



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA MULTIFUNCIÓN PARA JARDINERÍA MOTORIZADA DE USO INDIVIDUAL, ACCIONADA POR MOTOR DE COMBUSTIÓN DE 2 TIEMPOS

AUTOR: ANDRÉS RODRIGO RÁEZ

TUTOR: JOSÉ MARÍA GOMIS MARTÍ

COTUTOR: ANTONIO JOSÉ MOLLA CALABUIG

Curso Académico: 2016-17

RESUMEN

En este Trabajo Final de Grado se aborda el modelado, la simulación y el análisis de una máquina herramienta multifunción para jardinería, más concretamente su unidad motora. Estas tareas se llevan a cabo con el software Autodesk Inventor 2016.

La motivación principal por la que se ha seleccionado este trabajo es el interés personal mostrado hacia las asignaturas impartidas referentes a la ingeniería gráfica y el trabajo con modelos tridimensionales, ya sea para su posterior análisis con programas CAE o por las nuevas técnicas de prototipado en 3D como son la impresión 3D y la fabricación CNC. El punto en común entre estas áreas es el prototipo virtual, y el TFG es un buen momento para profundizar en el manejo del software dedicado a su creación.

A lo largo del trabajo se detalla el proceso recorrido durante la realización del prototipo virtual de la herramienta estudiada, desde los pasos seguidos en el modelado de las piezas, las operaciones de modelado empleadas y las restricciones impuestas en el ensamblaje del prototipo.

Una vez finalizado el prototipo, este se emplea para realizar un análisis dinámico con las condiciones de funcionamiento de un motor real, tales como la fuerza máxima soportada y el régimen de giro en el que se produce dicha fuerza.

La última parte del trabajo es la destinada al análisis de tensiones de una de las piezas del motor. Este análisis se realiza por el método de los elementos finitos, el cual, mediante los esfuerzos obtenidos en el análisis dinámico, permite conocer la validez de las piezas modeladas o si, por lo contrario, es necesario realizar modificaciones.

En paralelo con la memoria, se genera un presupuesto de ejecución y un documento de planos con vistas del ensamblaje y detalles de algunas piezas de este.

Por último, cabe destacar el acierto que ha supuesto el empleo de un motor de 2 tiempos real como apoyo en el modelado de las piezas y ensamblaje del prototipo.

Palabras clave: DISEÑO, CAD 3D, PROTOTIPO VIRTUAL, METODO ELEMENTOS FINITOS, SIMULACION CINEMATICA Y DINAMICA

Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por motor de combustión de 2 tiempos.

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG

- Memoria
- Presupuesto
- Planos

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA ESTUDIADA.....	1
1.1. Herramientas para jardinería. Tipologías y métodos de propulsión existentes.	1
1.2. Alcance del trabajo.....	2
1.2. Máquinas térmicas y motores térmicos de combustión interna alternativa. Descripción del motor de la herramienta.	2
1.3. Transmisión del movimiento del eje a la herramienta	5
2. AUTODESK INVENTOR. MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS	7
2.1. Introducción al software Autodesk Inventor	7
2.2. Método de los Elementos finitos	8
2.3. Inventor y el MEF	9
3. MODELADO Y ENSAMBLAJE	11
3.1 Modelado de las partes fundamentales de la herramienta multifunción.	11
3.1.1 Cilindro	13
3.1.2 Carter 1.....	15
3.1.3 Carter 2.....	17
3.1.4 Junta cárter	18
3.1.5 Junta cilindro-cárter	18
3.1.6 Pistón.....	19
3.1.7 Rodamiento del pistón.....	20
3.1.8 Bulón	20
3.1.9 Biela.....	20

3.1.10 Cigüeñal 1.....	22
3.1.11 Cigüeñal 2.....	24
3.1.12 Eje cigüeñal	24
3.1.13 Rodamiento biela	25
3.1.14 Rodamiento cigüeñal	25
3.1.15 Ventilador.....	26
3.1.16 Chaveta	27
3.1.17 Cubierta ventilador	27
3.1.18 Cubierta cilindro.....	28
3.1.19 Embrague	29
3.1.20 Perno embrague.....	30
3.1.21 Muelle de extensión.....	31
3.1.22 Bujía.....	32
3.1.23 Cubierta bujía.....	32
3.1.24 Plato arranque	33
3.1.25 Arranque manual	33
3.1.26 Escape	34
3.1.27 Cubierta escape.....	35
3.1.28 Unión cilindro-carburador.....	36
3.1.29 Junta carburador	36
3.1.30 Carburador	37
3.1.31 Cubierta y filtro del carburador	37
3.1.32 Depósito	39
3.1.33 Transformador	40
3.1.34 Elementos del Centro de contenido	40
3.2 Ensamblaje de la herramienta	41
4. SIMULACIÓN Y COMPROBACIÓN	47
4.1. Simulación dinámica con Inventor	49
4.2. Resultados de la simulación.....	50
5. ANÁLISIS MEDIANTE EL METRODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS Y CONCLUSIONES	52
5.1. Análisis de tensión	52
5.2. Obtención de resultados.....	53

5.3. Conclusiones del estudio.....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	58

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. INTRODUCCIÓN	61
2. PRESUPUESTO 1: DESARROLLO DEL TFG.....	61
3. PRESUPUESTO 2: EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIAL EMPLEADO.....	62
4. PRESUPUESTO GLOBAL	63

ÍNDICE DE PLANOS

Perspectiva, alzado principal y alzado posterior del motor con su envolvente.....	Plano N.º 1
Plano de conjunto del motor	Plano N.º 2
Cilindro	Plano N.º 3
Biela.....	Plano N.º 4
Cigüeñal 1.....	Plano N.º 5
Cigüeñal 2.....	Plano N.º 6
Pistón.....	Plano N.º 7
Ventilador.....	Plano N.º 8

Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por motor de combustión de 2 tiempos.

Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por motor de combustión de 2 tiempos.

MEMORIA

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1 Distintas herramientas para el jardín</i>	1
<i>Figura 1.2 Principio energético del motor térmico</i>	3
<i>Figura 1.3 Fases del ciclo de 4T (arriba) y de 2T (abajo) (Imágenes del libro Motores de Combustión Interna Alternativos)</i>	4
<i>Figura 1.4 Placa de características del motor de referencia</i>	5
<i>Figura 1.5 Funcionamiento del embrague centrífugo</i>	6
<i>Figura 2.1 Imagen del análisis línea del libro Inventor y su simulación con ejercicios prácticos</i>	10
<i>Figura 3.1 Fotografía del desmontaje del motor</i>	11
<i>Figura 3.2 Detalle extrusión cilindro</i>	13
<i>Figura 3.3 Detalle elevación lumbrera de escape</i>	14
<i>Figura 3.4 Detalle patrón rectangular aletas</i>	14
<i>Figura 3.5 Detalle operación simetría</i>	15
<i>Figura 3.6 Detalle corte cárter 1</i>	16
<i>Figura 3.7 Detalle vaciado cárter 1</i>	16
<i>Figura 3.8 Detalle cárter 2</i>	17
<i>Figura 3.9 Detalle extrusión cárter 2</i>	18
<i>Figura 3.10 Detalle pistón</i>	19
<i>Figura 3.11 Detalle revolución biela</i>	21
<i>Figura 3.12 Detalle simetría en la biela</i>	22
<i>Figura 3.13 Detalle muescas biela</i>	22
<i>Figura 3.14 Detalle revolución cigüeñal 1</i>	23
<i>Figura 3.15 Cigüeñal 1 finalizado</i>	23
<i>Figura 3.16 Detalle chaveta cigüeñal 2</i>	24
<i>Figura 3.17 Rodamiento de bolas finalizado</i>	25
<i>Figura 3.18 Detalle evolución del alabe</i>	26
<i>Figura 3.19 Detalle sección ventilador</i>	26
<i>Figura 3.20 Ventilador finalizado</i>	27
<i>Figura 3.21 Detalle empalme variable</i>	28
<i>Figura 3.22 Detalle ranuras de ventilación</i>	29

<i>Figura 3.23 Detalle banda fricción</i>	<i>30</i>
<i>Figura 3.24 Perno finalizado</i>	<i>31</i>
<i>Figura 3.25 Ventana generador de muelles de extensión.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 3.26 Detalle barrido bujía</i>	<i>32</i>
<i>Figura 3.27 Cubierta arranque manual finalizada</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3.28 Detalle ranurado cubierta escape</i>	<i>35</i>
<i>Figura 3.29 Detalle elevación en modo corte</i>	<i>36</i>
<i>Figura 3.30 Detalle parte del filtro</i>	<i>38</i>
<i>Figura 3.31 Filtro con su tapa.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 3.32 Cubierta del carburador finalizada</i>	<i>39</i>
<i>Figura 3.33 Transformador finalizado.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 3.34 Detalle coincidencia de ejes de agujeros.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 3.35 Piezas móviles del motor.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 3.36 Detalle introducción partes móviles en el motor</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3.37 Detalle embrague ensamblado</i>	<i>45</i>
<i>Figura 3.38 Frontal ensamblaje finalizado.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 3.39 Parte trasera ensamblaje finalizado</i>	<i>46</i>
<i>Figura 4.1 Detalle de la fuerza sobre el pistón.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 5.1 Fuerzas de reacción (grises) y fuerza externa en la biela (rosa)</i>	<i>53</i>
<i>Figura 5.2 Malla de la biela y fuerzas de reacción sobre ella.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 5.3 Tensiones de Von Mises y Coeficiente de seguridad en la pieza modelada.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 5.4 Coeficiente de seguridad de la biela fabricada en acero al carbono</i>	<i>56</i>

1. DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA ESTUDIADA

En este primer capítulo se va a exponer una breve introducción de las herramientas para jardinería, los distintos tipos existentes, sus principios de funcionamiento y posteriormente, se categorizará la máquina estudiada en este trabajo y se expondrán sus características principales.

1.1. Herramientas para jardinería. Tipologías y métodos de propulsión existentes.

A día de hoy, existen en el mercado una gran variedad de herramientas para jardinería. Desbrozadoras, cortasetos, motosierras, cortabordes, etc. El catálogo puede ser interminable, ya que prácticamente existe una herramienta para realizar cada una de las tareas a desarrollar en un jardín común. Por ello, surge la idea de tratar de unificar dichas herramientas en una sola. Se trataría de crear una unidad motora que pueda propulsar una gran variedad de herramientas diferentes, con la posibilidad de intercambiar estas según la necesidad y de manera sencilla.



Figura 1.1 Distintas herramientas para el jardín

El principal inconveniente a esta solución, son las diferencias de funcionamiento que existen entre estas herramientas. Algunas aprovechan el movimiento giratorio del eje del motor para hacer girar un cabezal de corte en el extremo de una lanza, mientras que otras, necesitan un movimiento alternativo, o de vaivén para que exista un movimiento relativo entre las cuchillas de corte.

Por otro lado, para cada herramienta de las nombradas anteriormente, los fabricantes han elaborado distintas soluciones para la dotar de movimiento al útil de corte.

Existen herramientas propulsadas por motores eléctricos, ya sean alimentados directos de la red (con enchufe), o por baterías. Sus principales inconvenientes son, que en el caso de las de

alimentación directa, su alcance está limitado por la longitud del cable, y por la disponibilidad, o no de tomas eléctricas en el jardín, mientras que las alimentadas por baterías, sus limitaciones son la autonomía y la potencia disponible.

También se fabrican herramientas propulsadas con motores de combustión. Su principal ventaja es la autonomía, pese a tener un pequeño depósito, este se puede rellenar sin esperas como en el caso de las baterías eléctricas. Además, estos motores pueden desarrollar una buena potencia con un motor de tamaño contenido. Pese a ello, su principal inconveniente es que se alimenta con combustible derivado del petróleo, por lo que produce emisiones contaminantes y crea dependencia de los combustibles fósiles.

1.2. Alcance del trabajo

Tras un pequeño análisis de las opciones disponibles hoy en día, es momento de decir y acotar límites del estudio a desarrollar.

Se plantea diseñar una herramienta de jardinería multifunción, es decir, una máquina que permita el intercambio de distintos útiles para trabajar en el jardín. Dicha herramienta, deberá estar propulsada por un motor versátil y potente, por lo que la solución más adecuada y económica sería utilizar un motor de combustión.

El trabajo consiste en el modelado 3D de los componentes mecánicos, creación de un prototipo virtual, simulación de funcionamiento, y el análisis de esfuerzos de uno de sus elementos. Además, se generarán documentación y planos de detalle de la herramienta.

Dada la complejidad de la herramienta a diseñar y el tiempo disponible para realizar el estudio (300 horas), este trabajo se centrará en el diseño de la unidad motora.

Se modelarán los componentes principales, se ensamblará un prototipo virtual de la herramienta, y se creará una simulación de funcionamiento. Así mismo se realizará un análisis de esfuerzos en la biela del motor de combustión que moverá la herramienta y por último se generarán los planos de los objetos modelados.

1.2 . Máquinas térmicas y motores térmicos de combustión interna alternativa.

Descripción del motor de la herramienta.

Comenzando por la definición más básica, la de máquina en sí, la cual, según el Diccionario de la Real Academia Española, es la siguiente *“Conjunto de aparatos combinados para recibir cierta forma de energía y transformarla en otra más adecuada, o para producir un efecto determinado”* [1]. Trasladando esta definición al campo de las máquinas térmicas, podemos decir que una máquina térmica, es aquel conjunto de elementos mecánicos que aprovecha una variación de energía disponible en el flujo compresible que la atraviesa para intercambiar energía mecánica.

Cabe puntualizar la estrecha semejanza entre la definición de las máquinas térmicas y las máquinas hidráulicas, ya que estas se diferencian en la naturaleza del flujo que las recorre. Por un lado, en cuanto a las térmicas, se trabaja con flujo compresible (del cual se aprovecha la energía térmica), mientras que, las hidráulicas, trabajan con flujos incompresibles (su densidad se mantiene constante).

En este trabajo, se va a estudiar un motor de combustión interna, una máquina térmica que *“obtiene energía mecánica a partir del estado térmico del fluido compresible que atraviesa la máquina”* [2]. Dicho estado térmico se genera, en este tipo de motores, por la combustión de la mezcla de combustible y aire que recorre el interior del motor.

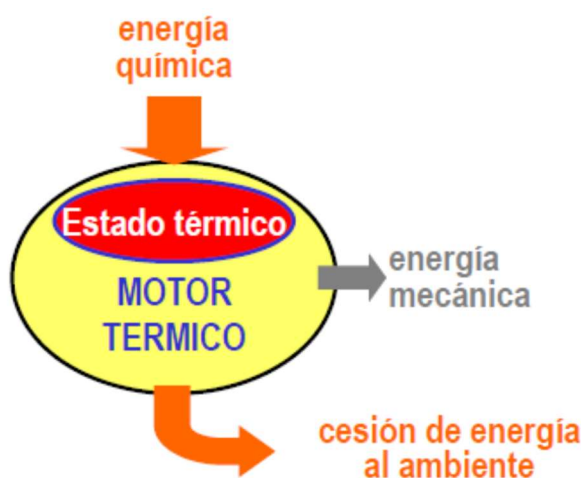


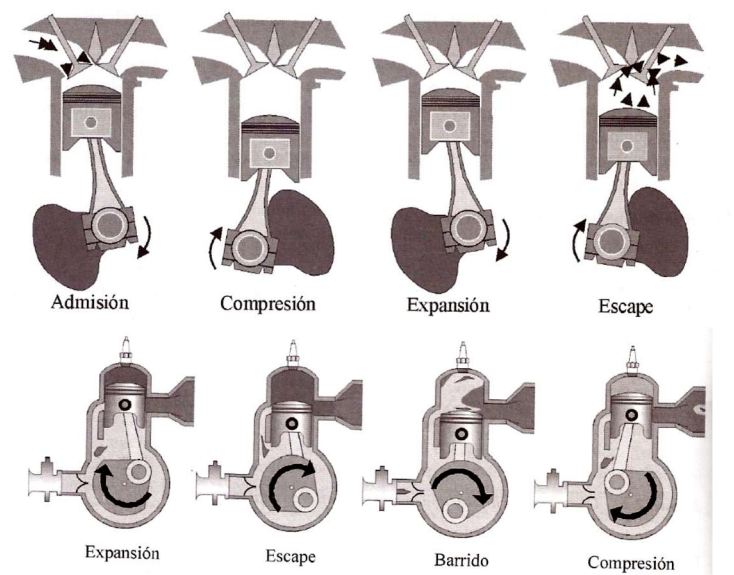
Figura 1.2 Principio energético del motor térmico

Dentro de la gran variedad de motores que se encuentran clasificados como motores de combustión interna, los motores más usados en este tipo de herramientas, son los llamados motores de 2 tiempos. Estos se caracterizan por que realizan un ciclo de trabajo por cada revolución de su eje. Dicho ciclo de trabajo consta de cuatro etapas o procesos:

- 1) Admisión: es la fase en la que el motor recibe la mezcla de combustible y aire en su interior.
- 2) Compresión: en esta fase el fluido contenido en el cilindro se comprime, hasta que se produce la chispa que inicia la combustión.
- 3) Expansión: esta es la fase en la que el aumento de presión debido a la combustión de la mezcla, empuja el pistón resultando en un movimiento del eje. Esta fase es la única que produce trabajo efectivo en todo el ciclo.
- 4) Escape: es la fase final del ciclo en la que los gases resultado de la combustión abandonan el interior del motor.

En los motores más comunes hoy en día, los conocidos como motores de 4 tiempos, este ciclo se lleva a cabo en dos revoluciones del eje. Esto es debido a que la renovación de los gases, más conocido como renovación de la carga, se lleva a cabo por el movimiento del émbolo

(pistón), mientras que en los de 2 tiempos, el proceso de barrido es el encargado de dar entrada a y salida a los gases.



*Figura 1.3 Fases del ciclo de 4T (arriba) y de 2T (abajo)
(Imágenes del libro Motores de Combustión Interna Alternativos)*

Este proceso de barrido se produce por que los motores de 2 tiempos disponen de lumbreras y no de válvulas como los motores de 4 tiempos. Las lumbreras son aberturas que existen en el interior de cilindro, para que, gracias a las diferencias de presión en su interior, el motor reviva mezcla con aire limpio del exterior, y, por otra parte, pueda expulsar los gases resultantes de la combustión.

De esta característica morfológica de los motores de 2 tiempos, se obtiene la principal ventaja de estos motores. Para misma cilindrada y mismo régimen de giro, el motor de 2 tiempos proporciona el doble de potencia que uno de 4 tiempos, por lo que en motores de cilindrada limitada es un punto muy a tener en cuenta.

Otra ventaja de estos motores es que, al realizar la renovación de la carga por barrido por cárter, estos tienen una gran simplicidad mecánica, al tener pocas piezas en movimiento, lo que provoca que su precio de adquisición y mantenimiento sea muy bajo. Pero, por su contra, este proceso provoca la pérdida de mezcla fresca sin quemar debido a que esta se emplea para vaciar el cilindro en la fase de escape, lo que reduce el rendimiento.

Para el diseño del motor de la herramienta estudiada, por la dificultad que podía presentar la representación el motor, ya sea por la morfología de sus componentes o por las medidas desconocidas a priori, se decide basar el estudio en el motor de una máquina desbrozadora, la cual se podía desmontar y medir, para poder realizar una representación lo más cercana a un motor funcional, pese a que se han realizado algunas pequeñas modificaciones. La placa característica del motor en el que se ha basado el modelado, se encuentra en la *Figura 1.3*.

Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por motor de combustión de 2 tiempos.



Figura 1.4 Placa de características del motor de referencia

Se trata de un motor de 2 tiempos de la marca Steiner, de 42,7cm³ de cilindrada y con una potencia máxima de 1,25kW a 6500 rpm, y un régimen de giro máximo de 7400 rpm.

1.3. Transmisión del movimiento del eje a la herramienta

Una vez analizada y definida la unidad motriz, es momento de analizar y definir otra parte fundamental de la herramienta estudiada, la transmisión del movimiento entre el motor y el útil de corte.

En el extremo del eje del motor, se dispone de un embrague centrífugo (*Figura 1.4*). Se dispone de este para evitar que la herramienta de corte entre en funcionamiento a bajas revoluciones o ralenti, actuando como elemento de seguridad, es decir, para asegurar que la herramienta solo funciona cuando el usuario acelera el motor. Dicho embrague está constituido por 2 zapatas que giran solidariamente al eje del motor. Dichas zapatas pueden pivotar, cada una de ellas, respecto a un perno y están conectadas entre ellas por un resorte, el cual las mantiene en posición de reposo. Cuando el motor alcanza un régimen de giro, tal que, la fuerza centrífuga ejercida sobre las zapatas es superior a la fuerza que ejerce el resorte sobre ellas, las zapatas pivotan sobre el perno que las sujeta, ampliando su radio exterior, y de esta manera, embragan con otra pieza que transmite el giro al eje de la herramienta.

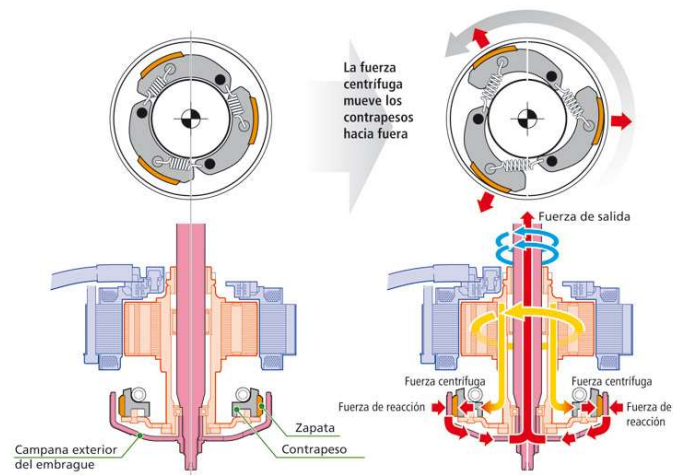


Figura 1.5 Funcionamiento del embrague centrífugo

Como se vio anteriormente en este trabajo, se pretende que la unidad motriz pueda propulsar distintas herramientas de corte, las cuales funcionan con distintos movimientos de su útil de corte. Por lo tanto, cuando la herramienta a acoplar precise de un movimiento no circular, en el caso estudiado, movimiento lineal alternativo, habrá que utilizar un mecanismo auxiliar para transformar el movimiento de salida del motor.

Para la solución a este caso en el que hay que transformar el movimiento circular a rectilíneo alternativo, se ha encontrado una posible solución, a pesar de su simplicidad y de ser un simple boceto, en una patente americana, "*Narrow profile power handle for line trimmer and the like*" [3], en la cual se expone un caso similar al presente, y en el que se le da como solución el uso de un par de engranajes cónicos y una excéntrica.

2. AUTODESK INVENTOR. MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

En este apartado, se realiza una breve introducción al software de diseño que se ha utilizado para modelar y simular los componentes de este trabajo. Posteriormente se da un pequeño repaso al método de los elementos finitos, y, finalmente se expone como Autodesk Inventor realiza el análisis por elementos finitos.

2.1. Introducción al software Autodesk Inventor

Autodesk Inventor es un software para el modelado de paramétrico de objetos virtuales en 3D. Pertenece a la empresa Autodesk, la cual es conocida por su programa de CAD en 2D, AutoCAD. El software fue lanzado al mercado en 1999, mucho más tarde que otros programas que compiten directamente con él, como son CATIA y SolidWorks, de Dassault Systèmes; Solid Edge, propiedad de Siemens o Pro/ENGINEER conocido actualmente como Creo Elements/Pro. Se conoce que Inventor nació para dar respuesta a la migración de clientes que sufrió Autodesk, cuando se desarrollaron programas más potentes, en los cuales se podía construir y probar complejos prototipos en 3D, siendo este un gran avance frente al diseño mecánico en 2D.

La principal revolución del modelado paramétrico frente a los programas tradicionales de CAD, es que el usuario puede modificar la geometría, las dimensiones y el material de un objeto ya diseñado, de manera que este se actualiza automáticamente, en base a los nuevos parámetros establecidos. Facilita la creación de prototipos, en los que se realizan numerosas iteraciones y variaciones, lo que produciría quebraderos de cabeza en programas de diseño no paramétricos, donde para cambiar dimensiones básicas de una pieza es necesario empezar de nuevo su diseño.

La unidad básica de construcción en inventor es la pieza, cuyo formato de archivo es (.IPM). Estas se crean a combinaciones de bocetos en 2D y 3D, y operaciones espaciales, tales como Extrusión, Barrido, Vaciado.

Estas piezas, se pueden conectar creando ensamblajes, con formato (.IAM). Estos consisten en un grupo de piezas o sub-ensamblajes que se unen por medio de restricciones entre sus puntos, planos, bordes o ejes. Son restricciones en los grados de libertad espaciales de las piezas, lo que limita los movimientos relativos entre ellas.

Además, se pueden generar dibujos y planos de los ensamblajes y sus componentes, con las extensiones (.IDW) y estos se pueden importar o exportar fácilmente a AutoCAD en formato (.DWG) como boceto. También existe un formato de fichero especial para presentaciones (.IPN).

En sus últimas versiones, el paquete de software Autodesk Inventor, incorpora un gran número de funcionalidades extra, como son herramientas para chapa metálica y conjuntos soldados, motores de renderizado, librerías de piezas normalizadas y los que más útiles nos van a ser en este trabajo, el análisis de tensiones por elementos finitos y los análisis dinámicos.

2.2. Método de los Elementos finitos

Una vez introducido el software con el que se modela el prototipo 3D de la herramienta estudiada, es momento de hablar sobre otro de los puntos a tratar en este trabajo académico. El análisis de esfuerzos de uno de los componentes de la herramienta, en este caso, la biela del motor de combustión de 2 tiempos con el que se propulsa la herramienta multifunción. Dicho análisis se lleva a cabo con el Método de los Elementos Finitos también conocido por sus siglas MEF. Por ello, en este apartado se aborda una pequeña introducción a dicho método, sus aplicaciones, y, por último, ver las características y especificaciones del software con el que se realiza el análisis.

El Método de los Elementos Finitos es un método empleado para la resolución de problemas físicos basados en sistemas de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales y sus condiciones de contorno.

Permite obtener una solución numérica aproximada sobre un cuerpo, un sistema continuo o un dominio, generalmente de geometría compleja, sobre el que están definido el problema de contorno.

El MEF se basa en los siguientes puntos:

- El dominio de definición del problema se discretiza en un grupo de puntos, llamados nodos, de tal manera que las nuevas incógnitas del problema son los valores en dichos nodos de las funciones incógnita del problema de contorno estudiado.
- A su vez, el dominio se divide en un número elevado de subdominios no intersectantes entre si (denominados elementos finitos) creados por la conexión de los nodos establecidos. Se define una ecuación local de comportamiento para cada elemento finito, normalmente polinómica, que aproxima los valores de las funciones incógnita en función de los valores de esta en los nodos.
- La aproximación de las ecuaciones de comportamiento del dominio se calcula al ensamblar las ecuaciones de comportamiento de los elementos finitos.

Como hemos visto, trabajar con el Método de los Elementos Finitos, genera una gran cantidad una gran cantidad de información además de realizar complejos cálculos, como el cálculo matricial, por lo que este método está pensado para ser empleado con la ayuda de un ordenador.

2.3. Inventor y el MEF

Como se ha visto anteriormente, el método de los elementos finitos ofrece una solución aproximada, es decir, con un porcentaje de error frente a la realidad. Por ello, los programas de cálculo de MEF ofrecen soluciones para tratar de reducir dicho error, tratando de no comprometer la velocidad de procesado. En este trabajo académico, el software que empleado para el análisis de esfuerzos es el mismo que se emplea para el modelado y simulación de la herramienta estudiada, Autodesk Inventor. Este software implementa tres procedimientos que mejoran la precisión de los resultados. Estos son el Refinado-H, el Refinado-P y el uso de elementos de orden superior.

En cuanto al Refinado-H, *“el programa sigue un proceso iterativo de reducción del número de elementos en cada iteración hasta que los resultados convergen”* [4]. Cabe destacar que la gran mayoría de programas de MEF emplea este proceso iterativo. Por otro lado, el Refinado-P se basa en el empleo de polinomios de orden superior, para realizar la interpolación polinómica. En cada iteración el software incrementa el orden del polinomio.

Ambos refinados tienen sus ventajas y sus inconvenientes, por lo que el Inventor con el fin de superar los pros y los contras de ambos métodos emplea un Refinado-HP, en el que permite al usuario controlar la parte H y el software adapta el Refinado-P de tal manera que, solo refina los elementos situados en los alrededores de las áreas de mayor tensión y no en todo el modelo, aumentando la eficiencia del cálculo.

El último procedimiento que emplea para aumentar la precisión de los resultados es el uso de elementos de orden superior, es decir, emplear elementos con más nodos. Este procedimiento es especialmente útil en elementos curvos y complejos, ya que la maya se adapta mejor a la morfología real del elemento. Sin embargo, el procesado de los elementos de orden mayor es más lento.

