



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

Diseño, cálculo y ensayo de embrague centrífugo para motor de vehículo Shell Eco- Marathon

MEMORIA PRESENTADA POR:

Roberto Mas Mora

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Convocatoria de defensa: JULIO 2019

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

RESUMEN

La idea de realizar este trabajo final de grado surge de la necesidad de realizar el diseño de un nuevo embrague específico para el vehículo de la competición IDF Shell Ecomarthon.

Primeramente, se hace un estudio previo de la tipología de embragues que existen en el mercado para poder saber cuál se ajusta más a nuestras necesidades y así poder tener una primera idea de cómo será nuestro embrague a diseñar.

A continuación, se diseñarán las partes principales; mazas, plato, resortes... con un programa de diseño 3d.

Posteriormente sabiendo el tipo de embrague seleccionado se procederá a realizar unos cálculos previos para determinar el tamaño del embrague y así poder localizar las zonas donde los esfuerzos principales serán más críticos, para así, poder abordar un diseño con las mejores propiedades mecánicas posibles.

Empleando otro programa se procede a realizar el ensayo dinámico donde se abordará la parte más interesante del proyecto, averiguar la dureza, la constante elástica k , y el alargamiento de los resortes para saber en qué momento el embrague empieza a actuar.

Se analizarán los resultados y obtendremos tanto la forma final del embrague como los tipos de resortes que se emplearán. A continuación, se probará en el vehículo y obtendremos una conclusión final de las tareas realizadas

Una vez hayamos finalizado se procederá a calcular un presupuesto estimado de los gastos de este diseño de embrague.

Palabras clave: Embrague centrífugo, diseño, Shell Ecomarthon, mazas, resorte

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

RESUM

La idea de realitzar aquest treball final de grau sorgeix de la necessitat de realitzar el disseny d'un nou embragatge específic per al vehicle de la competició IDF Shell Ecomarthon.

Primerament es fa un estudi previ de la tipologia d'embragatges que hi ha al mercat per poder saber quin s'ajusta més a les nostres necessitats i així poder tenir una primera idea de com serà el nostre embragatge a dissenyar.

A continuació es dissenyaran les parts principals; maces, plat, ressorts ... amb un programa de disseny 3d.

Posteriorment sabent el tipus d'embragatge seleccionat es procedirà a realitzar uns càlculs previs per determinar la mida de l'embragatge i així poder localitzar les zones on els esforços principals seran més crítics, per així, poder abordar un disseny amb les millors propietats mecàniques possibles.

Emprant altre programa es procedeix a realitzar l'assaig dinàmic on s'abordarà la part més interessant del projecte, esbrinar la duresa, la constant elàstica k , i l'allargament dels ressorts per saber en quin moment l'embragatge comença a actuar.

S'analitzaran els resultats i obtindrem tant la forma final de l'embragatge com els tipus de ressorts que s'empressin. A continuació es provarà en el vehicle i obtindrem una conclusió final de les tasques realitzades

Un cop haguem finalitzat es procedirà a calcular un pressupost estimat de les despeses d'aquest disseny d'embragatge.

Paraules clau: embragatge centrífug, disseny , Shell Ecomarthon, maces, ressort

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

ABSTRACT

The idea of this final degree project arises from the need to design a new clutch specific to the vehicle of the IDF Shell Ecomarathon competition.

First, a preliminary study is made of the type of clutches that exist in the market in order to know which one best suits our needs and thus have a first idea of what our clutch will be like to design.

Next, the main parts will be designed; maces, plate, springs ... with a 3d design program.

Subsequently, knowing the type of clutch selected, it will proceed to perform some preliminary calculations to determine the size of the clutch and thus be able to locate the areas where the main efforts will be more critical, in order to be able to approach a design with the best possible mechanical properties.

Using another program proceeds to perform the dynamic test where the most interesting part of the project will be addressed, find out the hardness, the elastic constant k , and the lengthening of the springs to know when the clutch starts to act.

The results will be analyzed and we will obtain both the final shape of the clutch and the types of springs that will be used. Then it will be tested on the vehicle and we will obtain a conclusion of the tasks carried out

Once we have finished, we will proceed to calculate an estimated budget for the expenses of this clutch design.

Keywords: centrifugal clutch, design, Shell Ecomarathon, maces, spring

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	8
ESTADO DEL ARTE.....	11
DISEÑO DE LAS MAZAS.....	16
CÁLCULOS PREVIOS	24
ENSAYO.....	29
ANÁLISIS DE SOLUCIONES	37
PRESUPUESTOS.....	40
CONCLUSIONES.....	43
BIBLIOGRAFÍA	45
ANEJO DE PRESUPUESTOS Y PLANOS.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Monoplaza edición 2017-2018

Figura 2. Monoplaza edición actual

Figura 3. Situación del embrague

Figura 4. Embragues de fricción

Figura 5. Embragues de contacto positivo

Figura 6. Embrague hidráulico

Figura 7. Embrague electromagnético

Figura 8. Tres mazas con un muelle en la periferia

Figura 9. Dos mazas con muelle en la periferia

Figura 10. Tres mazas con tres muelles entre mazas

Figura 11. Dos mazas con un muelle entre mazas

Figura 12. Campanas de embrague centrífugo

Figura 13. Plato de arranque

Figura 14. Mazas y su centro de masas

Figura 15. Bulones

Figura 16. Campana de embrague

Figura 17. Resorte extensible

Figura 18. Generador de resortes Desing Accelerator

Figura 20. Mecanizado de campana en torno

Figura 21. Mecanizado de campana en CNC

Figura 22. Mecanizado del resorte

Figura 23. Esquema de fuerzas en freno de zapatas internas

Figura 24. Ejemplo ficha técnica resorte de tracción

Figura 25. Cálculo resorte

Figura 26. Desplazamientos en mm en la campana

**DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL
ECOMARATHON**

Figura 27. Tensiones de Von Misses en la campana

Figura 28. Temperatura aplicada en la campana

Figura 29. Tensiones en la maza

Figura 30. Desplazamiento de la maza

Figura 31. Temperatura aplicada al ferodo de la maza

Figura 32. Tensiones en el embrague

Figura 33. Máxima tensión en el embrague

Figura 34. Desplazamientos del embrague

Figura 35. Transmisión completa

Figura 36. Monoplaza completo de la edición 2019

INTRODUCCIÓN

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

La Shell Eco-Marathon se trata de una competición internacional de carácter educativo en la que participan distintos centros universitarios. De manera general los alumnos se centran en diseñar y fabricar un vehículo que consuma lo menos posible.

Existen varias categorías en la competición, principalmente la Urban y la de Prototipos.

La Urban, como su nombre indica, se centra en la realización de un proyecto con las principales características que debe tener un vehículo convencional; luces de cruce, de posición, pilotos traseros y de freno, retrovisores, limpiaparabrisas, 4 ruedas, etc. Algunas universidades han perfeccionado este concepto de vehículo y lo han podido homologar y matricular para un uso habitual.

Los Prototipos, sin embargo, se centran en la realización de un monoplaza más pequeño, con 3 ruedas y de carácter muy aerodinámico. El piloto va prácticamente acostado y la visibilidad es bastante reducida. El objetivo de esta categoría, que es en la que se centra el diseño de este trabajo final, es la de conseguir la máxima eficiencia energética.

Al participar en la categoría de prototipos y con motor de combustión, la necesidad de diseñar un embrague es obligatoria debido a un artículo de las normas de competición.

ARTICLE 34: CLUTCH AND TRANSMISSION

b) All vehicles with internal combustion engines must be equipped with a clutch system.



Figura 1. Monoplaza edición 2017-2018



Figura 2. Monoplaza edición actual

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

El embrague es el mecanismo que sirve para acoplar (embragar) y desacoplar (desembragar) dos ejes, tanto en movimiento como en parado, para poder así transmitir el par de giro de uno a otro y llevar el movimiento finalmente a las ruedas.

Este debe de disponer de la resistencia necesaria para transmitir todo el par del motor y a su vez que sea de forma progresiva por resbalamiento mecánico o viscoso, consiguiendo finalmente un acoplamiento rígido.

