energía cinética posible sin dejar que las palas de la turbina giraran demasiado rápido y dañaran el equipo. Este invento fue un gran avance en la ingeniería eléctrica ya que permitió producir electricidad a un coste menor. [44]

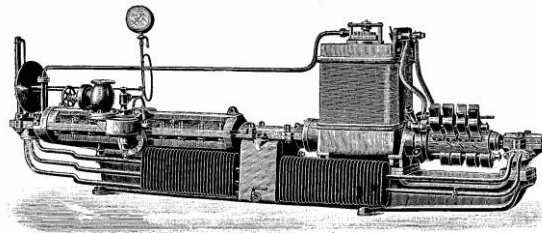


Ilustración 27: La primera turbina de vapor de Parsons [45]

A principios del siglo XX llegan las centrales geotérmicas. Similares a las centrales termoelectricas de turbina de vapor, en el caso de la geotérmica el calor del interior de la Tierra, se utiliza para calentar agua u otro fluido de trabajo. Dicho fluido hace girar la turbina de un generador, produciendo electricidad. Posteriormente, el fluido se enfría y es devuelto a la fuente de calor. La primera estación de energía de este tipo se construyó en Larderello (Italia). [46]

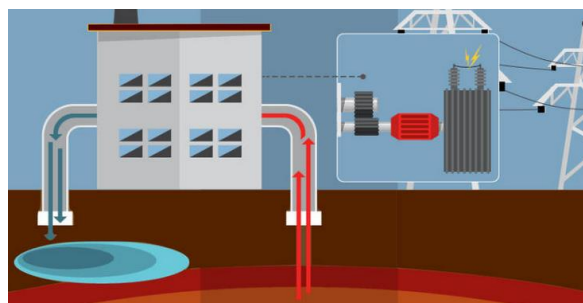


Ilustración 28: Sistema de central geotérmica [46]

A mediados del siglo XX surgen las centrales nucleares empleadas para la generación de energía eléctrica a partir de energía nuclear. Esta se convierte en energía térmica, a su vez esta energía se convierte en energía interna al convertir el agua en vapor. Tanto la energía interna como la calorífica del agua pasan a ser energía cinética cuando es accionada por la turbina. Por último, el generador convierte esta energía cinética en eléctrica. [47]. La primera central nuclear se construyó en 1954 en la antigua URSS

En el siglo XXI, y a pesar de los desastres nucleares acaecidos como el de 1986 en Chernóbil (Ucrania) y el más reciente en 2011 de la central de Fukushima en Japón, se siguen utilizando y construyendo más.

Se puede concluir subrayando que muchos son los diseñadores que a lo largo de la historia han contribuido a mejorar la máquina de vapor estimulando el desarrollo de mecanismos que podían hacer muchos otros trabajos. El vapor movía las máquinas en las fábricas, las locomotoras en los ferrocarriles, los barcos, los primeros coches, Dio un estímulo enorme al crecimiento de la industria en Europa y América. Revolucionó la producción en masa de bienes de consumo, construcción y transporte. Ayudó así a transformar la estructura económica y social de la civilización industrial. [26]

3 FUNCIONAMIENTO

3.1 Principios físicos de la máquina de vapor

Las máquinas de vapor pertenecen a la familia de los motores térmicos de combustión externa. El vapor de agua es el transmisor de la energía calorífica producida. La transformación en energía mecánica se produce en dos fases:

1. - En la caldera la energía calorífica calienta el agua hasta convertirla en vapor, el cual se expande y genera presión.
2. - La presión del vapor se utiliza para hacer funcionar las partes mecánicas de la máquina. [15]

3.2 Vaporización y condensación

La transformación de un cuerpo de estado líquido a estado gaseoso se llama vaporización y la temperatura a la que se produce esta transformación se denomina temperatura de ebullición.

Esta transformación necesita una cantidad de energía específica que se denomina calor de vaporización.

Para calentar en un grado de temperatura (Celsius) un gramo de agua se necesita 4,2 joules, mientras que para convertir un gramo de agua en vapor se necesitan 2.257 joules.

La necesidad de tanta energía adicional se debe al gran volumen que toma el vapor en comparación con el agua, de 1.673 veces a presión normal.

Si el vapor de agua no dispone de volumen suficiente (la caldera tiene un volumen limitado), aumenta la presión a medida que el vapor se va expandiendo. Esta presión se puede usar para mover un pistón hacia atrás y hacia delante.

A medida que la presión aumenta, también cambia el punto de ebullición, así a presión de 2 bars, el punto de ebullición del agua se sitúa aproximadamente en 120°C en lugar de los 100°C en condiciones de presión atmosférica normal.

El proceso inverso se realiza cuando el vapor de agua se enfría, produciéndose la condensación. Aquí se libera la misma cantidad de energía que la necesaria para obtener el vapor. Se puede ver la condensación como gotitas de agua cuando el vapor toca una superficie fría. [48]

3.3 Funcionamiento de la máquina de vapor de cilindro oscilante

La máquina de vapor de cilindro oscilante, fue ideada en 1784 por el escocés William Murdoch. Tenía la ventaja de su sencillez y, por tanto, bajo coste de fabricación. Además, al ser más compacta, era usada en barcos y pequeños motores estacionarios. Actualmente se utiliza en motores de juguetes y en modelos a escala. [49]

La máquina de vapor oscilante pertenece al tipo de motores de presión máxima para los que la admisión y el escape de vapor son determinantes en los cambios de posición del cilindro. La movilidad del cilindro se obtiene fijándolo sobre un eje alrededor del cual puede oscilar. El cilindro está apretado contra la superficie del mecanismo con un muelle y fijado por dicho eje. Las dos superficies de rozamiento deben estar lo más lisas posible. [48]

La posición, de las puertas de entrada y salida del vapor quedan señaladas por el movimiento del cilindro, como se puede observar en la ilustración 29.

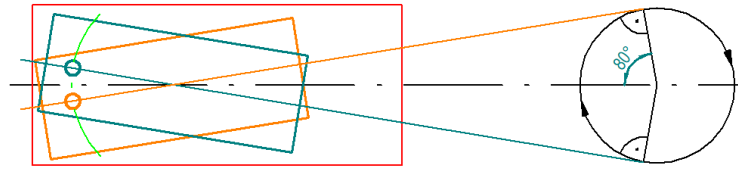


Ilustración 29: Perforaciones de admisión y escape del vapor. Modificado de [48].

En el cilindro hay una perforación y en la superficie del mecanismo sobre la que oscila hay dos perforaciones, una para la admisión del vapor procedente de la caldera (puerta de entrada) y otro para el escape del mismo (puerta de salida). Cuando el cilindro oscila, pone su perforación de forma sucesiva frente al de admisión y después frente al de escape.

Cuando la perforación del cilindro está frente al de admisión, el vapor a presión entra en el cilindro y empuja el pistón, y este movimiento de traslación del pistón se transmite a través de la biela al volante y se transforma en movimiento de rotación.

La inercia del volante la retoma el pistón, que bascula al mismo tiempo, colocándose entonces la perforación del cilindro enfrente de la perforación de escape y el vapor que contiene se libera. A continuación, y debido a la inercia de las piezas, se vuelve a colocar enfrente de la perforación de admisión y el ciclo se reinicia de nuevo. [50]

El vapor debe empujar el pistón mientras el eje excéntrico del volante está en la parte superior de su trayectoria (PMA). De esta forma se obtiene la fuerza de rotación más fuerte. Inversamente, cuando el eje está en lo más bajo de su trayectoria (PMP), la inercia del volante la retoma el pistón y el vapor debe poder salir. [48]

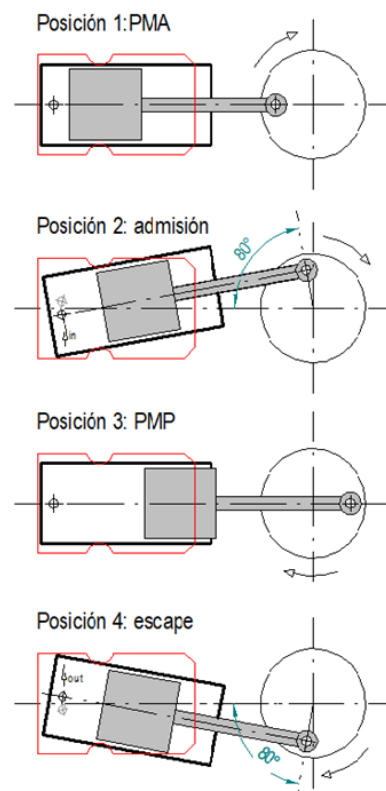


Ilustración 30: Funcionamiento de la máquina de vapor oscilante. Modificado de [48].

POSICIÓN 1: PMA

El pistón está situado a unos milímetros del final del cilindro y ambos conductos de entrada y salida del vapor están cerrados. La manivela en el pie de la biela está en el punto muerto anterior (PMA).

POSICIÓN 2: admisión

La manivela en la biela está a 80° del PMA. La perforación del cilindro está alineada con el conducto de entrada del vapor (in). El vapor entra en el cilindro y empuja el pistón hacia delante.

POSICIÓN 3: PMP

La manivela en la biela está en el punto muerto posterior (PMP), fin de recorrido. La perforación del cilindro está alineada entre los conductos de entrada y salida del vapor, es decir, admisión y escape cerrados. Sin embargo, el volante continuará moviéndose por la inercia.

POSICIÓN 4: escape

La manivela en la biela está ahora a unos 80° por debajo del punto muerto anterior (PMA). La perforación del cilindro está alineada con el conducto de salida (out) y el vapor es evacuado hacia el exterior.

4 SELECCIÓN DEL SOFTWARE

4.1 Sistemas CAD

El diseño y fabricación de cualquier producto conllevaba la ejecución de una serie de procesos. Desde que se concibe el modelo hasta su desarrollo final se necesitan los planos del producto diseñado, para poder construir un prototipo con el que realizar ensayos y así descubrir errores en el diseño.

La aparición de los sistemas CAD (*Computer Aided Design*) agilizan estos procesos al generar modelos 3D y planos 2D que permiten el ensayo y análisis virtual del producto de manera rápida, económica y competitiva.

Los sistemas CAD se han convertido actualmente en herramientas imprescindibles en la ingeniería al igual que el CAM y el CAE.

Los sistemas CAM (*Computer Aided Manufacturing*) permiten conectar los equipos informáticos a máquinas-herramientas de control numérico (CNC) para llevar a cabo la fabricación automática y programada de piezas. Con el CAM se consigue la producción de objetos con geometrías complicadas más precisos y con un menor esfuerzo y considerable ahorro en tiempo y coste. [51]

En los últimos años, y con la disminución del coste de las impresoras 3D, ha proliferado la denominada fabricación aditiva que también hace uso de sistemas CAM para producir piezas a un bajo coste.

Los sistemas CAE (*Computer Aided Engineering*) sirven de apoyo para simular y estudiar el comportamiento real que tendrá el objeto antes de ser fabricado, para detectar y corregir posibles errores en el diseño. Los análisis más importantes que pueden realizar estos sistemas son de cinemática, dinámica y de elementos finitos. [52]

Actualmente todos los principales programas de diseño tridimensional que existen en el mercado se componen de un paquete integrado que incluye las tres tecnologías CAD/CAM/CAE y alguna más en lo que se conoce como sistema CIM (*Computer Integrated Manufacturing*). Así pues, usando un solo software se pueden realizar ciertos procesos del ciclo del producto con el fin de obtener un resultado exacto, económico y competitivo.

A continuación, se presenta una breve descripción de los programas CAD más conocidos y usados según 3DCadPortal [53]:

Catia

Creado por la empresa francesa Dassault Systemes, fue originalmente desarrollado para su uso en la industria aeronáutica. De hecho, pertenece a la empresa *Dassault Aviation* que se dedica a la fabricación de aeronaves civiles y militares. La principal peculiaridad de Catia es su arquitectura abierta que permite a los desarrolladores de aplicaciones personalizar el programa. Actualmente también es usado en la industria automovilística y en menor medida en la industria de la construcción.



Ilustración 31: Logo CATIA [54].

SolidWorks

Software creado por la empresa que lleva su mismo nombre y que a partir de 1997 se convierte en filial de *Dassault Systemes*. Se caracteriza por su sistema CAE que además de estudiar el comportamiento de los diseños utiliza métodos para ayudar al usuario a mejorarlos ahorrando en material, reduciendo peso, optimizando la fabricación, etc. Su uso se orienta al diseño de maquinaria industrial o productos articulados.



Ilustración 32: Logo SolidWorks [55].

Siemens NX

Desarrollado y comercializado por Siemens aunque como en la mayoría de los casos fue creado por otras empresas que al fusionarse dieron como resultado este programa. Se trata de un paquete integrado de CAD/CAM/CAE cuyo principal uso está ampliamente extendido en la industria de la automoción y en el diseño de maquinaria industrial para cadenas de montaje.



Ilustración 33: Logo SiemensNX [56].

Sketchup

Aunque creado por *Last-Software* fue adquirido por *Google* en 2006 y vendido a *Trimble* en 2012. Es el más económico de todos e incluso tiene una versión gratuita. Entre sus usos se encuentra el modelado de imágenes 3D de cualquier objeto. Destaca por su facilidad de uso, sus tutoriales y sus numerosas aplicaciones de libre desarrollo que pueden ser descargadas de internet e instaladas en el software.



Ilustración 34: Logo SketchUp [57].

Solid Edge

Solid Edge fue desarrollado originalmente por *Integrapp* en 1996 hasta su adquisición por *Siemens*, engloba un grupo de aplicaciones CAD/CAE. Su mayor ventaja radica en que utiliza tecnología síncrona para agilizar las fases del diseño, lo cual permite realizar cambios rápidos y mejorar la reutilización.



Ilustración 35: Logo de Solid Edge [58].

PTC Creo

Nuevo software de diseño de la familia de Pro/Engineer, propiedad de PTC Corporation. Similar a Catia, pero mas enfocado a la industria mecanica.



Ilustración 36: Logo de Creo [59].

Autodesk Inventor

Constituye una familia completa de software para diseño mecánico 3D, simulación de productos, mecanizado y comunicación de diseños.



Ilustración 37: Logo de Inventor [60].

4.2 Justificación del software elegido

Existen diversos motivos por los cuales se ha decidido utilizar el software de Solid Edge para llevar a cabo el modelado en 3D del motor de vapor.

El primero de ellos ha sido que, en 4º curso del Grado en Organización Industrial, se imparte una asignatura llamada Diseño Asistido por Ordenador en la que se dan las nociones básicas de manejo de este programa. Fui alumno y de ahí surge un gran interés en lograr una mayor destreza en el uso de dicho software.

A pesar de no ser el más potente, sí se encuentra entre uno de los mejores programas y más avanzados en este campo. Además, este tipo de programas tienen una forma de utilización muy similar y, si se conoce el funcionamiento de uno, adaptándose ligeramente, se pueden manejar los demás.

Por último, Solid Edge permite crear rápidamente piezas, ensamblajes, planos y animaciones con una formación mínima e incluso incluye renderización de realismo fotográfico evitando así la necesidad de utilizar un programa diferente para cada uno de los cometidos.

5 MODELADO

En este capítulo se presentan, las operaciones necesarias para el modelado en 3D, de cada una de las piezas del motor atendiendo a sus conjuntos y subconjuntos. Se han dejado sin modelar las piezas estándares que se obtienen de catálogos UNE/ISO/DIN.

5.1 Conjunto Base

Se compone de la base y los dos cojinetes de fricción.

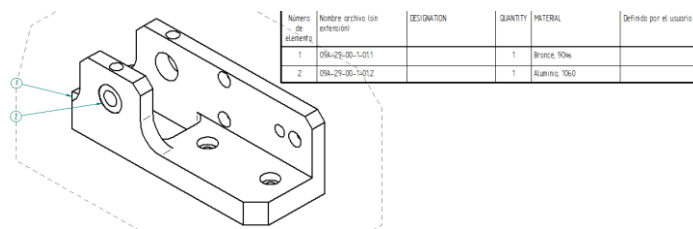


Ilustración 38: Conjunto base

5.1.1 Base

Para modelar la base se parte del siguiente boceto.

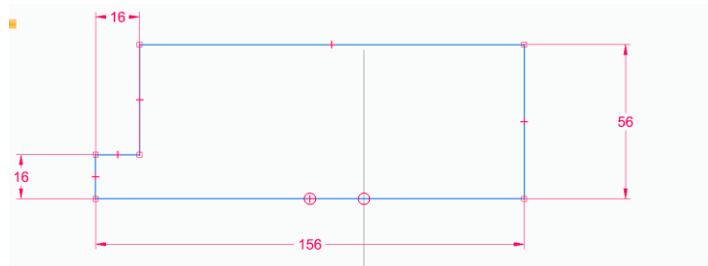


Ilustración 39: Boceto

Posteriormente, se realiza una protusión y 3 vaciados. En el primero de ellos se efectúa un simple boceto rectangular dejando a cada lado 10 mm del borde. Con esto se consigue vaciar todo el interior de la pieza.

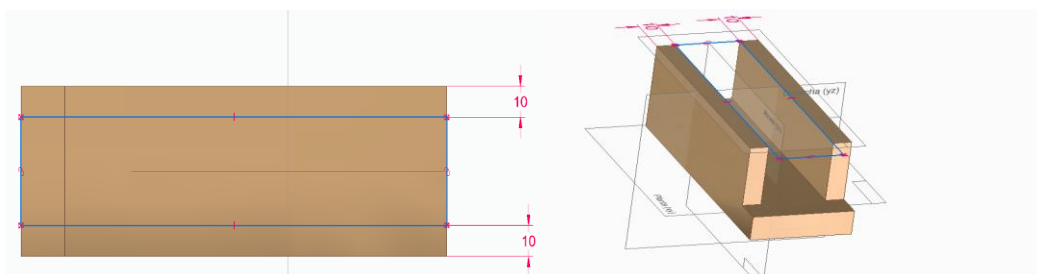


Ilustración 40: Protusión y vaciado 1

Después se practica un vaciado de 10 mm de profundidad.

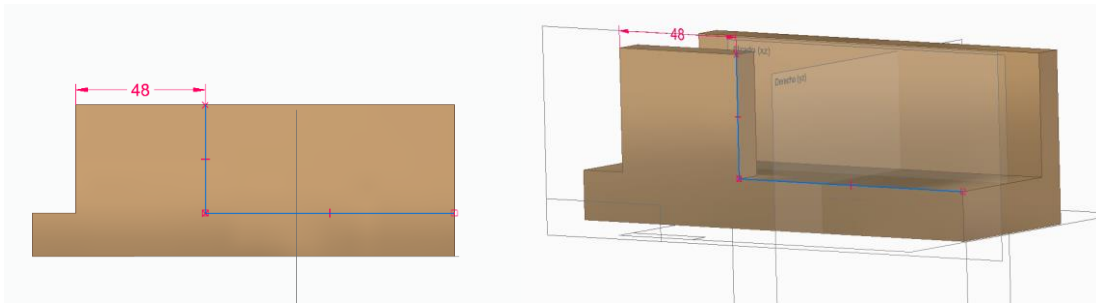


Ilustración 41: Vaciado 2

Y a partir de un rectángulo de nuevo, se consigue el vaciado requerido de la parte inferior.