También es importante tener en cuenta que Inventor solo puede realizar análisis lineales, es decir solo puede analizar componentes con pequeñas deformaciones y en condiciones en las que no se superen el límite de elasticidad, ya que superado este, el software interpreta que el análisis sigue siendo lineal, por lo que los resultados desprendidos no se pueden dar como buenos, ver *Figura 2.1*.

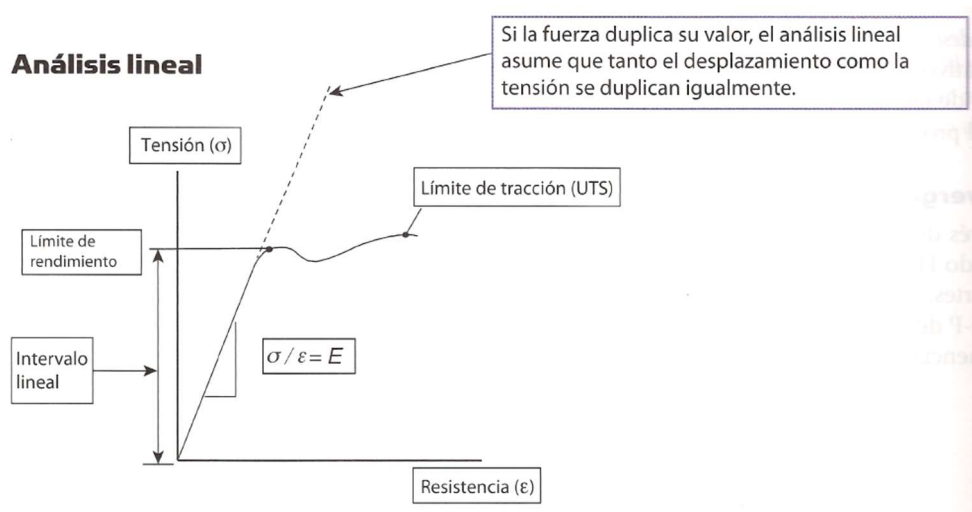


Figura 2.1 Imagen del análisis lineal del libro Inventor y su simulación con ejercicios prácticos

Para realizar un análisis lineal, se asumen las siguientes hipótesis:

1. "Las propiedades materiales del componente permanecen lineales una vez superado el límite elástico. Por lo tanto, los resultados obtenidos más allá de este límite carecen de validez.
2. Las desviaciones de los componentes son pequeñas si se las compara con el tamaño total del componente
3. Los componentes son rígidos y dúctiles como el metal, no como la goma
4. Los componentes se deforman por igual en las tres direcciones del espacio, es decir, las propiedades del material son isotrópicas." [5]

3. MODELADO Y ENSAMBLAJE

En este apartado se genera el prototipo virtual de la máquina estudiada, mediante el software anteriormente introducido, Autodesk Inventor. Con él se generarán las distintas piezas del conjunto que forman la herramienta.

Tras modelar todas las piezas de las que consta la herramienta, se procede al ensamblado de estas, por medio de restricciones de sus Grados De Libertad espaciales (GDL). El conjunto estará correctamente restringido cuando las únicas piezas que tengan libertad de movimiento, es decir, que tendrán algún GDL, las encargadas de la transmisión del movimiento.

A continuación, se detalla el proceso de modelado de las distintas piezas que componen la herramienta, y se comenta el proceso de restricción de los GDL para obtener el prototipo 3D correctamente ensamblado.

3.1 Modelado de las partes fundamentales de la herramienta multifunción.

Como se explica en apartados anteriores, el modelado de la unidad motora de la herramienta se realizará basado, principalmente en una máquina desbrozadora real, la cual se ha desmontado y empleado para poder tener medidas reales de un motor de 2 tiempos, y así evitar realizar un modelo que no se acerque a la realidad. Pese a ello, las piezas no son una representación exacta de la totalidad de la máquina.

El motor de dos tiempos modelado está confinado dentro de una carcasa de plástico y metal, para proteger de golpes y evitar que el usuario tenga acceso a elementos en movimiento o calientes que podrían dañarle.



Figura 3.1 Fotografía del desmontaje del motor

Por lo tanto, los conjuntos y las piezas que se van a modelar son:

- Cilindro
- Cárter 1
- Cárter 2
- Junta cárter
- Junta cilindro-cárter
- Pistón
- Rodamiento del pistón
- Bulón
- Biela
- Cigüeñal 1
- Cigüeñal 2
- Eje cigüeñal
- Rodamiento biela
- Rodamiento cigüeñal
- Ventilador
- Chaveta
- Cubierta ventilador
- Cubierta cilindro
- Embrague
- Perno embrague
- Muelle de extensión
- Bujía
- Cubierta Bujía
- Plato arranque
- Arranque manual
- Escape
- Cubierta escape
- Unión cilindro-carburador
- Junta carburador
- Carburador
- Cubierta y filtro carburador
- Depósito
- Transformador
- Elementos del Centro de

3.1.1 Cilindro

Para comenzar con el modelado de las piezas de la herramienta, lo primero es iniciar el software Autodesk Inventor. Dentro de él se hace click en nuevo y a continuación se selecciona el formato de archivo que deseamos crear. En este caso se selecciona Normal.ipt, ya que este es el formato para las piezas. A continuación, se hace click en crear y se pasa a la pantalla de modelado de piezas.

El método más común para comenzar una pieza es a partir de un boceto plano. Para ello se selecciona la herramienta Iniciar boceto 2D de la pestaña Modelo 3D. Para esta pieza, se comienza creando un boceto con dos circunferencias, una de diámetro 46mm y otra de 40mm. Tras hacer click en Terminar Boceto, se selecciona la herramienta Extruir y se crea un cilindro hueco de 67mm de alto.

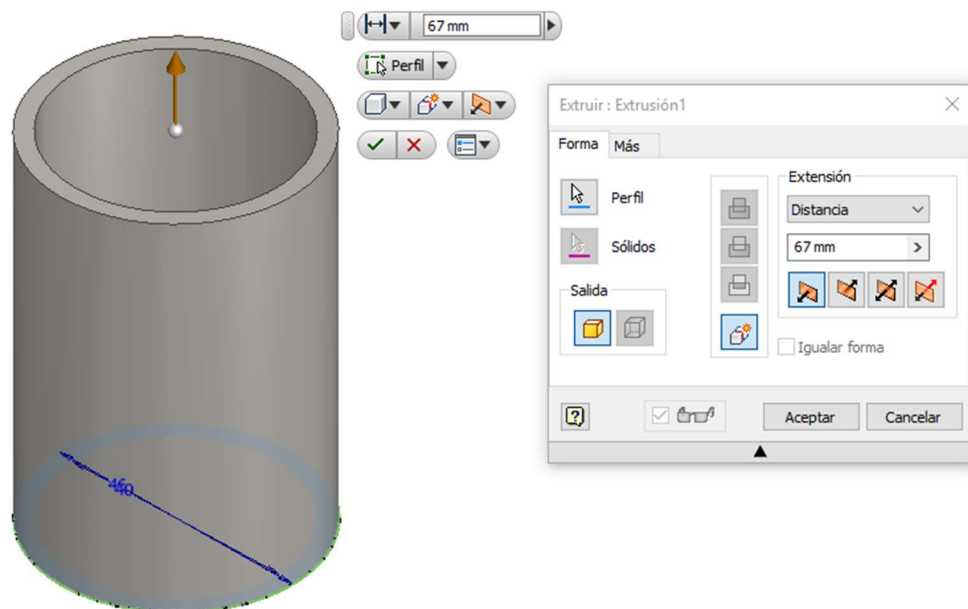


Figura 3.2 Detalle extrusión cilindro

Tras la extrusión, se crea un Boceto en un plano vertical que pasa por el eje del cilindro. En dicho boceto se crea la parte superior del cilindro y la cama de combustión, donde se alojará la bujía. Se completa la parte superior haciendo una Revolución alrededor, del eje del cilindro y de esta manera se cierra la parte superior del cilindro.

A continuación, se crea la base que conecta el cilindro con el cárter del motor, para ello se crea otro Boceto 2D en un plano de trabajo desfaso de la base del cilindro. Se extruye para darle un grosor de 8mm.

Para crear las lumbreras de admisión y de escape se emplea la operación de Solevación la cual crea una figura de transición entre dos o más bocetos. Para ello es necesario de disponer

Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por motor de combustión de 2 tiempos.

de 2 Bocetos 2D en distintos planos. En el cilindro esta operación se ha empleado para hacer la parte interior y exterior de las lumbreras.

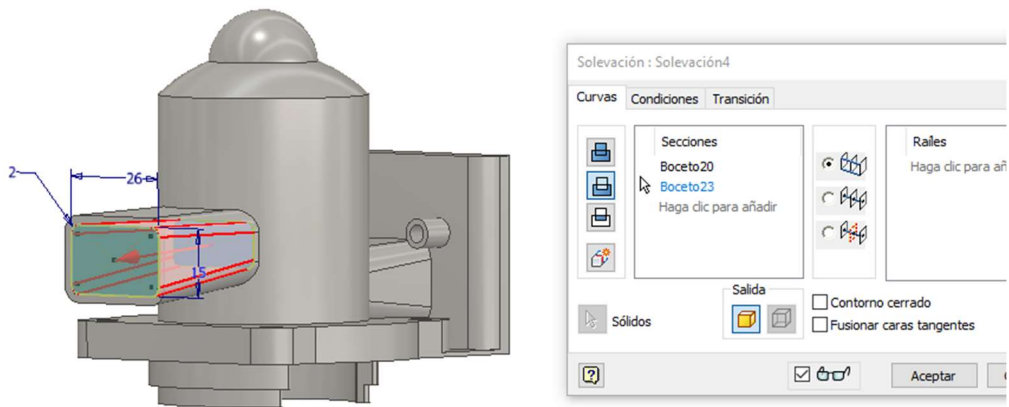


Figura 3.3 Detalle soleación lumbrera de escape

Las aletas de refrigeración del cilindro se crean por medio de una repetición sistemática de una operación. La primera se genera con una extrusión, y las de más, con la operación Patrón Rectangular. Esta operación funciona seleccionando las operaciones a replicar, seleccionando la dirección en la que se va a reproducir y la distancia y número de repeticiones.

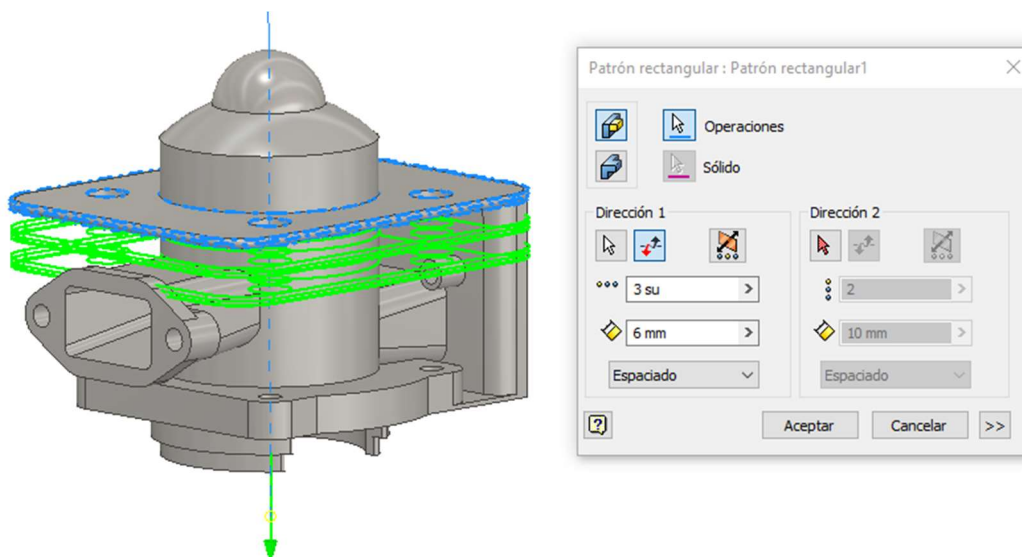


Figura 3.4 Detalle patrón rectangular aletas

Como las aletas no siguen siempre la misma geometría, el proceso de creación de una aleta, y su copia con patrón rectangular, se realiza en diversas ocasiones a lo largo del cilindro.

Las lumbreras de transferencia, se generan utilizando una operación distinta. Primero se crea la de un lado, por medio de operaciones básicas como extrusiones. Tras finalizar la de un lado, para hacer una reproducción exacta en el lado contrario se emplea la operación Simetría la que permite hacer la simetría de una o varias operaciones respecto a un plano de simetría definido por el usuario.

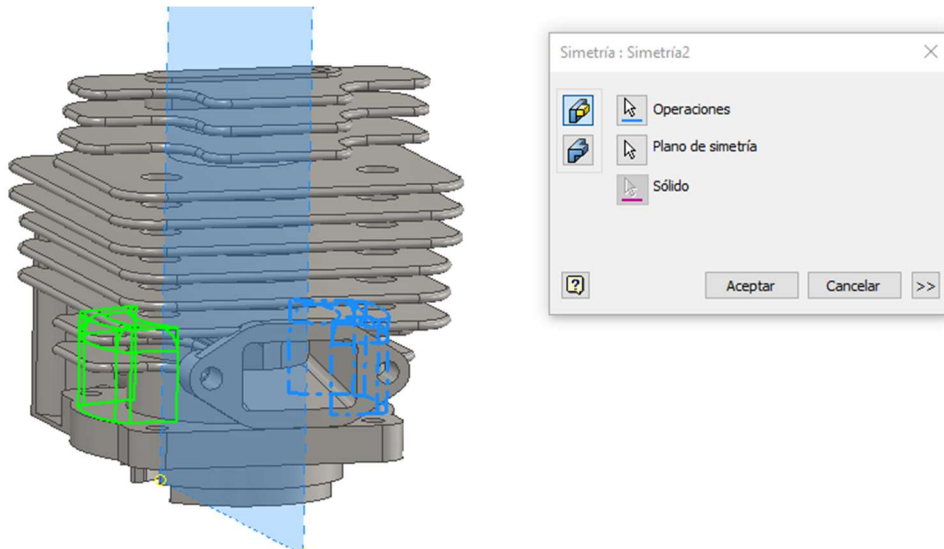


Figura 3.5 Detalle operación simetría

Tras unas pequeñas modificaciones más, se finaliza la pieza roscando los agujeros donde se alojarán los pernos de unión.

3.1.2 Carter 1

En este motor, el cárter está dividido en dos partes diferentes entre si, por lo que no será posible realizarlo creando una de las partes y duplicándola.

La primera parte se crea a partir de un bloque rectangular. Sobre uno de los lados se crea un boceto, que, tras extruirlo, en modo corte, se obtiene la silueta exterior del bloque del cárter.

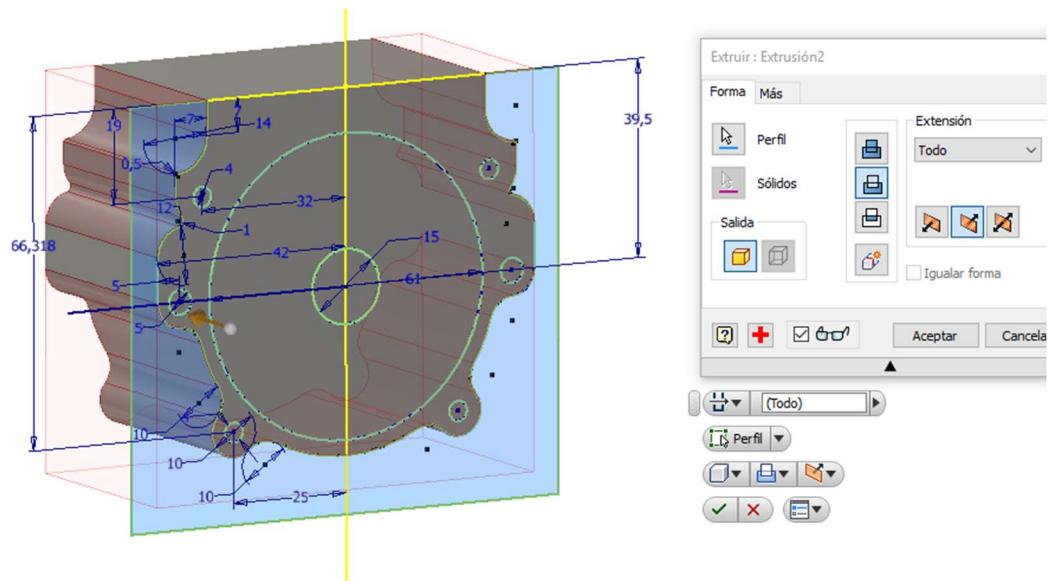


Figura 3.6 Detalle corte cárter 1

Tras esta operación, se vacía el interior del cárter, donde gira el cigüeñal y donde se aloja el rodamiento que lo sustenta.

A continuación, da forma a la parte superior, la parte que lo conecta con el cilindro, y se realiza la abertura por la que circula el aire y el combustible hacia el cilindro. De esta manera, queda finalizada la cara interior del cárter.

En cuanto a la parte exterior, todavía queda mucho material sobrante, por lo que se realiza una operación de Vaciado, que consiste en eliminar el material interior de una pieza, seleccionando una superficie a eliminar, y estableciendo un espesor de la figura resultante, el resultado se puede observar en la Figura 3.7

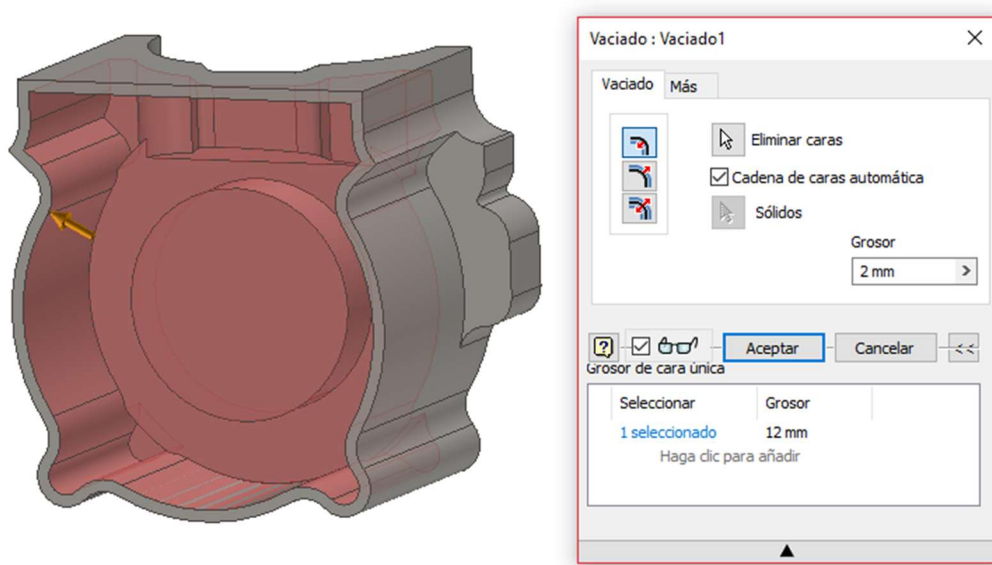


Figura 3.7 Detalle vaciado cárter

Se eliminan todas las esquinas con cantos vivos con la operación Empalme, lo cual produce un suavizado en las aristas por medio de un redondeo de radio ajustable. Se añaden unos nervios en la zona exterior, para rigidizar la pieza, empleando la operación Extruir, ya que con el vaciado y el poco espesor de la pieza, esta podría resultar endeble.

En la parte exterior de esta pieza, se sitúa el mecanismo de arranque manual, por lo que se ajusta la pieza para que disponga de 4 orificios por los que se pueda unir este mecanismo y se roscan dichos orificios.

3.1.3 Carter 2

El modelado de la segunda parte del cárter recibe un tratamiento diferente al seguido en el resto de las piezas. Dado que el interior es idéntico, pero simétrico a la pieza Carter 1, se crea la pieza como copia simétrica de esta, pero la parte exterior tiene que cambiar significativamente, ya que junto a esta se sitúa el ventilador que enfría el motor bajo la cubierta.

Una vez se realiza la copia simétrica de la pieza Carter 1, se elimina la parte exterior de esta, ya que es completamente diferente. Para ello se utiliza la operación extruir en modo corte, empleando un boceto que elimina toda la zona indeseada. Para ello, en la opción extensión, se elige del desplegable la opción Hasta, y después se marca la superficie que limita la operación.

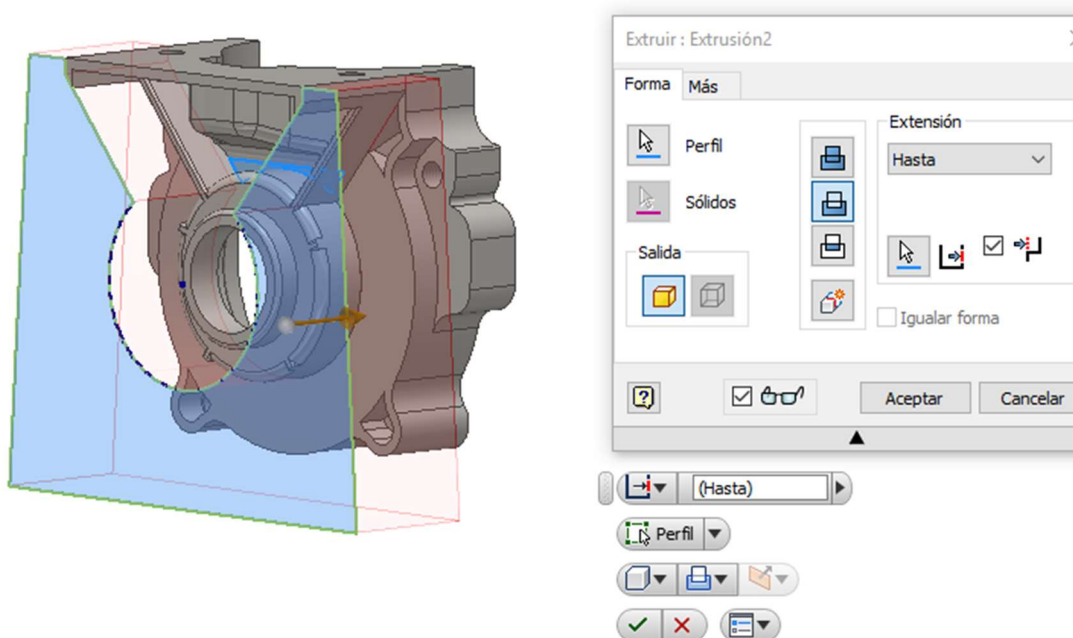


Figura 3.8 Detalle cárter 2

A partir de aquí se construye la nueva morfología de esta mitad del cárter, usando operaciones de extrusión, empalme y simetría. Pese a ello, uno de los pasos más importantes, es la creación de la abertura por la que el ventilador aspira aire del exterior. Para este paso, se

Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por motor de combustión de 2 tiempos.

crea un boceto 2D sobre una de las caras de la pieza, y, mediante la operación proyectar geometría, se reproduce la geometría del cuerpo del cárter sobre la superficie en la que se hace la abertura. A continuación, se extruye en modo corte la superficie sobre la que gira el ventilador.

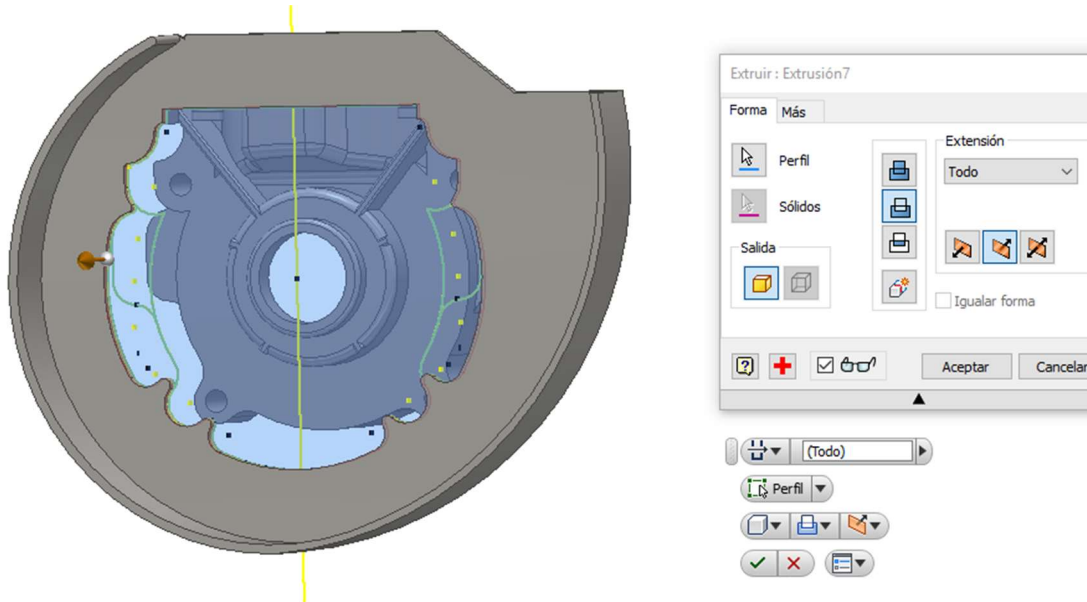


Figura 3.9 Detalle extrusión cárter 2

Para finalizar la pieza, se modelan las zonas de unión a otras piezas, junto a los agujeros para las uniones y sus correspondientes roscados.

3.1.4 Junta cárter

El modelado de esta pieza es uno de los más sencillos. A partir de una de las dos piezas del cárter, se genera un boceto 2D en el que se proyecta la superficie en contacto entre ambas partes del cárter, y sobre este boceto se realiza una extrusión de 0,3mm. De esta manera se genera la pieza que sella la unión entre ambas partes del cárter.

3.1.5 Junta cilindro-cárter

Esta pieza sigue un proceso de modelado idéntico a la pieza anterior, mientras que el área que se proyecta en el boceto es aquella que se comparte en la unión entre el cilindro y ambas partes del cárter, y generando una pieza de pequeño espesor.

3.1.6 Pistón

El modelado del pistón comienza con un cilindro macizo de 40mm de diámetro. La parte superior, redondeada, se realiza con una operación de revolución. A continuación, se realizan los surcos donde se insertan los segmentos de estanqueidad, por medio de una operación de extrusión en modo corte y seguido de un patrón rectangular, ya que en este caso habrá dos segmentos, repetidos en la dirección del eje del cilindro. Después, se realiza el agujero de 10mm por el que se inserta el bulón, para unir el pistón a la biela.

El siguiente paso es, mediante la operación de vaciado, eliminar el material interior del cilindro, dejando un espesor de la pieza de 1,5mm. Tras este, se redondean algunas aristas de la pieza por medio de la operación redondeo.

Finalmente, se recorta la parte inferior del pistón para que sea más ligero. Para ello se realiza un boceto en el plano medio del pistón y se extruye en ambas direcciones con la opción Todo marcada en la casilla Extensión.

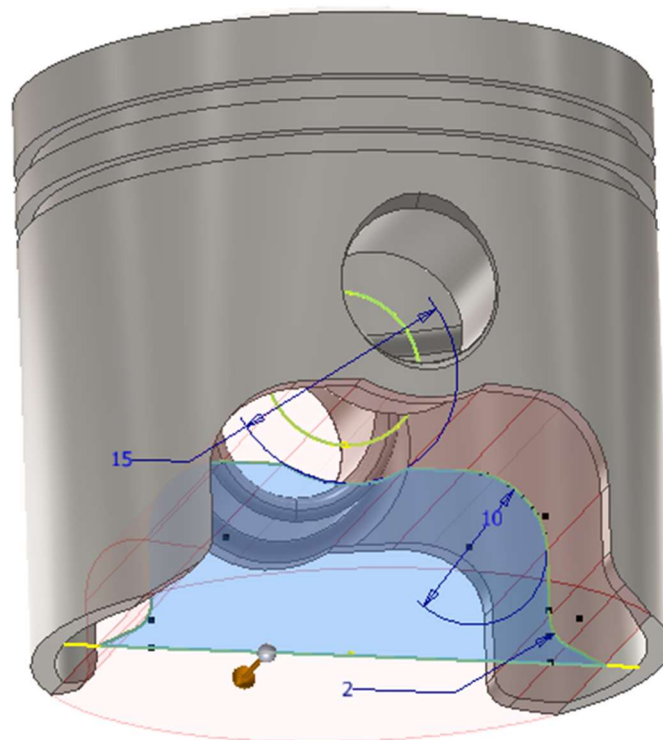


Figura 3.10 Detalle pistón

3.1.7 Rodamiento del pistón

Como el objeto de este trabajo no es el análisis del comportamiento real del rodamiento, se decide diseñar los rodamientos como un único conjunto de piezas, formado por la jaula del rodamiento y las agujas, ya que, por el pequeño tamaño del rodamiento, se decide emplear uno de agujas.

Para el modelado de la jaula del rodamiento, se extruye un cilindro hueco de diámetros 10,15 y 12,8 mm, y una longitud de 15,8mm.