En un automóvil nos permite efectuar de manera rápida y segura el cambio de velocidades o marchas sin hacerlo de manera brusca, es decir también tiene una función de protección, la de amortiguar las vibraciones cíclicas que el motor produce al resto de elementos.

Por lo tanto, las principales funciones que cualquier embrague debe tener son:

- Transmitir el par motor
- Conectar y desconectar los ejes
- Amortiguar vibraciones
- Suavizar las arrancadas

En cualquier vehículo convencional está situado entre la salida del eje cigüeñal del motor y la del árbol primario de la caja de cambios. Esto permite que el conductor pueda realizar el cambio de marchas cuando esta desembragado, es decir, en ausencia de par motor.

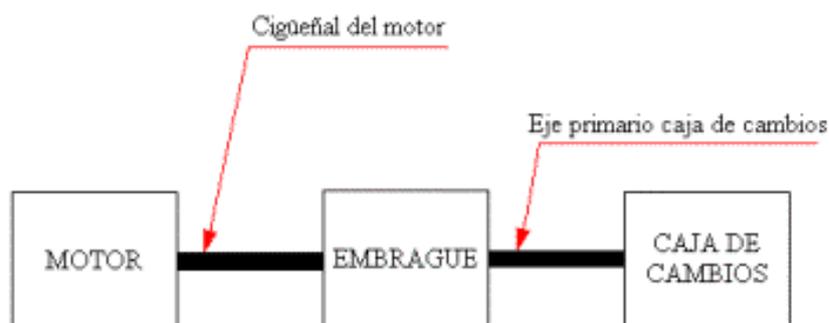


Figura 3. Situación del embrague

ESTADO DEL ARTE

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

Una vez se ha explicado en que consiste un embrague y las funciones que debe realizar, podemos considerar la siguiente clasificación de embragues según su comportamiento y composición:

- De fricción:
 - De disco
 - Cónicos
 - Centrífugos
- De contacto positivo
- Hidráulicos
- Electromagnéticos

Embragues de fricción:

Los embragues de fricción son los más comunes, consisten en presionar una superficie con otra para así transferir el par. Estos embragues trabajan a velocidades de rotación superiores a las 250 – 300 rpm.

La principal ventaja es que el acoplamiento se produce de manera suave y progresiva, pudiendo existir diferentes velocidades entre ejes que mediante la fricción haga que el deslizamiento entre estos desaparezca poco a poco. Las desventajas son la gran generación de calor que se produce y que el par a transmitir no puede ser muy elevado.

Los principales tipos de embragues de fricción son los de disco, los cónicos y los centrífugos.

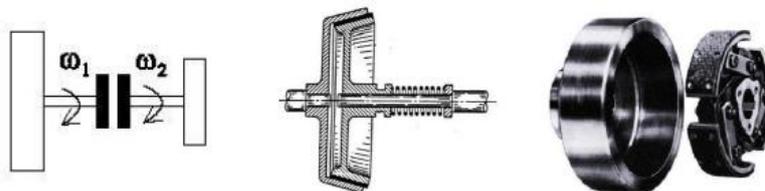


Figura 4. Embragues de fricción

-Embragues de disco:

Son conocidos como embragues de plato, son los capaces de transmitir la potencia y el par mediante la fricción desarrollada entre el contacto de dos discos. Existen muchas

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

variantes ya sean con un conjunto de varios platos, que son muy empleados en motos, o los tipo bimasa, que llevan el volante de inercia ya incorporado.

-Embragues cónicos:

Los embragues cónicos tienen la ventaja de transmitir un par de torsión mayor que con embragues de discos del mismo diámetro exterior y fuerza impulsora. Debido al aumento de área de fricción entre el cono y la campana.

-Embragues centrífugos:

Son un tipo de embragues considerados semiautomáticos ya que entran en funcionamiento a un determinado régimen de vueltas, cuando gira el eje las mazas por fuerza centrífuga se van separando hasta alcanzar la superficie del otro eje. Esta fuerza se ve equilibrada por unos resortes que hacen que se acerquen las masas al eje principal.

Embragues de contacto positivo:

Los embragues de contacto positivo se caracterizan por tener superficies concordantes suplementarias, semejante a la transmisión por engranajes.

Por lo tanto, no se genera calor por rozamiento y además se pueden transmitir pares mayores. La desventaja es que debe acoplarse a velocidades bajas, incluso parado ya que se deben evitar los impactos entre dientes.

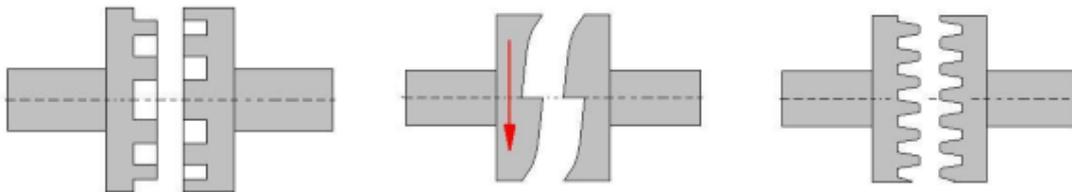


Figura 5. Embragues de contacto positivo

Embragues hidráulicos:

Los embragues hidráulicos transmiten el par mediante un fluido que circula entre dos campanas con álabes en su interior, una actúa como bomba movida por el motor del vehículo y la otra como turbina, que transmite el par a la caja de cambios. Se emplean en las transmisiones automáticas y se denominan usualmente convertidores de par.

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

Permiten una gran comodidad, no hay desgaste, el arranque es suave y no hay necesidad de mantenimiento. Como inconvenientes tenemos su gran tamaño, elevado precio y mayor consumo de combustible.



Figura 6. Embrague hidráulico

Embragues electromagnéticos:

Los embragues electromagnéticos funcionan generando un campo magnético entre las partes a embragar. El electroimán (1) es colocado fijo alrededor del eje de salida del motor, en la parte giratoria del árbol se coloca una masa polar (2) que es sustituida por el plato de presión y una armadura con material magnético (3) es colocada en el eje primario. Una vez que se acciona el electroimán, hace que la parte giratoria del eje se una con la armadura del eje primario.

Son un tipo de embrague en el cual tampoco existe rozamiento ni exige mantenimiento, con lo cual hace que su mayor inconveniente sea el precio y peso.

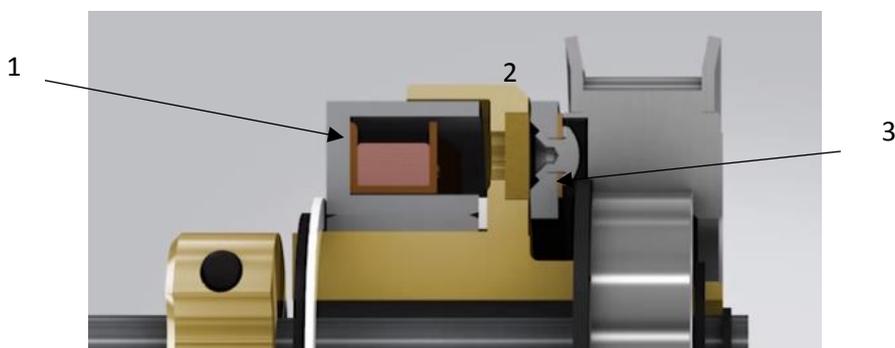


Figura 7. Embrague electromagnético

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

Elección:

Una vez conocidos los distintos embragues podemos descartar de primera mano los hidráulicos ya que por su elevado peso, tamaño, consumo y precio hacen que no sea viable utilizarlo en este tipo de vehículo ya que son grandes inconvenientes en este tipo de competición.

Un buen embrague sería el electromagnético debido a su rápida acción, pero debido a los elevados precios de mercado se salen del presupuesto del equipo.

Los embragues de contacto positivo solo funcionan en estático o a muy bajas revoluciones características que el eje del cigüeñal de nuestro tipo de vehículo no cumple ya que, por normativa, debe de llevar un sistema de embrague que no transmita cuando el motor está parado o girando el motor de arranque.