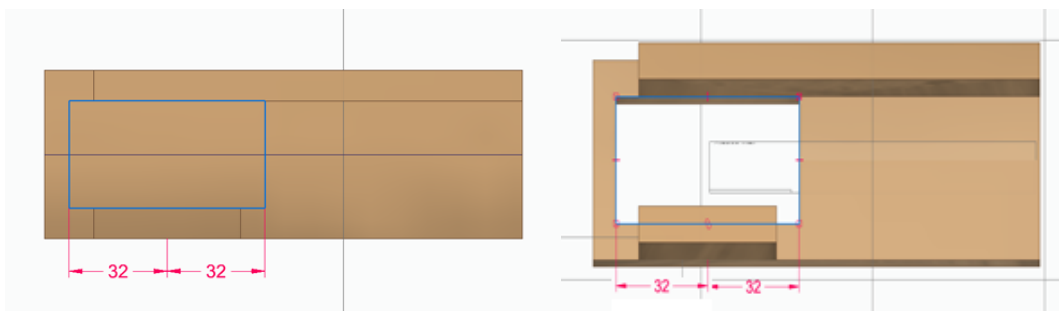


Ilustración 42: Vaciado 3

Luego se realizan un par de agujeros pasantes con una distancia entre centros de 50 mm.

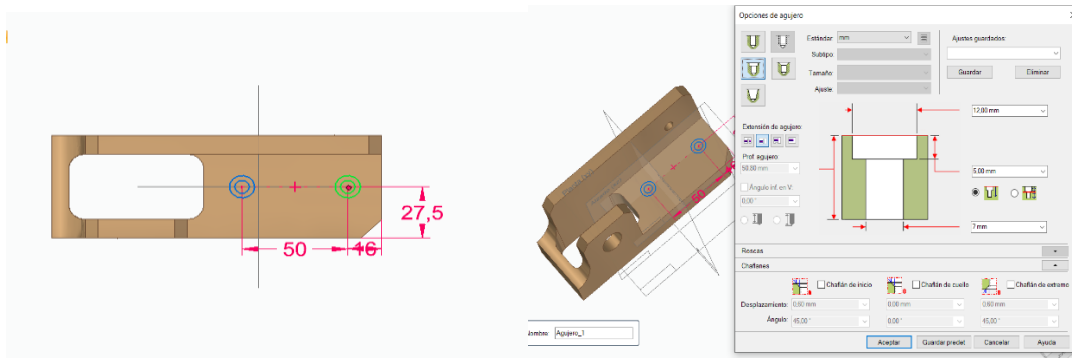


Ilustración 43: Agujeros

Acto seguido, se practica un agujero de 18 mm de diámetro en uno de laterales de la pieza. Es donde se colocará el cojinete de fricción.

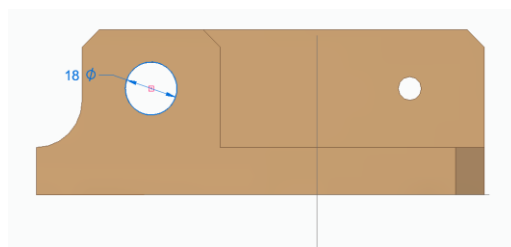


Ilustración 44: Agujero para cojinete.

Se continua con el agujero avellanado de 12 mm de diámetro.

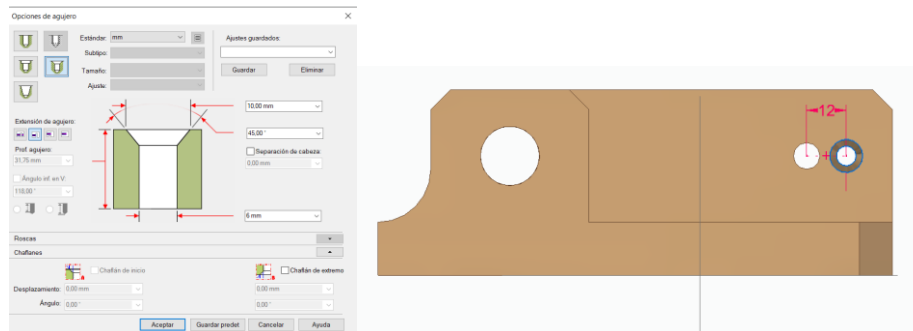


Ilustración 45: Características de los avellanados

Se lleva a cabo la misma operación, aunque en esta ocasión son dos agujeros de 10 mm de diámetro.

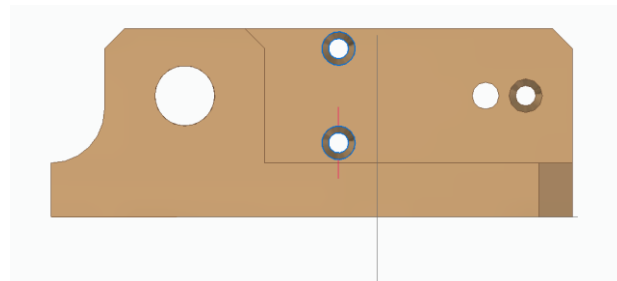


Ilustración 46: Avellanados

Finalmente, se ejecutan los dos últimos agujeros. El primero de ellos mediante el siguiente boceto y el segundo por simetría, quedando así las operaciones de la pieza terminadas a falta de redondeos y chaflanes.

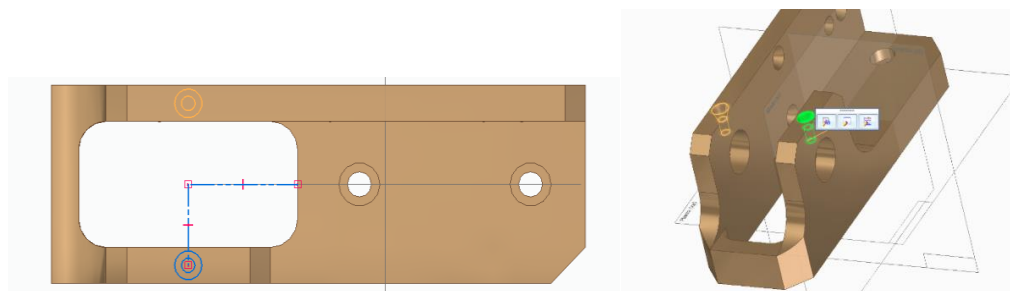


Ilustración 47: Agujeros

Tras realizar los redondeos y chaflanes la pieza quedaría terminada obteniendo:

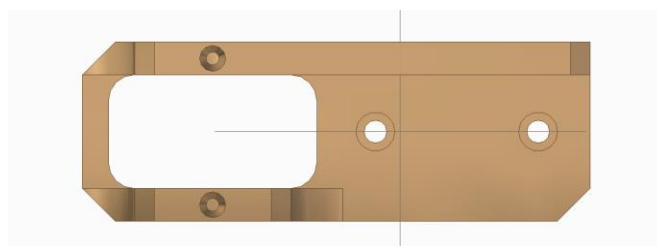


Ilustración 48: Planta de la base terminada

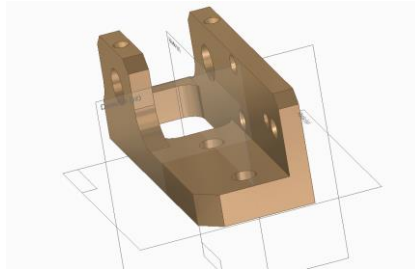


Ilustración 49: Base modelada

5.1.2 Cojinete de fricción

Se parte de una circunferencia de 18 mm de diámetro a la que se le realiza una protusión de 10 mm de profundidad.

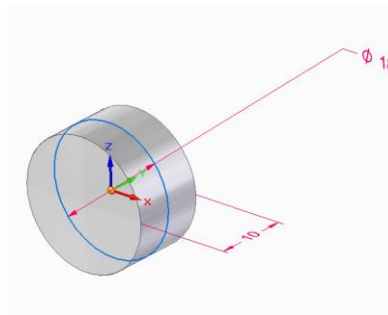


Ilustración 50: Protusión

A continuación, se lleva a cabo un par de vaciados. En el primero de ellos, se cruza toda la pieza en el eje Y con un diámetro de 10 mm.

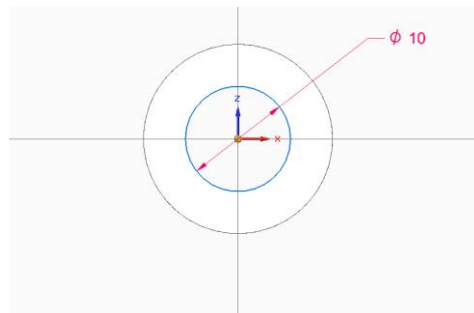


Ilustración 51: Vaciado 1

En el segundo, se vacía la pieza en la dirección del eje Z desde la parte superior hasta el vaciado hecho anteriormente. El diámetro en este caso es de 4 mm.

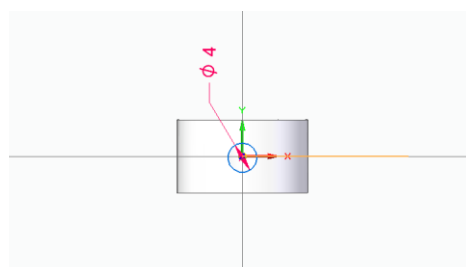


Ilustración 52: Vaciado 2

La pieza terminada:

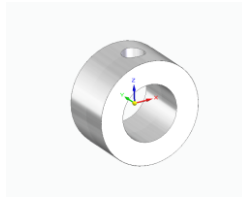


Ilustración 53: Cojinete modelado

5.2 Subconjunto Base-Bloque soporte-Conducto

De este subconjunto ya ha sido explicado el Conjunto base por ello se pasa a detallar como modelar el Bloque soporte y el Conducto

5.2.1 Bloque Soporte

Destacar que, aunque es una pieza sencilla, su modelado necesita varios pasos.

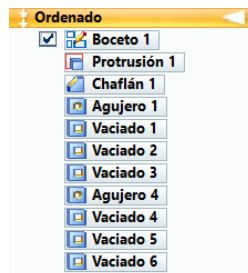


Ilustración 54: Arbol de modelado

Se parte del boceto de un rectángulo, pero con semicircunferencias en dos de sus lados.

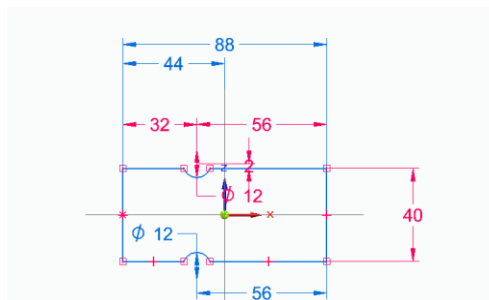


Ilustración 55: Boceto

Se realiza una protusión. A partir de aquí, se acometen pequeñas modificaciones para llegar a la pieza requerida, es decir, vaciados, agujeros y chaflanes.

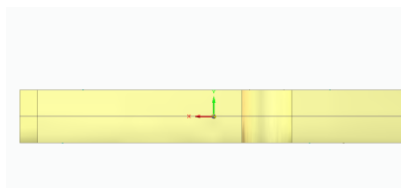


Ilustración 56: Protusión

A continuación, se efectúan dos tipos de agujeros con rosca. Tres de ellos en la dirección del eje Y con métrica M6 (imagen de la izquierda). Y el otro, en la dirección del eje X (imagen derecha), con profundidad 8 mm y métrica M8.

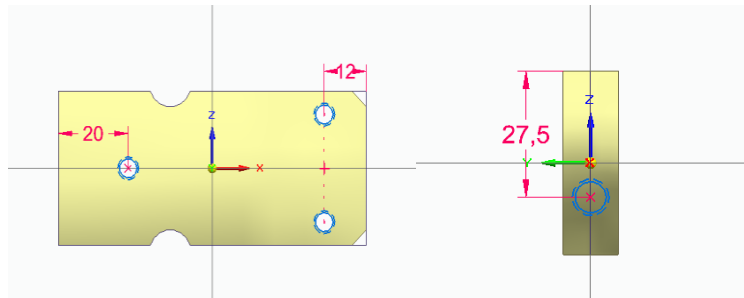


Ilustración 57: Agujeros con rosca

Se sigue practicando seis vaciados en distintas partes de la pieza. Como se aprecia en la imagen, en uno de ellos, se ha trazado una circunferencia auxiliar para así poder efectuar dos circunferencias simétricas con respecto al eje X.

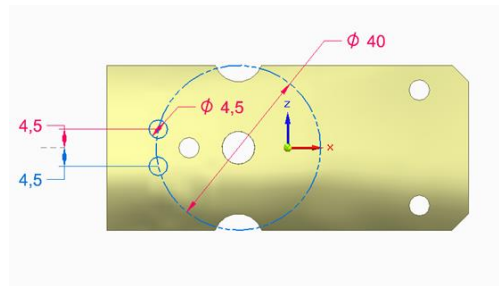


Ilustración 58: Vaciados 1

Los demás vaciados se pueden observar a continuación, teniendo todos ellos un procedimiento similar entre sí.

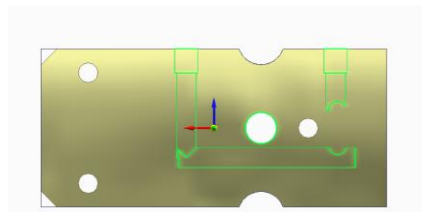


Ilustración 59: Vaciados 2

Finalmente, la pieza que se sitúa entre la base y el cilindro, queda como sigue:

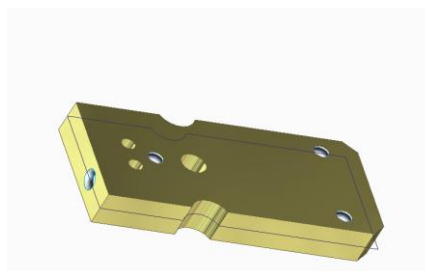


Ilustración 60: Bloque soporte modelado

5.2.2 Conducto

El conducto es una pieza muy simple de modelar, a partir de dos circunferencias concéntricas y una protusión de 20 mm de profundidad. Esta pieza irá unida al bloque soporte.

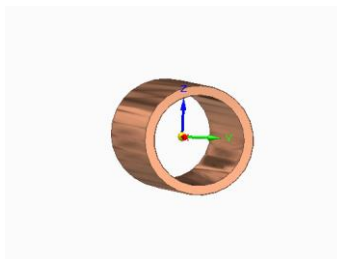


Ilustración 61: Conducto modelado

5.3 Conjunto Cigüeñal

Conjunto formado por un eje, una leva, una manivela, un casquillo, dos arandelas y un volante de inercia como se aprecia en la imagen.

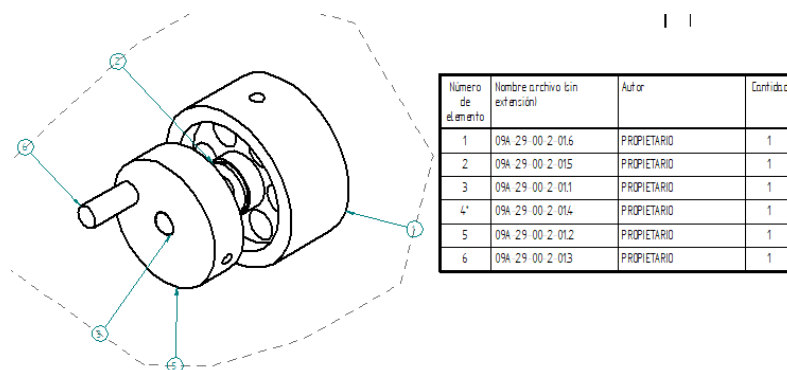


Ilustración 62: Conjunto cigüeñal

5.3.1 Eje

A partir de una circunferencia de 10 mm de diámetro se efectúa una protusión de 82 mm de longitud, en dirección del eje X.

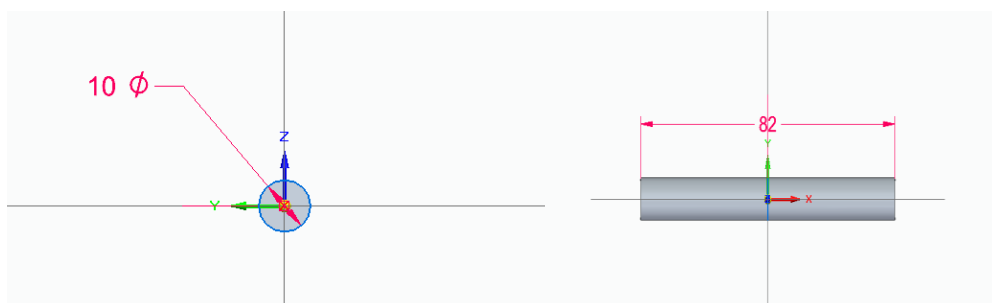


Ilustración 63: Protusión

Después, se hace un vaciado en dirección del eje Y, a 8 mm del extremo izquierdo de la pieza y con una circunferencia de 6 mm.

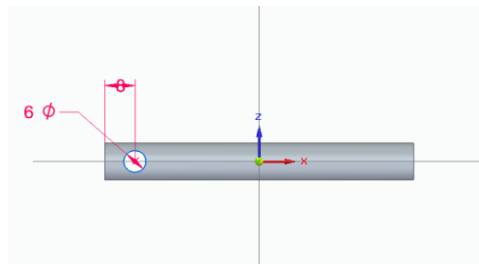


Ilustración 64: Vaciado

Con esto quedaría terminado el eje:

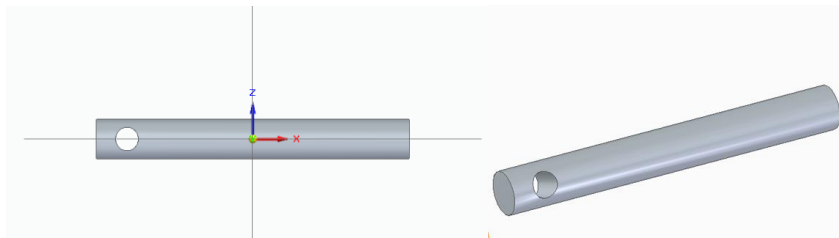


Ilustración 65: Eje modelado

5.3.2 Leva

Se comienza con el boceto de una circunferencia de 56 mm de diámetro para posteriormente realizar una protusión de 16 mm de profundidad.