A continuación, se extruye en modo corte los habitáculos de las agujas del rodamiento. Estos serán de 1,5mm de diámetro. El proceso seguido es la realización de uno de los orificios con la operación extrusión y posteriormente, un patrón circular que reproduce 11 veces el primer orificio a lo largo de los 360° de la jaula del rodamiento.

En otro archivo ipt., se genera la aguja del rodamiento, de 1,5mm de diámetro. Para ello basta con extruir una circunferencia de dicho diámetro.

Para completar el rodamiento, se crea un sub-ensamblaje en el que se represente el rodamiento completo. Se inserta la jaula primero, y seguidamente, se inserta la aguja 11 veces. Para ellos se selecciona el archivo de la aguja y se puede insertar tantas veces como sea necesario. Las restricciones empleadas son de coincidencia, entre las circunferencias que forman la aguja y su habitáculo, y de coincidencia plana entre uno de los extremos de la aguja y la jaula.

3.1.8 Bulón

El bulón es la pieza que acopla el pistón y la biela, además de servir de pista de rodadura del rodamiento de agujas que existe entre estos últimos dos.

Su modelado es sencillo, se extruye un cilindro hueco de diámetros 6 y 8mm y una longitud de 32,7mm, algo inferior al diámetro del pistón para que no sobresalga de este.

Por último, se realiza la operación chaflan con una distancia de 0,1mm, en las aristas del cilindro, para suavizarlos.

3.1.9 Biela

La biela es una de las piezas más importante del motor. Forma parte del mecanismo encargado de transformar en movimiento lineal de la carrera del pistón, en movimiento circular en el cigüeñal. Tiene que ser una pieza resistente, ya que recibe la fuerza de la explosión

producida en el interior del cilindro, y a la vez ligera, ya que, en regímenes de trabajo alto, se mueve a una gran velocidad, por que conviene que tenga una inercia pequeña.

El primer paso para su modelado es la creación de los dos “aros” o anillos en los que se realizara la unión al pistón y al cigüeñal. Se crearán con dos revoluciones, ya que no tienen una forma de cilindro exacta, su parte exterior tiene una ligera curvatura. Estos anillos se generarán con operaciones de revolución. Sus diámetros interiores son, respectivamente, 20 y 13mm. La distancia entre los ejes de ambos anillos es de 62mm.

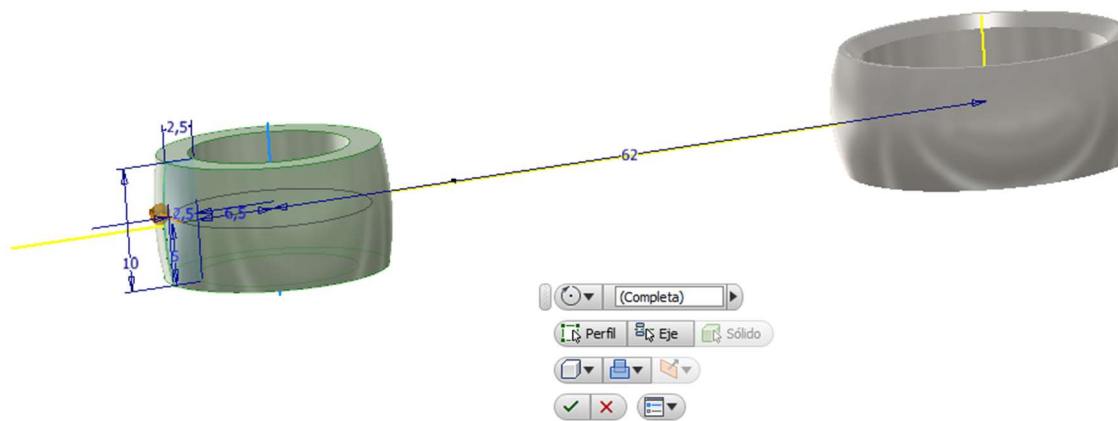


Figura 3.11 Detalle revolución biela

Las aristas de los diámetros interiores de los anillos reciben una operación de chaflan para facilitar la inserción de los pasadores de unión por ellos.

El cuerpo central de la biela, se extruye a partir de un boceto 2D en el plano medio perpendicular a los anillos generados. Se extruye de manera simétrica hasta obtener un espesor de 4,4mm. A continuación, se suavizan las aristas del cuerpo central de la biela con una operación de empalme, con un radio de 1,5mm. También se redondean las intersecciones entre el cuerpo central y los anillos esta vez con un radio de 2mm, y de esta manera facilitar la transición entre dichos cuerpos, reduciendo así el efecto de concentrador de tensión.

Para aligerar la pieza, se realizan unas hendiduras en el cuerpo central de la biela. Estas se realizan mediante una extrusión en modo corte de 0,5mm en uno de los lados, y se copia en el lado contrario por medio de una simetría de operaciones, utilizando como plano de simetría el plano medio entre las dos caras del cuerpo de la biela (Figura 3.11). Posteriormente se redondean los cantos generados en esta operación, con un radio de 2mm con la operación empalme.

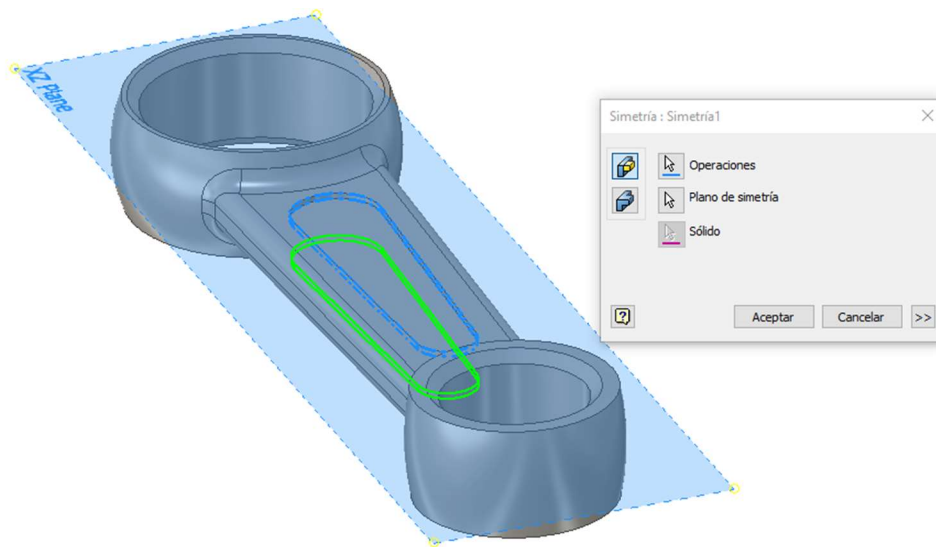


Figura 3.12 Detalle simetría en la biela

Por último, también se aligeran los anillos, creando unas muescas por medio de extrusiones de corte. Estas se copian con una operación de matriz polar, en cada uno de los anillos, y con una simetría, se reproducen en lado opuesto a donde se han generado originalmente.

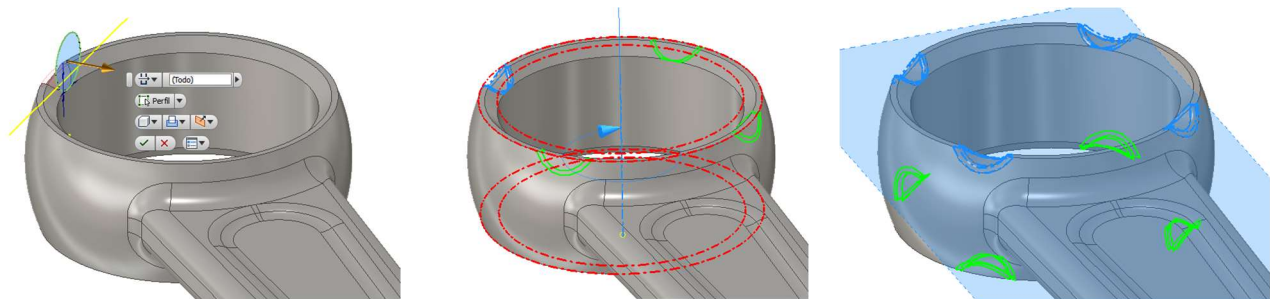


Figura 3.13 Detalle muescas biela

3.1.10 Cigüeñal 1

El cigüeñal está constituido por 2 piezas independientes, y unidas entre si con un pasador cilíndrico. Cada parte del cigüeñal está comprendida por 2 zonas diferenciadas. Por un parte está el eje, y por otro el contra peso, el cual es el encargado de compensar las fuerzas generadas en el cilindro y transmitidas a través del pistón y la biela.

El primer paso del modelado es la creación del eje, el cual se modela por medio de una revolución, ya que el eje no tiene una sección constante, sino que se va reduciendo, pasando por diámetros de 19, 15 12 y 8mm. El boceto creado se revoluciona sobre el eje central del eje del cigüeñal.

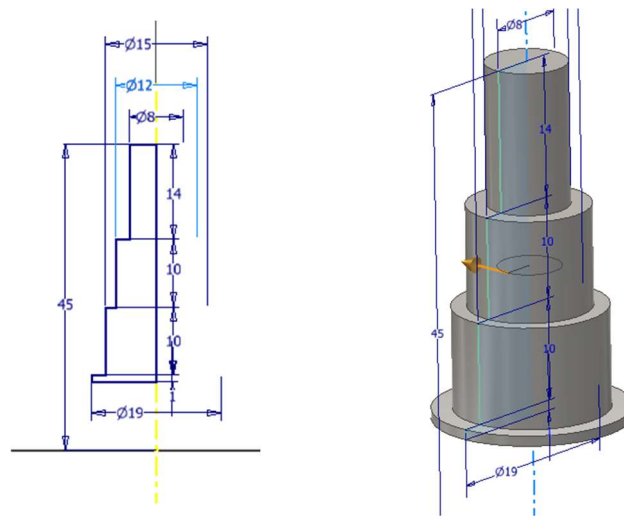


Figura 3.14 Detalle revolución cigüeñal 1

A continuación, se rosca la sección de menor diámetro, ya que aquí se enroscará el plato del arranque manual. Posteriormente, sobre la superficie inferior, se crea un boceto con la forma del contrapeso, el cual se extruye 9mm, en la dirección opuesta al eje. Tras esto, sobre la superficie del contrapeso, se extruyen algunas zonas que se encuentran en relieve y se suavizan las aristas con operaciones de empalme de distintos radios.

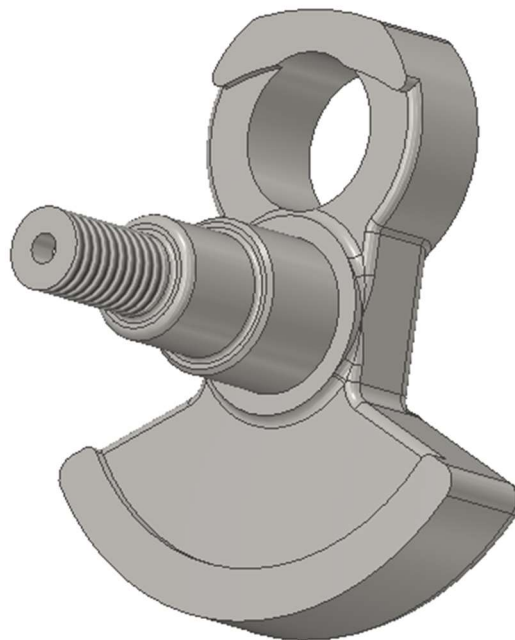


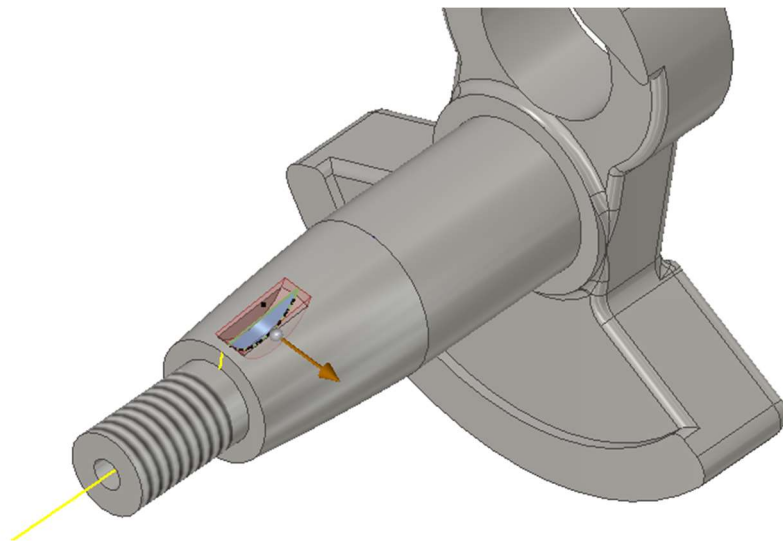
Figura 3.15 Cigüeñal 1 finalizado

3.1.11 Cigüeñal 2

Al igual que en el caso del cárter, el cigüeñal está formado dos partes, que tienen la misma geometría en alguna de sus zonas, por lo que se decide aprovechar la de la primera parte para modelar la segunda. En este caso, el contrapeso es igual en ambas piezas, pero el eje es completamente distinto, ya que la segunda parte del cigüeñal tendrá acoplado en su eje el ventilador, gracias a la unión realizada por una chaveta. Por ello, para modelarla, se partirá de una copia de la primera parte del cigüeñal.

La primera operación a realizar sobre la copia, será eliminar el eje, ya que se reconstruye completamente. Para ello, se extruye en modo de corte todo el eje, dejando únicamente el contrapeso. Después, se extruye un eje cilíndrico de 15mm de diámetro y 19mm de largo. A continuación de este, por medio de una solevación, se crea la parte del eje que se inserta en el ventilador, y tras esta se extruye la parte roscada del eje donde se colocara la tuerca que asegure el ventilador en su sitio.

Por último, se crea el habitáculo de la chaveta, por medio de una extrusión en modo corte.



*Figura 3.16 Detalle chaveta
cigüeñal 2*

3.1.12 Eje cigüeñal

Esta pieza, tiene una geometría muy similar a la del bulón, por lo que su modelado ya se ha abordado anteriormente.

Se genera un cilindro hueco de diámetros 8 y 15mm el cual se extruye una longitud de 28,44mm. Por último, se suavizan las aristas del cilindro con la operación chaflán en los aristas exteriores y empalme en los interiores.

3.1.13 Rodamiento biela

Como en otros casos, esta pieza es igual que otras de las que ya se han descrito anteriormente, las únicas diferencias son los cambios de algunas cotas.

En este caso el rodamiento entre la biela y el eje del cigüeñal se resuelve con un rodamiento de agujas muy similar al del pistón, descrito anteriormente. En este rodamiento, la jaula tiene unos diámetros de 15,5 y 20mm, y una longitud de 9,7mm, mientras que el diámetro de las agujas es de 3mm.

3.1.14 Rodamiento cigüeñal

Tal y como se comentó en el modelado del primer rodamiento del trabajo, estos se diseñan de una manera estética, ya que no muestran su funcionamiento real, ya que este no es el objetivo del trabajo. En este caso, se trata de un rodamiento de bolas, el cual se emplea en dos ocasiones en la herramienta, y el cual se encuentra ubicado en el cárter y a través de ellos pasaran ambos ejes del cigüeñal.

Para comenzar el modelado se han creado dos anillos, los cuales constituyen las pistas de rodadura del rodamiento, por medio de una extrusión de 10mm de largo. Los diámetros exteriores e interiores del rodamiento son de 35 y 15mm respectivamente. A continuación, con una operación de revolución, se crean los laterales de las pistas de rodadura. Después, se modela una de las bolas del rodamiento, y por medio de una operación de patrón circular, se reproducen las 7 bolas de las que consta el rodamiento.

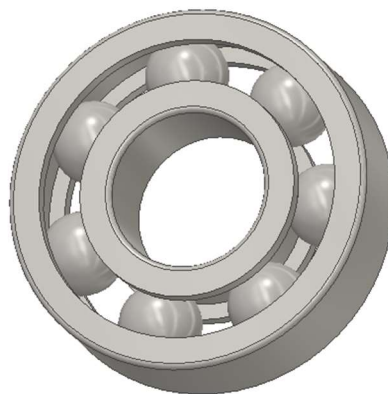


Figura 3.17 Rodamiento de bolas finalizado

3.1.15 Ventilador

El modelado del ventilador de refrigeración se inicia con la extrusión de un disco de 110mm de diámetro y 3mm de espesor. Sobre este se modela uno de los álabes. Para ello se emplean operaciones de extrusión, revolución y empalme. Primero se crea el boceto sobre el disco creado y se extruye una altura de 33mm. Después, con una operación de revolución, se recorta parte del alabe y se suavizan sus aristas con operaciones de redondeo. Puede observarse la evolución del alabe en la Figura 3.17.

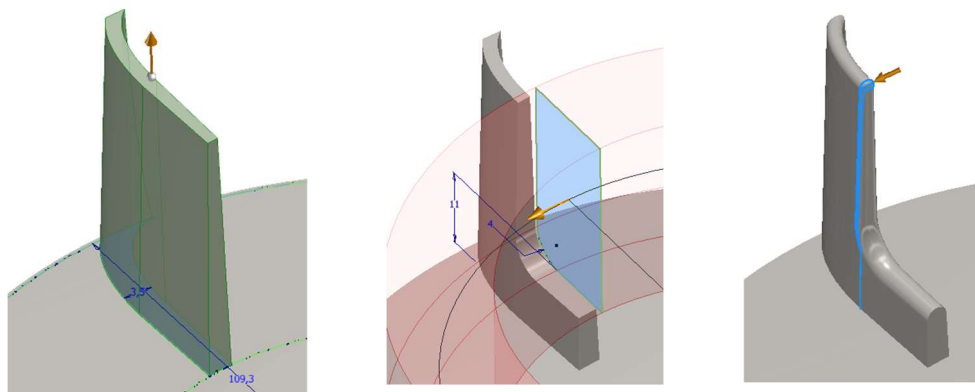


Figura 3.18 Detalle evolución del alabe

Una vez modelado el alabe, este se reproduce 15 veces en toda la superficie del disco, por medio de un patrón circular alrededor del eje del disco. Tras la creación de los alabes, sobre el disco, se crea un boceto el cual se extruye 27mm posteriormente, el cual crea las zonas sobre las que el transformador, encargado de hacer funcionar la bujía, cierra el núcleo, una vez por cada revolución. Después de esta operación, con una operación de revolución, se cubre parte de los alabes y se crea el alojamiento del eje del cigüeñal y de la chaveta.

El modelado continúa con otra operación de revolución en modo corte, la cual, vacía el interior del ventilador para que se introduzca el eje, y por la parte inferior, permitirá apretar la tuerca para fijarlo.

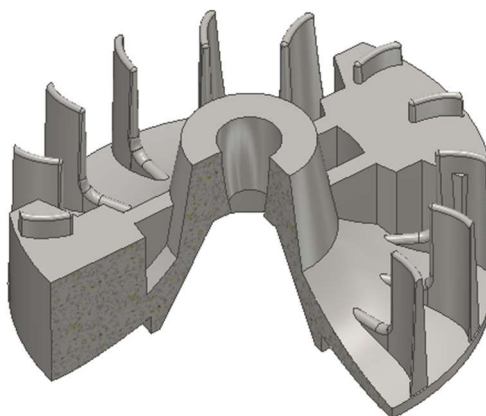


Figura 3.19 Detalle sección ventilador

La parte inferior continúa recibiendo modificaciones, tales como nervios, por medio de operaciones de extrusión y se suavizan algunas aristas con empalmes. Por último, se generan los soportes para el embrague, con sus respectivos agujeros y roscados y de esta manera se finaliza el modelado de la turbina.

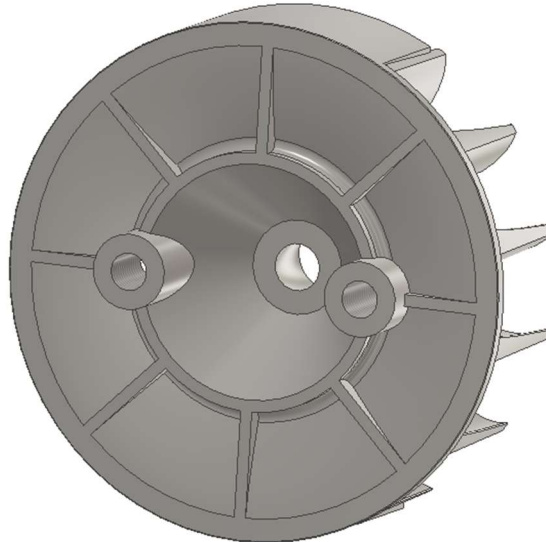


Figura 3.20 Ventilador finalizado

3.1.16 Chaveta

La chaveta empleada en esta herramienta para la fijación del ventilador al cigüeñal 2, es una chaveta de medialuna, de diámetro 9mm y espesor 3mm.

Para su modelado, se crea un boceto en 2D de la medialuna. Tras esto, con la operación extruir se perfil cerrado generado y se selecciona la extensión de la operación, en este caso, 3mm.

3.1.17 Cubierta ventilador

Para la creación de la cubierta del ventilador, se comienza generando un boceto, en el cual se proyecta la superficie de la pieza cárter 2 que se encuentra en contacto con la cubierta. Una vez cerrado el perfil proyectado, este se extruye a lo largo de 37mm. Tras la extrusión, se realizan algunos ajustes, como reducir el espesor en las zonas donde se situarán los pernos de unión, mediante operaciones de extrusión en modo corte.

Tras estos ajustes, se procede al remate de las aristas con la operación empalme. En una de estas, se emplea el empalme variable, es decir que el radio de la curvatura generada varia a lo largo de la arista. La configuración empleada es, radio de 5mm en el inicio de la arista y

progresivamente aumentarlo hasta el punto final en el que el valor del radio de empalme es de 25mm.

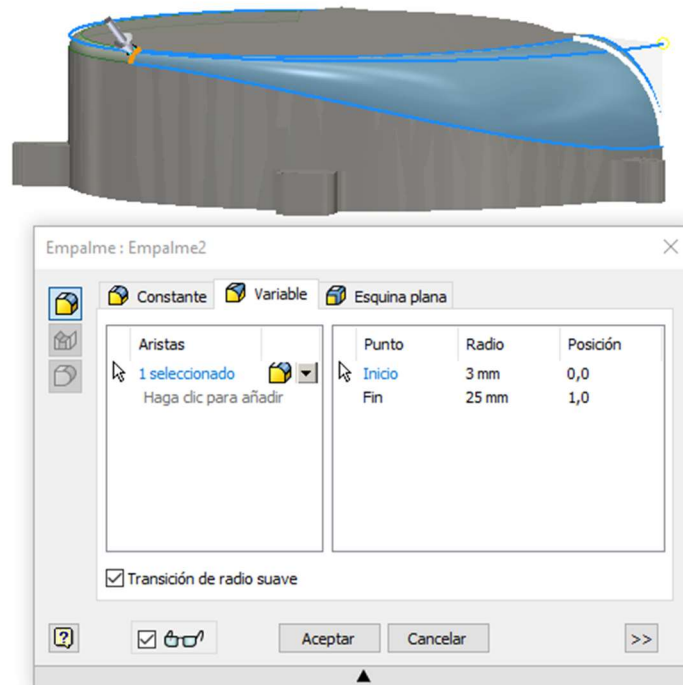


Figura 3.21 Detalle empalme variable

Con la operación vaciado, aplicado sobre la cara interior, la que estará en contacto con el cárter 2, genera la cubierta, con un espesor de la pieza de 2mm, excepto en los puntos de unión mediante pernos, donde se mantiene el espesor inicial. Después, se genera el agujero pasante de diámetro 88mm, por el que sobresaldrá el ventilador junto al embrague, para permitir la transmisión del movimiento del eje del cigüeñal a la herramienta de corte.

La pieza se finaliza creando la unión donde se podrán ensamblar las distintas herramientas que puedan emplearse con este motor. Se extruye un saliente alrededor de la abertura por la que sobresale el agujero. Tras el roscado de su cara exterior generando una rosca de tipo M100.

3.1.18 Cubierta cilindro

La línea seguida para el modelado de la cubierta del cilindro, ha sido la de cubrir completamente el motor, pese a dejar ranuras y aberturas para la ventilación, pero siempre buscando un resultado las estilístico que funcional, por lo que se han realizado numerosas operaciones sobre la pieza hasta obtener un resultado satisfactorio. Pese a ello, se resume algunos de los puntos principales de este modelado.

Se comienza creando una pieza cuyo volumen cubra todas las zonas deseadas. A partir de ahí se ha adaptado lo mejor posible al motor en si. Las superficies en ángulo se crean con

operaciones de chaflan, se emplean numerosos empalmes para suavizar la pieza. Posteriormente emplea la operación vaciado para crear una pieza de espesor 3mm, completamente abierta por su parte inferior.

Para las ventilaciones, se crea un boceto sobre uno de los laterales de la cubierta, y mediante una operación de patrón rectangular, se extiende el diseño de la ranura sobre toda la superficie. Las aberturas se crean extruyendo dicho boceto en modo corte contra la pieza de la cubierta.

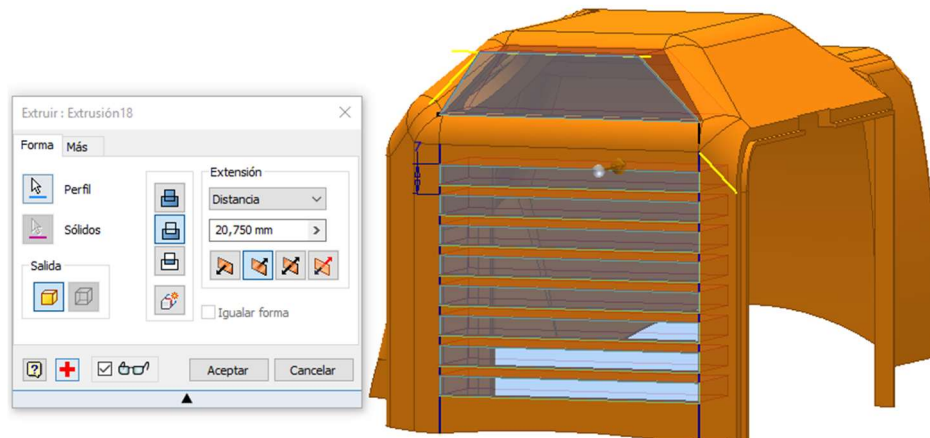


Figura 3.22 Detalle ranuras de ventilación

Por último, se adapta el lateral sobre el que se encaja la cubierta del escape.

3.1.19 Embrague

El embrague está constituido por dos piezas iguales, las cuales pivotan sobre unos pernos que están acoplados al ventilador. Para su modelado, se crea una de las dos piezas y se introduce por duplicado en el ensamblaje.

El modelado comienza con la extrusión de la guía por la que se introduce el perno, se trata de un cilindro hueco, de diámetros 10 y 14,5mm y longitud 9mm. A continuación, se genera un plano de trabajo, el cual es el plano medio entre las caras superior e inferior del cilindro. Sobre este, se crea un boceto de la pieza del embrague, para el que se proyecta la posición del agujero en el que se introduce el perno sobre el que pivota la otra parte del embrague, y a partir de este, se crea el perfil del embrague, el cual tiene forma de corona semicircular. Se extruye el boceto creado para generar el cuerpo del embrague. Tras esto, se aplican algunos empalmes para suavizar las formas de la pieza y se añade el agujero en el que se introduce el muelle que mantiene ambas piezas del embrague unidas cuando el motor está en reposo o ralenti.

Por último, sobre el plano medio de la pieza, se crea otro boceto para reproducir las bandas de fricción o pastillas las cuales transmitirán el giro del eje por las fuerzas de fricción que existan entre estas y el mecanismo de transmisión. Una vez creado, se extruye en ambas direcciones

con una extensión de 12mm. Además, se asigna un color negro a esta última operación para diferenciar los distintos materiales que tendría la pieza en la realidad.

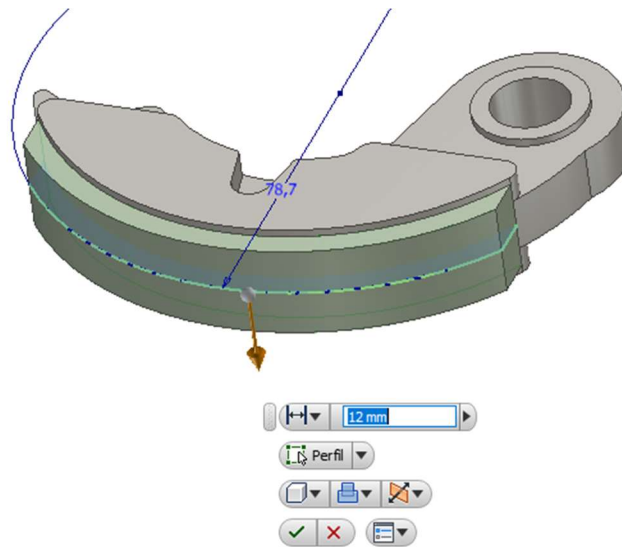


Figura 3.23 Detalle banda fricción

3.1.20 Perno embrague

Este es el único caso de pernos o tornillería que se modela y no se inserta en el ensamblaje desde el Centro de Contenido. Esto es debido a que este perno es el de mayores dimensiones, y quizás, uno de los que desempeña un papel más importante en toda la herramienta. Este perno se encarga de sujetar y permitir el giro de las piezas del embrague.