Tan solo nos quedarían los embragues de fricción. De los tres tipos que se disponen el idóneo sería el centrífugo ya que a diferencia de los de disco y cónicos estos son automáticos y así podemos prescindir de todo el sistema de accionamiento del embrague, tanto del pedal cómo de su circuito hidráulico o el accionamiento mecánico que emplearía. Esto supone una gran ventaja ya que aligera nuestro vehículo y además libera espacio en el hueco de los pies de nuestro monoplaza, que es bastante reducido.

Por lo tanto, deberemos de cumplir la norma que nos obliga a que el embrague entre en funcionamiento a velocidades superiores que la de giro del motor de arranque.

ARTICLE 34: CLUTCH AND TRANSMISSION

c) For centrifugal/automatic clutches the starter motor speed must always be below the engagement speed of the clutch.

DISEÑO DE LAS MAZAS

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

En vista a los diseños existentes en el mercado se procede a diseñar un resorte y unas mazas semejantes. Hay diferentes disposiciones de las mazas y de los resortes según las necesidades de la transmisión.

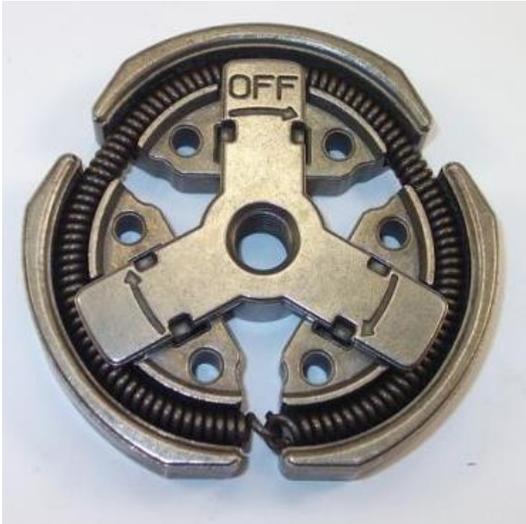


Figura 8. Tres mazas con un muelle en la periferia



Figura 9. Dos mazas con muelle en la periferia



Figura 10. Tres mazas con tres muelles entre mazas



Figura 11. Dos mazas con un muelle entre mazas

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

Para simplificar tanto los cálculos como el diseño seleccionaremos el de la figura 11, dos zapatas unidas con un resorte entre estas.

A su vez necesitaremos diseñar una campana que también se asemeje a lo ya disponible y que cumpla con las necesidades de nuestro embrague.



Figura 12. Campanas de embrague centrífugo

Para saber las dimensiones que tendrán estos elementos a diseñar, nos guiaremos por el tamaño que ya tiene el plato de arranque que ya está previamente diseñado y ha sido empleado en las anteriores competiciones de la IDF.

A este plato se le acoplarán las mazas mediante unos bulones, por lo tanto, habrá que mecanizar unos orificios cuya métrica sea la misma que la de los bulones. En este caso de 6 mm.

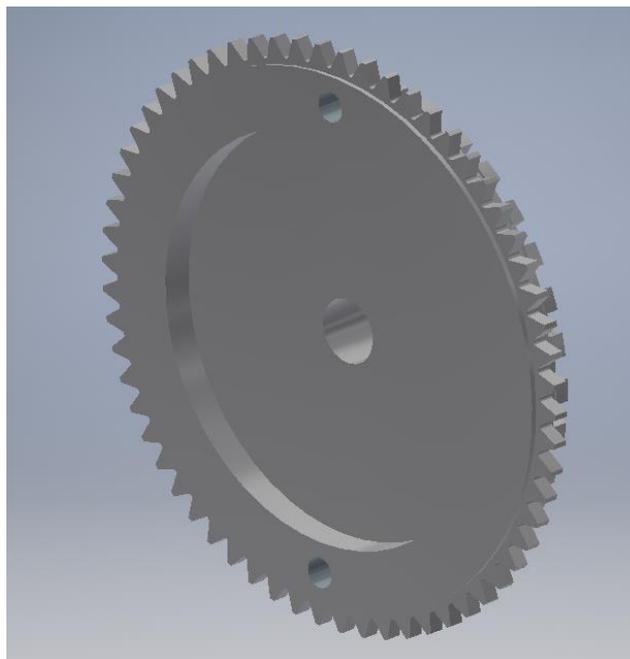


Figura 13. Plato de arranque

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

El resorte irá unido lo más próximo al centro de masas de las mazas ya que es donde mayor será la fuerza centrífuga que se ejerza cuando estas giran. Para localizar el centro de masas emplearemos una función que ya tiene incluida el programa de diseño.

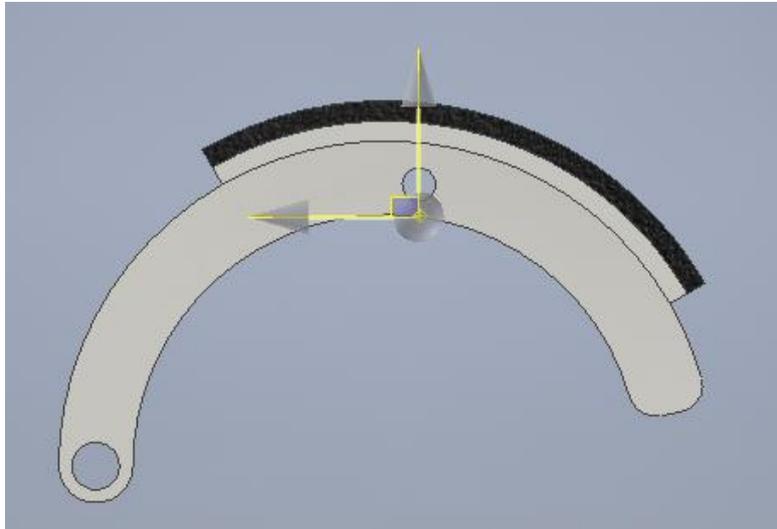


Figura 14. Mazas y su centro de masas

Los agujeros donde irá enganchado el muelle serán de 5 mm y no se puede mecanizar tan próximo al centro de masas por qué quedaría demasiado al borde y se generarían mucha concentración de tensiones. Los agujeros donde irán los bulones serán de 7,1 mm. Es necesario que haya juego entre el bulón y el orificio de las mazas ya que estas se deben expandir cuando actúe la fuerza centrífuga.

Para realizar un correcto ensamblaje con el plato y las mazas habrá que mecanizar los bulones con dos diámetros distintos, un diámetro de 6 mm, que será el de la métrica del bulón que unirá con el plato y el otro con diámetro de 7 mm que será donde se localice el apoyo de las mazas.

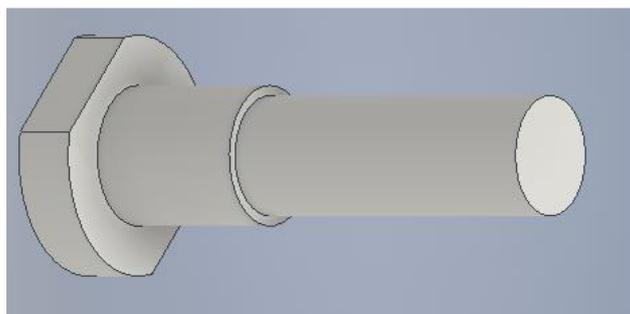


Figura 15. Bulones

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

Nuestra campana se asemejará a la primera de la figura 12. Es necesario que tenga ciertas perforaciones para que se refrigeren las zapatas internamente, ya que un exceso de temperatura hará que los forros no actúen correctamente. Según la forma y superficie perforada refrigerará en mayor o menor cantidad.