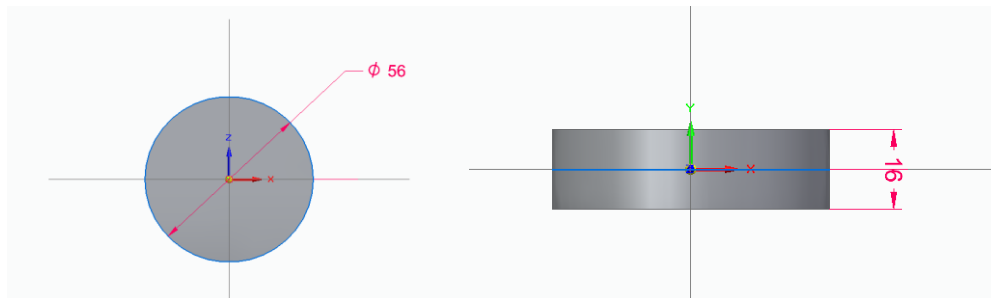


Ilustración 66: Protusión

Se continúa con un vaciado, mediante un boceto de dos circunferencias con una distancia entre centros de 20 mm y diámetros de 10 mm.

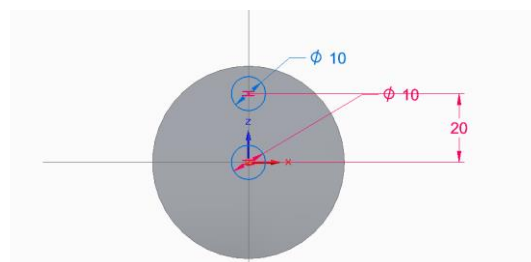


Ilustración 67: Vaciado

Para terminar, se realiza un agujero con rosca de profundidad 48 mm y diámetro M5.

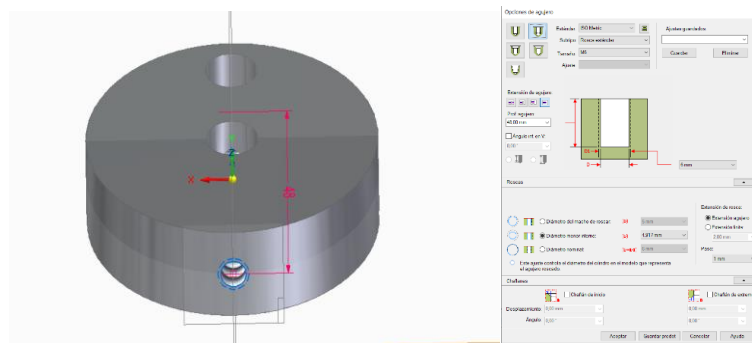


Ilustración 68: Agujero con rosca

Con esto la leva quedaría:

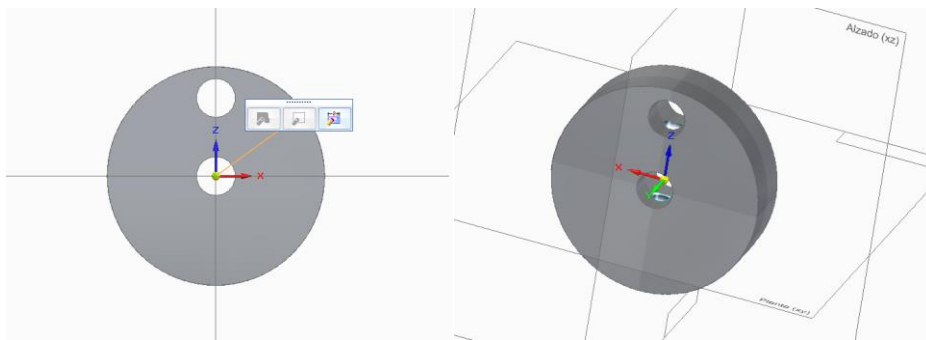


Ilustración 69: Leva modelada

5.3.3 Manivela

El modelado de este elemento es muy simple a partir del boceto de una circunferencia de 10 mm de diámetro y una protusión de 40 mm de profundidad se consigue la pieza.



Ilustración 70: Manivela modelada

5.3.4 Casquillo

Como en el elemento anterior, el modelado aquí es muy sencillo, a partir de una protusión y un vaciado posterior se consigue la pieza. Se ha asignado latón como material.

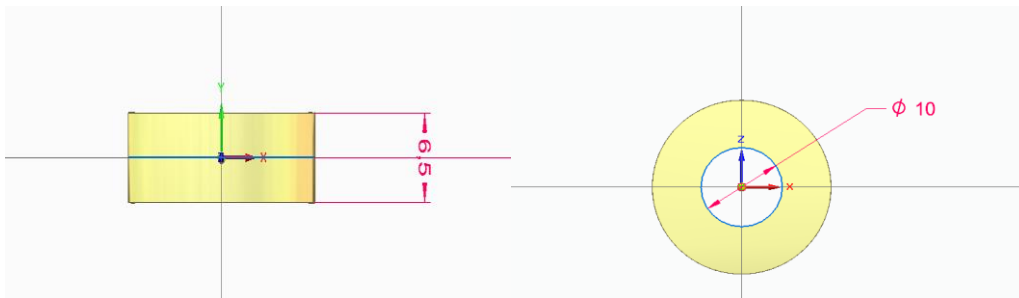


Ilustración 71: Protusión y vaciado del Casquillo

Quedando así la pieza:

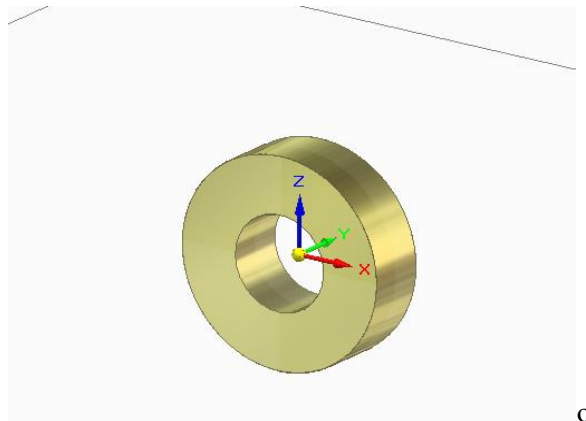


Ilustración 72: Casquillo modelado

5.3.5 Arandela

El modelado de este elemento es similar al anterior con la diferencia de las dimensiones. En este caso se realiza una protusión de 1,5 mm de profundidad a una circunferencia de 22 mm de diámetro, y un vaciado total a partir de una circunferencia de 10 mm.

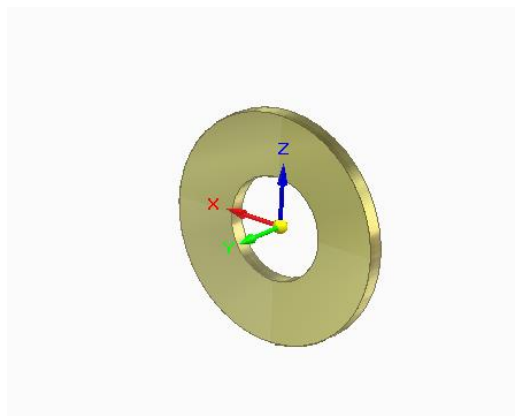


Ilustración 73: Arandela modelada

5.3.6 Volante de Inercia

Se comienza con una protusión para luego continuar con su posterior vaciado, aunque en este caso el vaciado no se realiza en todo el grosor de la pieza sino con una profundidad de 8 mm.

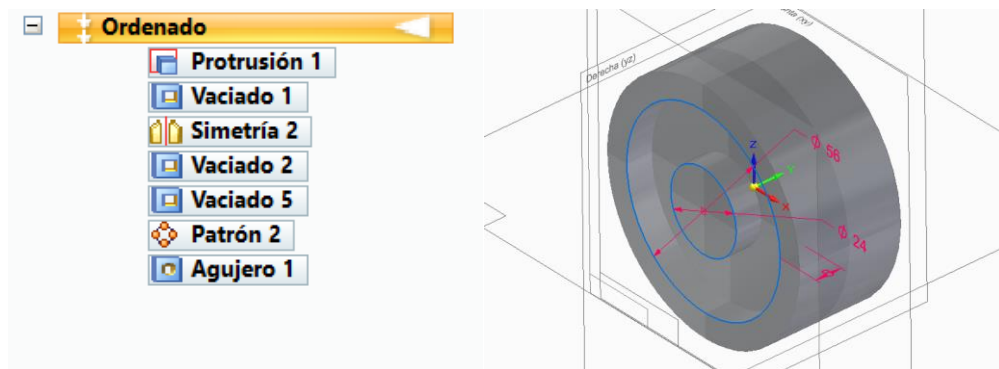


Ilustración 74: Protrusión

Se sigue, como se aprecia en la imagen superior, realizando una simetría. Se elige el paso anterior y se realiza la simetría con respecto al eje XZ.

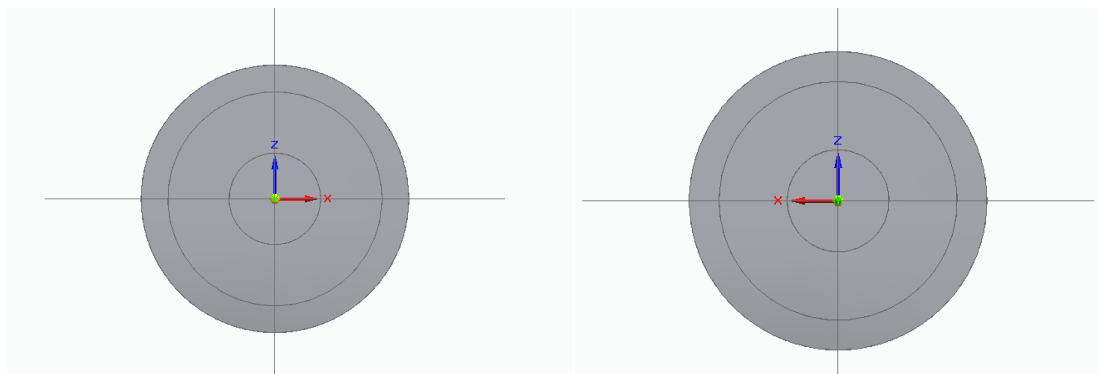


Ilustración 75: Simetría

A continuación, se llevan a cabo dos vaciados. En primer lugar, en el centro de la pieza a partir de una circunferencia de 10 mm de diámetro y en segundo lugar en el eje X y a una distancia de 20 mm del centro se produce el siguiente vaciado a partir de una circunferencia de 13 mm de diámetro. En ambos casos, el vaciado cruza toda la pieza.

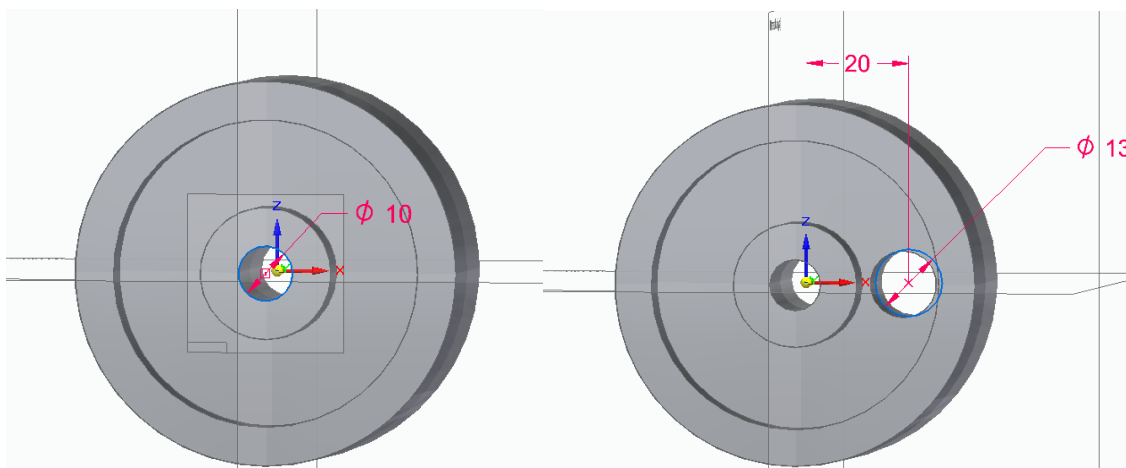


Ilustración 76: Vaciados

Este último vaciado habría que repetirlo 5 veces mas, por lo que se realiza, pero con un patrón circular.

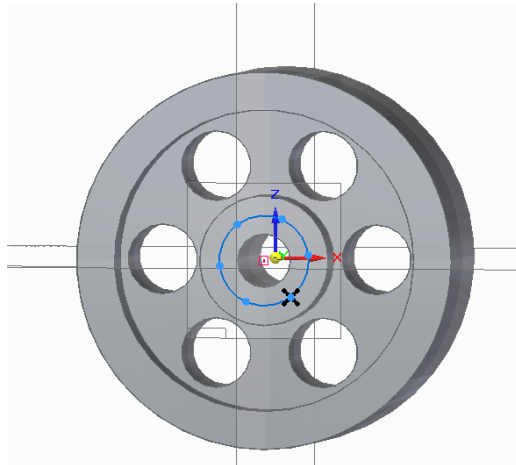


Ilustración 77: Patrón circular

Finalmente, se efectúa un agujero con diámetro nominal 6mm y rosca métrica en la parte superior de la pieza. Dicho agujero, tiene una profundidad de 44,86 mm.

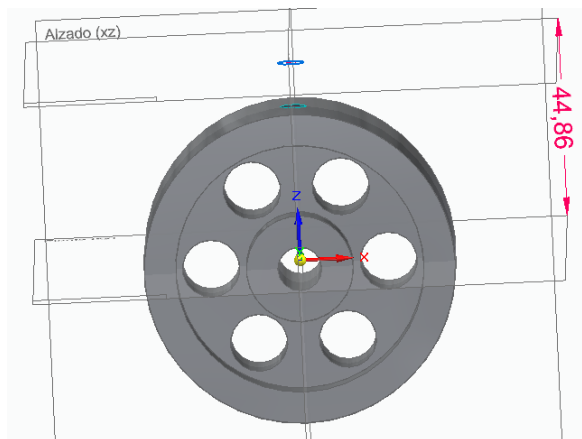


Ilustración 78: Agujero roscado

Con esto la pieza quedaría:

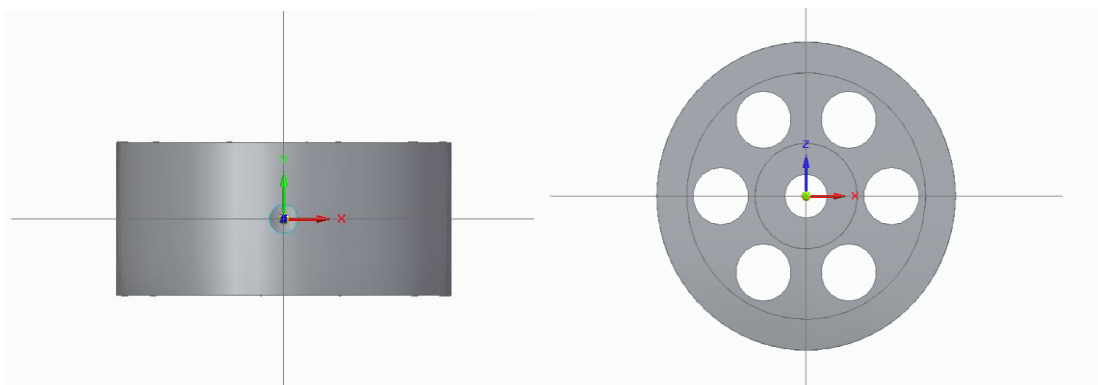


Ilustración 79: Volante de inercia

5.4 Conjunto Cilindro

A continuación, se modeló el conjunto cilindro formado por tres elementos: el propio cilindro, la tapa y el eje.

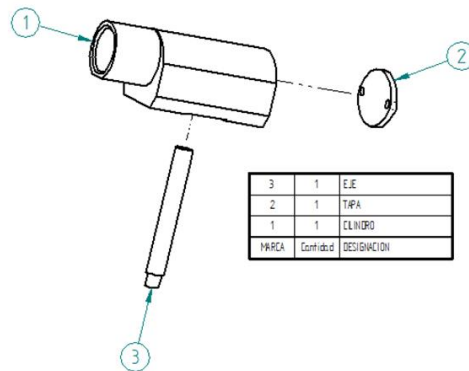


Ilustración 80: Conjunto cilindro

5.4.1 Cilindro

Se comienza con un boceto para posteriormente realizar una protusión de 56 mm de profundidad.

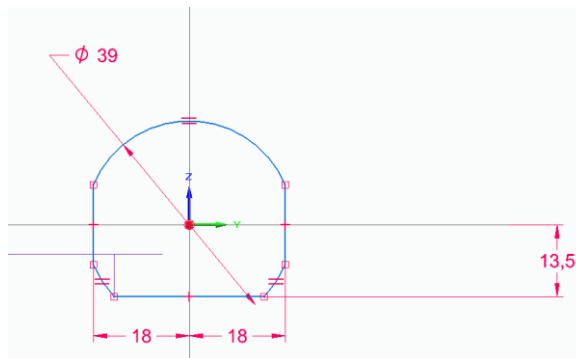


Ilustración 81: Cilindro

A continuación, se lleva a cabo un pequeño vaciado en la parte inferior de la pieza a partir de un rectángulo de 20x30 mm. Se sigue con la protusión del boceto de una circunferencia de 26 mm de diámetro.

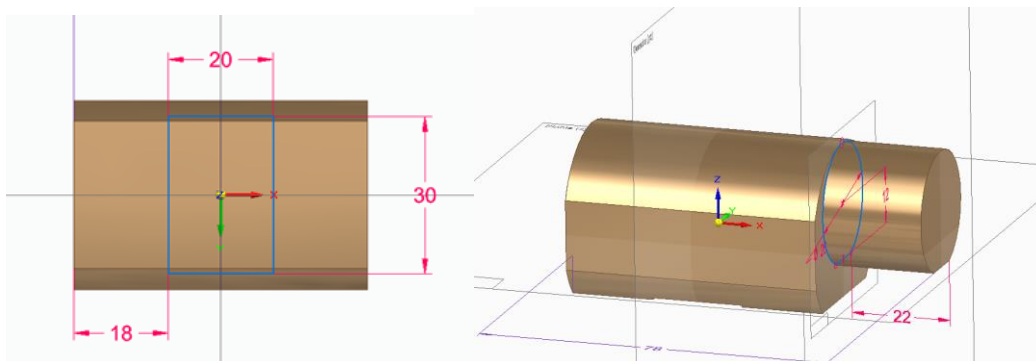


Ilustración 82: Protusión

Posteriormente, se realiza un vaciado que cruza transversalmente toda la pieza.

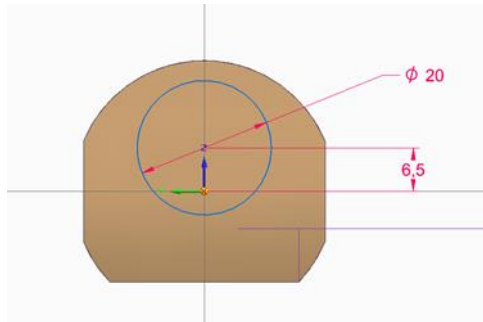


Ilustración 83: Vaciado

Se continúa practicando un agujero roscado de diámetro M8 en la parte inferior de la pieza para unir el cilindro mediante un eje con el bloque soporte y la base.