El modelado comienza por la cabeza del perno. Se extruye un prisma hexagonal con distancia entre lados paralelos de 16,88mm. El prisma generado, moldea con operaciones de revolución y corte hasta adoptar la forma de la cabeza del perno.

Sobre la superficie del lado inferior de la cabeza del perno, se extruye un cilindro de 10mm de diámetro y 10m de largo, y a continuación se genera la zona roscada del perno, extruyendo otro cilindro, de 8mm de diámetro y 15 de largo, y se genera una rosca M8 con la operación de roscado.

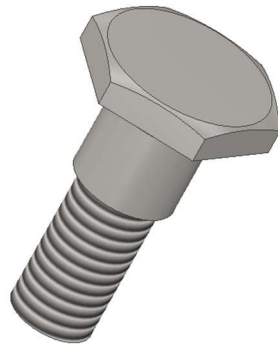


Figura 3.24 Perno finalizado

3.1.21 Muelle de extensión

Autodesk Inventor tiene una gran cantidad de herramientas para generar piezas genéricas para ensamblajes, y de esta manera facilitar los diseños de los prototipos virtuales. Una de ellas, permite diseñar muelles de extensión. Esta herramienta se encuentra en la versión del software para ensamblajes. En las pestañas de la barra de herramientas, dentro de la pestaña Diseño en el apartado Muelle, y en este caso Extensión. Al acceder a la herramienta, se abre una ventana de dialogo en la que se puede configurar un muelle a partir de unos parámetros que se introducen tanto con el teclado como en elementos desplegable.

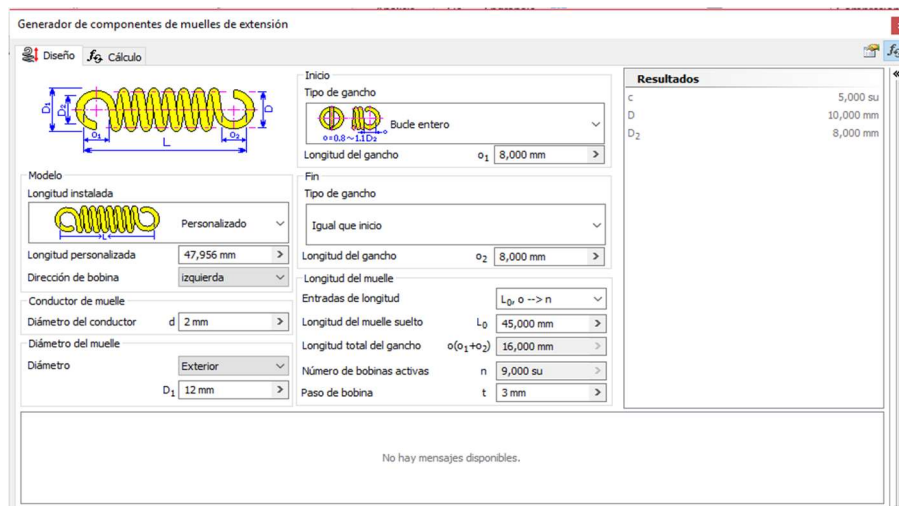


Figura 3.25 Ventana generador de muelles de extensión

Esta herramienta se emplea para modelar el muelle de extensión que conecta ambas partes del embrague. Para configurarlo, se han empleado los parámetros que aparecen en la Figura 3.23. Los más importantes son, Longitud personalizada, que es la distancia que existe entre los agujeros de las piezas del embrague, la cual es 47,956mm; el Diámetro del conductor, que es el espesor del alambre del muelle, 2mm; el Diámetro del muelle, 12mm y el Tipo de gancho, en

este caso, Bucle entero. Tras introducir los datos, y si no existe ningún error en estos, al aceptar, se genera el muelle configurado.

3.1.22 Bujía

El modelado de la bujía, es un proceso bastante sencillo y corto. Se completa con muy pocas operaciones. Su geometría, la cual es prácticamente un cuerpo de revolución, excepto algunos pequeños detalles, facilita mucho la labor del modelado.

Se genera un boceto con el perfil del cuerpo de la bujía, y un eje. Con la operación revolución, se crea el cuerpo principal de la bujía. Posteriormente, con una extrusión en modo corte, se genera la zona hexagonal de la bujía, la cual tiene el objetivo de facilitar su montaje con una llave inglesa. A partir de aquí solo falta por modelar el electrodo que genera la chispa, y el roscado. El electrodo se genera con una operación de barrido. Para ello, son necesarios 2 bocetos distintos, uno con el perfil a barrer y otro con la trayectoria a seguir en la operación.

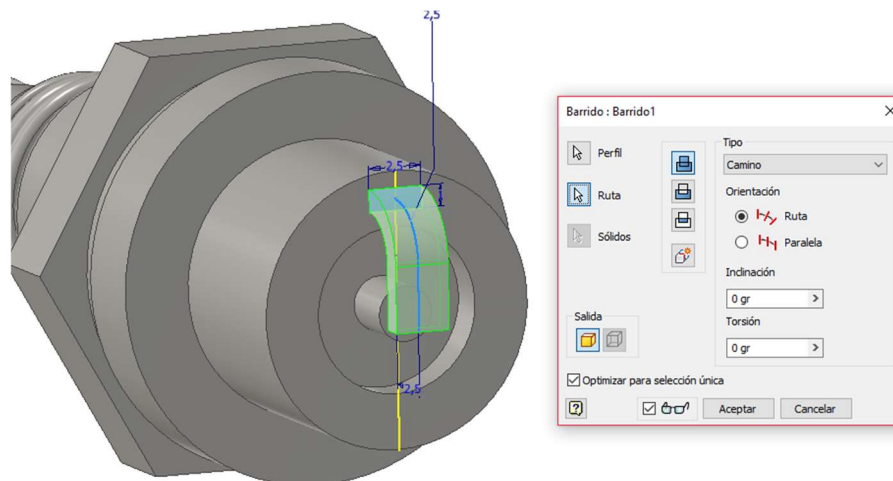


Figura 3.26 Detalle barrido bujía

Por último, con la operación de rosca se genera el roscado M14, mediante el cual se une la bujía al cilindro en su parte superior.

3.1.23 Cubierta bujía

Esta pieza se genera a raíz de que la bujía sobresale de la carcasa del cilindro. Esto es debido a que su ubicación y sus dimensiones no permiten cubrirla junto al cilindro, además de que no es recomendable, ya que es una pieza que suele ser cambiada un par de veces a lo largo de la

vida útil de la herramienta, por lo que crear una cubierta distinta a la del cilindro facilita su acceso.

En cuanto a su modelado, se genera con unas simples operaciones de extrusión, chafan y, para su zona superior redondeada, se opta por una revolución de una semiesfera hueca de 1mm de espesor.

3.1.24 Plato arranque

Esta pieza se modela principalmente con una operación de revolución, ya que su geometría principal es un cuerpo de revolución. Tras esta, se generan 4 agujeros sobre el cuerpo principal. En esta ocasión, al no ser un único agujero, sino que son 4 iguales, se genera un boceto previo a la operación, para facilitar su creación.

Por último, con una operación de extrusión en modo corte, con un boceto en un plano perpendicular al eje de revolución, se generan las aristas en forma de espiral, donde hace contacto la polea del arranque manual.

3.1.25 Arranque manual

El arranque manual es un conjunto de 3 piezas, formado por: la carcasa, la polea y el separador. Su funcionamiento depende de una cuerda, que, al estirar del mango, se desenrolla haciendo girar la polea, que entra en contacto con el plato de arranque, que a su vez hace girar el cigüeñal, iniciando así el movimiento del motor.

El problema de su modelado, viene de la cuerda, la cual, al ser un elemento flexible, de gran longitud y que puede cambiar su forma, es muy difícil de reproducir. Por ello, el arranque manual tiene una función estética, ya que no se puede reproducir fielmente el comportamiento de la cuerda.

La primera pieza, el separador, se modela tomando geometría de referencia de la pieza cárter 1, ya que el separador está en contacto con el motor y con la carcasa. Se crea un boceto en el que están los agujeros para los pernos, y otro agujero de gran dimensión, por el que sobresaldrá el plato del arranque. Este boceto se extruye 0,5mm y se genera una pieza en forma de chapa metálica.

En cuanto a la carcasa, se parte de la geometría del separador, ya que la parte en contacto con esta, es igual en su contorno exterior. Se extruye este primer perfil con una extensión de 6mm. Sobre la superficie del cuerpo extruido, se crea otro boceto que posteriormente se extruye, generando la cubierta de la polea del arranque. En ese momento, la pieza es maciza, pero como se trata de una cubierta, se aplica la operación vaciado sobre la cara que está en contacto con el separador, y generando una pieza de espesor 2mm. Como se ha comentado en el inicio de esta pieza, la función del arranque manual es estética, por lo que el tirador de la

cuerda de arranque está en contacto con la carcasa, se modela como parte de ella. Para ello se emplean operaciones de extrusión y empalme.

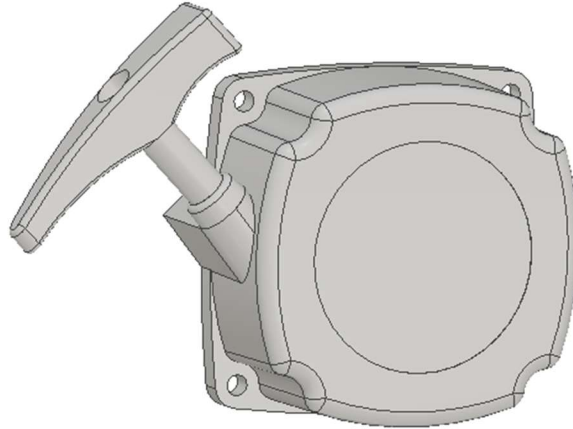


Figura 3.27 Cubierta arranque manual finalizada

Por último, la polea, se genera con una operación de revolución. Su diámetro exterior es de 75mm y el interior de 20mm. En uno de sus laterales se extruyen unas pestañas que al girar entran en contacto con el plato de arranque. Finalmente, se añade una simulación de la cuerda con la operación bobina. Esta operación necesita un boceto con la sección de la bobina, en esta ocasión circular de 2,88mm, y a partir de él, se configura la forma de la bobina.

3.1.26 Escape

El escape del motor se modela a partir de la abertura de la lumbrera de escape de la pieza del cilindro. Proyectando esta abertura en un boceto 2D, se crea la conexión entre el cilindro y el escape.

A partir de aquí, se genera el volumen a partir del cual se da forma al escape. Para ello, se extruyen bocetos rectangulares que genera una figura primitiva del escape. A partir de aquí, con operaciones de extrusión en modo cote, empalmes, agujeros y chaflanes se va ajustando la geometría de la pieza.

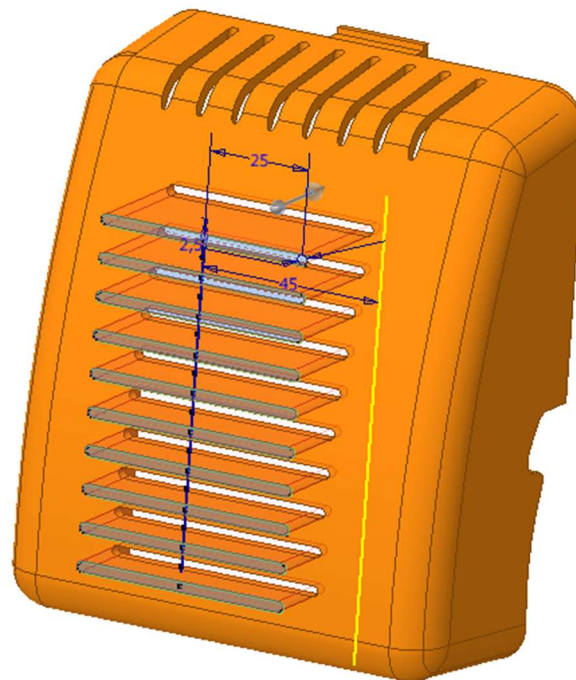
Los últimos pasos del modelado son la creación de la salida de los gases de escape de la combustión del motor. Sobre un lateral de la pieza se crea un boceto con una circunferencia de 13mm, la cual se extruye para dar forma al tubo de salida de gases. Por último, se realiza el agujero de dicho escape con otra operación de extrusión en modo corte, dejando un diámetro interior del tubo de escape de 11mm.

3.1.27 Cubierta escape

Al igual que en otras piezas que también actúan como cubiertas, se comienza con una operación de extrusión, la cual genera un solo bloque, que, transformándolo con diversas operaciones, consigue la forma deseada. En este caso, la cubierta del escape está conectada con la cubierta del cilindro, por lo que para generar el “bloque” inicial, se proyecta parte de la geometría de la cubierta del cilindro.

La siguiente operación, recorta parte de este bloque para adaptarlo a la geometría de la pieza del escape. Para ello, sobre el plano medio de la pieza, se genera un boceto el cual es extruido en modo corte en ambas direcciones. De esta manera, la cubierta se adapta a la curvatura del escape. Un vaciado aplicado sobre la cara que está en contacto con la cubierta del cilindro, genera un espesor de 3mm en la cubierta. Con más operaciones de recorte, se ajusta la geometría de la cubierta para evitar que se superponga a otras piezas. Se suavizan las aristas de la cubierta con una operación empalme de 10mm.

Se generan orificios de ventilación, por medio de unos bocetos en los que se dibujan ranuras, y con operaciones de patrón rectangular, se multiplican.



*Figura 3.28 Detalle ranurado
cubierta escape*

La unión al motor se realiza con una pequeña pestaña que se extruye en un lateral de la cubierta. Esta tiene un agujero por la que se introduce el perno de unión.

El último paso del modelado de la pieza es crear el agujero por donde salen los gases de escape. Se genera un boceto en el lateral de la cubierta, y se proyecta el perfil del tubo de

escape. Se realiza un agujero concéntrico a la proyección del tubo de escape y de diámetro 23mm.

3.1.28 Unión cilindro-carburador

Esta pieza tiene una función doble. Por un lado, se encarga de unir el carburador, y su cubierta al motor, y por otro, conduce la mezcla de aire y combustible creada en el carburador al interior del motor, a través de la lumbrera de admisión.

Se parte de la abertura de la lumbrera de admisión y de los agujeros que hay junto a ella para crear un primer boceto. Este se extruye para comenzar el modelado de la pieza de unión. Mediante operaciones de extrusión y empalme se va generando la pieza.

Un paso clave es la generación del conducto interior. Este tiene una transición entre su sección, desde una forma de ranura, que comparte con la lumbrera de admisión, hasta un círculo, el cual comparte con el carburador. Para ello, es necesario aplicar una operación de solevación en modo corte, que, a su vez, necesitara de varios bocetos, uno con la sección inicial, otro con la final y se pueden añadir más como pasos intermedios. En esta pieza se usarán 3.

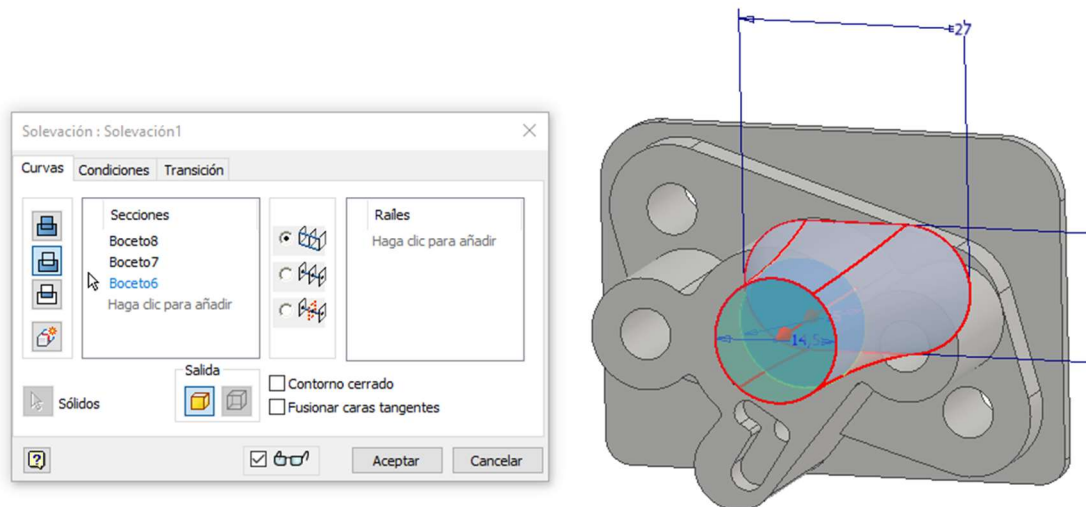


Figura 3.29 Detalle solevación en modo corte

Se añaden nervios para rigidizar la pieza. Estos se generan con extrusiones y posteriormente se redondean con operaciones de empalme. La pieza se finaliza roscando los agujeros en los que se alojan los pernos que unirán el carburador a esta pieza.

3.1.29 Junta carburador

Al igual que las otras juntas del prototipo, ya comentadas anteriormente, la junta del carburador se crea igual que las demás. En un boceto se proyecta la geometría de en la que coinciden el cilindro y la unión cilindro-carburador. Con el perfil creado se extruye 0,3mm para crear una pieza fina cuyo objetivo es asegurar la estanqueidad en las uniones entre piezas.

3.1.30 Carburador

El carburador es una de las partes más delicadas y complejas de un motor de combustión. En este trabajo, la reproducción del carburador del motor desmontado se ha realizado tratando de reproducir lo que a simple vista se puede ver del carburador. El problema es que las partes internas de este no han podido ser desmontadas y por tanto se desconoce su geometría y funcionamiento exacto. Como este no influye en un análisis mecánico del motor, más bien se analizaría en un estudio térmico del motor, el cual no se realiza en este trabajo académico, el carburador tendrá una función estética.

Para modelarlo es necesario crear varias piezas, ya que cuenta con piezas móviles al tratarse de una válvula que el usuario puede manipular para regular el caudal de mezcla que entra en el motor y de esta manera variar su velocidad de giro. La parte principal se modela con operaciones simples de extrusión, revolución, agujeros y simetría. La pieza central es la que gira en el interior del carburador para regular el flujo de mezcla que se introduce en el motor. Es un simple cilindro con un agujero cilíndrico perpendicular a su eje que lo atraviesa. Por último, estas piezas se unen para formar el carburador.

3.1.31 Cubierta y filtro del carburador

La cubierta y el filtro del carburador están formados por un conjunto de piezas, donde cada una tiene su función.

La primera es el filtro. Está formado por una pequeña caja sin tapa, donde está contenido el filtro. Se genera por medio de una extrusión y con una operación de vaciado. Filtro esta modelado como un cilindro hueco. A este, se le asigna una textura distinta a las demás piezas, ya que en realidad es un material esponjoso que permite filtrar el aire.

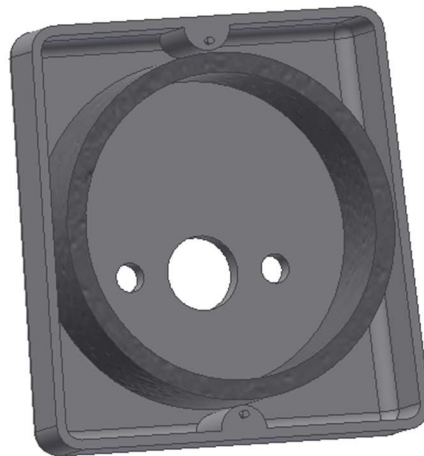


Figura 3.30 Detalle parte del filtro

Dentro del filtro, hay una pequeña pieza metálica que permite unir el filtro al carburador y a la pieza de unión del carburador al cilindro. Además, esta pieza también permite unir la cubierta del filtro al resto de la herramienta. Esta pieza se modela con operaciones de extrusión y un roscado donde se enganchará el perno que unirá la cubierta.

Por encima del filtro, está la tapa del filtro, la cual no es más que un disco con una hendidura en su zona central, por donde la cubierta se acoplará, por medio de un perno al resto de la herramienta. Se modela con extrusiones y empalmes. En su parte superior se acopla a la parte inferior de la caja del filtro por medio de unas pestañas.



Figura 3.31 Filtro con su tapa

Por encima de estas piezas, y cubriendo también el carburador, está la cubierta del carburador. Esta está unida al resto del motor por medio de un perno que, pasa a través de la tapa del filtro, y se engancha en la pieza metálica descrita anteriormente. Su proceso de modelado es muy similar al resto de las cubiertas que componen el motor. Se parte de una

operación de extrusión que genera un bloque, que se va modificando con diversas operaciones y se con una operación de vaciado se selecciona el espesor deseado para la pieza.



Figura 3.32 Cubierta del carburador finalizada

3.1.32 Depósito

El depósito se sitúa en la parte inferior del motor. Esta unido a este por unos pernos que lo sujetan a la pieza del cárter 2, por la parte inferior.

El modelado de esta pieza se comienza proyectando sol agujeros de unión sobre un plano. Se generan los bocetos de las pestañas a través de las que se unirá el deposito al motor. Se extruyen. Sobre una de sus caras se genera el perfil del depósito. Se extruye hasta obtener una pieza de 95mm de ancho. El deposito tal cual está ahora, se solaparía con otras piezas, por lo que en un boceto se proyectan las aristas de corte, y se extruye en modo corte para eliminar esa parte de la pieza. A continuación, se redondean las aristas del depósito con operaciones de empalme. Con una operación de elevación, se genera el tubo por el que se introduce el combustible. Tras esto, con una operación de vaciado, eliminando la parte superior del tubo de llenado, se vacía el interior de la pieza, dejando un espesor de 2,5mm en las paredes. Por último, se crean unas pequeñas aberturas en la parte superior del depósito, por donde circularan los tubos que extraen el combustible del depósito y lo llevan al carburador.

En otra pieza a parte, se modela el tapón del depósito. Este se unirá al depósito en el ensamblaje del prototipo. Se modela con operaciones de extrusión y roscado en la parte interior del tapón. Con unos empalmes y unos cortes y repetidos en todo el contorno del tapón con un patrón circular, se estiliza más la pieza para tener un mejor acabado visual.

3.1.33 Transformador

El transformador, encargado de generar la corriente que provoque la chispa de encendido en la bujía, se modela en dos partes distintas, ya que al tratarse de distintos materiales y distintas partes del propio transformador se decide hacerlo así.

La primera pieza es el núcleo del transformador, este es del tipo acorazado, tiene una columna central, donde se sitúan los devanados y dos columnas exteriores. Para su modelado, se crea un boceto, en el que dibuja el perfil del núcleo, y en los laterales los agujeros que unirán el transformador al resto del motor. Una vez acabado el boceto se extruye una distancia de 8mm y con esto se acaba la pieza.

La segunda pieza es el devanado, el cual está empaquetado en una capsula plástica. Al igual que el núcleo, se modela con una sola operación, de extrusión. En el boceto para esta operación, se proyecta la columna central del transformador, y, alrededor de esta se dibuja el perfil de la capsula. Se extruye y la pieza está acabada.

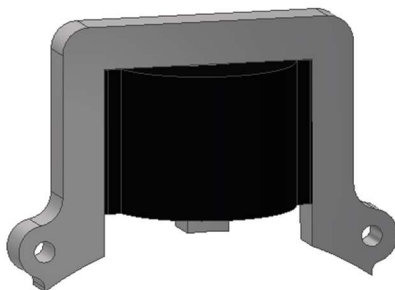


Figura 3.33 Transformador finalizado

3.1.34 Elementos del Centro de contenido

Los pernos con los que se ejecutan las uniones de las piezas, no se modelan, ya que el Autodesk Inventor tiene una gran librería de piezas prediseñadas y adaptables a distintas medidas. Al tener variedad de pernos con distintos diámetros y longitudes, se da buen uso a esta librería, evitando bastante trabajo de modelado. También se emplean un par de tuercas normalizadas para fijar algunas piezas.

Para introducir una pieza de librería, se necesita estar en la versión de Inventor para ensamblajes. En la barra de herramientas, en la pestaña *Ensamblar* se selecciona *Insertar desde el Centro de contenido*. Se abre una ventana y aparece un navegador del centro de contenido. Para llegar a los pernos, que es lo que se va a utilizar, hay que navegar por las siguientes carpetas *Fijaciones*>*Pernos*. Como podemos ver, existe una gran cantidad de contenido. Además, una vez seleccionada la pieza e introducida en el ensamblaje, se abre otra ventana de diálogo donde permite personalizar más parámetros todavía. La lista con las piezas del centro de contenido empleadas en este trabajo es la siguiente:

- ANSI B18.2.4.2M - M8x1,25 – 13
- ANSI B18.16.3M - M8 x 1.25
Tipo de inserción superior
- AS 1420 - 1973 - M4 x 14
- AS 1420 - 1973 - M4 x 20
- AS 1420 - 1973 - M4 x 25
- AS 1420 - 1973 - M5 x 12
- AS 1420 - 1973 - M5 x 16
- AS 1420 - 1973 - M5 x 30
- AS 1420 - 1973 - M5 x 40
- AS 1420 - 1973 - M6 x 50
- AS 1427 - M4 x 6(5) II
- AS 1420 - 1973 - M5 x 16

3.2 Ensamblaje de la herramienta

Una vez finalizado el modelado de todas las piezas que componen la herramienta, es momento de crear el ensamblaje, el cual es la unión de las piezas por medio de restricciones de grados de libertad y uniones, que tienen como resultado el prototipo virtual de la herramienta estudiada en este trabajo académico.

Para llevar a cabo el ensamblaje, hay que abrir un nuevo archivo en Inventor. En este caso, se abre un archivo del tipo "Normal.iam". Este es el formato del que dispone el software para realizar ensamblajes, ya que dentro de este se encuentran las herramientas necesarias para introducir las piezas y unir las entre sí.

Las piezas se van añadiendo al ensamblaje con la operación *Insertar*, al igual que las del Centro de contenido, en el desplegable de la operación *Insertar*, *Insertar desde el Centro de contenido*.

Se comienza el ensamblaje introduciendo la pieza que va a ser la base del ensamblaje, ya que esta tendrá una posición fija, es decir, tendrá todos los GDL restringidos. En este caso, pieza que se considera fija es el cárter, ya que este no tendrá ningún movimiento. Para ello, se introduce la pieza, y cuando ya aparece sobre la pantalla, con el botón derecho se hace click y se gira hasta tenerla colocada con una buena orientación y a continuación se selecciona la opción fijar al origen.

La siguiente pieza, en colocarse sería la junta del cárter. Esta pieza se genera como proyección de la geometría del cárter 1, por lo que el modelado, pese a haber sido explicado anteriormente, se realiza sobre el ensamblaje. Con la operación *Crear* de la pestaña *Ensamblar* se pueden modelar piezas a partir del ensamblaje. Además, existe una opción seleccionable "*Restringir plano de boceto a cara o plano seleccionados*" la cual permite seleccionar una cara o plano a la que la nueva pieza estará unida y restringida por completo.

Una vez creada la junta, se introduce la segunda parte del cárter. Para unirla al ensamblaje, se emplean restricciones con la operación *Restringir*. Para facilitar el ensamblaje, es común usar la Rotación libre al insertar una pieza, de esta manera se puede "encarar" la pieza para su

ensamblaje. Las restricciones empleadas para el ensamblaje del cárter son, restricciones de coincidencia. El proceso es, restringir la superficie que está en contacto con la junta con la superficie de esta, de esta manera ambas superficies estar siempre en contacto. Para acabar de alinear la pieza, se hacen coincidir los ejes de los agujeros por los que se introducirán los pernos. Esta manera de restringir la pieza en el ensamblaje, es la forma que más se va a utilizar en este proyecto para las piezas que no tendrán movimiento, se hacen coincidir las superficies en contacto y se hacen coincidir los agujeros que crean las uniones mecánicas.

El cilindro y su junta se ensamblan de la misma manera que se ha hecho con el cárter, ya que estas piezas tampoco presentaran movimiento alguno. De esta manera, queda ensamblado el bloque motor.