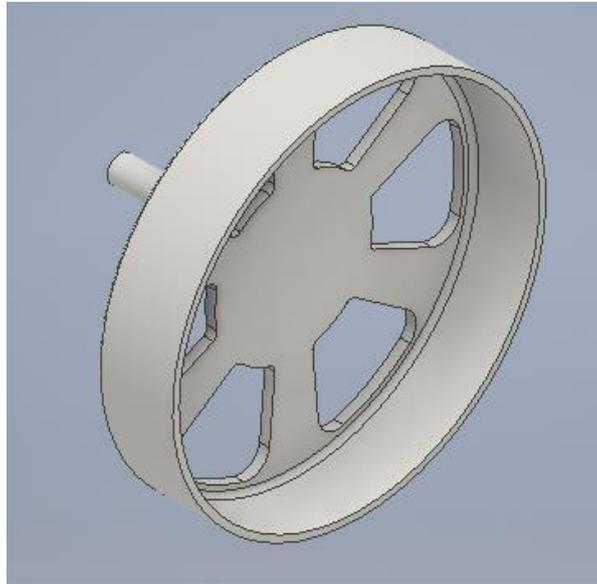


Figura 16. Campana de embrague

El resorte también se modelizará con Inventor, pero con la función *Design Accelerator* de muelle de extensión que ya contiene el programa. Previamente se hayan realizados todos los componentes anteriores y realizado el ensamblaje de estos.

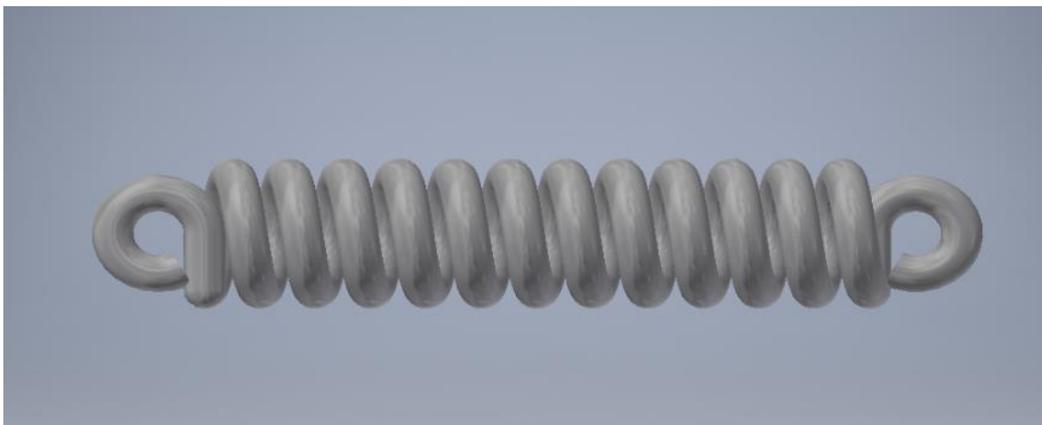


Figura 17. Resorte extensible

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

Para realizar el diseño introduciremos los datos principales del muelle; longitud, diam.int, diámetro hilo...

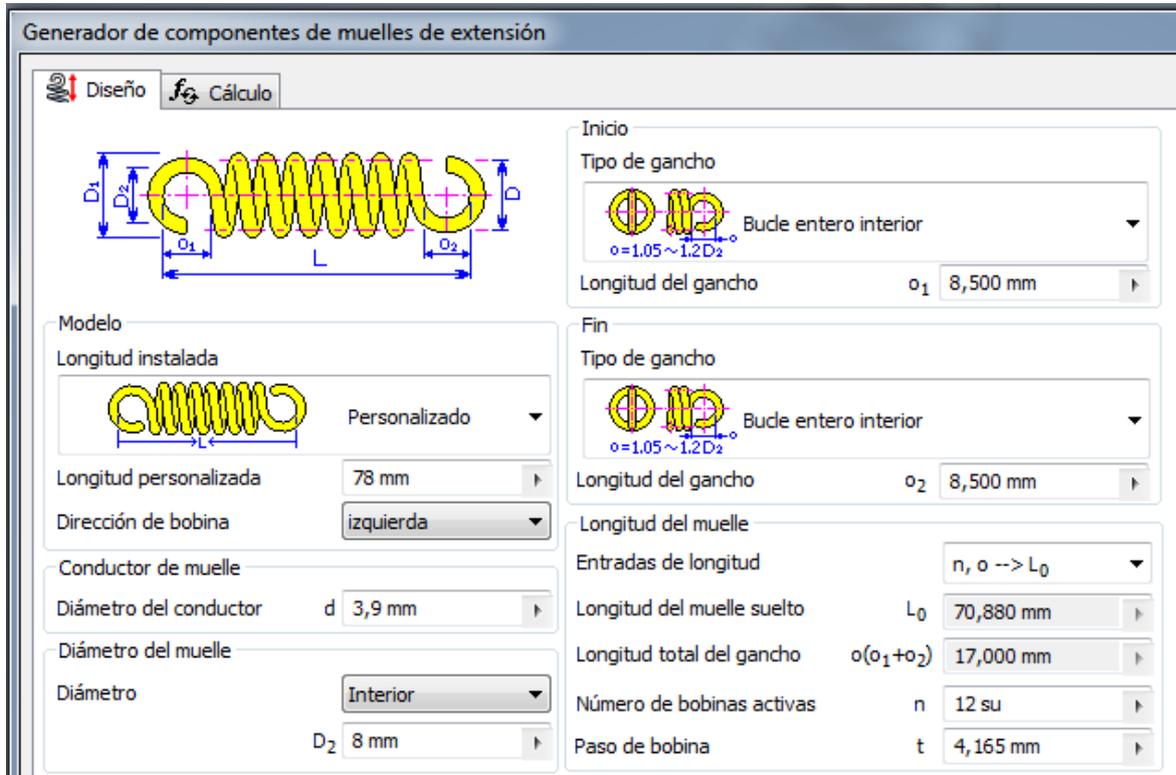


Figura 18. Generador de resortes Desing Accelerator

Una vez modelizadas es realizado el ensamblaje de estas piezas para observar como quedarían montadas finalmente.

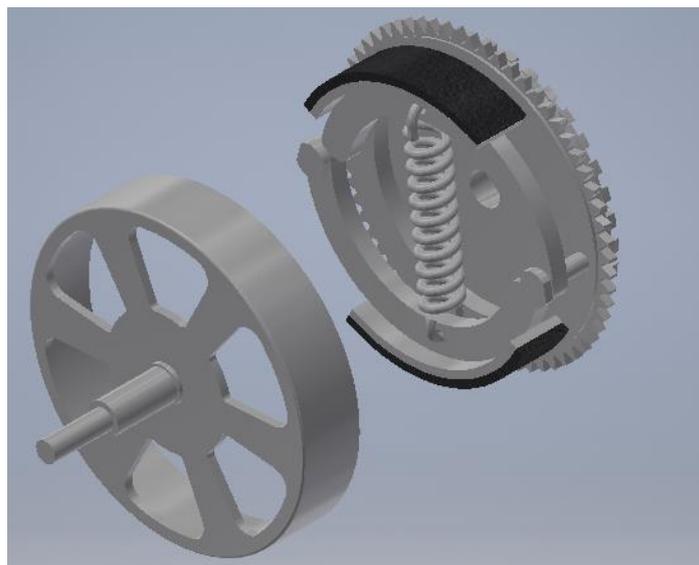


Figura 19. Conjunto de embrague centrífugo

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

El material empleado para el diseño de estos elementos será el acero F127, acero también empleado en cigüeñal, bielas, arboles... Es ideal para este tipo de piezas ya que proporciona una buena combinación de resistencia y tenacidad, así como a la fatiga torsión y choques.

Para el ferodo se emplean un mezclado de fibras con material aglomerante, en el cual se alcanzará un coeficiente de rozamiento con la campana de acero de $\mu=0.4$. El ferodo se adherirá a la superficie de la maza mediante resina de epoxi.

La fabricación de las mazas empleadas será mediante la mecanización CNC y para los bulones se empleará el torno.

En la campana primero se emplea la combinación del torno y posteriormente el CNC para mecanizar los orificios de refrigeración.