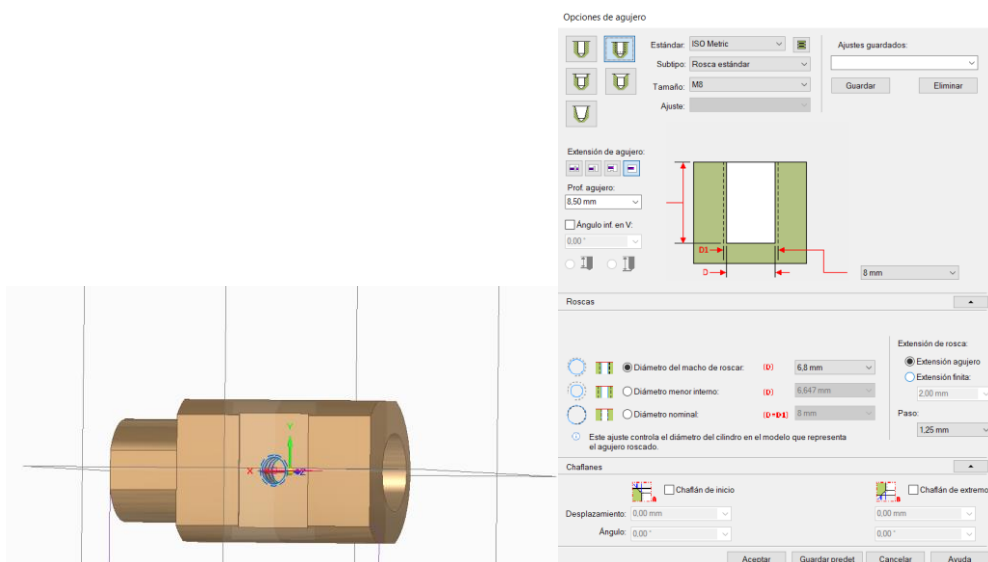


Ilustración 84: Agujero roscado M8

Luego, se efectúa un vaciado circular de 4 mm y dos agujeros roscados, aunque en este caso con una rosca de diámetro M4 que permitirán colocar la tapa

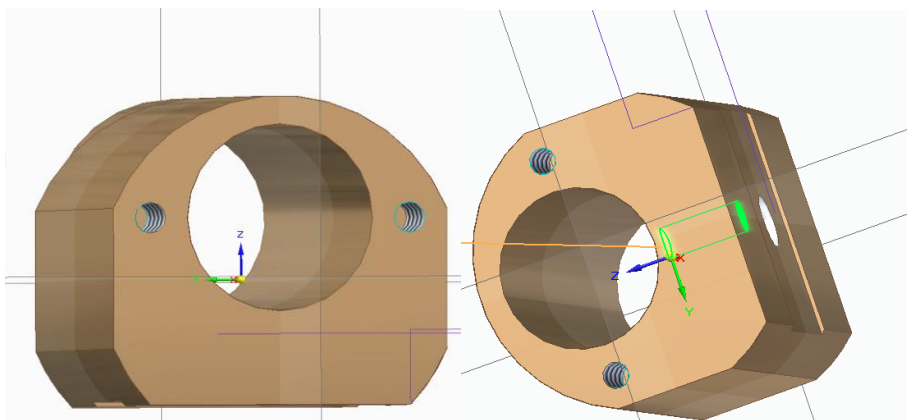


Ilustración 85: Agujeros roscados M4

Finalmente, tras realizar un chaflán, la pieza queda como se muestra.

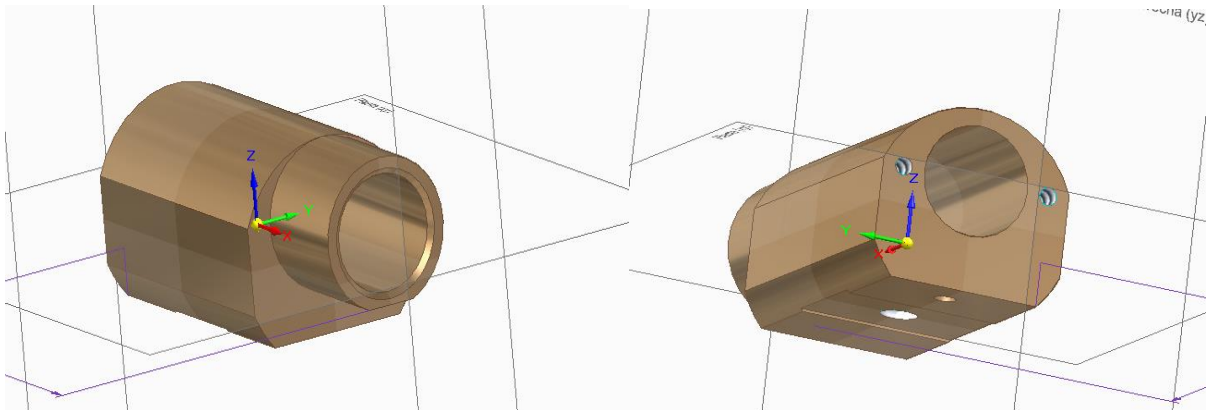


Ilustración 86: Cilindro modelado

5.4.2 Tapa

La tapa es un elemento muy sencillo de modelar. Se comienza con un boceto.

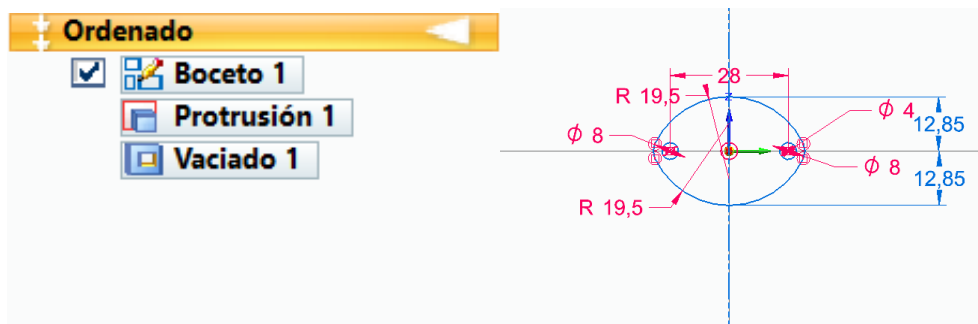


Ilustración 87: Boceto

A partir del boceto se realiza una protrusión y un vaciado que consiste en dos circunferencias de 8 mm de diámetro con una separación entre centros de 28 mm y a 14 mm del eje de simetría.

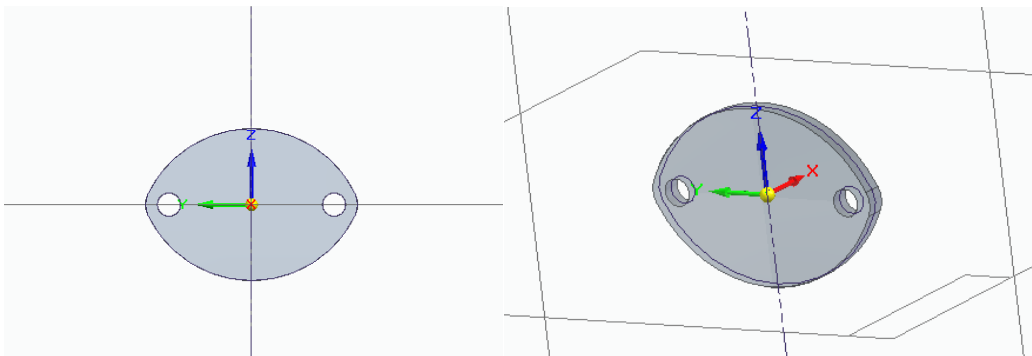


Ilustración 88: Vaciados

5.4.3 Eje

Se comienza con una protusión a partir de una circunferencia de 8 mm de diámetro. Quedando la pieza así:

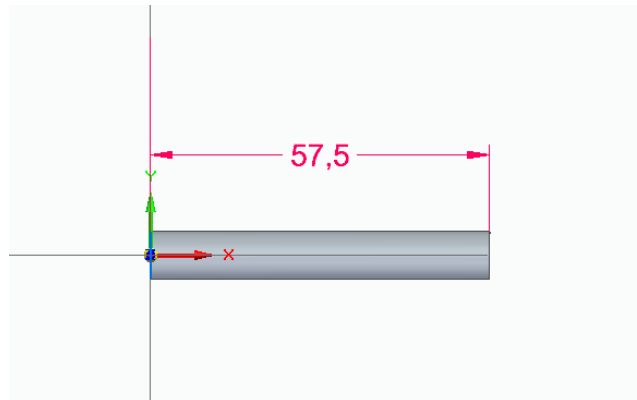


Ilustración 89: Protusión

Se continúa con la orden rosca teniendo en cuenta la parte de la pieza que se quiere roscar y el paso.

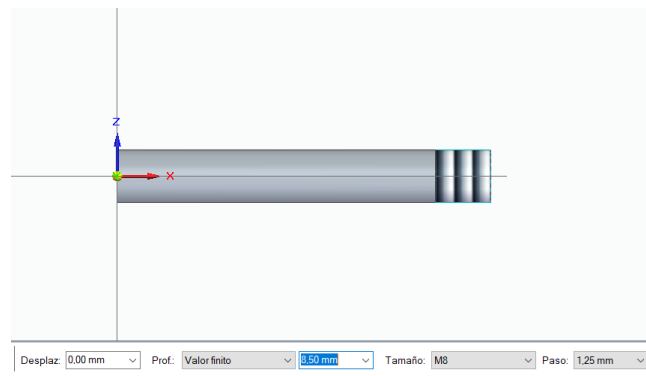


Ilustración 90: Rosca

Para terminar, se repite el proceso, pero esta vez con una protusión en dirección negativa del eje X a partir de una circunferencia de 6 mm de diámetro y un roscado total de ese saliente.

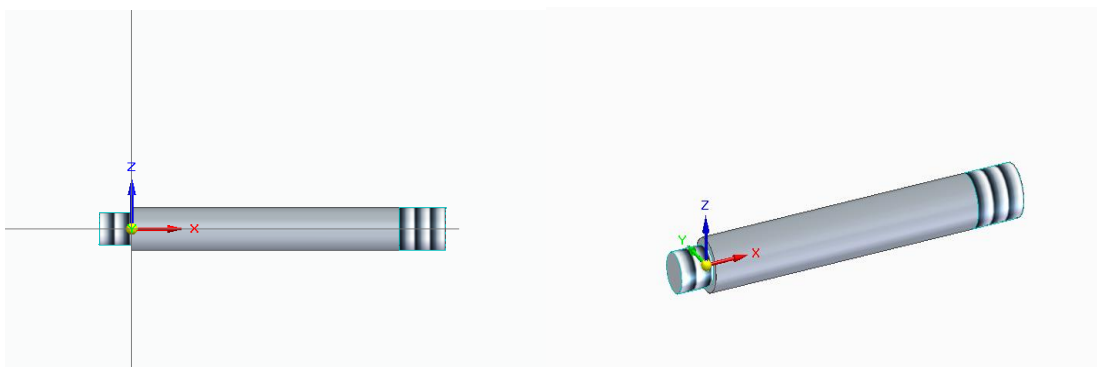


Ilustración 91: Rosca

No se modelada el tornillo por ser un estándar.

5.5 Pistón-Biela

El procedimiento para el modelado del pistón-biela es muy similar al de las piezas anteriores. En primer lugar, se comienza con la protusión de una circunferencia de diámetro 18mm.

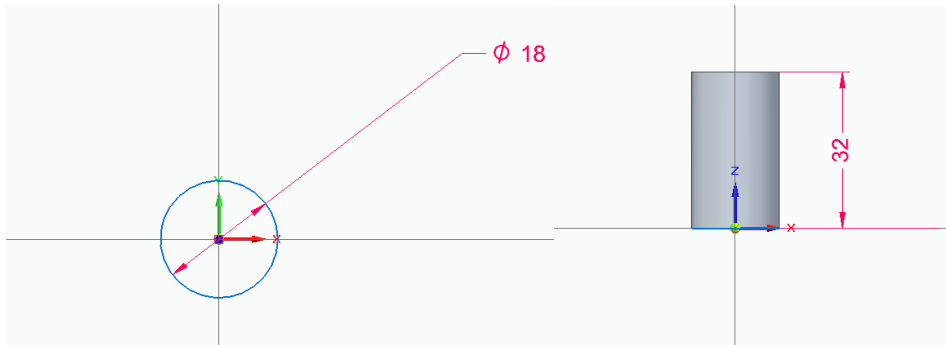


Ilustración 92: Protusión

Después, se realiza un chaflán en ambas bases del cilindro resultante. Luego, se lleva a cabo una segunda protusión en el lado superior de la pieza. Esta vez, a partir de una circunferencia de 10 mm de diámetro.

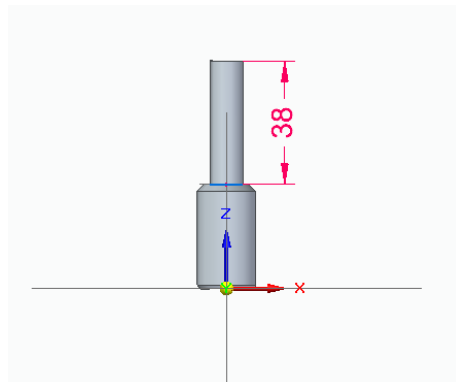


Ilustración 93: Chaflán y protusión

Posteriormente, se efectúan las tres protusiones, indicadas en color verde en la imagen. Estas se han realizado a partir de circunferencias de 20, 14 y 20 mm respectivamente y con una longitud de 13,5 y 3 mm.

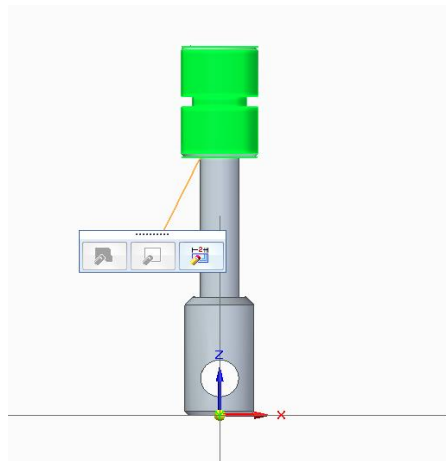


Ilustración 94: Protusiones

Finalmente, se termina con un chaflán y un vaciado que recorre toda la pieza en dirección del eje Y a una distancia de 10 mm del eje X, como el que se puede observar en las imágenes siguientes.

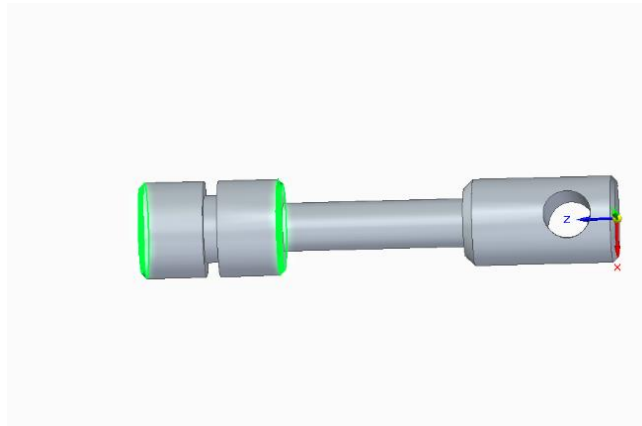


Ilustración 95: Chaflan

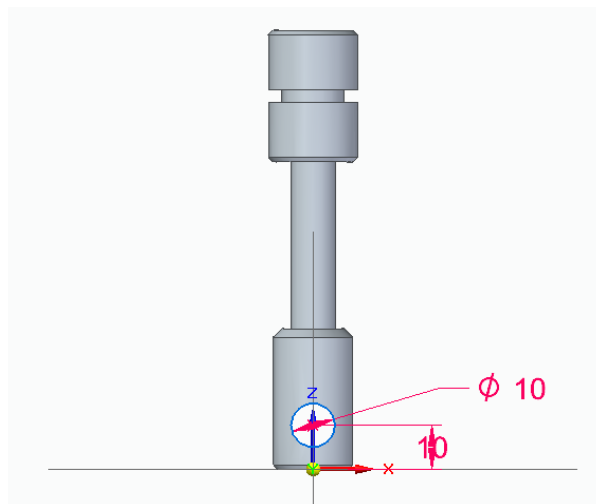


Ilustración 96: Vaciado

Y la pieza final quedaría:

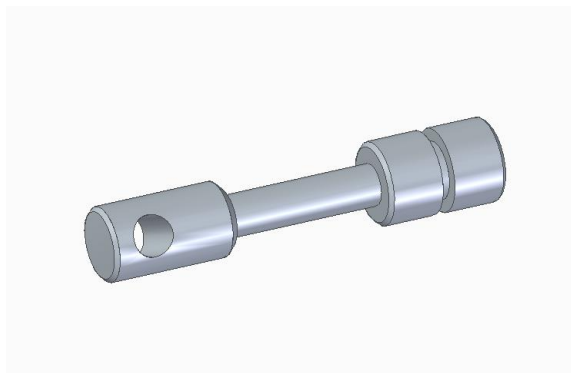


Ilustración 97: Modelado Pistón biela

5.6 Muelle

Para llevar a cabo el modelado del muelle se parte de un boceto. En él se puede observar una recta y una circunferencia que posteriormente funcionarán como eje y como grosor de la hélice.

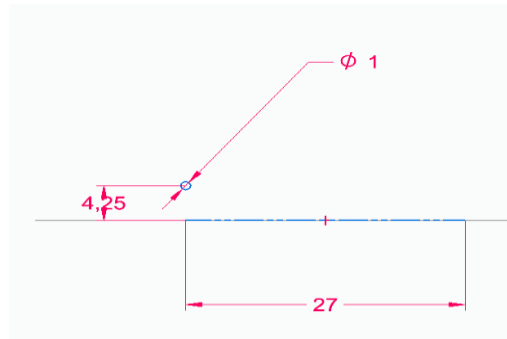


Ilustración 98: Boceto

Finalmente se obtiene la pieza buscada, mediante la protusión con la opción hélice, marcando el eje, grosor del muelle y número de pasos o espiras.



Ilustración 99: Modelo del Muelle

6 ENSAMBLADO

En este capítulo se va a trabajar con el módulo “Assembly” del programa Solid Edge. Las piezas que se han modelado anteriormente se importan a este módulo y se les impone relaciones para montar el conjunto. El objetivo es conseguir un conjunto que se asemeje lo máximo posible al motor real, tanto en apariencia como en movimiento.

6.1 Conjunto Base

Compuesto por la base y dos cojinetes de fricción.