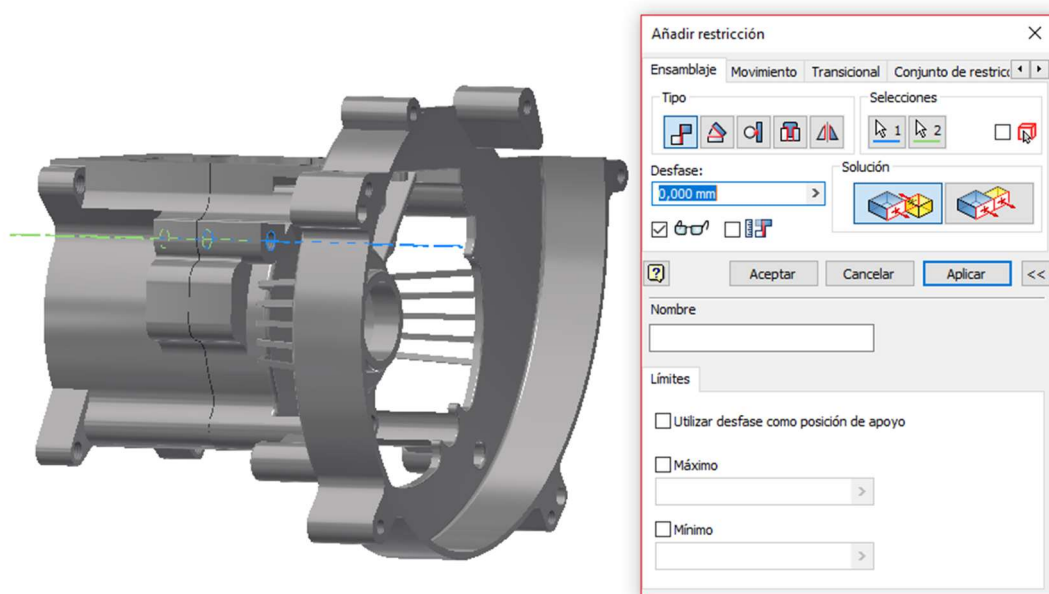


Figura 3.34 Detalle coincidencia de ejes de agujeros

Una vez se tiene el bloque motor correctamente ensamblado, es decir, no tiene grados de libertad, se ensamblan las partes móviles del motor, es decir, el conjunto formado por el cigüeñal, la biela y el pistón. Para facilitar el ensamblaje, se montan todas las piezas móviles juntas primero y después se introducen en el bloque motor.

Para crear la unión del pistón a la biela, se hacen coincidir el eje de todas las piezas de esta unión. El rodamiento de agujas, se hace coincidir uno de sus caras planas con otra de las caras planas de la biela y se aplica un desfase de 3mm para que no exista movimiento axial entre ellas. Lo mismo se hace con el bulón respecto al pistón, pero con un desfase de 1,5mm. También se aplica un desfase entre el bulón y el rodamiento de agujas, esta vez de 8,5mm.

El cigüeñal se crea restringiendo con una condición de coincidencia los ejes del pasador y de los agujeros de los contrapesos. También se hace coincidir sus superficies. Para que los balancines no giren uno respecto del otro, se aplica una restricción de ángulo de 0° entre dos de sus aristas, para que se mantengan alineadas siempre. A continuación, se une el grupo del

pistón y la biela al cigüeñal, por medio de un rodamiento. Se restringe igual que se ha hecho para el rodamiento del pistón y la biela. Tras esto, las piezas móviles del interior del motor ya están unidas.



Figura 3.35 Piezas móviles del motor

El siguiente paso es introducir los elementos móviles dentro del motor. Previo a esto, es necesario colocar los rodamientos de bolas del eje dentro del motor. Para facilitar esta operación, las piezas ensambladas del bloque motor se les da un aspecto transparente para poder ver el interior con más facilidad. Para colocar los rodamientos, se crea una unión rígida entre el agujero interior del rodamiento y el agujero sobre el que van instalados.

Una vez insertados los rodamientos, con dos restricciones de coincidencia, se instalan las piezas móviles dentro del motor. La primera es una restricción de coincidencia entre el eje central del pistón y la del interior del cilindro. Esto provoca que el cilindro solo pueda desplazarse alineado con el cilindro. La segunda restricción es de coincidencia entre el eje del cigüeñal y el eje del agujero interior del rodamiento insertado en el cárter. De este modo se alinean los ejes del cigüeñal con los de los rodamientos que lo sostienen. La que quede correctamente restringidas por completo a un solo grado de libertad las piezas móviles (el desplazamiento vertical del pistón), se crea una restricción angular entre el eje del agujero de bulón del pistón y la arista de una aleta del cilindro. De esta manera, se asegura que el pistón únicamente pueda estar dentro del cilindro y con su parte superior encarada hacia la cámara de combustión.

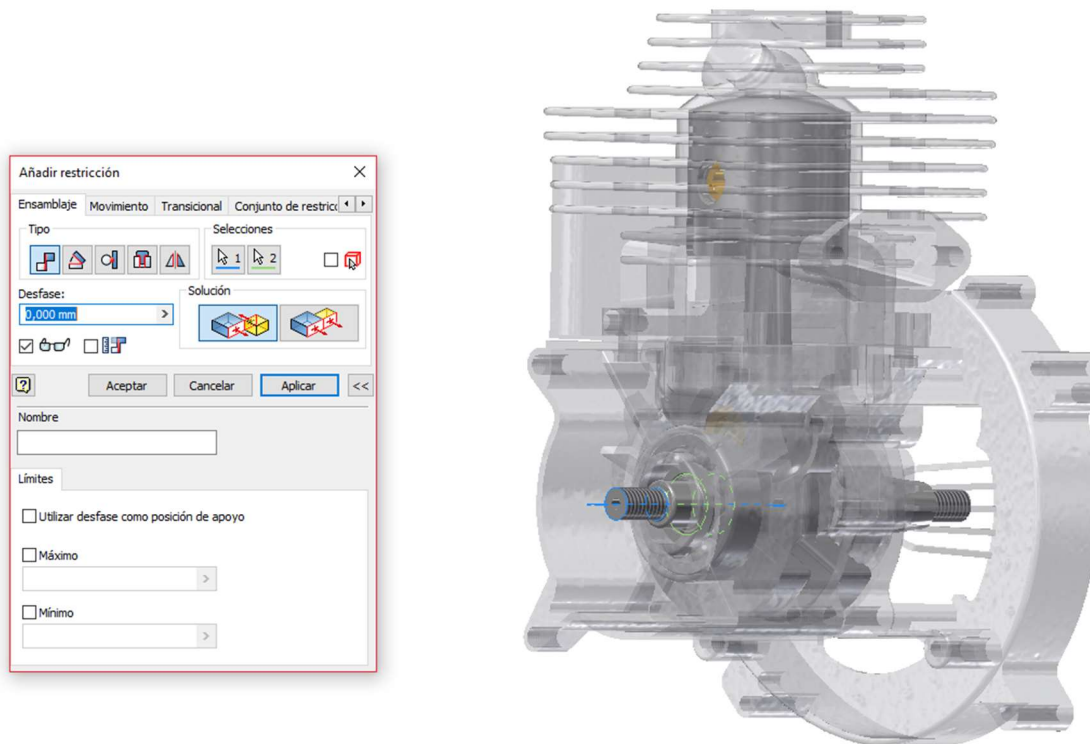


Figura 3.36 Detalle introducción partes móviles en el motor

A continuación, se añade el ventilador al eje del cigüeñal. Entre ambos estará la chaveta que asegura el giro solidario de ambas piezas. Esta se ensambla con restricciones de coincidencia. Sobre este, se instala el embrague. El embrague está formado por las zapatas los pernos de unión los separadores y el muelle de extensión. Se colocan las arandelas separadoras sobre el ventilador con una unión rígida. Sobre estas, con restricciones de coincidencia entre ejes y superficies se colocan las zapatas del embrague y, conectando ambos, se sitúa el muelle de extensión, ensamblándolo con restricciones de coincidencia de ejes. Por último, con uniones rígidas, se sitúan los pernos modelados, que unen el embrague al ventilador.

La bujía, se ensambla con una operación de unión. Se selecciona la circunferencia inicial de la rosca y la circunferencia exterior del agujero donde se instala y se aplica la unión rígida, de tal manera que no permita ningún GDL.

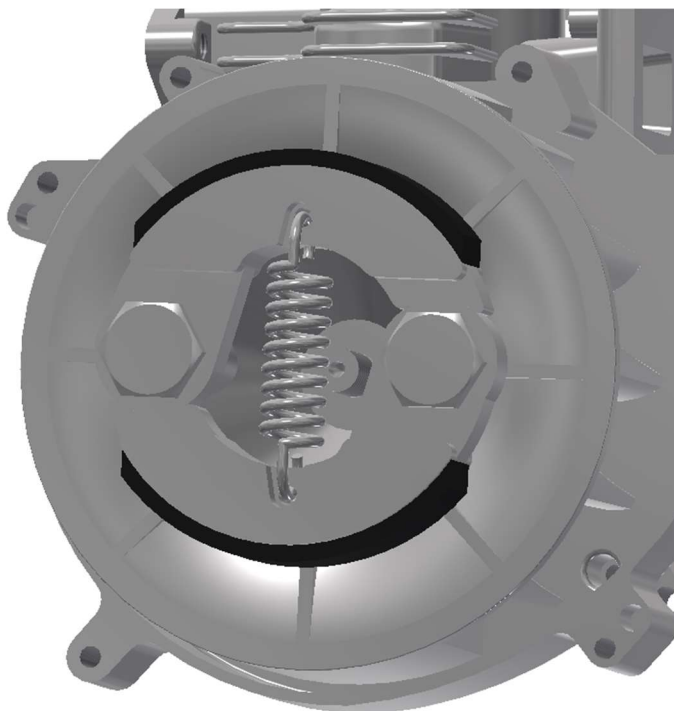


Figura 3.37 Detalle embrague ensamblado

Una vez finalizado el ensamblaje de las piezas móviles, el resto del ensamblaje es mucho más sencillo, el único punto a tener en cuenta son que no se quede ningún GDL disponible en las piezas no móviles. Para ello, se modelan la mayoría de las piezas con la operación Crear, desde el propio ensamblaje, ya que, como se ha comentado antes, estas quedan completamente restringidas. Otras, sin embargo, las que no se modelan desde el ensamblaje, se ensamblan con las restricciones que se han nombrado en las primeras piezas, o restricciones de coincidencia entre superficies en contacto y de coincidencia entre ejes de agujeros comunes o con uniones rígidas.

Las últimas piezas a colocar en este ensamblaje, son los pernos y tuercas del centro de contenido de Autodesk Inventor. Estos consolidan las uniones entre piezas. Todas ellas han sido colocadas con la operación de unión rígida, ya que estas piezas no tienen ningún movimiento cuando la herramienta está en funcionamiento, únicamente aseguran las uniones entre piezas.

Una vez finalizado el ensamblaje de todas las piezas, se añaden texturas y colores a las piezas, para de esta manera, dar un acabado más estético y realista. Las imágenes finales del ensamblaje del prototipo virtual de la herramienta, son los de la Figura 3.34 y la Figura 3.35.

Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por motor de combustión de 2 tiempos.



Figura 3.38 Frontal ensamblaje finalizado



Figura 3.39 Parte trasera ensamblaje finalizado

4. SIMULACIÓN Y COMPROBACIÓN

En este punto del trabajo, se procede a la simulación dinámica del prototipo generado en el ensamblaje de las piezas. Esta simulación permite realizar un primer análisis de cómo se comportará el modelo diseñado, sin necesidad de fabricar prototipos reales y su coste por las iteraciones necesarias en los componentes. En la realidad, es común que los distintos procesos que se llevan a cabo en este trabajo académico se realicen con distintos softwares, ya que cada uno está especializado en un apartado en concreto, en el que destaca sobre el resto de sus competidores. Por ejemplo, se modelarían las piezas y el ensamblaje con un programa CAD 3D como es el caso de Autodesk Inventor o Solidworks. La planimetría se generaría tras exportar estos modelos a AutoCad y los análisis dinámicos y mecánicos, se realizarían con software más especializado en CAE (Computer Assisted Engineering), como es el caso de Ansys o ADAMS. Pese a ello, y por que no se va a profundizar en todos los aspectos, este trabajo académico se realiza por completo con el software Autodesk Inventor, ya que tiene módulos que permiten llevar a cabo todas estas operaciones con un solo software.

En este caso de estudio, se realiza una simulación mecánica en la que la herramienta estudiada se somete a unas condiciones aproximadas a la realidad. En este apartado, se lleva a cabo el estudio en el que se determinan las fuerzas que actúan sobre la biela del motor, en unas condiciones habituales de funcionamiento. El resultado de este capítulo será la determinación de las fuerzas que actúan sobre la biela para, en el capítulo siguiente, comprobar si el material o las dimensiones iniciales del modelado de la pieza no son apropiados por no poder resistir el estado de fuerzas simulado. En este capítulo también tienen un papel importante las restricciones generadas en el ensamblaje del prototipo, ya que estas determinaran las reacciones con las que se trabaja en la simulación.

El flujo de trabajo para el análisis dinámico del prototipo es:

1. Creación de uniones en el prototipo.
 - a. Conversión automática de las uniones estándar y giratorias.
 - b. Inicialización de todas las posiciones de las uniones a 0.
2. Creación de restricciones en el entorno del prototipo.
 - c. Imposición de un régimen de giro fijo y aplicación de la fuerza exterior.
 - d. Establecimiento de premisas lógicas para la fuerza exterior a partir de las gráficas.
3. Análisis de resultados obtenidos.
 - e. Recogida de los esfuerzos sobre la biela.

Primero hay que determinar las condiciones sobre las que se quiere realizar el análisis dinámico, es decir, hay que establecer el régimen de giro de motor para el que se realiza el estudio, y, además, hay que obtener una fuerza cuyo valor sea un valor aproximado a la realidad, que represente la fuerza que se aplica sobre el pistón por la explosión generada en la cámara de combustión del motor.

Como el motor se ha modelado a partir de un motor real, se pueden obtener algunos datos reales de su placa de características, Figura 1.3. En ella vemos que la velocidad máxima de giro del eje del motor es de 7400rpm. Sin embargo, el estudio se va a realizar con el otro dato que contiene la placa, 1,25kW a 6500rpm, es decir, el punto de máxima potencia de la máquina. Por lo tanto, el régimen de giro será de 6500rpm.

En cuanto a la fuerza sobre el pistón, disponemos de un dato, la potencia máxima del motor desmontado y que sirve como base del modelado es de 1,25kW. De acuerdo a lo estudiado en la asignatura de máquinas térmicas, esta sería la potencia máxima específica, es decir, la máxima que puede aprovecharse del motor, es decir, la útil que queda tras eliminar las potencias por pérdidas mecánicas y por bombeo. Como no conocemos estos valores de pérdidas, se decide tratar la potencia suministrada en la placa como Potencia Indicada máxima del motor, es decir la potencia máxima teórica que se puede obtener del motor sin tener en cuenta pérdidas. A partir del trabajo indicado, podemos obtener la Presión media indicada (pmi), "*Presión constante que durante una carrera produce un trabajo igual al trabajo indicado*" [6]. Por lo tanto, tendremos que tener en cuenta que la fuerza se aplicara solo en una carrera, la carrera de trabajo del motor de 2T. A partir de la fórmula de pmi, tendremos la presión en el pistón durante la carrera de expansión. La fórmula es la siguiente:

$$N_i = pmi \cdot V_d \cdot n \cdot i$$

donde:

N_i : Potencia indicada

V_d : Cilindrada

n : Régimen de giro

i : Constante de ajuste, 2T $i=1$, 4T $i=1/2$

Se obtiene un pmi de 8691,42 Pa.

Conociendo la presión sobre el pistón, y con el valor de la sección de este, la cual es, para un diámetro de 40mm, 1256mm², podemos conocer la fuerza sobre el pistón, ya que:

$$\text{Fuerza} = \text{Sección del pistón} \cdot \text{Presión}$$

Se obtiene como resultado una fuerza de 1080,9 N.

4.1. Simulación dinámica con Inventor

Antes de comentar el proceso de simulación, cabe comentar que, para facilitar el proceso de preparación de la simulación y también para poder hacer una manipulación más eficiente, se ha creado un ensamblaje en el que se ha reducido la cantidad de piezas, ya que muchas de ellas, como las carcasas o el embrague, no influyen en esta simulación. En este ensamblaje, se han dejado todas las partes internas del motor (pistón, cigüeñal, rodamientos, ventilador) y el bloque motor (cilindro y cárter). Además, se ha cambiado la apariencia del bloque motor, para que sea visible el interior de este, seleccionando un material y una apariencia casi transparente.

Para abrir el entorno de la simulación dinámica, es necesario tener abierto un archivo de ensamblaje. Dentro de este, en la barra de herramientas, se selecciona la pestaña *Entornos* y dentro de esta, *Simulación Dinámica*.

Una vez dentro de la herramienta, el primer paso es seleccionar la opción *Configuración de la simulación*, y se seleccionan las opciones de *Convertir automáticamente restricciones en uniones estándar* y *Todas las posiciones iniciales a 0*. También tenemos que desplegar más esta ventana y seleccionar la opción que nos permite establecer velocidades de entrada en rpm, ya que esta es la unidad que se va a trabajar. Al dar a aceptar, en la lista de componentes, se modifica para mostrar las uniones creadas automáticamente. Como no salta ningún mensaje de alerta por restricciones redundantes, podemos continuar preparando la simulación. Esto es debido a una correcta creación de restricciones y uniones en el proceso de ensamblaje.

El siguiente paso es establecer las condiciones de contorno de la velocidad de giro y de la fuerza aplicada. Para ello, en la lista de uniones, hacemos click en restricción en la que se produce el giro del eje, ya que en esta hay que establecer la velocidad del motor. Hacemos doble click en la unión estándar *Punto-Línea:1 (Rodamientoeje:1, Grupo soldado:4)*. Se abre una ventana de propiedades y se busca la pestaña correspondiente al grado de libertad correspondiente al giro del eje, en este caso *Grado de libertad 3 (R)*. En *Editar movimiento impuesto*, establecemos una velocidad fija de 6500rpm.

Ahora toca asignar la fuerza externa. Para ello, en la barra de herramientas seleccionamos *Fuerza*. Como ubicación seleccionamos la superficie superior del pistón, y para la dirección, un punto de la parte cilíndrica del pistón, y como podemos ver, cambiamos la dirección de aplicación, ya que es una fuerza debida a la expansión del fluido interno del motor. En el campo magnitud, se hace click en la flecha y se selecciona *Grafico de entrada*. Lo que vamos a crear a continuación es una función escalón, que vaya entre 1080,9 N, nuestra fuerza máxima y 0 N, que solo actúe cuando el pistón realiza un movimiento descendente. Para ello creamos un *Punto de inicio* con $X1=0$ s y $Y1=1080,9$ N y un *Punto final* con $X2=0,1$ s y $Y2=1080,9$ N y añadimos la condición de que *“Si la $V[1]$ (Prismático:16) es inferior a que el 0,000000 mm/s”*. De esta manera se crea la función escalón.

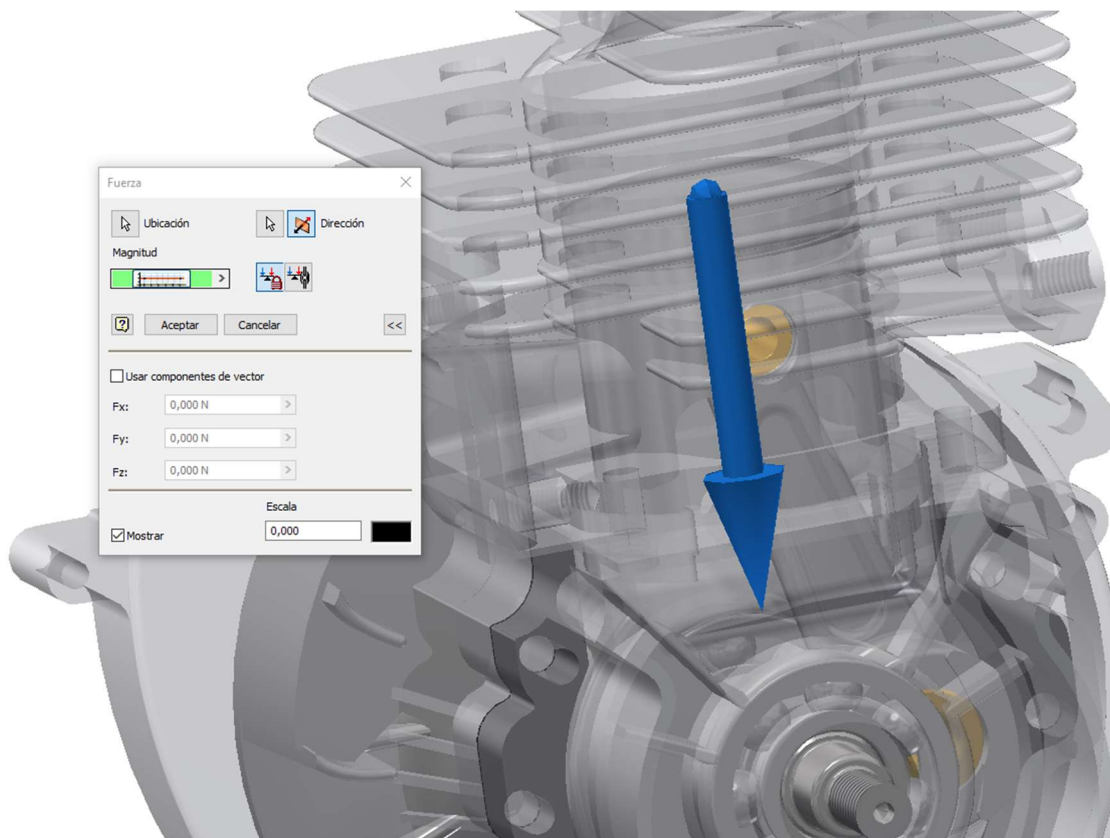
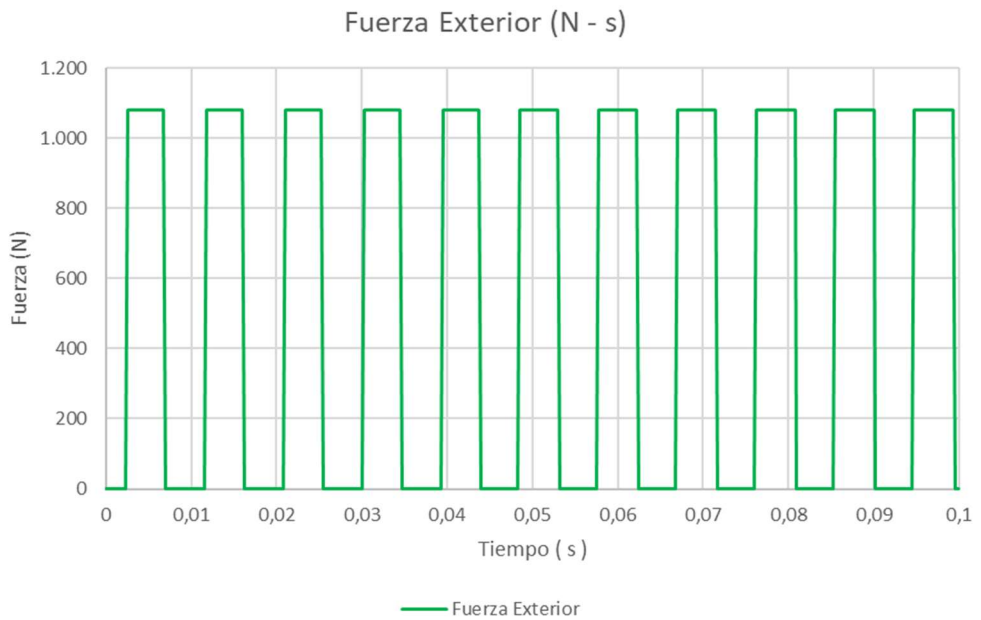
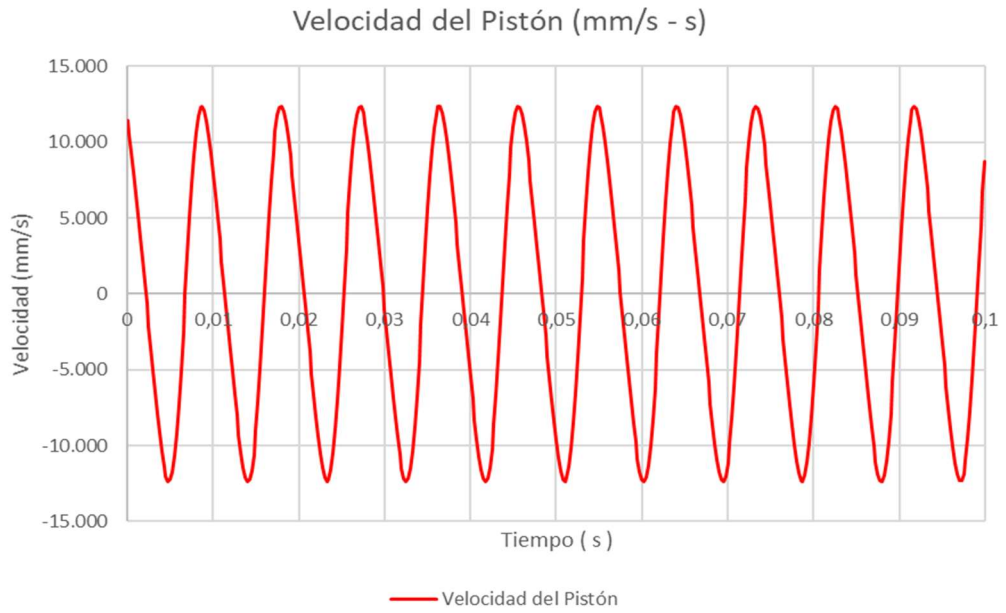
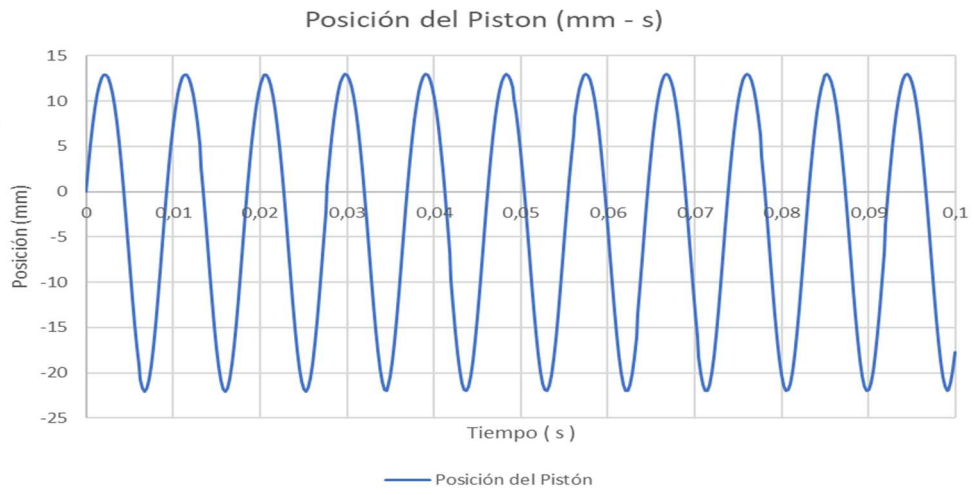


Figura 4.1 Detalle de la fuerza sobre el pistón

Una vez creada la fuerza, es momento de realizar la simulación. Para ello, se hace click en la opción *Simulador* de la barra de herramientas. Se abre una ventana con un controlador de tiempo. En el establecemos una duración de simulación de 0,1 s y un muestreo de 200. A continuación, se le da al *Play* y comienza la simulación. Si se desea realizar una modificación tras realizar alguna simulación, se hace click en el botón *Modo de construcción*.

4.2. Resultados de la simulación

Tras la simulación, es momento de analizar los resultados obtenidos, para comprobar que la solución se adapta a los requerimientos iniciales. La manera más fácil de comprobarlo es por medio de gráficas, y están disponibles en la opción *Gráfico de salida* de la barra de herramientas. En este gráfico, se pueden ver representadas infinidad de variables respecto al tiempo, tales como fuerzas, velocidades, aceleraciones, posiciones, ... de todas las uniones existentes en el ensamblaje simulado. Además, estas variables pueden ser graficadas de manera individual o juntas para tener una mejor visión de las influencias entre variables. Una opción muy interesante que también ofrece es la exportación a Excel de los datos, el cual reproduce las gráficas también, tanto juntas como separadas.



Visualizando las gráficas de las variables posición, y velocidad del pistón, junto con la de la variable fuerza externa, se observa que la simulación ha sido un éxito, dado que la fuerza se aplica únicamente en los tramos de baja del pistón, o, dicho de otra manera, en los que su velocidad lineal es negativa.

5. ANÁLISIS MEDIANTE EL METRODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS Y CONCLUSIONES

En este último capítulo del trabajo académico, se realiza un análisis en el que se pone a prueba todo lo realizado en los capítulos anteriores. Tras la simulación dinámica en el la que se comprueba el funcionamiento de la herramienta, es momento de verificar si las dimensiones y los materiales considerados en el diseño, son capaces de soportar los esfuerzos a los que son sometidos durante su funcionamiento. Con ese objetivo, se realiza un análisis mediante el método de los elementos finitos.