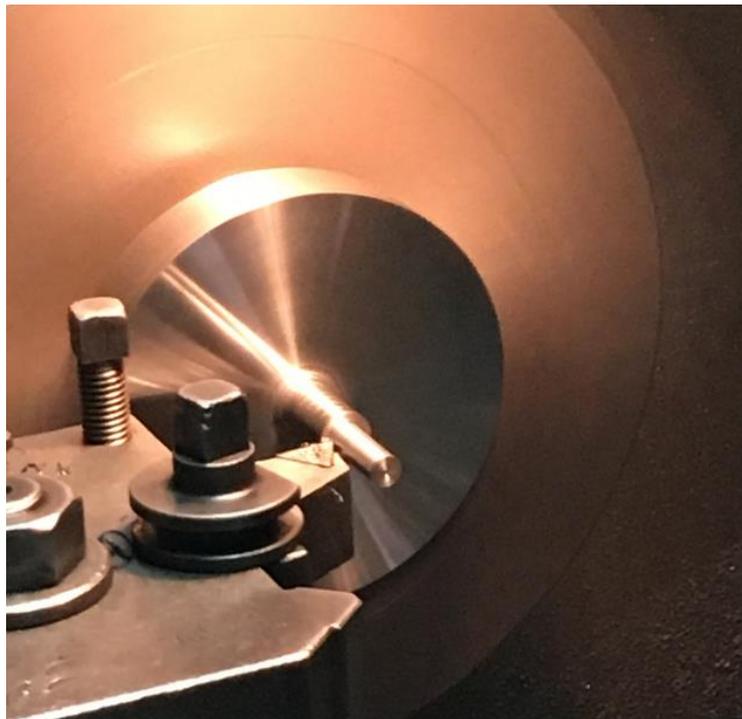


Figura 20. Mecanizado de campana en torno

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON



Figura 21. Mecanizado de campana en CNC

La empresa encargada de fabricarlos pide las piezas en el formato estándar de sólidos en 3D denominado con la extensión “.STEP ” o “.stp”. De esta forma será más sencilla la mecanización que proporcionando solo los planos de estos.

Para la fabricación del resorte existen diversas técnicas. Al tratarse de la fabricación de uno solo con unas características específicas se emplea el torno de manera manual.

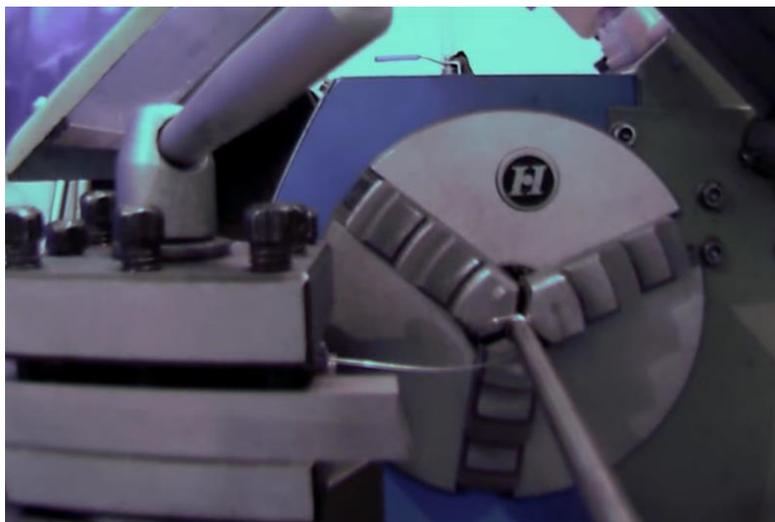


Figura 22. Mecanizado del resorte

Primero se escoge un alambre con el diámetro del hilo que se desea. Se sujeta en la garra de torno y a continuación se enrolla hasta la longitud requerida en una varilla cuyo diámetro será el del interior del resorte.

CÁLCULOS PREVIOS

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

Para poder realizar un correcto diseño de nuestro embrague debemos conocer las características principales que este debe cumplir y la manera en la que este va actuar ante las fuerzas ejercidas durante su funcionamiento.

Por lo tanto, se procede a realizar unos cálculos previos de manera que estos ayuden a saber si el diseño cumple con lo requerido.

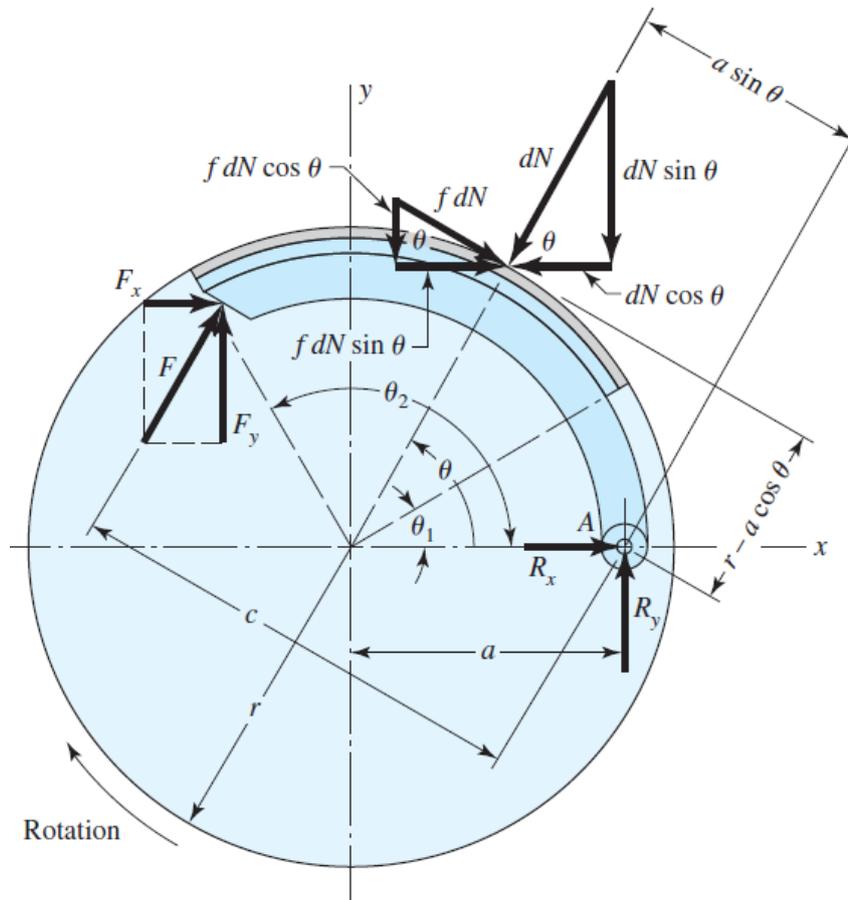


Figura 23. Esquema de fuerzas en freno de zapatas internas

El análisis de fuerzas de un embrague centrífugo de zapatas y de un freno de tambor con contacto interno es similar al mostrado en la figura 13.

Sin embargo, en este caso la fuerza que hay que ejercer será la de la fuerza centrífuga $F = m\omega^2 r$ en lugar de la fuerza del actuador del freno.

La m es la masa de las mazas. Esta fuerza actuaría en el centro de las mazas donde quedaría su centro de gravedad de manera aproximada y a su vez próximo al orificio de enganche con el resorte, cuya distancia sería r . A esta fuerza se le debe de oponer la fuerza recuperadora del muelle $F = k \Delta l$, siendo k la constante elástica del muelle.

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

Por lo tanto, de manera general, la fuerza necesaria para que el embrague actúe será función tanto de la k del muelle como de la distancia x que tengan que recorrer las mazas.

Para vencerlo será necesaria una fuerza centrífuga que nos proporcionará la velocidad de giro w del motor.

La distribución de presiones no será uniforme ya que el apoyo estará en el extremo y la fuerza recuperadora del muelle y donde más presión ejercerá la fuerza centrípeta es en el medio de las mazas, a 90° del apoyo de los bulones. Estas consideraciones se extraen de R.G Budynas & J.K Nisbett. (2008). Capítulo 16 Embragues, frenos, acoples y volantes de inercia. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (pp. 812-814). Mc Graw Hill.

Como datos ya obtenidos mediante el programa de diseño se sabe que el peso m de las mazas es aproximadamente 130g cada una.

La velocidad w para que deje de actuar el motor de arranque y empiece a transmitir el de combustión es de 4000rpm.

El radio r al centro de masas de las mazas es de 38mm.

La distancia que tiene que recorrer el resorte (Δl) es la diferencia entre el radio interno de la campana y el radio externo de las mazas. Esta distancia a recorrer sería de 3,5mm.