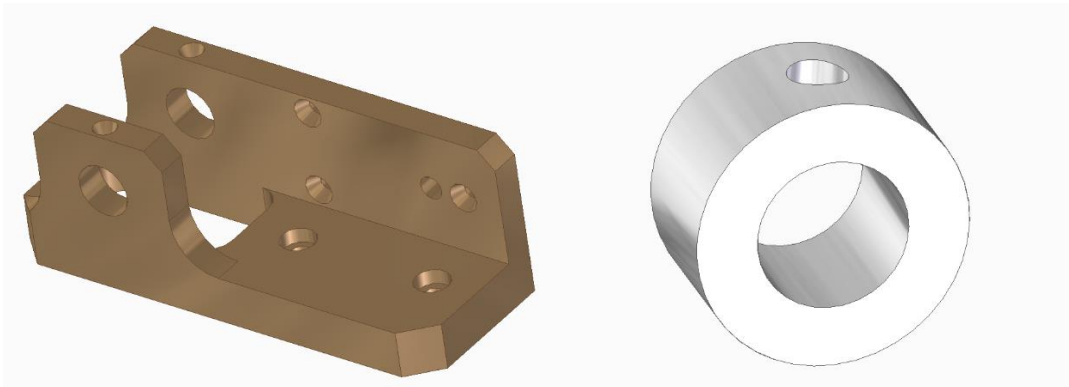


Ilustración 100: Base y Cojinete

El cojinete de fricción se introduce en el agujero lateral de ambas paredes. Esto se consigue imponiendo que tanto el eje del cojinete de fricción como el eje del agujero en cuestión coincidan, a su vez se hace coincidir el eje del agujero que se observa en la parte superior de la pared de la base con el eje del agujero que está en la cara exterior del cojinete de fricción. Obteniendo el siguiente resultado.

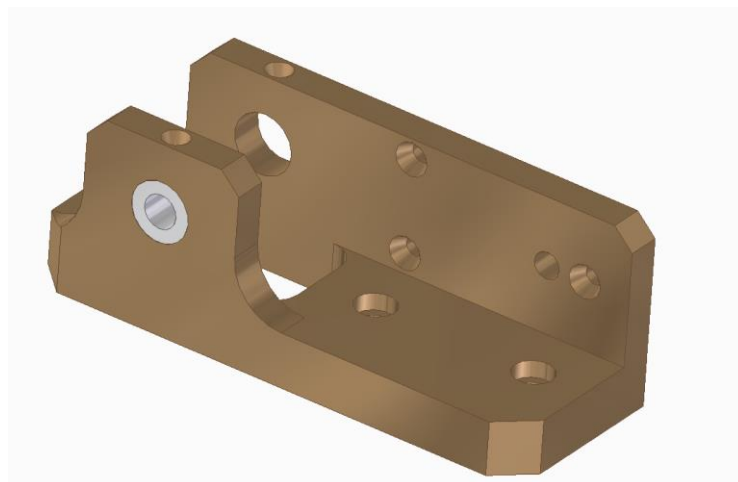


Ilustración 101: Base con un Cojinete montado

6.2 Conjunto Cigüeñal

En este caso, se va a proceder a unir el conjunto cigüeñal formado por un eje, una leva, una manivela, un casquillo, dos arandelas y un volante de inercia.

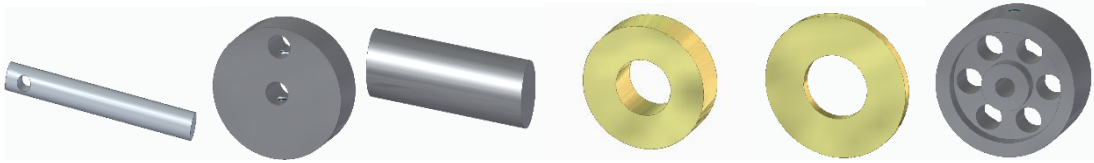


Ilustración 102: Piezas que conforman el conjunto Cigüeñal

Se comienza uniendo el volante de inercia (sexta imagen) con las arandelas (quinta imagen). Estas van colocadas a ambos lados del volante sobre su cilindro central. Luego se hacen coincidir los ejes del agujero central del volante y de la pieza eje (primera imagen). Seguidamente, se procede de igual manera con los ejes del agujero central de la leva (segunda imagen) y de la pieza eje y, de igual manera con los ejes de las roscas de ambas piezas. El casquillo (cuarta imagen) se hace coincidir con la cara de la leva más cercana al volante de inercia. Finalmente, se introduce la manivela (tercera imagen) en el agujero de la leva obligando a que los ejes coincidan y el agujero se ocupe totalmente. Resultando el siguiente conjunto.

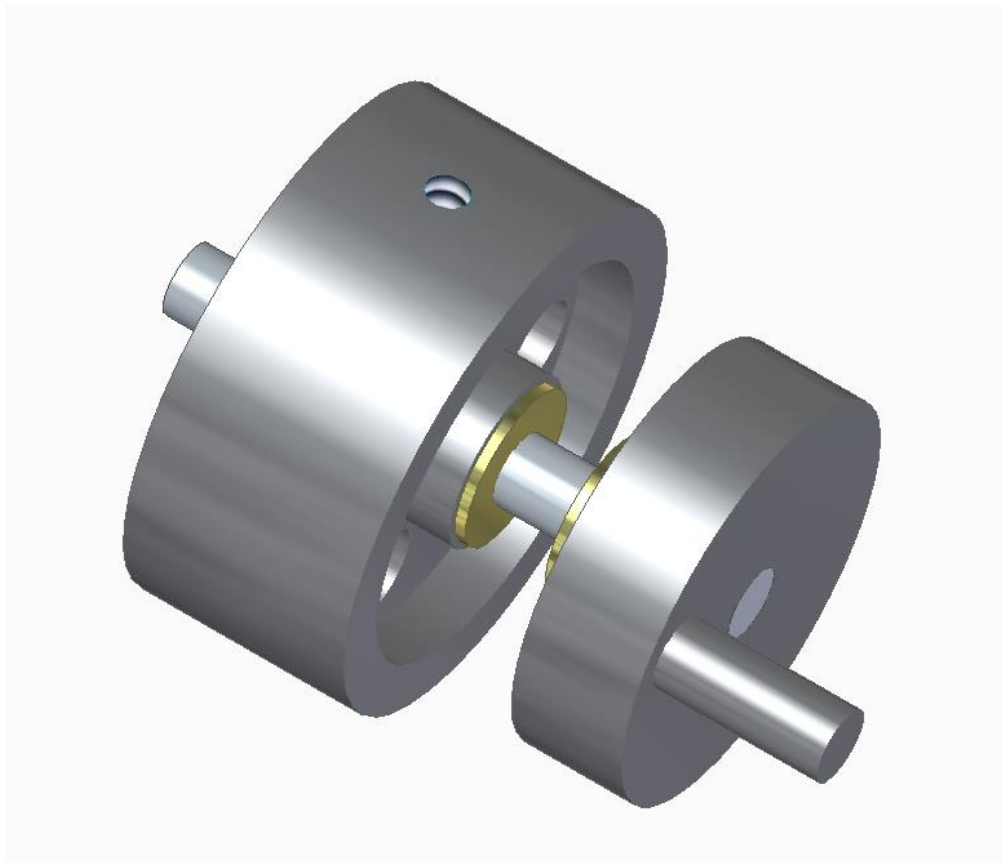


Ilustración 103: Modelo del conjunto Cigüeñal

6.3 Conjunto Cilindro

Las piezas que lo componen son un cilindro, una tapa, un eje y los tornillos los cuáles no están incluidos en el proyecto por ser estándares.

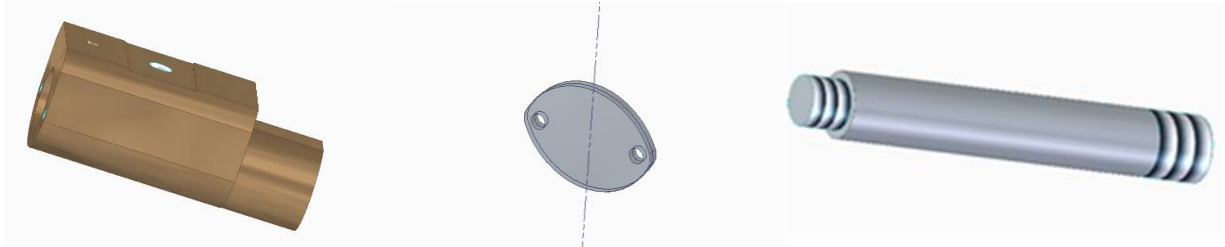


Ilustración 104: Piezas que conforman el conjunto Cilindro

Se une la tapa a la parte posterior cilindro, haciendo que coincidan ambos agujeros de la tapa con los del cilindro.

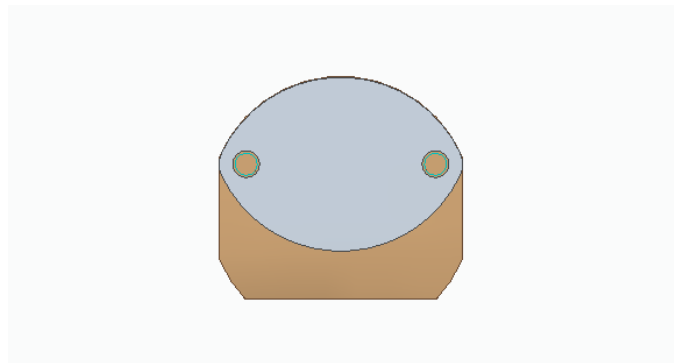


Ilustración 105: Union Tapa y Cilindro

A continuación, el eje del agujero central de la parte superior de la base cilindro se hace coincidir con el de la pieza eje para posteriormente roscar la parte de menor diámetro en el cilindro.

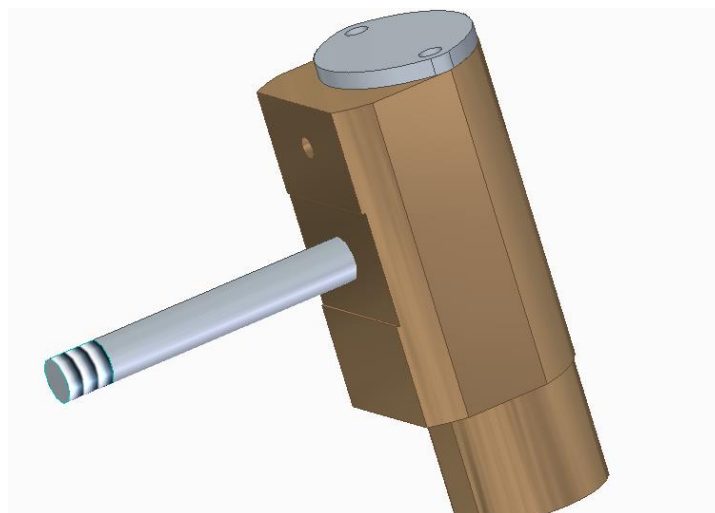


Ilustración 106: Conjunto Cilindro

6.4 Subensamblado 1

Para unir los conjuntos de manera ordenada y sencilla, se crean subensamblados. En este caso, se encuentran la base, el bloque soporte y dos conductos.

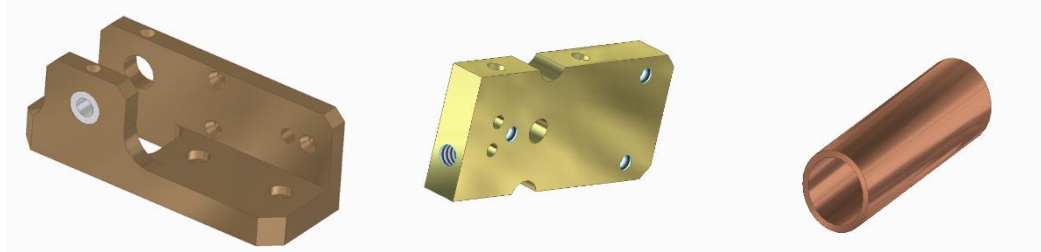


Ilustración 107: Base, Bloque soporte y Conductos

Se une la base con el bloque soporte. Se tiene en cuenta que el bloque soporte queda pegado al lateral mas largo de la base por la parte exterior del mismo y que el agujero más centrado del bloque y la rosca contigua tienen que coincidir con los agujeros de esa pared de la base.

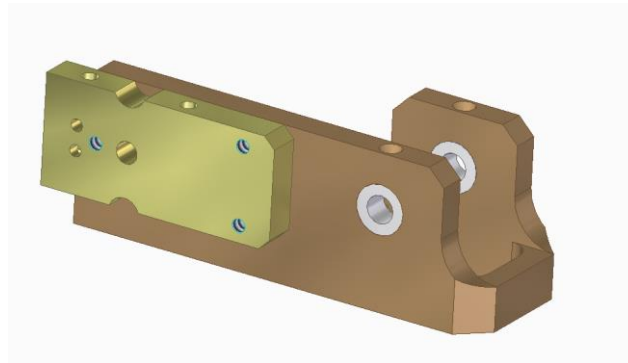


Ilustración 108: Base y Bloque soporte

Después, se unen los conductos al bloque soporte. Estos van alojados en la parte superior del bloque en sendos agujeros. El proceso es sencillo se hacen coincidir los ejes de los agujeros con los del conducto y se insertan los conductos hasta el final del agujero.

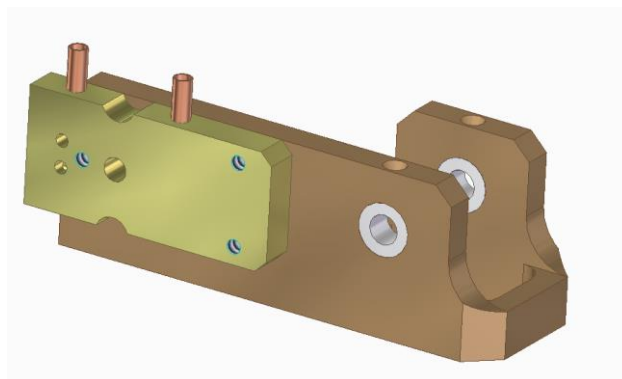


Ilustración 109: Subensamblado 1

6.5 Subensamblado 2

Este será el último paso para llevar a cabo el montaje del motor, en él están presentes el subensamblado anterior 1, el conjunto cigüeñal, el conjunto cilindro y el pistón-biela.

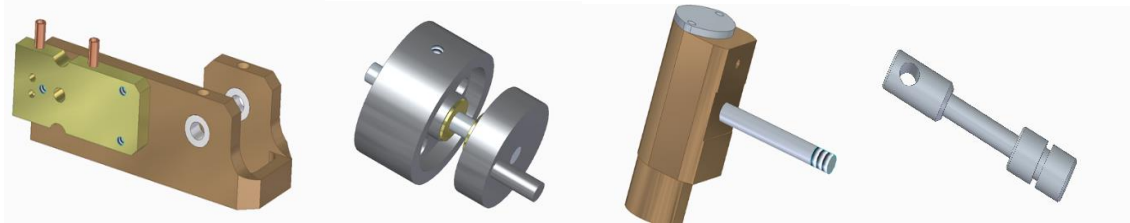


Ilustración 110: Componentes del Subensamblado 2

Partiendo del montaje anterior, primero se une el conjunto cilindro (tercera imagen) para ello, se introduce el eje en el agujero más centrado del bloque soporte hasta que ambas caras queden en contacto. A continuación, se procede de manera similar con el conjunto cigüeñal dejando el volante de inercia en el interior de la base con sus dos arandelas tocando a las paredes de la misma. Con esto, la leva quedará en el exterior de la base por el mismo lado que el conjunto cilindro y a su vez tendrá el casquillo pegado a la cara exterior de la base. Por último, se lleva a cabo la unión del pistón-biela haciendo coincidir el centro del agujero de su extremo con el centro del conducto que sobresale de la leva y el eje del cilindro que lo forma con el del agujero del conjunto cilindro.

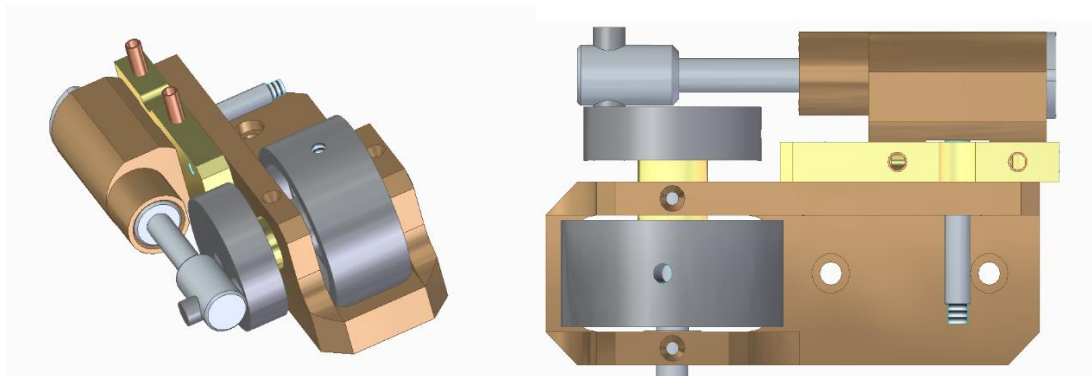


Ilustración 111: Perspectiva y planta del ensamblado del motor

7 RECREACIÓN VIRTUAL

El siguiente paso después del modelado y ensamblado del motor, es la recreación virtual y explosionado utilizando la aplicación Explosionado - Renderizado - Animación (ERA) de Solid Edge.

La animación del conjunto puede ser útil para el estudio de los movimientos del mecanismo y para visualizar como se montan las piezas dentro de los subconjuntos y del conjunto completo.

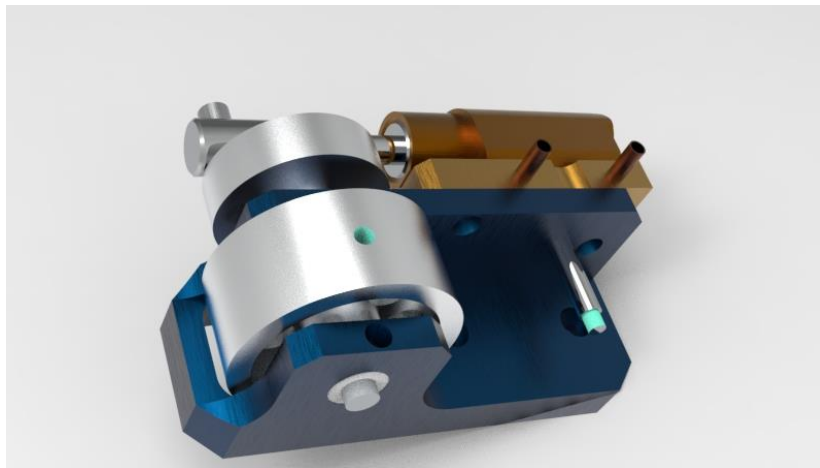


Ilustración 112: Motor de vapor de un cilindro oscilante

Se utiliza la Animación de la aplicación ERA para simular el movimiento del conjunto. Después se selecciona la pieza que actuara como motor, se define el eje de movimiento y se especifica la velocidad o frecuencia a la que se quiere que funcione el motor, y los límites que imponer al desplazamiento. Por ejemplo, que un motor de rotación gire a 1750 revoluciones por minuto y haga dos revoluciones completas (720 grados). Cuando se trabaja con varios motores, se utiliza la herramienta Editor de animaciones para especificar los tiempos de inicio, duración y parada de cada uno de los motores.