Para la realización del análisis MEF, es necesario importar las cargas de reacción en las uniones de la biela con el resto de componentes, las cuales se obtienen en la simulación dinámica. Para concluir, el programa genera un cálculo de la tensión equivalente mediante el método de Von Mises, y obtiene un coeficiente de seguridad, comparando la tensión equivalente de Von Mises con el límite elástico del material utilizado. Este coeficiente de seguridad indica el riesgo de fractura del material. Una vez obtenidos los resultados, se da por valido el diseño, o en su defecto, se realizan correcciones sobre las posibles causas de que el diseño no sea válido.

5.1. Análisis de tensión

Para comenzar el análisis de tensión mediante elementos finitos, es necesario exportar las fuerzas que actúan sobre las uniones de la biela. Para ello, es necesario observar cuando se producen los valores máximos de estos esfuerzos en el análisis dinámico.

Se vuelve al entorno de análisis dinámico y se vuelve a simular con la misma configuración que en el capítulo anterior. Tras la simulación, se abre el grafico de salida y se seleccionan las fuerzas de reacción existentes en las uniones de la biela.

Como se puede observar en la Figura 5.1, los máximos de las reacciones se producen al inicio de la carrera de expansión, por lo que ese punto es el que se procede a analizar. Los valores de dichas reacciones son, 1850 N y 1606 N en el instante 0,049 s de simulación. Este punto temporal es el que se exporta el MEF por medio de la operación Exportar a CEF.

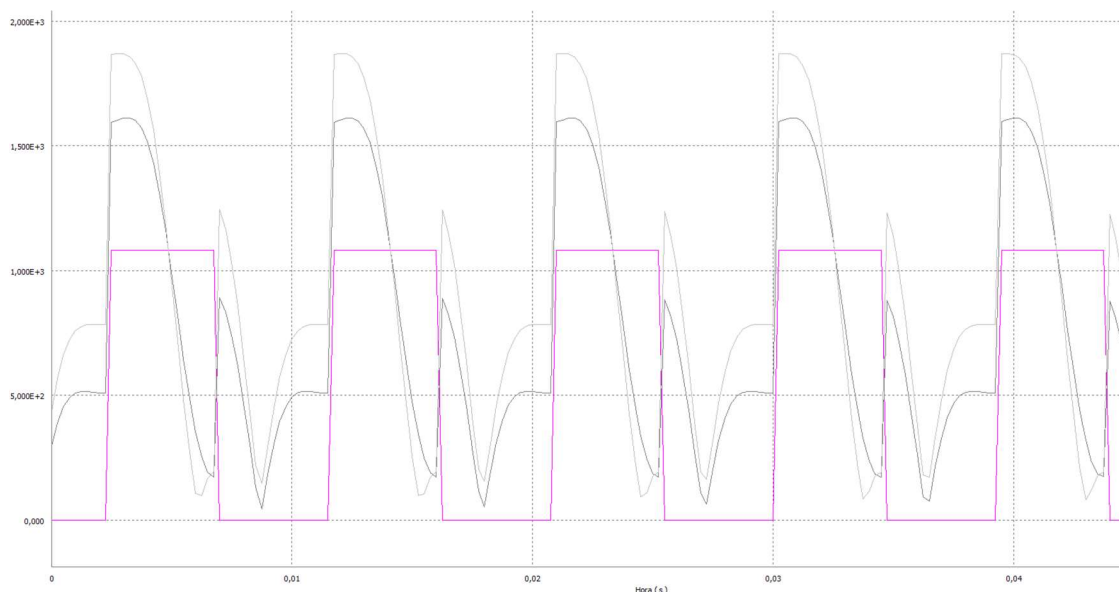


Figura 5.1 Fuerzas de reacción (grises) y fuerza externa en la biela (rosa)

5.2. Obtención de resultados

Tras seleccionar el instante de tiempo que se exporta y las cargas, se solicita la selección de la pieza del ensamblaje a analizar. Se selecciona la biela y se continúa.

Dentro del entorno de análisis de tensión MEF, se selecciona la opción *Crear estudio* de la barra de herramientas. Se abre una ventana en la que se declara un nombre al estudio creado. A continuación, se marca la casilla de *Análisis de cargas en movimiento* el cual permite la exportación de los datos del análisis dinámico. Junto a esta opción se activa de manera automática la opción *Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido*. Se hace click en Aceptar.

Tras configurar la ventana de creación de estudio, ya es posible generar y visualizar la malla de la biela, y se puede llevar a cabo la simulación con la opción *Simular*.

Tras la simulación, en el menú lateral, aparecen unos desplegados que nos permiten visualizar una gran cantidad de resultados sobre la pieza estudiada. Algunas de las más interesantes son la Tensión de Von Mises, el coeficiente de seguridad de la pieza y el desplazamiento. Estas variables se muestran una vez seleccionadas sobre la pieza, mapeado con un gradiente de colores y una escala donde aparecen los valores para cada color. De igual manera se pueden mostrar los máximos y mínimos con una flecha y un cartel que indican su ubicación en la pieza analizada.

6

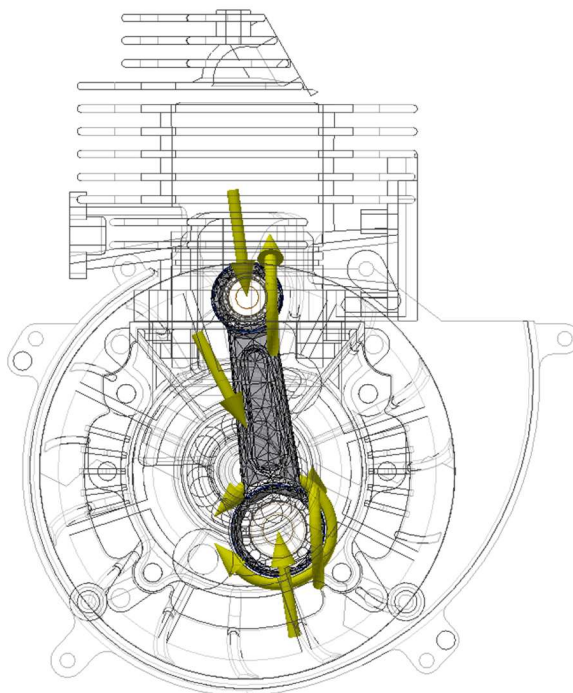


Figura 5.2 Malla de la biela y fuerzas de reacción sobre ella

5.3. Conclusiones del estudio

Una la simulación del análisis de tensiones MEF para nuestra pieza, es momento de analizar los resultados desprendidos de este. Es momento de ver los resultados de las tensiones equivalentes de Von Mises, ver donde se produce el máximo valor, y tratar de analizar el porqué de este hecho.

En la biela modelada inicialmente, la zona indica con mayor tenison de Von Mises por el análisis de esfuerzos, es el encuentro del cuerpo central de la biela y uno de los anillos de conexión. Puede ser debido a diversos factores:

1. La sección central del cuerpo es muy pequeña
2. El radio del empalme entre las zonas en la que se encuentra la máxima tensión, actúa a modo de concentrador de tensiones.

Tras ver las tensiones máximas equivalentes, es momento de comprobar el coeficiente de seguridad de la pieza, para ver si los esfuerzos aplicados sobre la biela provocaran deformaciones permanentes (si el coeficiente es inferior a 1) o si por el contrario se puede dar por válida la pieza.

Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por motor de combustión de 2 tiempos.

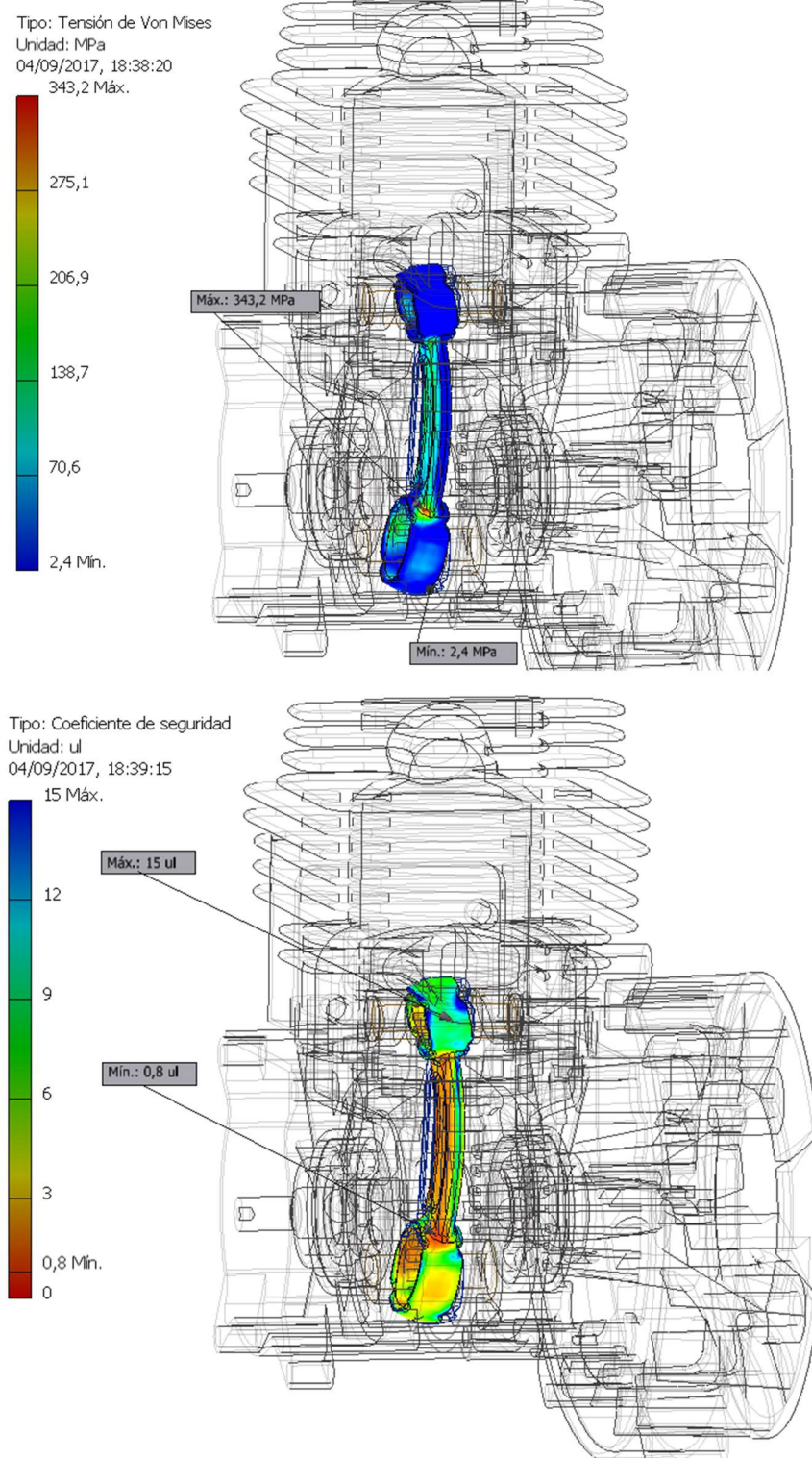


Figura 5.3 Tensiones de Von Mises y Coeficiente de seguridad en la pieza modelada

Como se puede observar en la Figura 5.3, el coeficiente mínimo de seguridad es 0.8, por lo que la biela sufriría deformaciones permanentes en su punto de máxima potencia. Además, se puede apreciar que gran parte del cuerpo central de la biela tiene valores muy bajos del coeficiente de seguridad, al estar coloreados en tonos rojos.

Tras estos resultados, es conveniente replantear el modelado de la biela. Se trataría de aumentar el espesor de la zona central de la pieza, ya que esta es la más castigada por los esfuerzos bajo los que trabaja. Por ello se aumenta el espesor de esta sección de 4,4mm a 5mm. Tras modificar la sección de la pieza, se recalculan los contactos y la malla y se vuelve a simular.

Los resultados de la primera iteración mejoran el coeficiente de seguridad, pero su mínimo es 0,85, todavía lejos de 1. Como el aumento del espesor tiene tan poca influencia en el coeficiente de seguridad, a no ser que se haga un gran cambio de sección el cual no está previsto, el otro aspecto a modificar podría ser el material de composición.

En principio, a la biela se le había asignado un material ligero como es el aluminio 6061. Este material tiene un Límite elástico asignado en Inventor es de 275 MPa. Como el coeficiente de seguridad es una comparación entre la tensión equivalente de Von Mises y el Límite elástico del material con el que está fabricado la pieza, es necesario elegir un material con un Límite elástico superior. Con tal objetivo se selecciona el Acero al carbono. Este tiene un Límite elástico de 350 MPa por lo que el coeficiente de seguridad se tendría que ver afectado. Tras el cambio de material de la pieza, se vuelve a realizar el estudio, esperando unos resultados mejores.

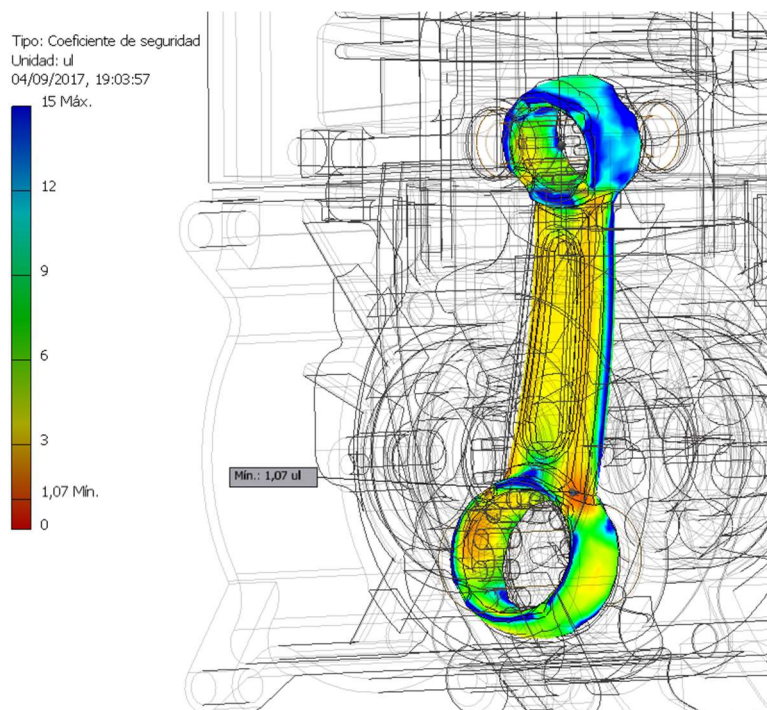


Figura 5.4 Coeficiente de seguridad de la biela fabricada en acero al carbono

Se observa que en este caso el coeficiente de seguridad ha aumentado hasta 1.07, por lo que se concluye que esta pieza ya es apta para el estado de carga máximo que puede sufrir la pieza.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] DRAE
- [2] Transparencias de Máquinas Térmicas. Tema 1: LA MÁQUINA Y EL MOTOR TÉRMICO
- [3] US Patent 4286675 . “Narrow profile power handle for line trimmer and the like”, Lloyd H. Tuggle
- [4] [5] Inventor y su simulación con ejercicios prácticos. Wasim Younis. Marcombo ediciones técnicas
- [6] Transparencias de Máquinas Térmicas. Tema 2: CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE MCI
- Motores de Combustión Interna Alternativos. F.Payri, J.M. Desantes. Editorial Reverté
- Apuntes Máquinas Térmicas
- Apuntes Máquinas Hidráulicas

Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por motor de combustión de 2 tiempos.

Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por motor de combustión de 2 tiempos.

PRESUPUESTO

1. INTRODUCCIÓN

Tras la realización del Trabajo Final de Grado de título Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por motor de combustión de 2 tiempos, es momento de valorar económicamente el trabajo realizado. De este hecho, surge la necesidad de generar un presupuesto del TFG.

En el presupuesto es necesario valorar todos los trabajos necesarios para llevar a cabo el TFG, como son el modelado y análisis del prototipo creado, la realización de planos, ... y por otra parte también es necesario valorar el material empleado con dicho propósito, ya sea material de oficina, software, equipos, ...

Por ello, el presupuesto se desdobra en dos partes, una para el Desarrollo del TFG y otra para los equipos, herramientas y material empleado. Tras generar ambas partes, se creará el presupuesto global del trabajo y se obtendrá un coste total de la ejecución del trabajo, al que se le incluirá el impuesto de valor añadido o i.v.a.

2. PRESUPUESTO 1: DESARROLLO DEL TFG

La duración total del desarrollo del TFG es de 300 horas, ya que consta de 12 créditos ECTS. Las horas se han repartido de la siguiente manera en los distintos trabajos:

- *Modelado y análisis del prototipo virtual:* Son necesarias 230 horas, debido a la gran cantidad de piezas a generar, la dificultad de algunas de estas, y la tarea posterior al modelado en la que se analiza el prototipo generado.

El salario por hora que puede solicitar un ingeniero es superior a lo que puede cobrar en nómina en una empresa, por lo que se hace una estimación de 30€/hora.

- *Redacción de la memoria:* Son necesarias 60h, en las que se recopila información y se documenta el trabajo realizado.

Esta parte la realiza la tiene que realizar el ingeniero que ha realizado el modelado, ya que en esta se explica detalladamente el proceso seguido. El salario es el mismo que en el primer punto.

- *Generación de planos:* Son necesarias 10 horas, gracias a que el software facilita este proceso y a que no se han generado planos de detalle de todas las piezas del prototipo.

Esta parte puede ser realizada por un técnico con estudios no universitarios, por lo que el salario podría rondar los 20€/hora.

DESARROLLO DEL TFG				
CONCEPTO	HORAS	ENCARGADO	PRECIO POR HORA (€/h)	PRECIO TOTAL (€)
<i>Modelado y análisis del prototipo virtual</i>	230	Ingeniero	30	6.900 €
<i>Redacción de la memoria</i>	60	Ingeniero	30	1.800 €
<i>Generación de planos</i>	10	Técnico delineante	20	200 €
			TOTAL	8.900 €

2. PRESUPUESTO 2: EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIAL EMPLEADO

En este presupuesto se desglosan todas las herramientas y equipos empleados en el TFG. Estos son el equipo informático y las licencias de software empleadas. Además, también se incluye el motor que se ha empleado como referencia, y una estimación de los costes derivados de la impresión de la memoria y los planos:

- *Coste de amortización de la licencia de Office 365:* La licencia anual de Office 365 tiene un coste de 69€. Por lo tanto, suponiendo que al año hay unas 1760 horas laborables, el coste de amortización es de 4 céntimos la hora.
- *Coste de amortización de la licencia de Autodesk Inventor:* El coste de una licencia profesional de 3 años de este software supone un coste de 7477,80 €. Suponiendo que al año hay unas 1760 horas laborables y la duración de la licencia es de 3 años, el coste de amortización es de 1,41 euros por hora.
- *Coste de amortización del equipo informático:* La elaboración del TFG se ha realizado completamente con un equipo portátil. Su coste es de 800 €. El periodo de amortización se ha supuesto a 3 años, ya que el ordenador no se usa únicamente de manera profesional. Por lo que se obtiene un coste de 9 céntimos de euro la hora.
- *Motor de ejemplo:* El motor utilizado como ejemplo no ha tenido coste alguno, ya que se disponía de el por que estaba estropeado y en desuso.
- *Material de impresión y oficina:* Se estima un coste de unos 70 € en concepto de impresión de la memoria y los planos.

Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por motor de combustión de 2 tiempos.

EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIAL				
CONCEPTO	UNIDAD BASE	CANTIDAD	PRECIO POR U.B. (€/U.B.)	PRECIO TOTAL (€)
<i>Coste de amortización de la licencia de Office 365</i>	H	60	0,04	2,4 €
<i>Coste de amortización de la licencia de Autodesk Inventor</i>	H	240	1,41	338,4 €
<i>Coste de amortización del equipo informático</i>	H	300	0,09	27 €
<i>Motor de ejemplo</i>	UN	1	0	0 €
<i>Material de impresión y oficina</i>	UN	1	70	70 €
			TOTAL	437,8 €

3. PRESUPUESTO GLOBAL

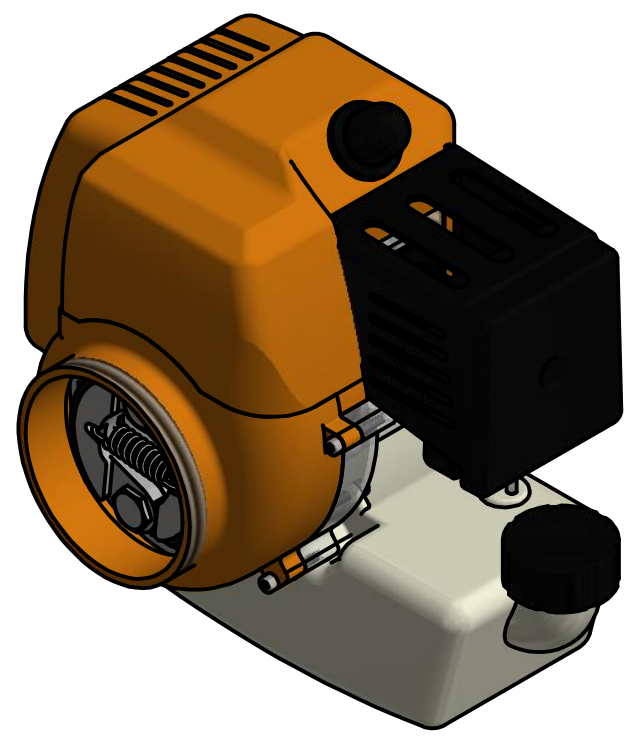
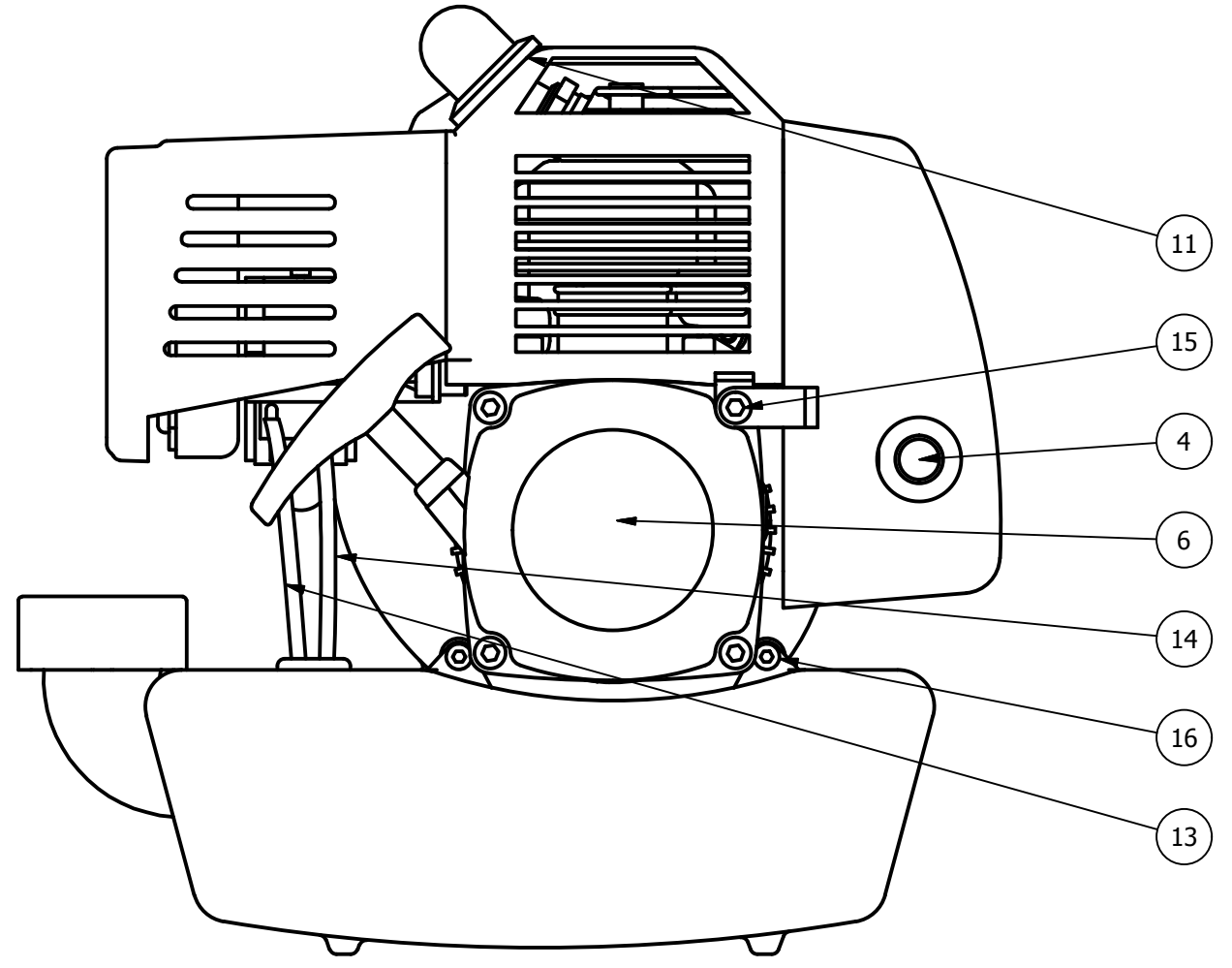
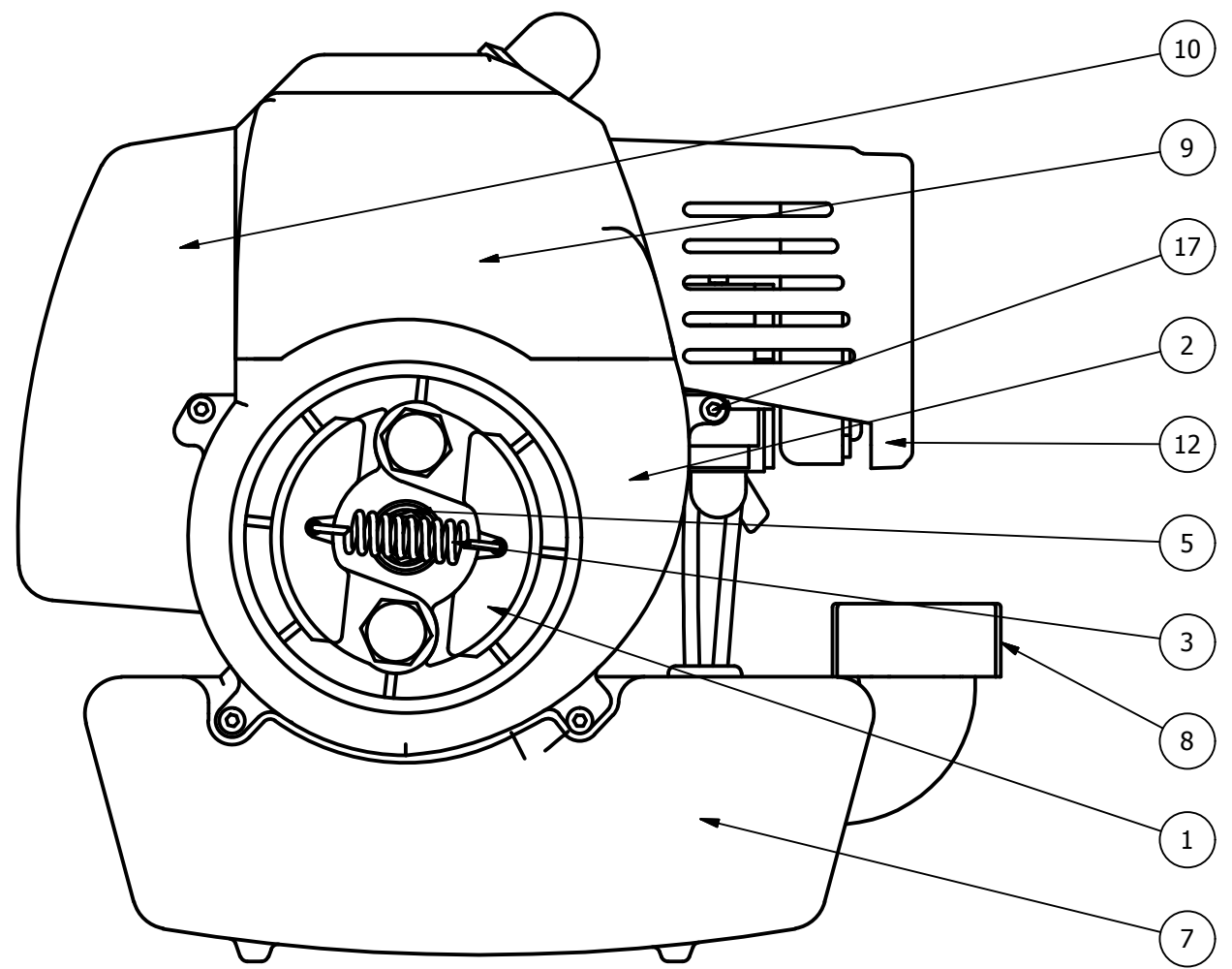
Teniendo en cuenta los costes detallados anteriormente y añadiendo un I.V.A. del 21%, se obtiene el presupuesto global:

PRESUPUESTO GLOBAL	
CONCEPTO	COSTE (€)
DESARROLLO DEL TFG	8900 €
EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIAL	437,8 €
SUBTOTAL	9.337,8 €
I.V.A. 21%	1.960,94 €
COSTE TOTAL DEL TFG	11.298,74 €

Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por motor de combustión de 2 tiempos.

Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por motor de combustión de 2 tiempos.

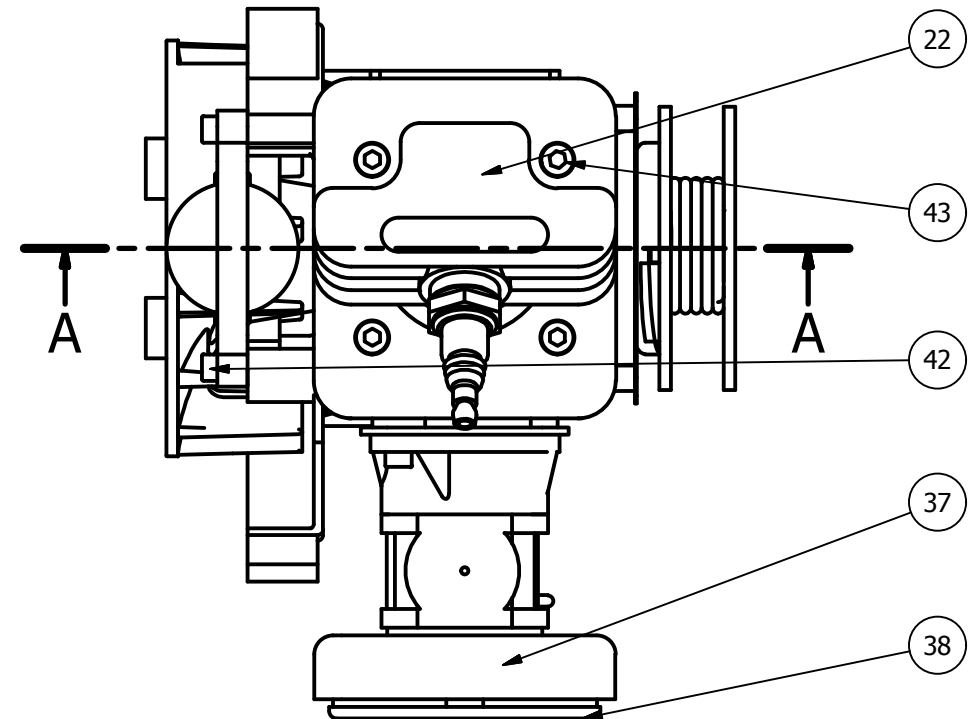
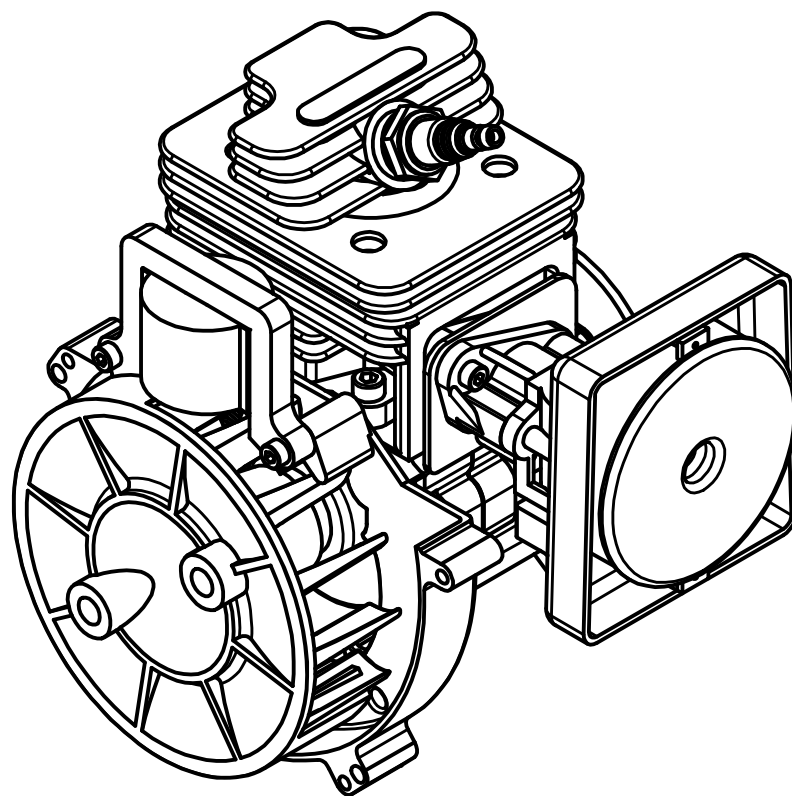
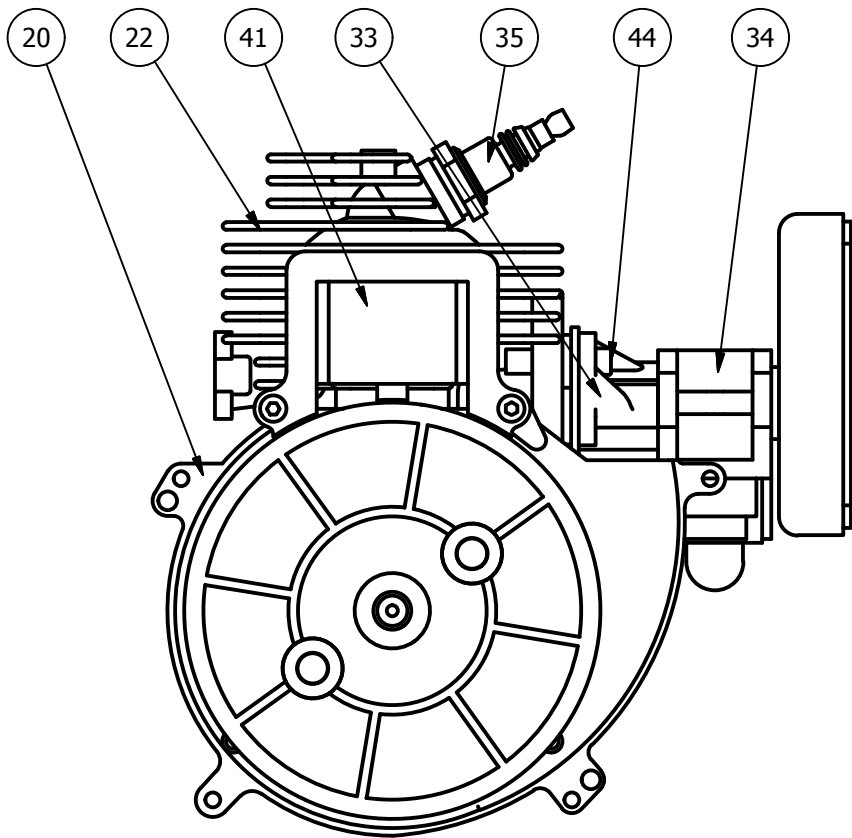
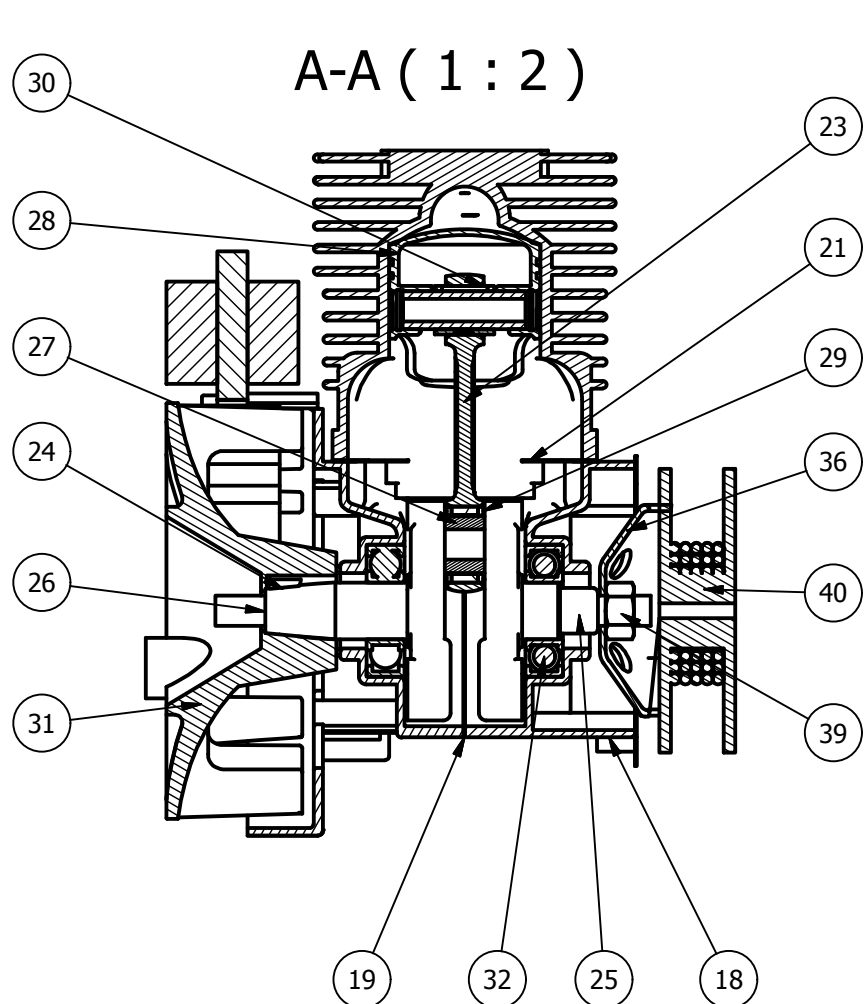
PLANOS




LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	2	Embrague
2	1	Cubierta ventilador
3	1	Muelle de extensión
4	1	Escape
5	1	ANSI B18.16.3M - M8 x 1.25 Tipo de inserción superior
6	1	Arranque manual
7	1	Depósito
8	1	Tapón depósito
9	1	Cubierta Cilindro
10	1	Cubierta Escape
11	1	Cubierta Bujia
12	1	Cubierta Filtro
13	1	Tubo Gasolina 1
14	1	Tubo Gasolina 2
15	4	AS 1420 - 1973 - M5 x 16
16	2	AS 1420 - 1973 - M4 x 14
17	6	AS 1420 - 1973 - M4 x 25

Autor:	Escala:	Fecha:
Andrés Rodrigo Ráez	1 : 2	03/09/2017

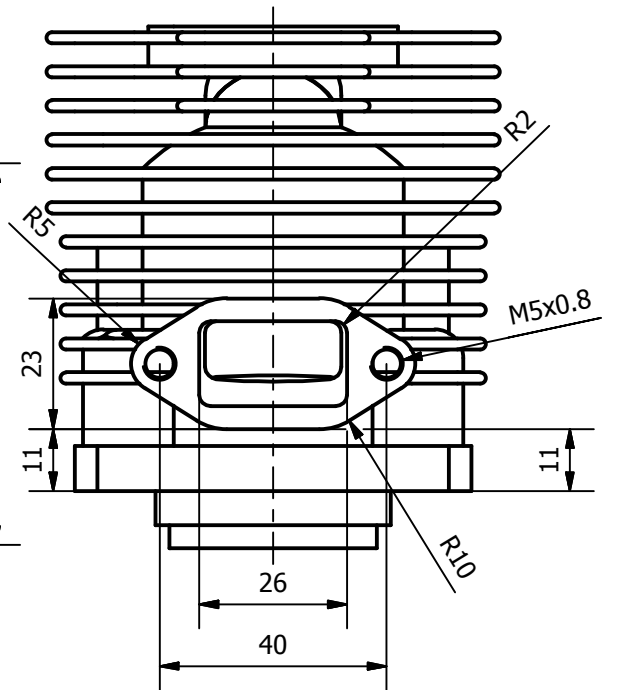
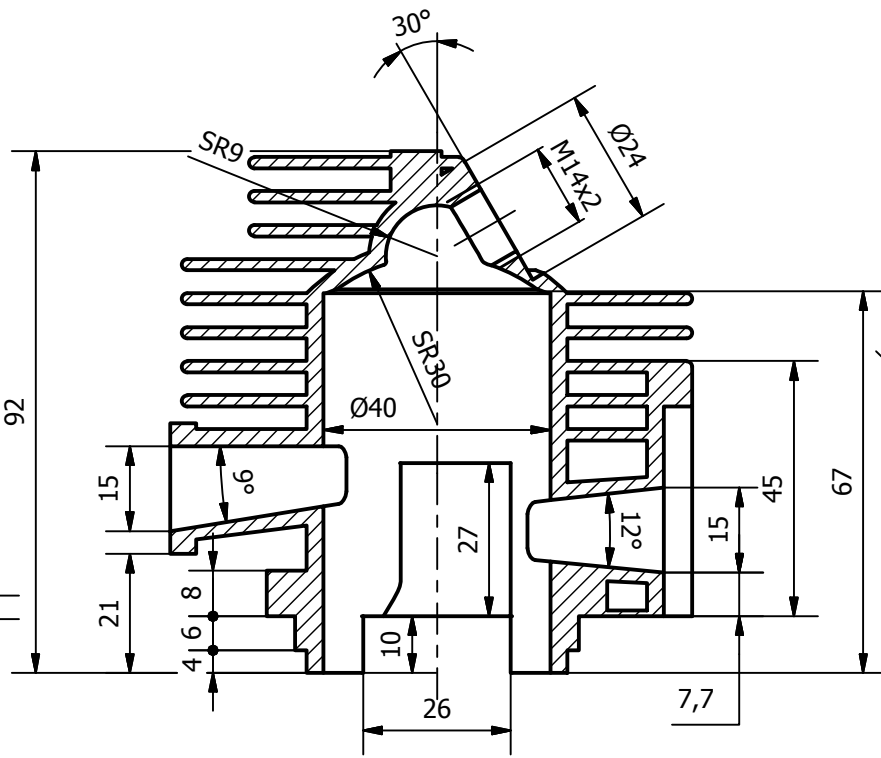
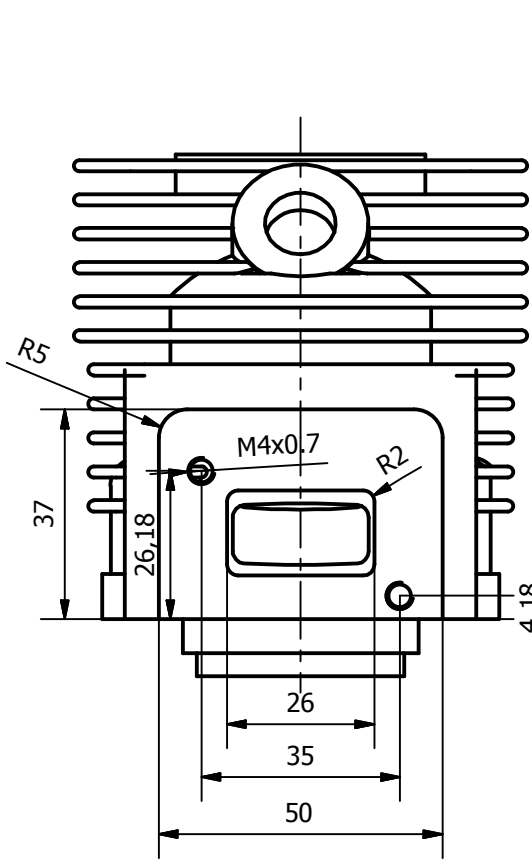
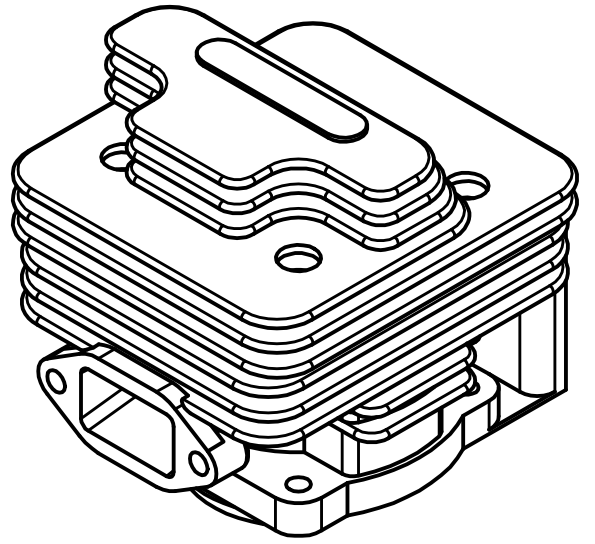
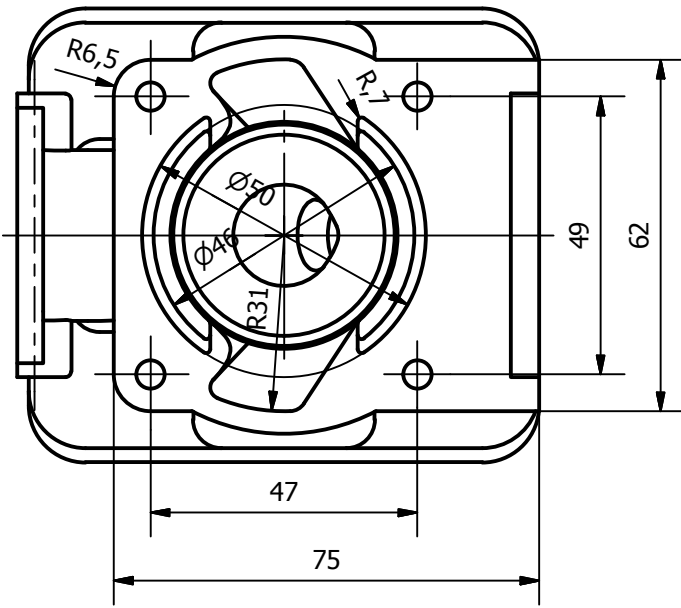
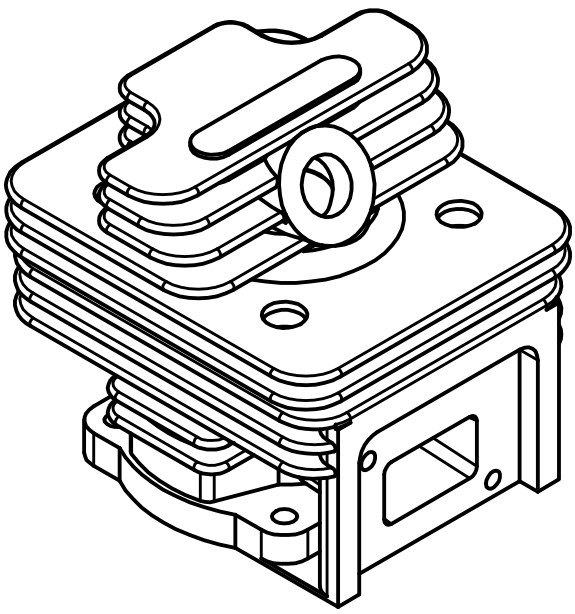
TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES	Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por un motor de combustión de 2 tiempos
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	Nombre del plano:
ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	Perspectiva, alzado principal y alzado posterior del motor con su envolvente
	Nº de plano:
	1



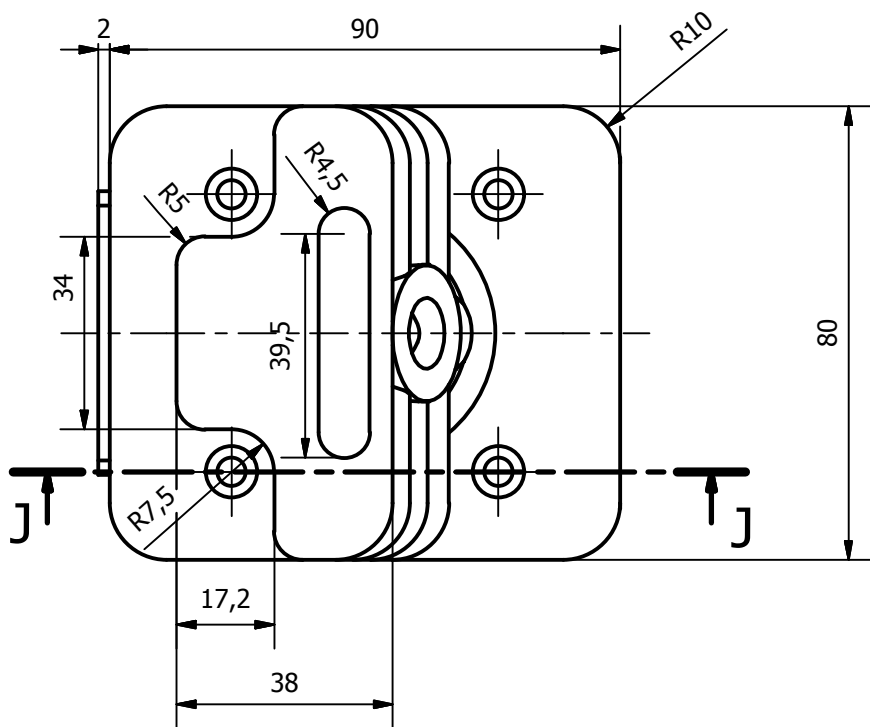
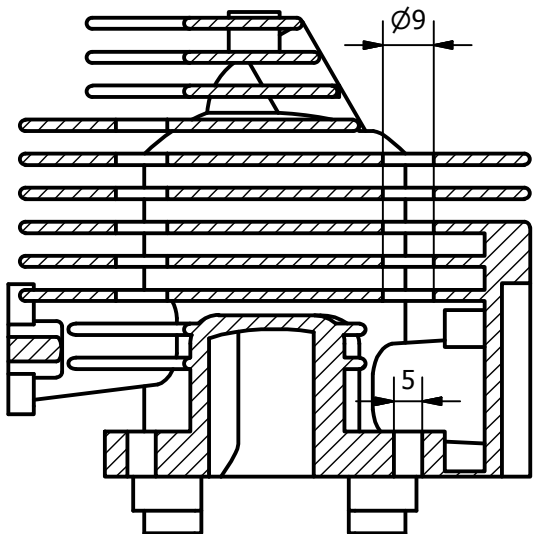
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
18	1	Carter 1
19	1	Junta Carter
20	1	Carter 2
21	1	Junta Cilindro
22	1	Cilindro
23	1	Biela
24	1	Chaveta
25	1	Cigüeñal 1
26	1	Cigüeñal 2
27	1	Pasador Cigüeñal
28	1	Pistón
29	1	Rodamiento Agujas Cigüeñal
30	1	Rodamiento Agujas Pistón
31	1	Ventilador
32	2	Rodamiento Eje
33	1	Union carburador - cilindro
34	1	Carburador
35	1	Bujia
36	1	Union Arranque Manual - Eje
37	1	Filtro Carburador
38	1	Tapa Filtro
39	1	ANSI B18.2.4.2M - M8x1,25
40	1	Polea Arranque
41	1	Transformador
42	2	AS 1420 - 1973 - M4 x 25
43	4	AS 1420 - 1973 - M5 x 12
44	2	AS 1420 - 1973 - M4 x 20

Autor: Andrés Rodrigo Ráez		Escala: 1 : 2	Fecha: 03/09/2017
TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES 		Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por un motor de combustión de 2 tiempos Nombre del plano: Plano de conjunto del motor	
			Nº de plano: 2

6 5 4 3 2 1



J-J (3 : 4)



D

D

C

C

B

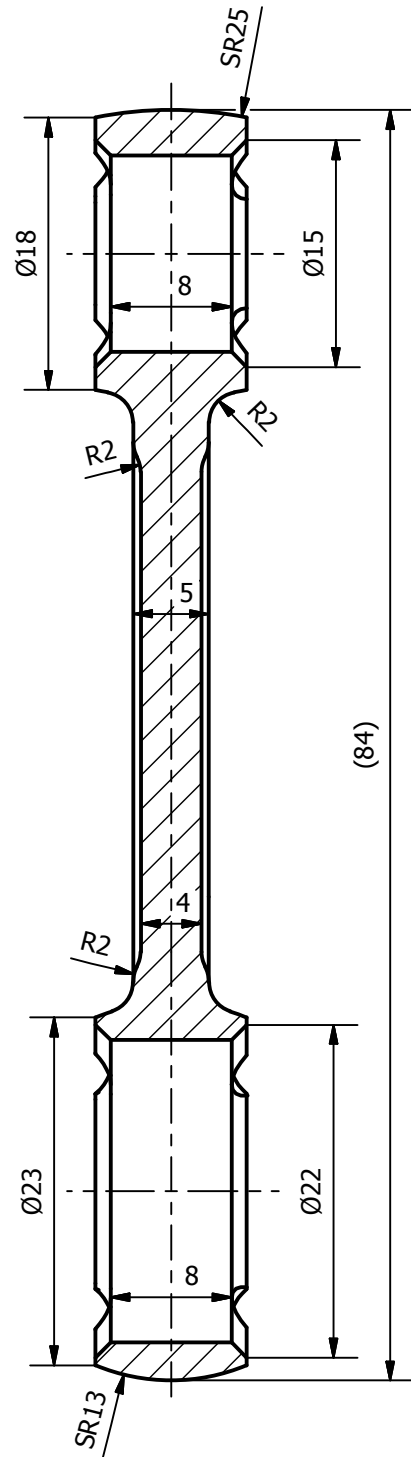
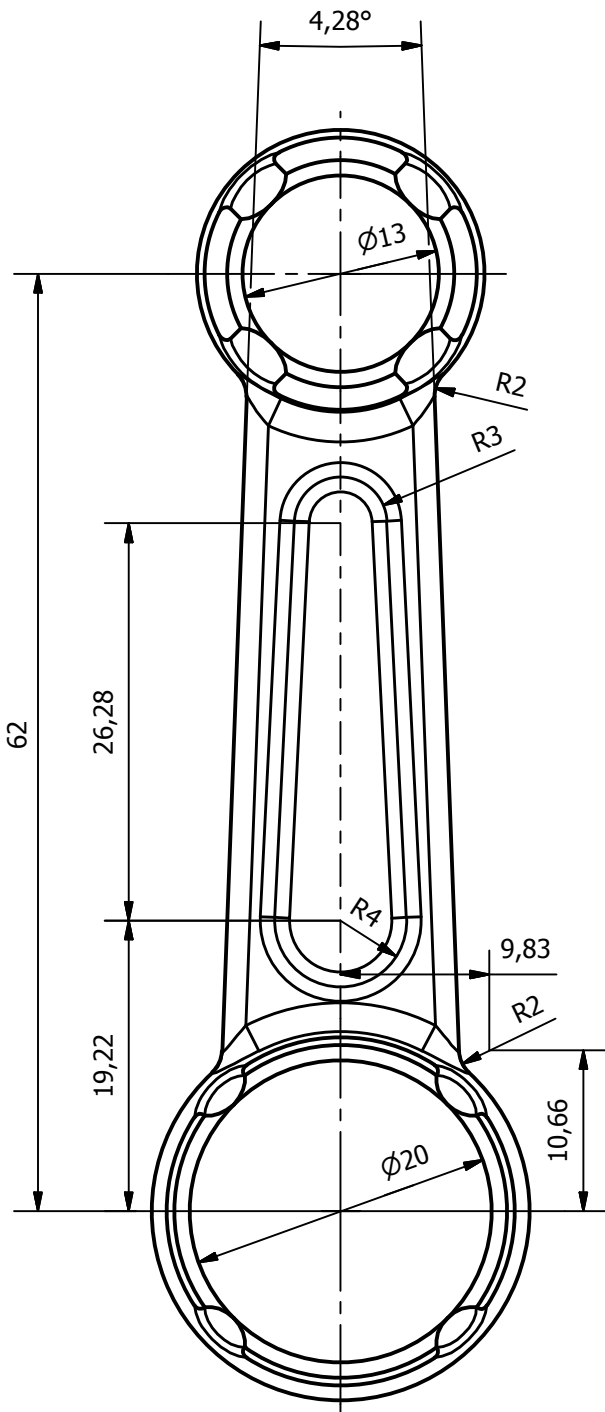
B