El coeficiente de rozamiento (μ) ferodo/acero es de 0.4

$$\sum Fy = 0; \quad Fc = N + K * \Delta l \quad (1)$$

La N será siempre 0 mientras no esté en contacto la superficie del ferodo con la del interior de la campana.

$$Fc = K * \Delta l; \quad m * w^2 * r = K * \Delta l \quad (2)$$

Pasando todas las unidades anteriores al sistema internacional y despejando la K de la ecuación (2) se obtiene:

$$K = \frac{m * w^2 * r}{\Delta l} = \frac{0.130kg * 418.88^2 rad/s * 0.038m}{0.0035m} = \frac{866.77 N}{0.0035m} = 247648,7403 N/m$$

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

Para calcular el muelle, muchas empresas te proporcionan una ficha similar a la *Desing Accelerator* para rellenar las medidas principales y ellos poder localizar el resorte en su catálogo o poder fabricarlo.

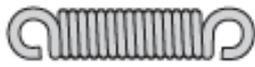
Tanto las empresas como la función del *Desing Acelerador* emplean una serie de fórmulas que aparecen en R.G Budynas & J.K Nisbett. (2008). Capítulo 10 Resortes. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (pp. 499-542). Mc Graw Hill.

Muelles de tracción

Cantidad: Material: Acero c. piano Inox Otros.....

Acabado del muelle: Sin tratamiento Galvanizado Zincado Pavonado Otros

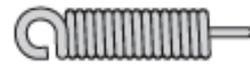
Anillas: Ganchos:



Rectos

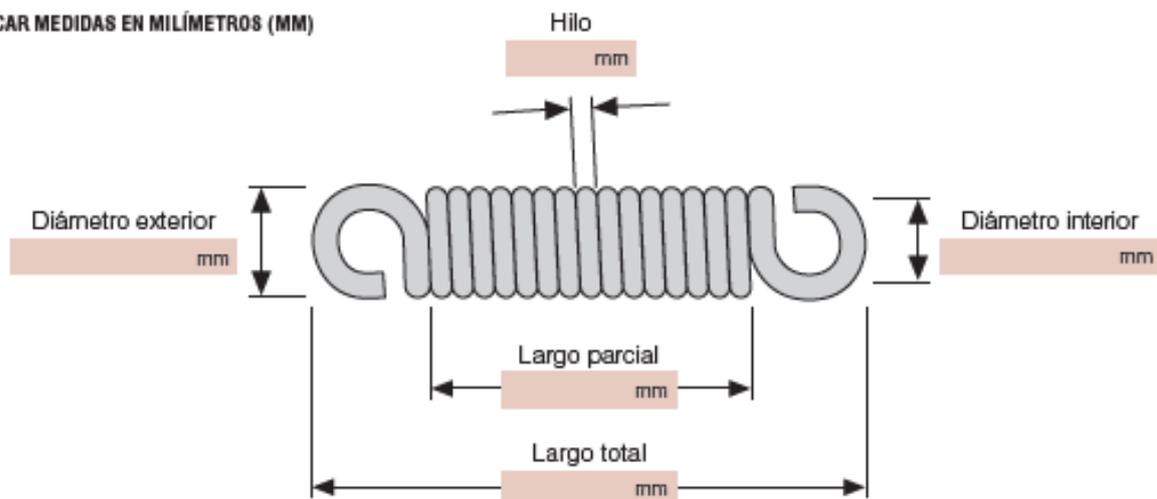


Invertidos



En cruz

INDICAR MEDIDAS EN MILÍMETROS (MM)



Inglesa



Alemana



Mordaza



Giratorio

Sentido enrollamiento: Derecho Izquierdo

Figura 24. Ejemplo ficha técnica resorte de tracción

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

Para tener una idea de cómo se comportará nuestro resorte con las medidas ya introducidas empleamos la pestaña de cálculo del *Desing Accelerator*.

Generador de componentes de muelles de extensión

Diseño
 Cálculo

Tipo de cálculo de resistencia

Cálculo de comprobación del muelle

Opciones de cálculo

Tipo de diseño: F, Cotas del ensamblaje --> d, L₀, n, D, Gancho

Método de corrección de la curvatura de tensión: Corrección de Wahl

Diseño de las cotas del ensamblaje: Diseño de todas las cotas del ensamblaje L₁, L_g, H

Cargas

Carga mín. F₁ 100 N

Carga máx. F₈ 1100 N

Carga de trabajo F 866 N

Cotas

Diámetro del conductor d 3,9 mm

Diámetro interior D₂ 8 mm

Longitud del muelle suelto L₀ 70,880 mm

Pretensión del muelle

No pretensado

Tensión en estado libre τ₀

Material del muelle

Material de usuario

Tensión de torsión admitida τ_A 975,000 MPa

Módulo de elasticidad en corte G 80500,000 MPa

Densidad ρ 7850 kg/m³

Factor de utilización del material us 0,950 su

Cotas del ensamblaje

H, L₁ --> L_g

Longitud de carga mín. L₁ 71,749 mm

Longitud de carga máx. L_g 80,435 mm

Recorrido útil H 8,687 mm

Longitud de carga de trabajo L_w 78,403 mm

Bobinas del muelle

Redondeo del número de bobinas 1/4

Número de bobinas activas n 12 su

Resultados

K _w	1,567 su
k	115,118 N/mm
L _z	53,880 mm
L _g	81,459 mm
s ₁	0,869 mm
s ₈	9,555 mm
s ₉	10,579 mm
F ₉	1217,847 N
τ ₁	80,059 MPa
τ ₈	880,653 MPa
f	827,099 Hz
W ₈	5,255 J
I	523,930 mm
m	0,049 kg

Figura 25. Cálculo resorte

ENSAYO

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

Una vez diseñadas las piezas en Inventor, procedemos a realizar el ensamblaje y el ensayo de los componentes para ver cómo se comportan. Para analizar las tensiones y desplazamientos se empleará el entorno de análisis del propio inventor, y para el análisis térmico emplearemos las herramientas que nos proporciona Fusion 360, un programa del grupo de Autodesk que no permite ensayar nuestros sólidos y el ensamblaje creado desde Inventor.

La forma de proceder para iniciar los análisis será siempre la siguiente:

1. Crear estudio en Inventor o Fusion

2. Definir el material de cada sólido:

El programa ya tiene unas librerías con diferentes materiales, aun así nosotros podemos introducirlos manualmente con sus características propias si es necesario.

3. Asignar restricciones, si el análisis es de fuerzas o presiones

4. Colocar cargas ya sean presiones, temperaturas o fuerzas

5. Realizar contactos entre piezas.

Esta parte se puede introducir manualmente o de manera automática

6. Mallado

Con esta función el programa transforma el sólido para hacer el cálculo por elementos finitos. Conforme más fina sea la malla más nodos se formarán, esto implica una mayor precisión de cálculo, pero también más tiempo de ejecución de este.

7. Simulación de resultados

Una vez realizado el cálculo se desplegarán una serie de resultados donde podremos observar tanto las tensiones, los desplazamientos, temperaturas, presiones...

En la campana se realiza:

- Presión aplicada en la superficie que ejerce el ferodo de las mazas.

La presión que se ejerce es la de la fuerza centrífuga en el área que ocupa la zapata.

Para calcular la presión ejercida debemos hallar previamente el área de la zapata.

El radio será de 51.5 mm, l será el ancho que esta ocupa, que es de 19 mm, y se dividirá entre 4 ya que ocupa 90º del total del área formada por el cilindro.

$$Azapata = \frac{2 * \pi * r * l}{4} = \frac{2 * \pi * 51.5 * 19}{4} = 1537 \text{ mm}^2 \quad (3)$$

La fuerza centrífuga calculada anteriormente es de 866N, por lo tanto, la presión ejercida sobre las paredes sería:

$$P = \frac{F}{Azapata} = \frac{866 \text{ N}}{1537 \text{ mm}^2} = 0.563 \text{ MPa} \quad (4)$$

Con esta presión calculada procedemos a realizar el ensayo mediante la herramienta de simulación y obtendremos los desplazamientos y Tensiones de Von Mises ejercidas.