En este caso se ha considerado el motor rotacional en el eje del cigüeñal. Como puede apreciarse en la ilustración 113, el cilindro efectúa un movimiento rotacional a causa del movimiento del cigüeñal. Cabe destacar que el movimiento de translación del piston-biela tiene que estar liberado para que el conjunto final pueda animarse correctamente.

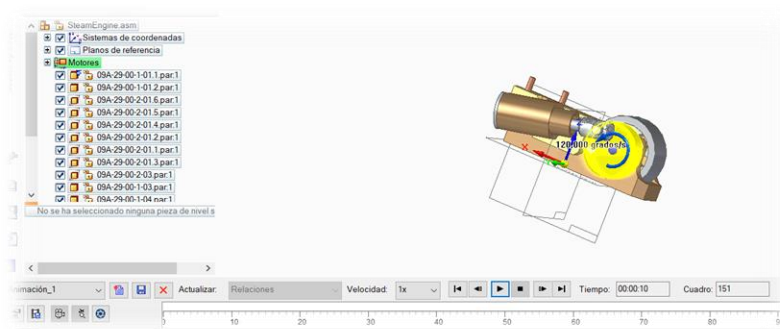


Ilustración 113: Vista con motor.

Se tiene la posibilidad de visualizar fácilmente el vídeo de la animación desde un dispositivo móvil (smartphone, tablet, etc) con lector de código QR.



Ilustración 114: Código QR.

A continuación, se utiliza el Explosionado de la aplicación ERA para realizar la perspectiva estallada o explosionada del motor. Esta perspectiva ayuda a comprender en profundidad como ensamblan las piezas entre sí. Primeramente, se definen los componentes del conjunto a explotar y luego se precisa la configuración de explosionado.

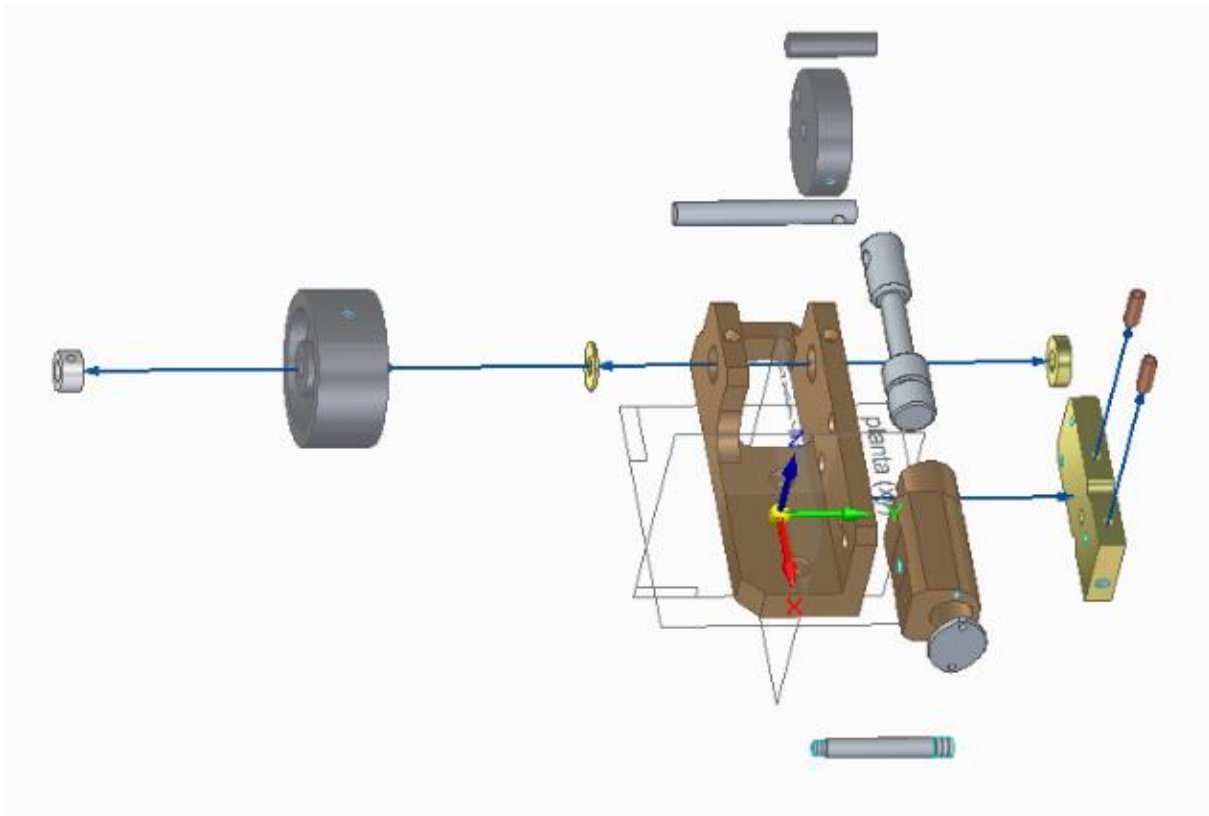


Ilustración 115: Explosionado axial en la dirección del eje X.

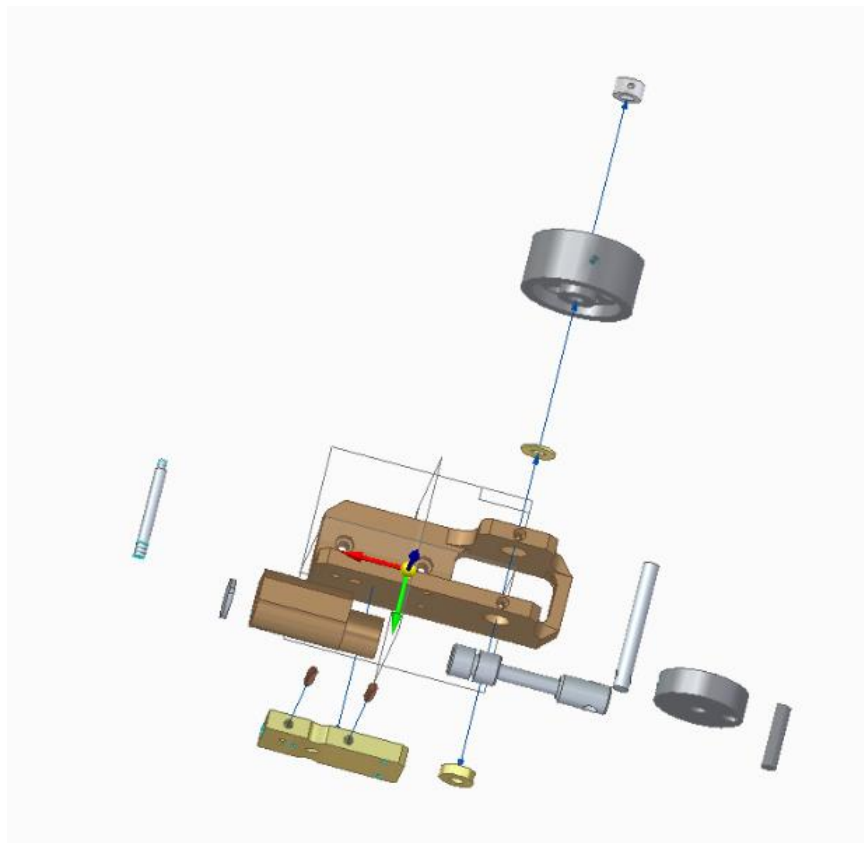


Ilustración 116: Explosionado 2.

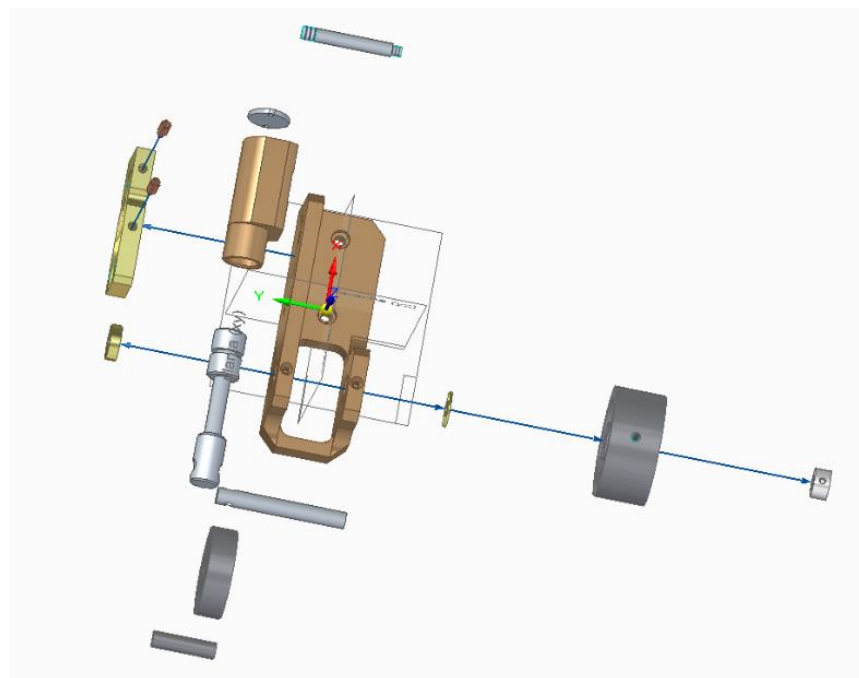


Ilustración 117: Explosionado 3.

8 RENDERIZADO CON KEYSHOT

8.1 Software Keyshot

Programa desarrollado por Luxion que a partir de modelos 3D permite obtener imágenes fotorrealistas. A este proceso se le denomina renderizado. Existen diferentes programas informáticos con los que se puede llevar a cabo este proceso. En este caso, se utiliza Keyshot ya que es una herramienta que se encuentra junto a Solid Edge.



Ilustración 118: Logo de Keyshot [61]

Es muy fácil de utilizar, se importa el modelo, a continuación, se eligen dentro de las características del programa los diferentes entornos, fondos y materiales dentro de las librerías proporcionadas, a la hora de elegir únicamente se tiene que arrastrar el deseado y soltar, por último, se ajusta la iluminación y se colocan las cámaras correspondientes [61].

8.2 Interfaz y funcionamiento

La pantalla de inicio se divide en tres zonas. La central donde se visualizará el modelo una vez se suba. A la izquierda se encuentran las diferentes librerías de materiales, iluminación, entornos, colores y texturas. La derecha se reserva para el ajuste de los parámetros de los materiales aplicados, así como de la iluminación, la cámara y la escena. En la parte superior se encuentra el menú principal donde se puede acceder a todas las opciones del programa y en la inferior la cinta de acceso rápido. [62]

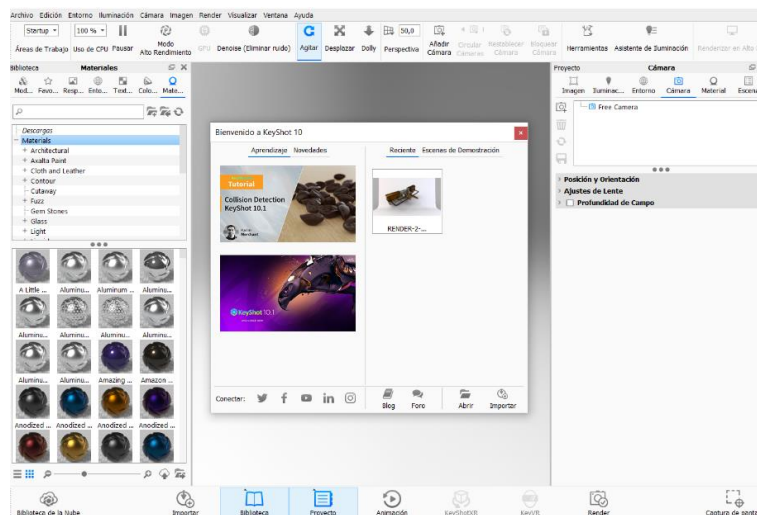


Ilustración 119: Pantalla de inicio

Tras describir la interfaz inicio, se presentan las herramientas del programa y su utilización como guía paso a paso.

1. Importar el modelo.

Mediante *Archivo/Importar* del menú principal y seleccionando el archivo del modelado en el ordenador, o bien seleccionando *Importar* en la cinta inferior y volviendo a seleccionar el archivo.

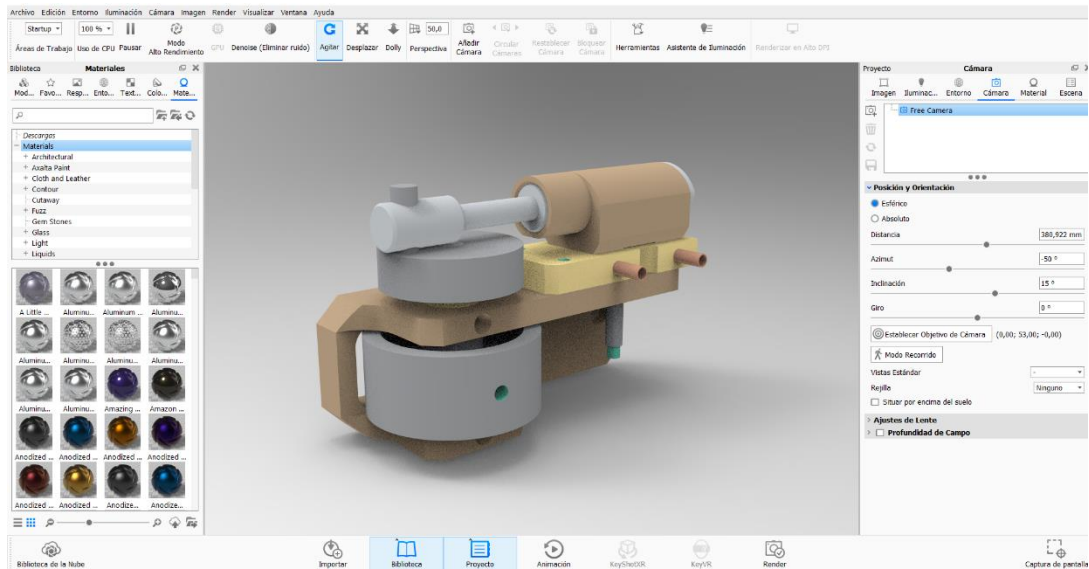


Ilustración 120: Modelo importado

2. Aplicar materiales.

Para insertar el material, en la pieza deseada, basta con arrastrarlo sobre la misma en la ventana de visualización. Los materiales se eligen de la librería en la parte izquierda de la pantalla.

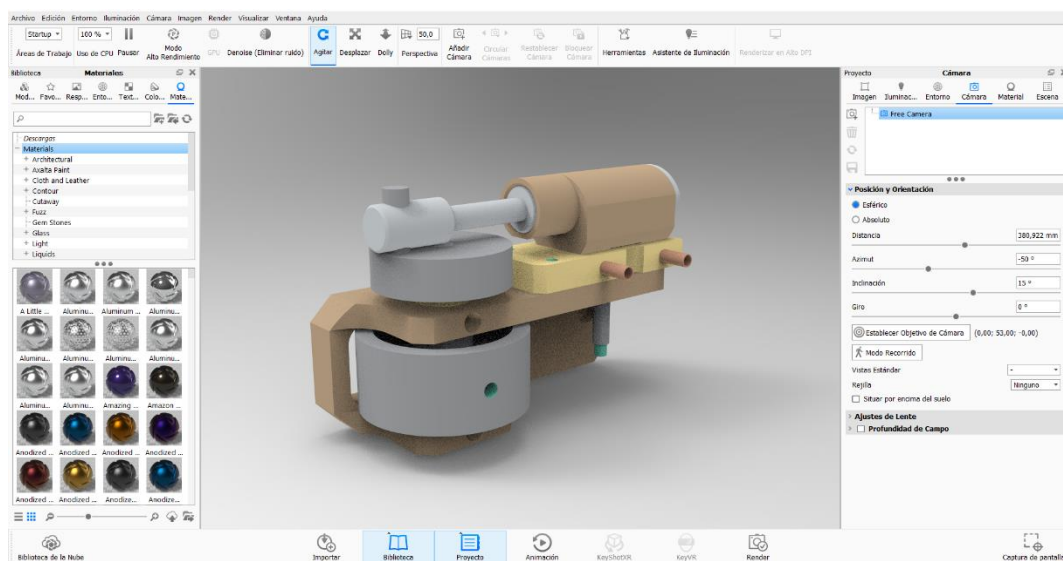


Ilustración 121: Materiales.

3. Aplicar un entorno tridimensional y ajustar la perspectiva y su iluminación.

Se selecciona el ambiente 3D. Esta elección, determina los focos y la cantidad de luz de la pieza, la altura de la misma respecto al suelo, y su posición dentro del ambiente, que genera la aparición de sombras, brillos o reflejos, etc.

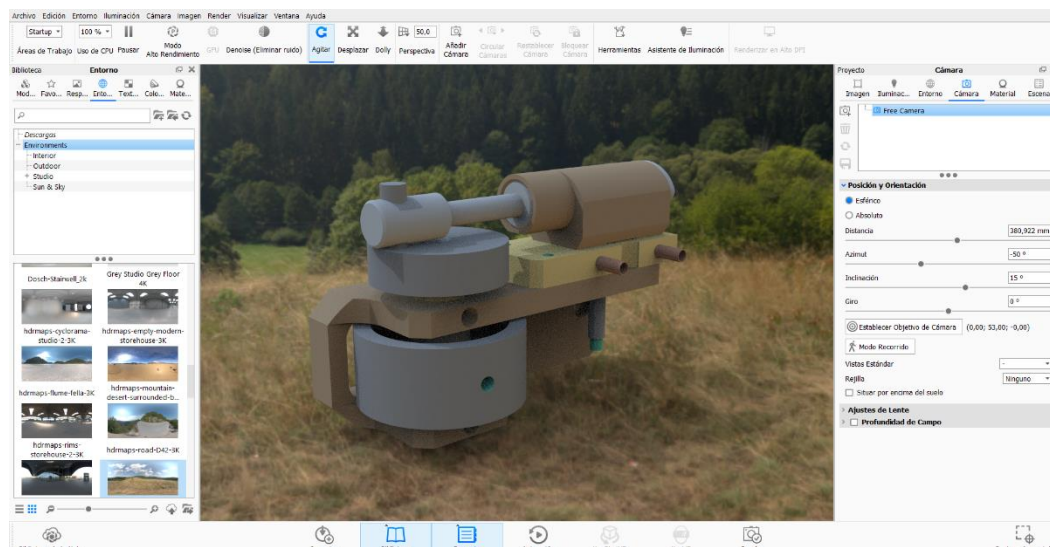


Ilustración 122: Ambiente seleccionado

4. Elegir *Backplate*, es decir, el fondo.

Destacar, que los reflejos, los brillos o las sombras que aparecerán en la pieza dependen del *entorno* que se adopta y no del fondo elegido. Si a la imagen anterior, sin modificar nada, se añade *Blackplate* se observa que el reflejo y la sombra no varía.