A

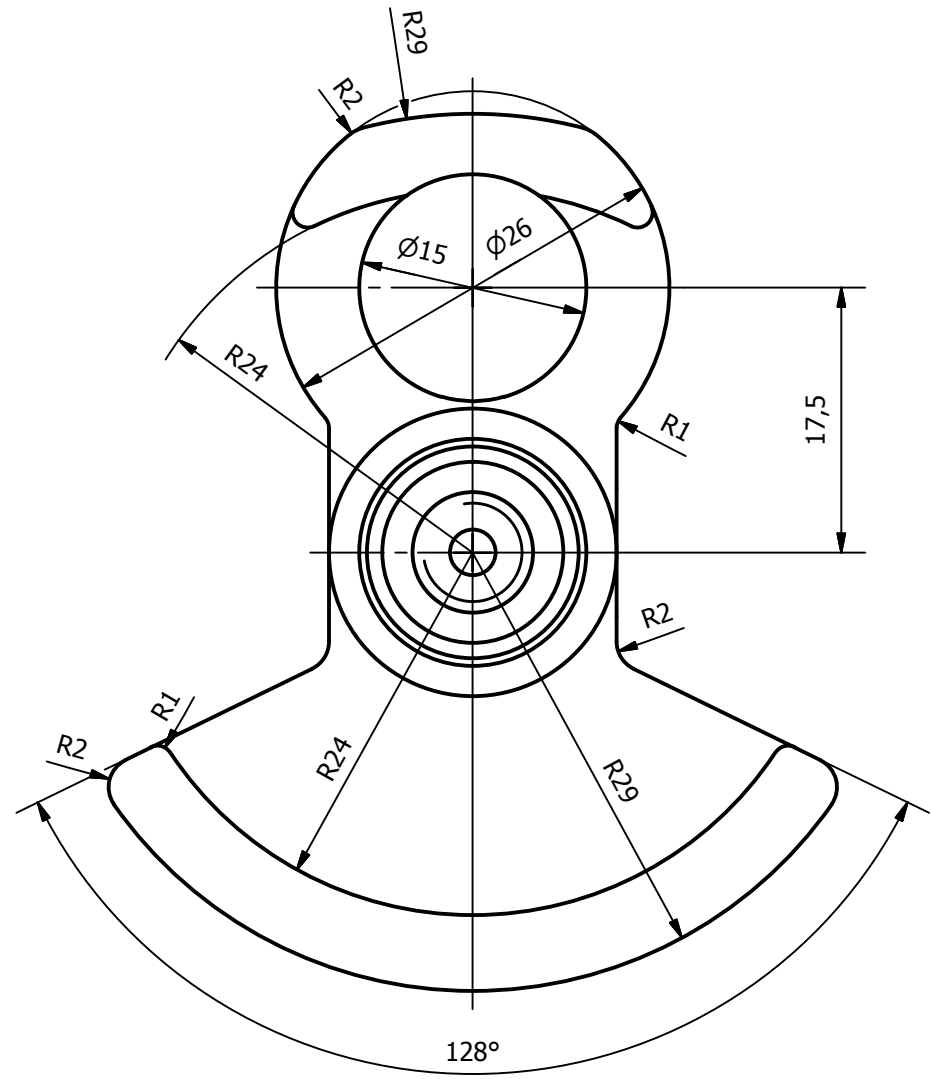
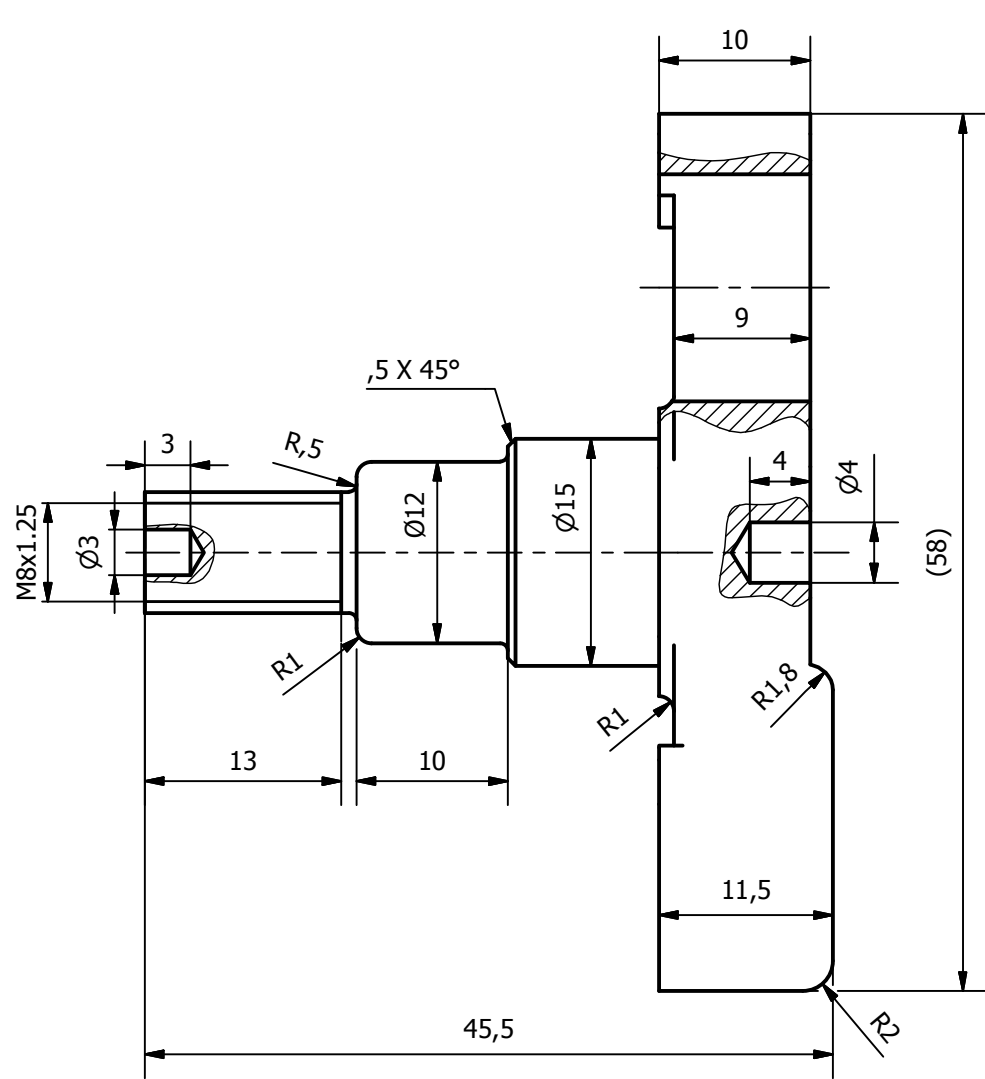
A


Autor: Andrés Rodrigo Ráez		Escala: 3 : 4	Fecha: 03/09/2017
TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES		Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por un motor de combustión de 2 tiempos	
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		Nombre del plano: Cilindro	Nº de plano: 3
ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA			

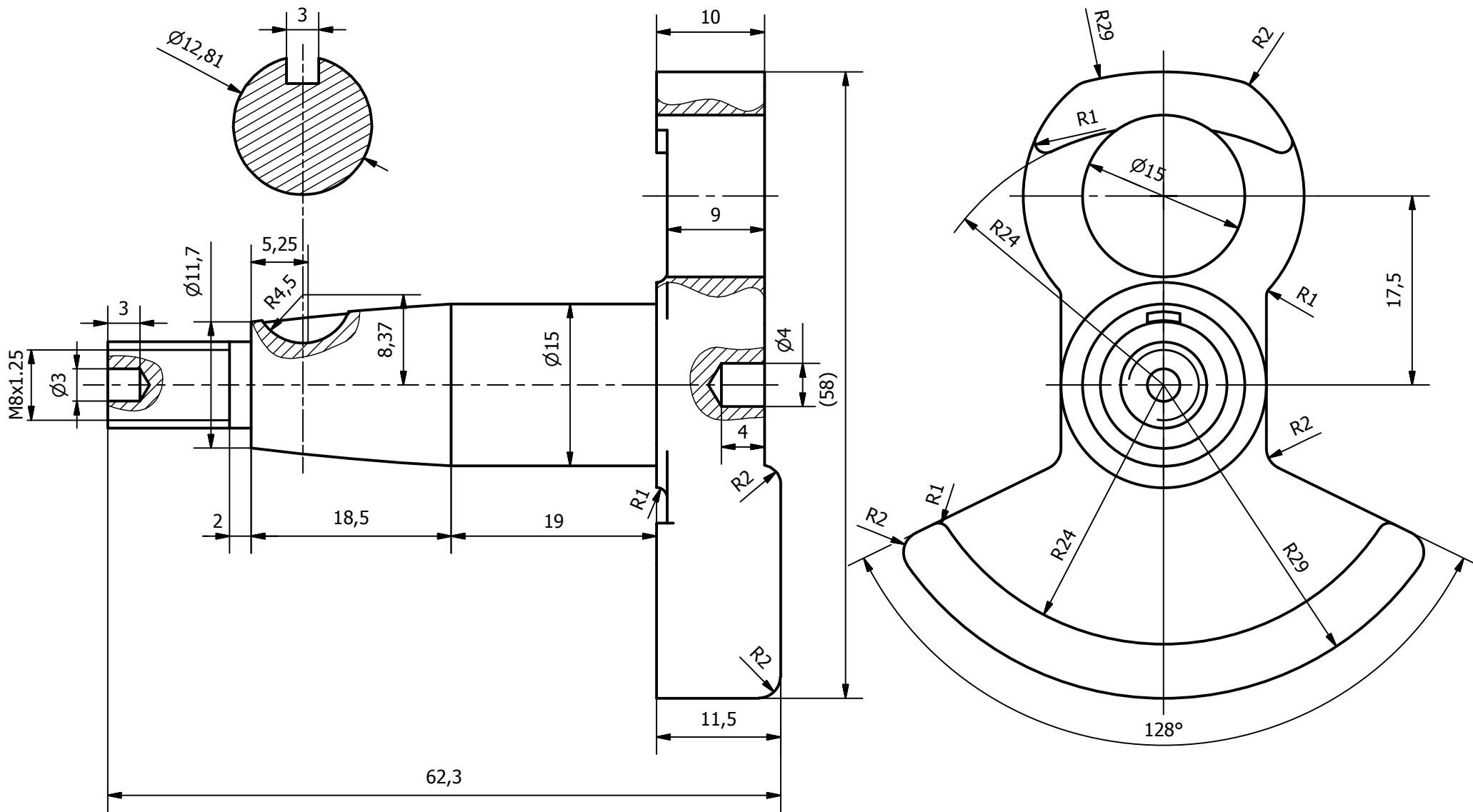
6 5 4 3 2 1





Autor: Andrés Rodrigo Ráez		Escala: 2 : 1	Fecha: 03/09/2017
TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES 		Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por un motor de combustión de 2 tiempos	
Nombre del plano: Biela		Nº de plano: 4	



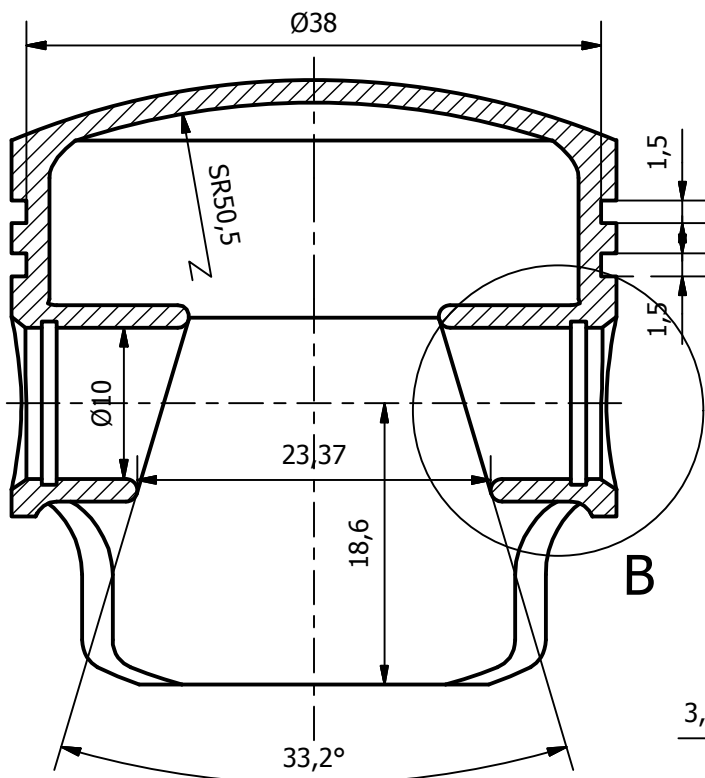
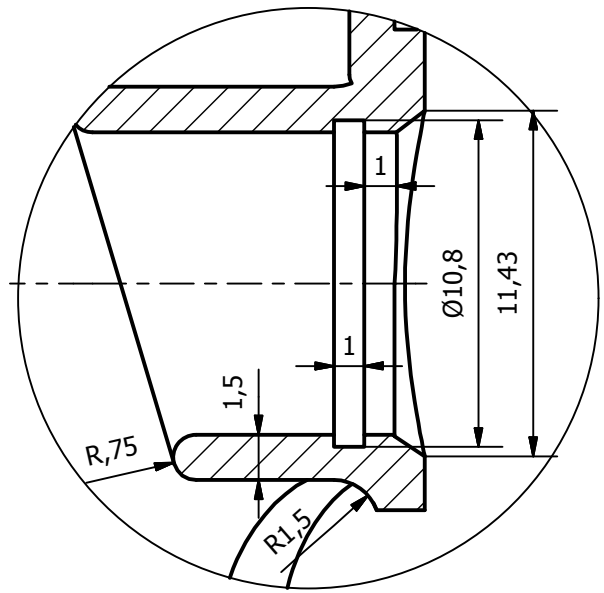
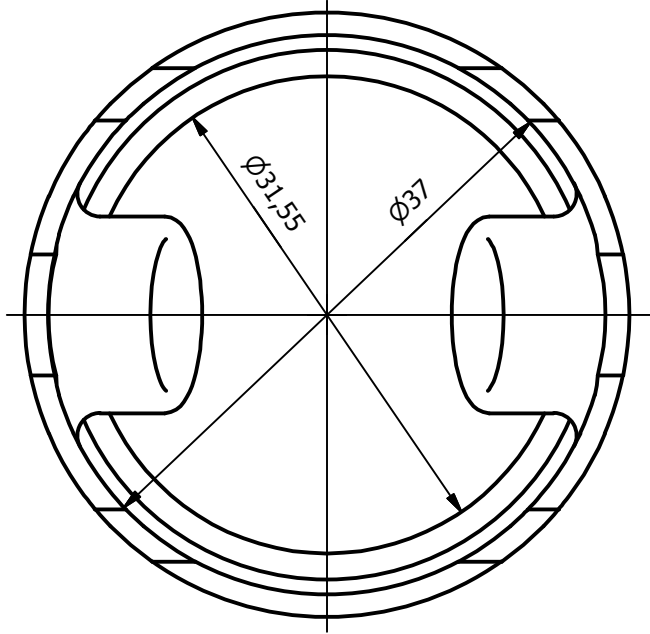
Autor: Andrés Rodrigo Ráez		Escala: 2 : 1	Fecha: 03/09/2017
TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES		Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por un motor de combustión de 2 tiempos	
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	
Nombre del plano: Cigüeñal 1		Nº de plano: 5	



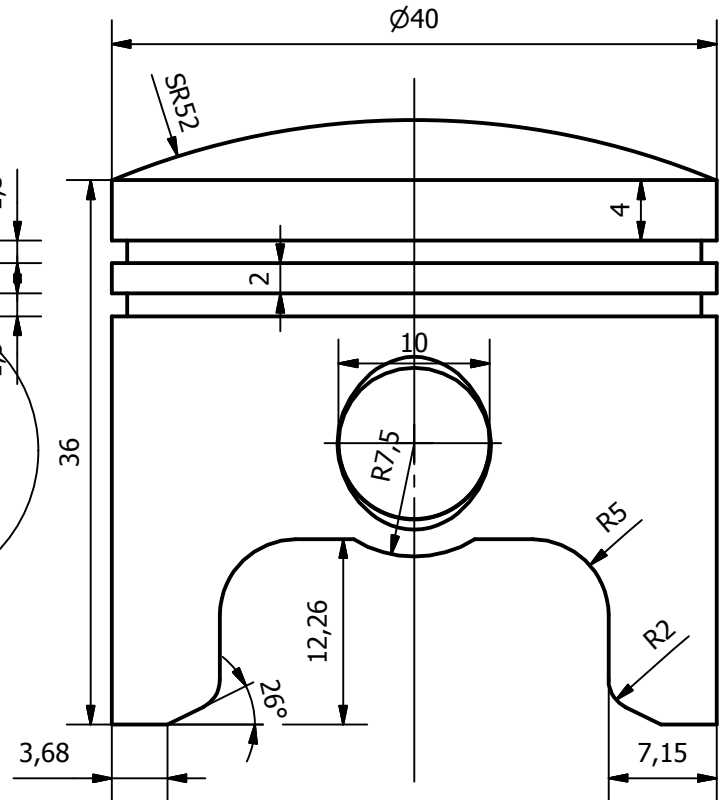
Autor: Andrés Rodrigo Ráez		Escala: 2 : 1	Fecha: 03/09/2017
TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES		Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por un motor de combustión de 2 tiempos	
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		Nombre del plano: Cigüeñal 2	Nº de plano: 6
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA			




B (4 : 1)



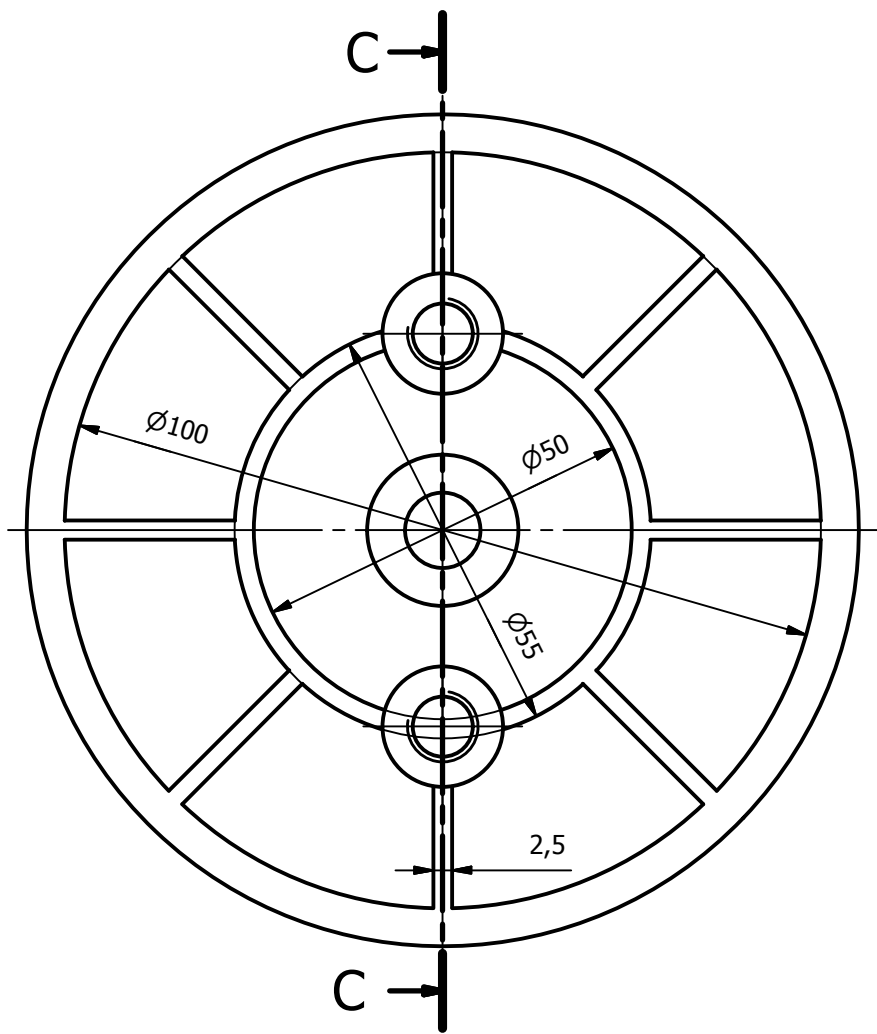
A-A (2 : 1)



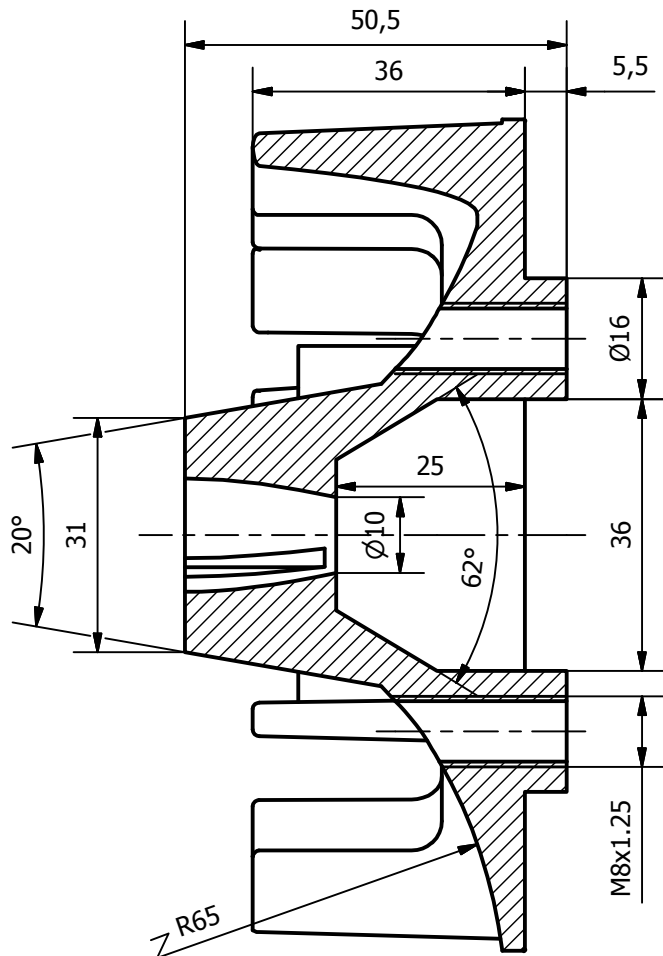
Autor:	Escala:	Fecha:
Andrés Rodrigo Ráez	2 : 1	03/09/2017

<p>TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES</p> 	Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por un motor de combustión de 2 tiempos	
	Nombre del plano: Pistón	Nº de plano: 7

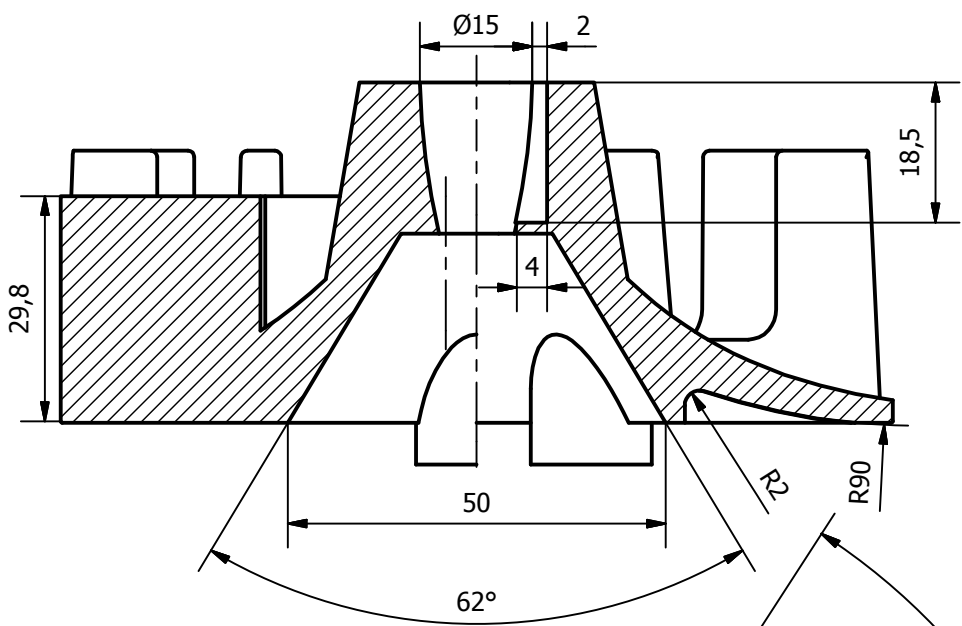




A-A (1:1)



C-C (1:1)



B (3:1)

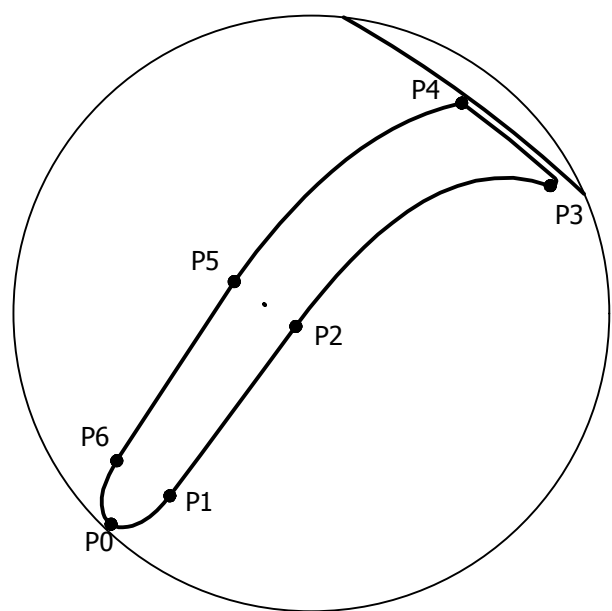
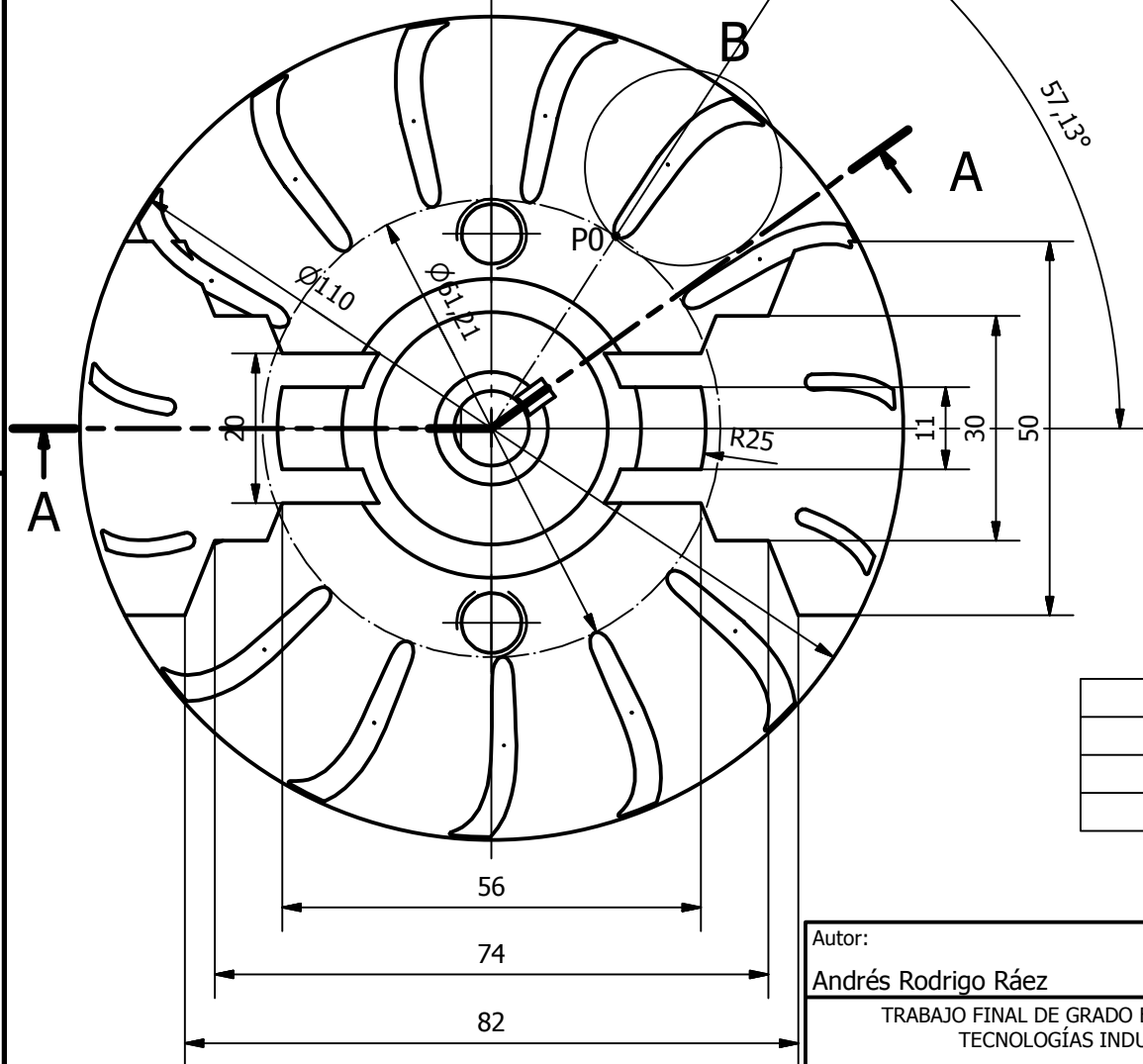


TABLA DE COORDENADAS							
	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6
X	0	2,60	8,15	19,36	15,46	5,44	0,25
Y	0	1,25	8,72	14,92	18,57	10,69	2,79

Autor:

Andrés Rodrigo Ráez

Escala:

1 : 1

Fecha:

03/09/2017

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Diseño de una herramienta multifunción para jardinería motorizada de uso individual, accionada por un motor de combustión de 2 tiempos



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Nombre del plano:

Ventilador

Nº de plano:

8