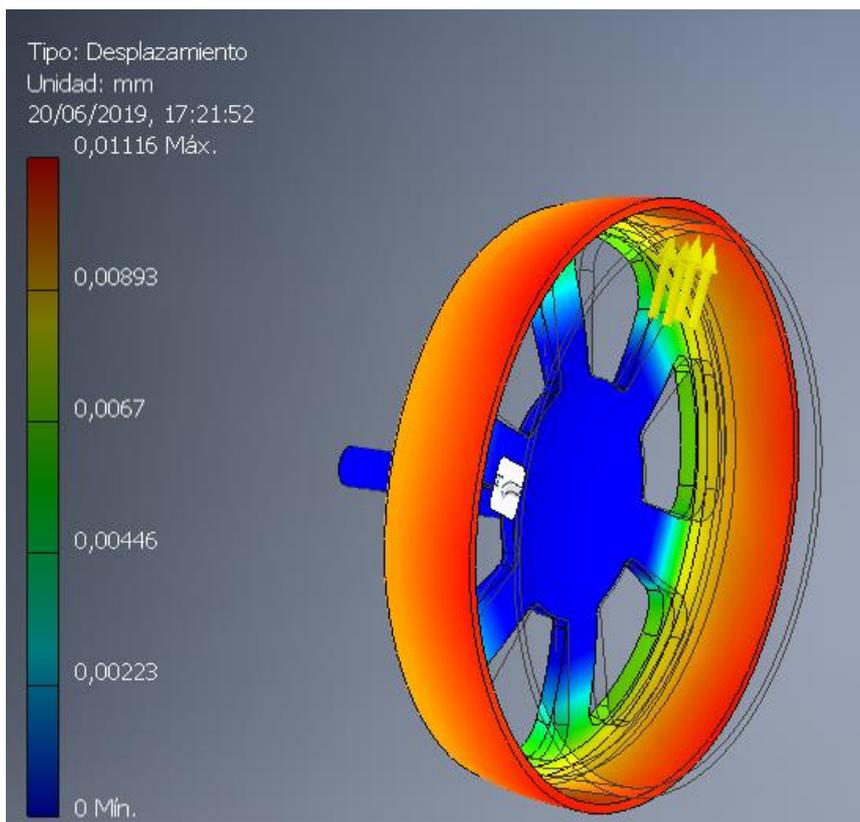


Figura 26. Desplazamientos en mm en la campana

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

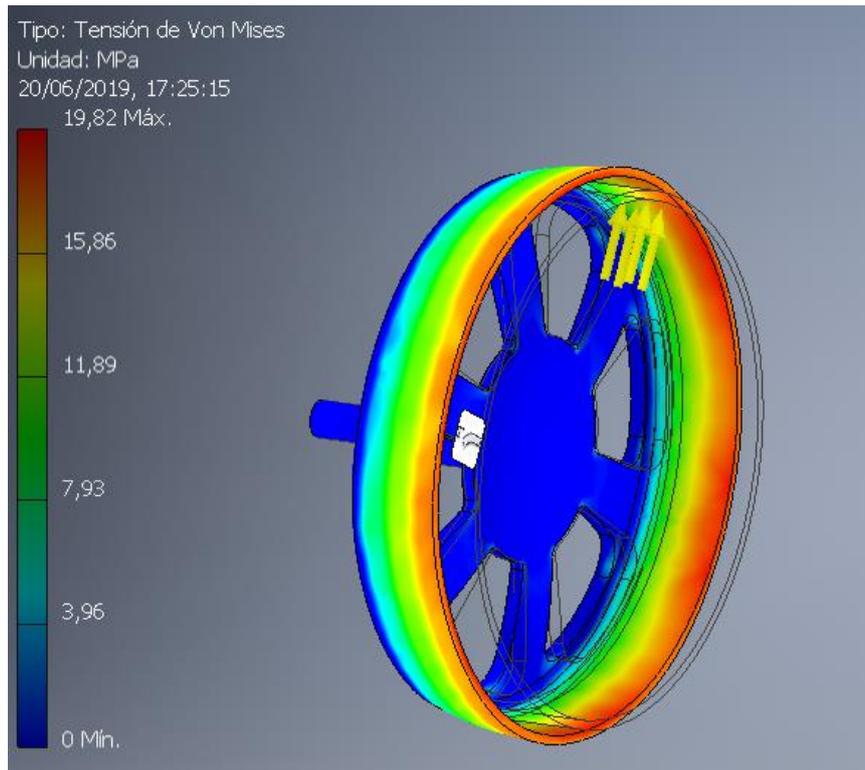


Figura 27. Tensiones de Von Mises en la campana

- De temperatura.

La temperatura que se aplica en la superficie interna de la campana será de 250°C que es la máxima que pueden soportar los ferodos antes de empezar a degradarse y perder fricción.

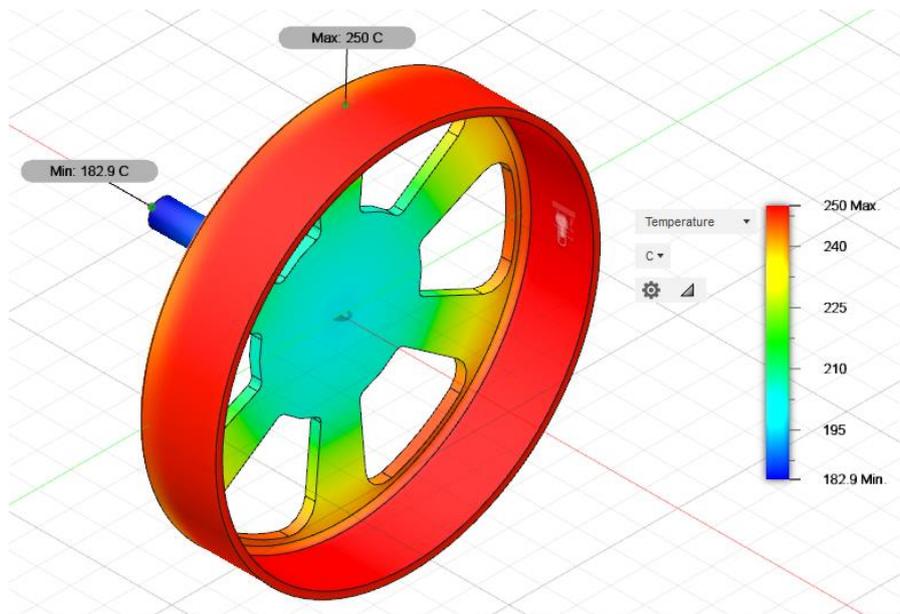


Figura 28. Temperatura aplicada en la campana

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

Los ensayos a realizar en las mazas serán:

- Comportamiento a la fuerza centrífuga ejercida.

En este ensayo podremos observar la concentración de tensiones que se generan en los orificios al aplicar la fuerza centrífuga y la fuerza recuperadora del muelle. A su vez se aplica la presión anterior que se ejerce en el forro de embrague.