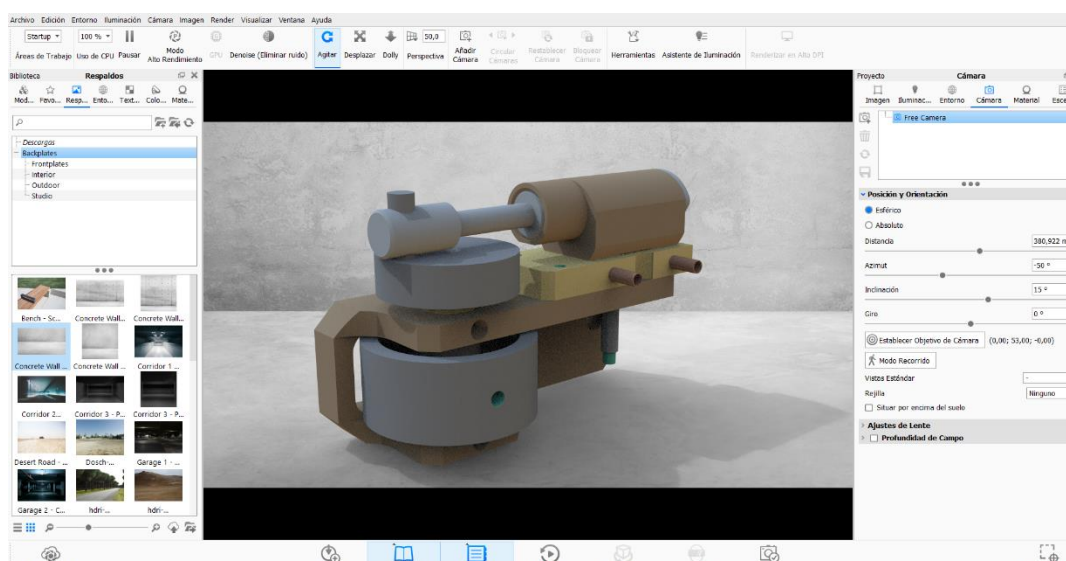


Ilustración 123: Blackplate incorporado al entorno anterior

5. Cambiar parámetros

Cambiar los parámetros de los materiales para ajustar los colores, los brillos y la rugosidad desde *Librería /Colores y Texturas*.

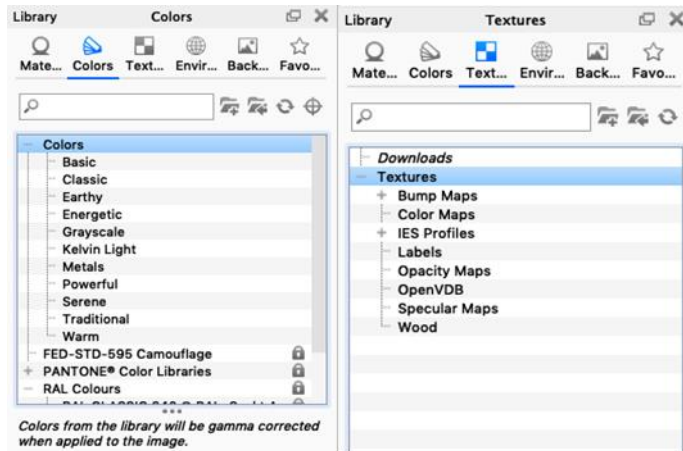


Ilustración 124: Cambiar los parámetros colores (dcha.) y texturas (izq.)

La pestaña *Favoritos* guarda las opciones más utilizadas, ya que encontrar un *Environment* apropiado, puede ser complejo.

6. El icono *Proyecto* situado en la parte inferior de la pantalla, da acceso directo a la barra de herramientas del mismo nombre que se ubica en la parte derecha de la pantalla. Permite modificar, de manera manual con mayor precisión cada parámetro y conseguir el renderizado mas adecuado a la realidad. Se detallan las funciones mas usadas.

6.1. En la pestaña *Scene*, está el árbol que indica los objetos importados y permite elegir el objeto con el que trabajar. En la parte inferior de la herramienta, se encuentran *Propiedades*, *Posición* y *Materiales*. La primera incluye las características generales de la pieza, el nombre, el material en uso, el material con el que se importó, las medidas o el estado. La segunda permite visualizar o modificar el posicionamiento de la pieza conforme a los ejes del entorno. Y la última permite visualizar gráficamente los materiales en uso, de las piezas contenidas en el árbol.

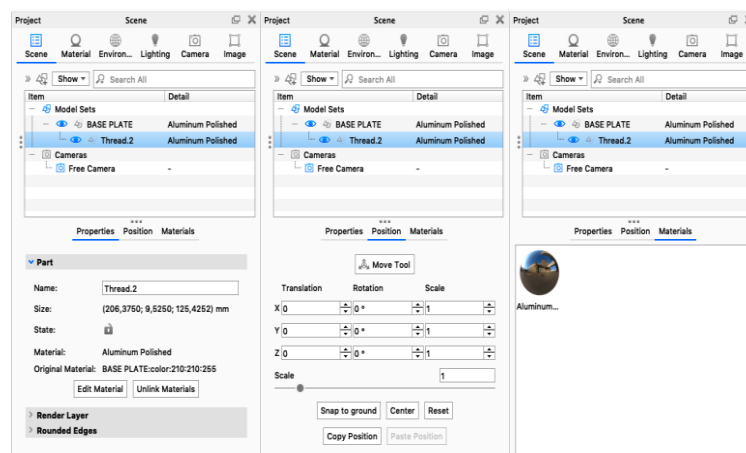


Ilustración 125: Herramienta Scene.

6.2. El editor del entorno está en *Proyecto/Entorno*. Con la pestaña *Ajustes*, se puede ajustar el brillo y el contraste y con la herramienta *Transformar*, se puede cambiar el tamaño, la posición o la rotación dentro del mismo entorno.

6.3. *Proyecto /Luz* deja realizar cambios en los focos del entorno. Para un uso sencillo del programa la opción *Básica* es más que suficiente y consume menos recursos del ordenador.

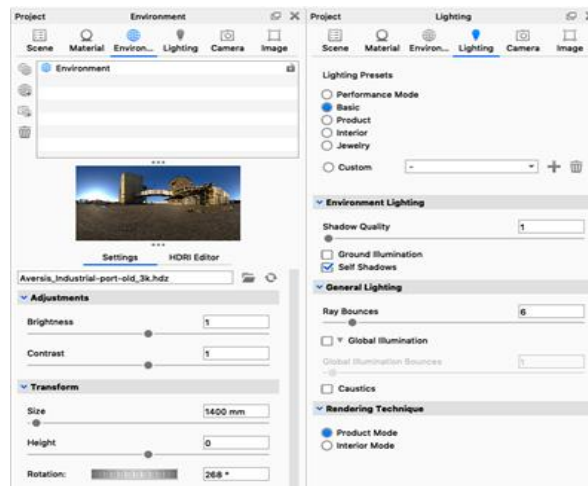


Ilustración 126: Barras de herramientas Material (izda.) y Luz (dcha.).

6.4. *Proyecto /Cámara* permite modificar la vista desde la que se ve el objeto. Esta opción, no modifica la posición del objeto. Con la pestaña *Lens Settings*, se puede seleccionar la perspectiva, y la distancia al foco que genera la misma. Si se elige la opción *Orthographic*, por ejemplo, en lugar de ver los objetos en perspectiva se verán a tamaño original, independientemente de la distancia entre ellos.

6.5. *Proyecto / Imagen* secciona la resolución de la ventana de visualización o la corrección *Gamma* de su luminancia. A su vez, se puede optar a opciones más avanzadas si en lugar de *Básico* se selecciona *Fotografía*.

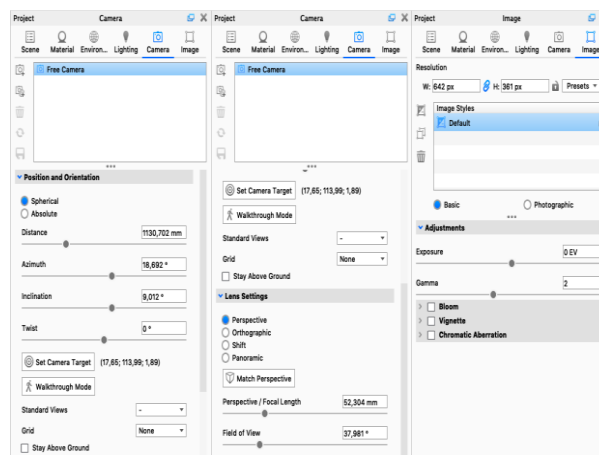


Ilustración 127: Barra de herramientas Cámara (izda. y centro) e Imagen (dcha.).

6.6. En el icono *Render* se encuentran las últimas herramientas para el ajuste de la imagen final y el renderizado del modelo.

8.3 Renderizado del motor

A continuación, se presenta el procedimiento seguido para el renderizado del motor. Manteniendo los pasos descritos en el apartado anterior, primeramente, se ha seleccionado menú *Archivo/Importar* para cargar el conjunto del motor de vapor oscilante de un cilindro modelado en Solid Edge.

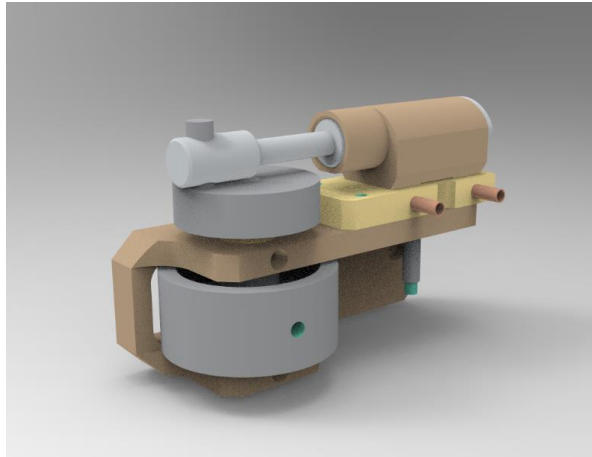


Ilustración 128: Modelo Importado

Normalmente, el motor se vería en blanco. En este caso, como se han añadido materiales a las piezas durante el modelado en Solid Edge, aparecen diferentes colores.

Se ha dejado tanto el *Environment* como el *Backplate* por defecto del programa pues eran apropiados y por consiguiente solo habra que ajustar la iluminación y la imagen.

Por último, los materiales se han buscado en la lista de *Materiales* y arrastrados directamente sobre cada una de las piezas que componen el conjunto. Después, se desplaza el modelo a la posición adecuada y desde *Render* en el menú inferior de la pantalla, con la configuración por defecto, se pone la vista en cola. Se actúa igual con todas las vistas deseadas y por último se renderiza. Este proceso puede tardar, pero no es necesario estar presente.

Seguidamente se presentan algunas vistas del resultado final. Estas dan al conjunto una visión más realista y ayudan a entender el funcionamiento del motor y la relación que adquieren las piezas entre sí.

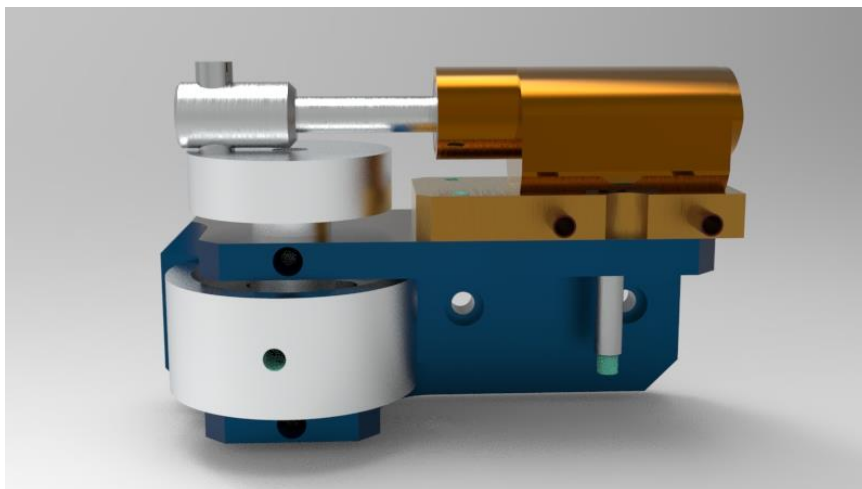


Ilustración 129: Vista superior motor de vapor

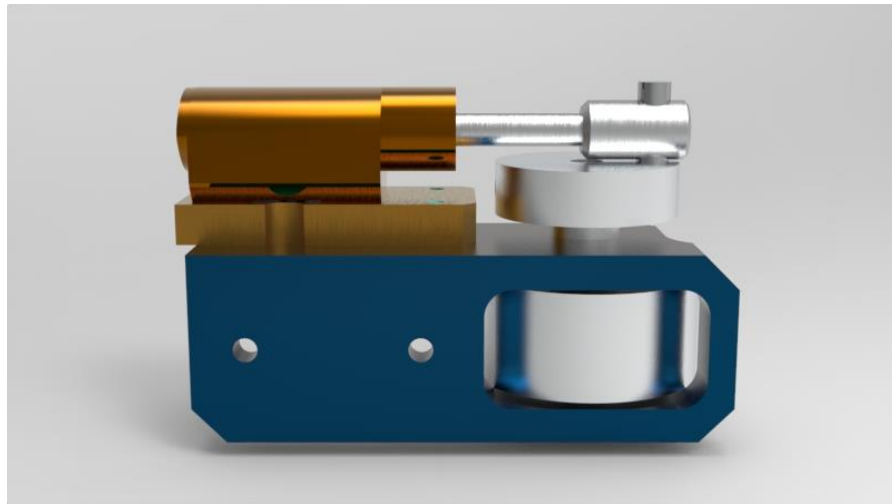


Ilustración 130: Vista inferior motor de vapor

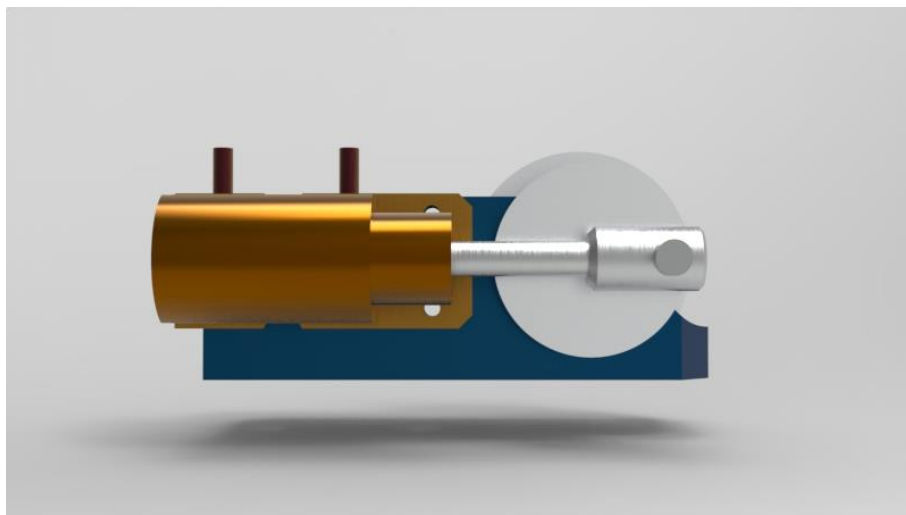


Ilustración 131: Vista principal motor de vapor

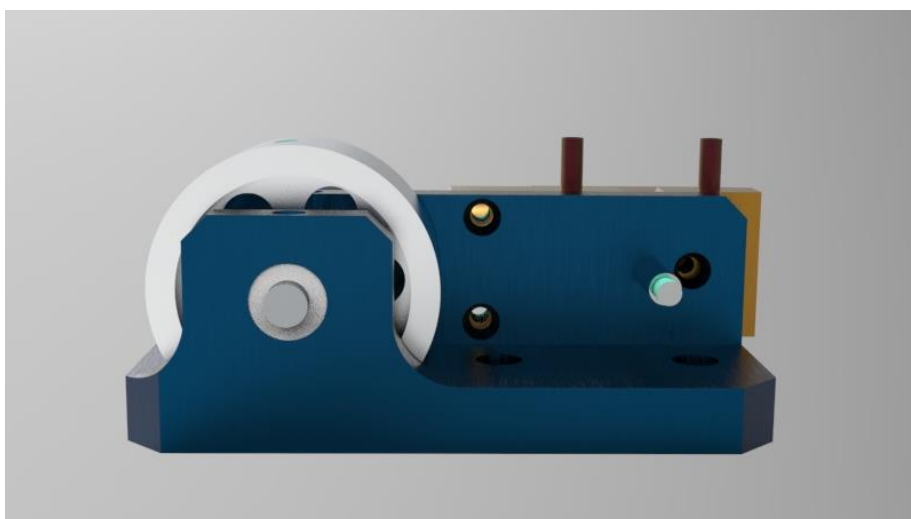


Ilustración 132: Vista posterior motor de vapor

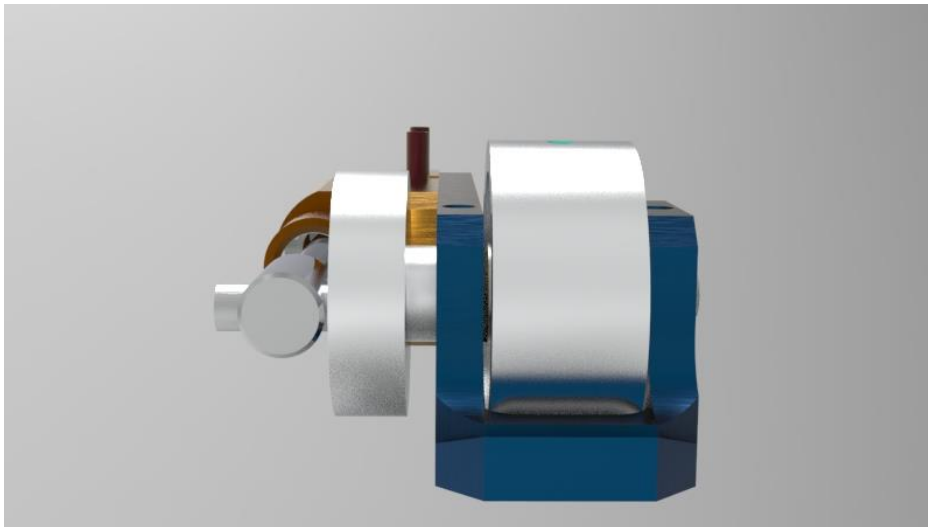


Ilustración 133: Vista lateral izquierda motor de vapor

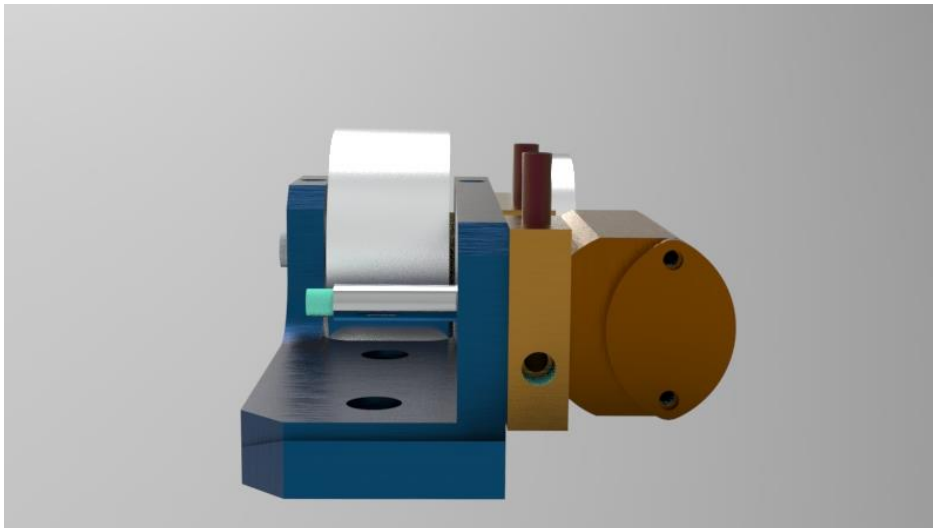


Ilustración 134: Vista lateral derecha motor de vapor

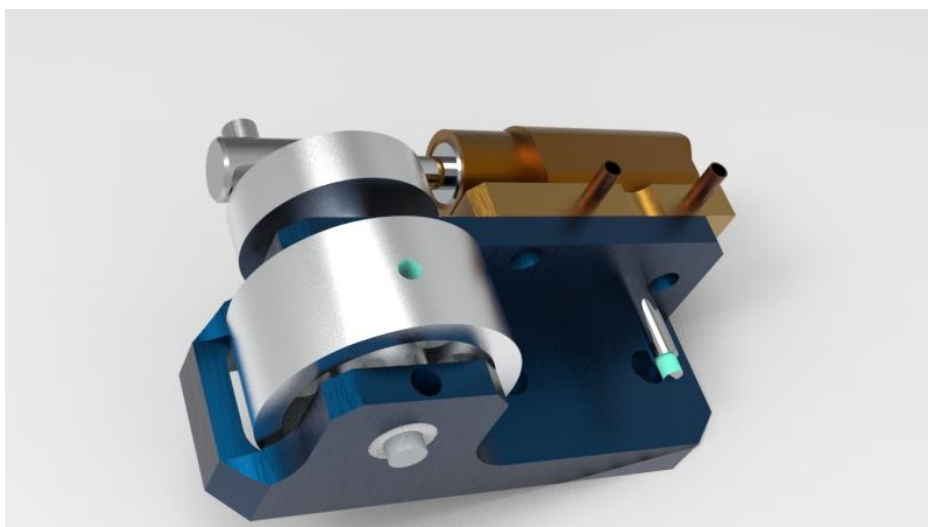


Ilustración 135: Perspectiva 1

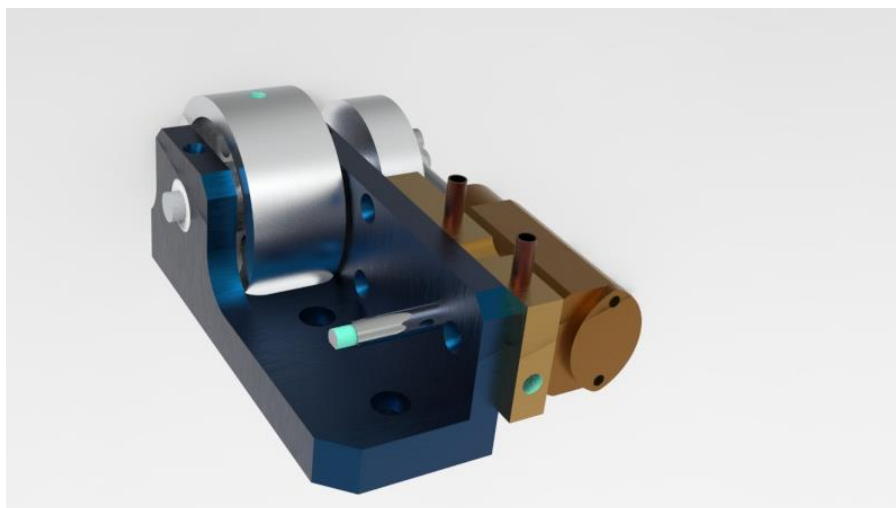


Ilustración 136: Perspectiva 2

9 CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS

Con la finalización del trabajo se puede decir que los objetivos planteados se han cumplido, afianzando los conocimientos sobre la herramienta empleada y adquiriendo otros nuevos.

Se han modelado las piezas del motor con el software Solid Edge y se han ensamblado para obtener el conjunto final. Además, se ha efectuado una recreación virtual en la que se simula el movimiento del motor y una perspectiva explosionada del mismo para comprender mejor las piezas que lo componen y su montaje. Por último, con el programa Keyshot, se ha conseguido una versión más realista de dicho conjunto.

- Se pueden considerar como aspectos significativos:
 1. La recuperación de la historia de los motores en general y del vapor en particular. Se han añadido datos básicos que ya eran conocidos de antemano, como la relevancia que adquirieron Watt, Stirling, Otto o Diesel, sin embargo, se ha podido profundizar en información, también relevante, como son los precedentes y antecedentes del motor de vapor o el papel que jugaron otros inventores no tan conocidos como Cugnot, Trevithick, Fulton o Bowie, por ejemplo.
 2. El estudio de los motores, ya que durante el grado no se ven. Ha sido útil haber conocido el funcionamiento del motor de vapor y también el proceso de combustión externa, similar en todos los motores de este tipo.
 3. La experiencia adquirida en el manejo del programa de modelado Solid Edge, que puede ser muy útil y positiva de cara a un futuro profesional.
- El trabajo podría seguir ampliándose con:
 1. La elaboración de documentación geométrica: plano de conjunto y planos de detalle de cada elemento del motor que contemplen tolerancias dimensionales, geométricas, estados superficiales, etc.
 2. Análisis mediante técnicas CAE (Computer-Aided Engineering) de esfuerzos, tanto estático como dinámico, utilizando software de elementos finitos como Abaqus o Ansys.

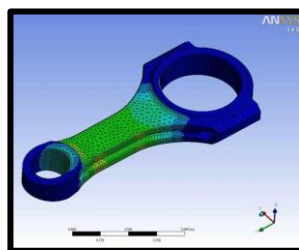


Ilustración 137: Ejemplo de análisis de esfuerzos con elementos finitos [63].

3. Un modelo 3D interactivo utilizando realidad virtual y/o aumentada podría utilizarse como herramienta académica para explicar el funcionamiento de los primeros motores de vapor. La posibilidad de desmontarlo virtualmente para observar las piezas que lo componen puede instruir a futuros ingenieros mostrándoles los mecanismos que ya existen con sus pros y sus contras y así mejorarlos en futuros diseños.

4. Hacer su prototipado, es decir, la impresión en 3D a partir del modelo ya creado. De esta manera manualmente se podrían montar y desmontar las piezas del motor con facilidad para llegar a entender su funcionamiento.

Al término de este proyecto, viendo en perspectiva el trabajo realizado, se observa el enriquecimiento académico y personal adquirido con la experiencia y que será de gran utilidad al alumno en su andadura profesional.

REFERENCIAS

- [1] Solid Edge Complete Product Development Portfolio. *Siemens 2020*. Disponible en: <https://solidedge.siemens.com/en/solutions/products/complete-product-development-portfolio/>. [Acceso: 07-dic-2020]
- [2] *El motor térmico. Clasificación y elementos constructivos*. Disponible en: https://www.macmillaneducation.es/wp-content/uploads/2018/09/motores_libroalumno_unidad1muestra.pdf. [Acceso: 22-dic-2020]
- [3] *Cómo funciona y qué ventajas tiene un motor Stirling*. Disponible en: <https://www.ahorreluz.es/blog/motor-stirling-ventajas/>, [Acceso: 22-ago-2020]
- [4] *The Stirling Engine of 1816*. Disponible en: <http://hotairengines.org/closed-cycle-engine/stirling-1816> [Acceso: 22-dic-2020]
- [5] Motor Otto. *Wikipedia*. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_Otto [Acceso: 22-dic-2020]
- [6] Gustav de Laval. *Wikipedia*. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Gustav_de_Laval. [Acceso: 22-dic-2020]
- [7] *Turbinas*. Disponible en: <http://materias.fi.uba.ar/6720/unidad6.PDF>. [Acceso: 22-dic-2020]
- [8] Charles Algernon Parsons. *Encyclopaedia Britannica*. Disponible en: <https://www.britannica.com/biography/Charles-Algernon-Parsons>. [Acceso: 22-dic-2020]
- [9] *Twinkl.es*. Disponible en: <https://www.twinkl.es/illustration/parsons-steam-turbine>. [Acceso: 22-dic-2020]
- [10] Diesel engine. *Wikipedia*. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_engine. [Acceso: 22-dici-2020].
- [11] Okubo, M. and Kuwahara, T. “Chapter 1 Introduction”, en *New Technologies for Emission Control in Marine Diesel Engines* (Masaaki Okubo and Takuya Kuwahara, eds.), Butterworth-Heinemann, 2020, pp. 1 - 24.
- [12] Barco de vapor. *Wikipedia*. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Barco_de_vapor [Acceso: 22-dic-2020]
- [13] *Arte militar y naval*. Disponible en: <http://www.artemilitarynaval.es/2015/03/primer-barco-propulsado-por-turbina.html> [Acceso: 22-dic-2020]
- [14] Locomotora de vapor. *Wikipedia*. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Locomotora_de_vapor. [Acceso: 22-dic-2020].
- [15] La máquina de vapor. *Wikipedia*. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina_de_vapor. [Acceso: 19-dic-2020]
- [16] Máquina de vapor. *IES Santa Bárbara*. Disponible en: <http://iessantabarbara.es/departamentos/fisica/tecnologia/webquest/maquinas/WebMaquinas/html2/maquina%20de%20vapor.html> [Acceso: 16-dic-2020].
- [17] Morley, N. “Trajan's Engines”. *Greece and Rome*, 47(2), pp. 197-210, oct 2000, <https://doi.org/10.1093/gr/47.2.197>
- [18] Herón de Alejandría. *Revista de Historia*. Disponible en: <https://revistadehistoria.es/heron-de-alejandria-la-maquina-vapor/> [Acceso: 16-dic-2020]
- [19] Sociedad y Tecnología: edad moderna. *Wordpress*. Disponible en: <https://sociedadytecnologia20112g5.wordpress.com/edades/moderna/> [Acceso: 22-dic-2020].

- [20] Diagrama descriptivo de Giovanni Branca's Steam Engine (1629). *Alamy Ltd.* Disponible en: <https://www.alamy.es/diagrama-descriptivo-de-giovanni-brancas-steam-engine-1629-que-se-utiliza-para-trabajar-una-estampacion-molino-giovanni-branca-1571-1645-un-ingeniero-y-arquitecto-italiano-fecha-del-siglo-xix-image186327016.html>. [Acceso: 22-dic-2020].
- [21] Tomé-López, C. “La máquina de vapor (1)”. *Cuaderno de Cultura Científica: Experientia docet*, 2017. Disponible en: <https://culturacientifica.com/2017/05/16/la-maquina-vapor-1/>. [Acceso: 16-dic-2020]
- [22] Castilla, A. “La máquina de vapor: Thomas Savery y Thomas Newcomen”. *Economía y futuro*, 2013. Disponible en: <https://economiyfuturo.es/la-maquina-de-vapor-thomas-savery-y-thomas-newcomen-3/>. [Acceso: 28-dic-2020]
- [23] Watkins, T. “Newcomen Steam Engine”. *San José State University: Department of Economics*. Disponible en: <https://www.sjsu.edu/faculty/watkins/newcomen5.htm>. [Acceso: 28-dic-2020]
- [24] Boettcher, D. “Thomas Newcomen and the Invention of the Steam Engine”. Disponible en: <https://www.davidboettcher.com/newcomen.php>. [Acceso: 28-dic-2020]
- [25] Kingsford, P. W. “James-Watt”. *Encyclopaedia Britannica*. Disponible en: <https://www.britannica.com/biography/James-Watt>. [Acceso: 28-dic-2020]
- [26] Tomé-López, C. “La máquina de vapor (2)”. *Cuaderno de Cultura Científica: Experientia docet*, 2017. Disponible en: <https://culturacientifica.com/2017/05/23/la-maquina-vapor-2/>. [Acceso: 28-dic-2020]
- [27] Nicolas Joseph Cugnot. *New World Encyclopedia*. Disponible en: https://www.newworldencyclopedia.org/entry/Nicolas-Joseph_Cugnot [Acceso: 2-ener-2021]
- [28] Alpkunt, B. “History of steam power – The steam engine timeline”. *Evrenatlası*. Disponible en: <https://evrenatlası.com/en/2020/02/history-of-steam-power-the-steam-engine-timeline/> [Acceso: 2-ener-2021]
- [29] Ricci, T. “Richard-Trevithick “. *The American Society of Mechanical Engineers (ASME)*. 2012. Disponible en: <https://www.asme.org/topics-resources/content/richard-trevithick> [Acceso: 5-ener-2021]
- [30] History of the steam engine. *Wikipedia*. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_steam_engine. [Acceso: 5-ener-2021]
- [31] The Puffin’ Devil’s first journey. *Cornwall forever*. Disponible en: <https://www.cornwallforever.co.uk/history/the-puffin-devils-first-journey> [Acceso: 5-ener-2021]
- [32] Advrider. Disponible en: <https://advrider.com/f/threads/richard-trevithick-steam-trailblazer-extraordinaire.759395/> [Acceso: 5-ener-2021]
- [33] Richard_Trevithick. *Wikipedia*. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Richard_Trevithick [Acceso: 5-ener-2021]
- [34] Charlotte Dundas. *Wikipedia*. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Charlotte_Dundas [Acceso: 7-ener-2021]
- [35] Robert Fulton. *Weebly*. Disponible en: <http://49817097.weebly.com/steamboat.html> [Acceso: 7-ener-2021]
- [36] Ruiza, M., Fernández, T. y Tamaro, E. “Biografía de Robert Fulton”. *Biografías y Vidas. La enciclopedia biográfica en línea*. 2004. Disponible en: <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/f/fulton.htm> [Acceso: 7-ener-2021]
- [37] SS_Savannah. *Wikipedia*. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/SS_Savannah [Acceso: 5-ener-2021]
- [38] Nicolas Léonard Sadi Carnot. *Wikipedia*. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Nicolas_L%C3%A9onard_Sadi_Carnot [Acceso: 7-ener-2021]
- [39] A history of railroad technology. *(BNSF) Burlington Northern Santa Fe Foundation*. Disponible en: <https://railroad.lindahall.org/essays/locomotives.html> [Acceso: 5-ener-2021]
- [40] Ictíneo II. *Wikipedia*. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Ict%C3%ADneo_II [Acceso: 20-ener-2021]

- [41] Submarino. *Wikipedia*. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Submarino> [Acceso: 20-ener-2021]
- [42] B&W's History. *Babcock & Wilcox Enterprises*. Disponible en: <https://www.babcock.com/en/about/history> [Acceso: 5-ener-2021]
- [43] Evolution of the Babcock & Wilcox Water-Tube Boiler. *The Project Gutenberg Literary Archive Foundation*. Disponible en: <https://www.gutenberg.org/files/22657/22657-h/chapters/evolution.html> [Acceso: 5-ener-2021]
- [44] Crawford, M. "Charles Algernon Parsons". *The American Society of Mechanical Engineers (ASME)*. 2012. Disponible en: <https://www.asme.org/topics-resources/content/charles-a-parsons> [Acceso: 5-ener-2021]
- [45] "Imagen de la primera turbina de vapor compuesta de Parson en 1887". *Project Gutenberg*. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/Charles_Algermon_Parsons (bajo licencia Creative Commons CC0 1.0 Universal) [Acceso: 5-ener-2021]
- [46] "Cómo funciona la energía geotérmica." *GeologiaWeb*. Disponible en: <https://geologiaweb.com/recursos-naturales/como-funciona-energia-geotermica/>. [Acceso: 20-ener-2021]
- [47] "Como funciona una central nuclear." *Tecnomat*. Disponible en: <https://www.tecnomat.es/blog/como-funciona-una-central-nuclear/>. [Acceso: 20-ener-2021]
- [48] "Manual de la máquina de vapor." *Las maquetas de OPITEC*. Disponible en: <https://nbg-web01.opitec.com/img/112/420/112420bm.pdf>. [Acceso: 20-oct-2020]
- [49] William Murdoch. *Wikipedia*. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/William_Murdoch [Acceso: 19-dic-2020]
- [50] Oscillating cylinder steam engine. *Wikipedia*. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Oscillating_cylinder_steam_engine [Acceso: 19-dic-2020]
- [51]. Romero Gómez, F. J. *Recreación Virtual del Primer Barco de Vapor con Ruedas de Paletas*. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería, 2010.
- [52] "6 etapas imprescindibles en el diseño industrial: máquinas y productos". *HELP engineering*. Disponible en: <https://www.helpengineering.com/es/blog/6-etapas-imprescindibles-en-el-diseno-industrial-maquinas-y-productos>. [Acceso: 19-dic-2020]
- [53] "Directorio de software para diseño mecánico." *3DCadPortal. 1er Portal CAD/CAM/CAE*. Disponible en: <https://www.3dcadportal.com/3d-software/mcad/> [Acceso: 18-dic-2020]
- [54] CATIA. *Wikipedia*. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/CATIA> [Acceso: 18-dic-2020]
- [55] SolidWorks. *WorldVectorLogo*. Disponible en: <https://worldvectorlogo.com/es/logo/solidworks> [Acceso: 18-dic-2020]
- [56] Siemens NX. *WorldVectorLogo*. Disponible en: <https://www.logolynx.com/> [Acceso: 18-dic-2020]
- [57] Sketchup. *Trimble*. Disponible en: <https://www.sketchup.com/es> [Acceso: 18-dic-2020]
- [58] Solid Edge. *X-plan Ingeniería colaborativa S.R.L.* Disponible en: <http://www.x-plan.com/soposte-y-descargas/solid-edge-logo/> [Acceso: 18-dic-2020]
- [59] PTC Creo. *PTC Creo Parametric*. Disponible en: <https://www.ptc.com/es/products/creo>. [Acceso: 18-dic-2020]
- [60] Inventor. *AUTODESK*. Disponible en: <https://www.autodesk.es/> [Acceso: 18-dic-2020]
- [61] Keyshot. *Pixel sistemas S.L.* Disponible en: <https://www.pixelsistemas.com/solid-edge/disenomecanico/keyshot> [Acceso: 18-dic-2020]
- [62]. Raillo Espinosa de los Monteros, A. *Modelado en CATIA y recreación virtual en KeyShot del Webster Engine*. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería, 2019.
- [63] Ansys. *3DCadPortal. 1er Portal CAD/CAM/CAE*. [En línea]. Disponible en: <http://www.3dcadportal.com/ansys.html>. [Acceso: 17-may-2021]