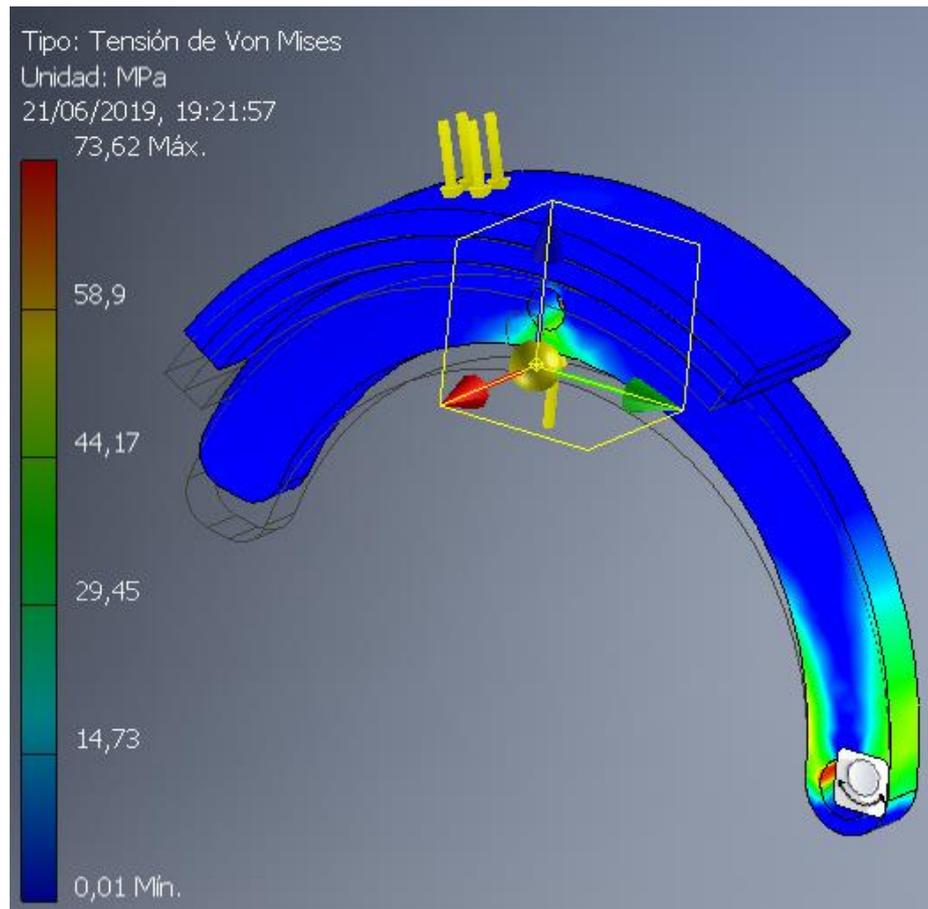


Figura 29. Tensiones en la maza

En la siguiente imagen se pueden observar que los desplazamientos máximos se generan a 90° del apoyo. Ya que se trata de una zapata larga y su centro de masas está localizado en esa zona.

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

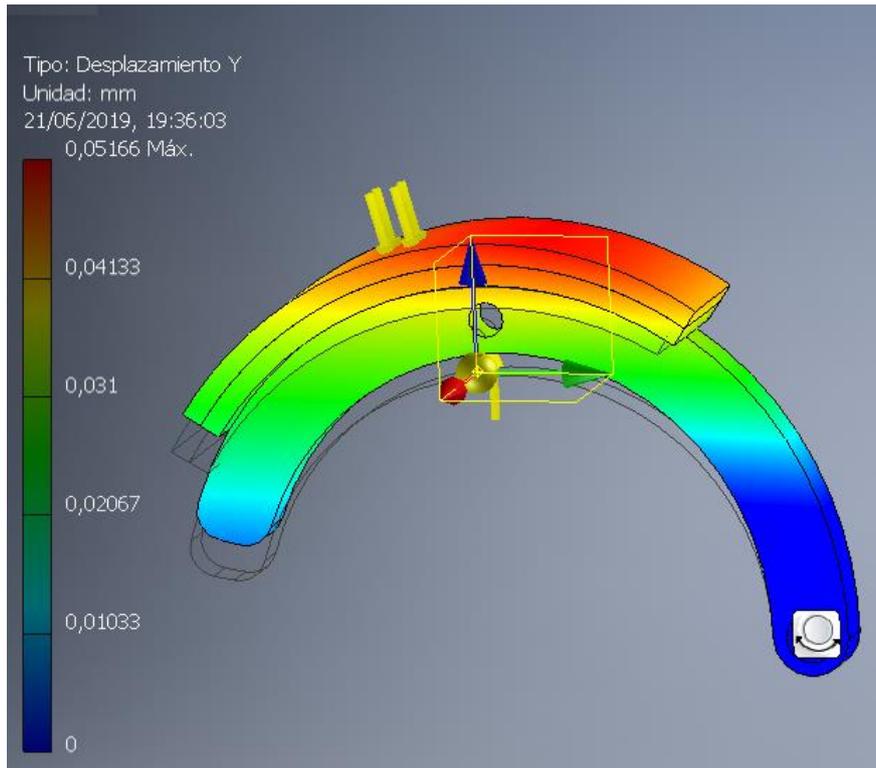


Figura 30. Desplazamiento de la maza

- De temperatura.

Se aplica la temperatura anterior de 250°C en los ferodos, que es la máxima antes de que se degraden, para ver cómo se distribuyen las temperaturas.

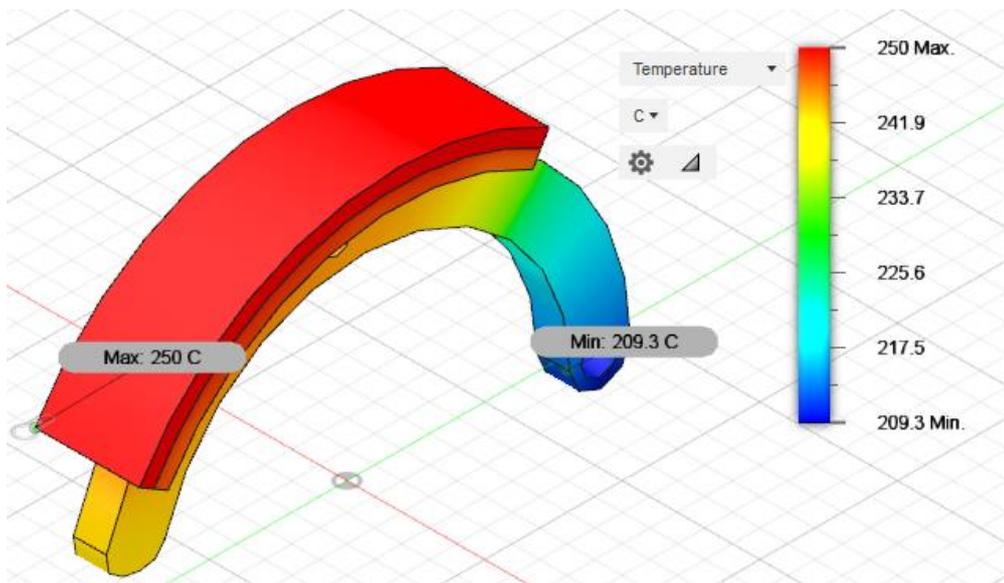


Figura 31. Temperatura aplicada al ferodo de la maza

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

Se aplican las fuerzas y presiones anteriores a todo el mecanismo para ver su comportamiento general.

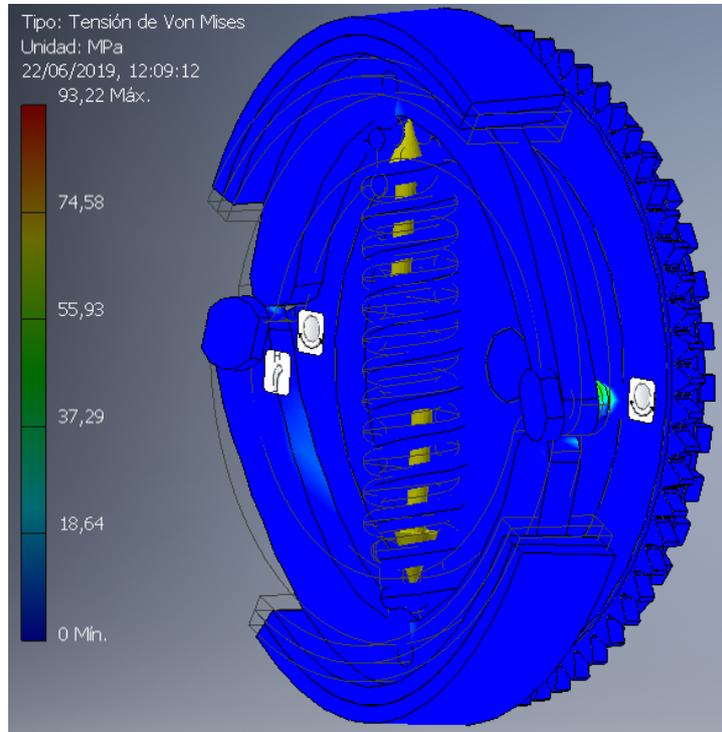


Figura 32. Tensiones en el embrague

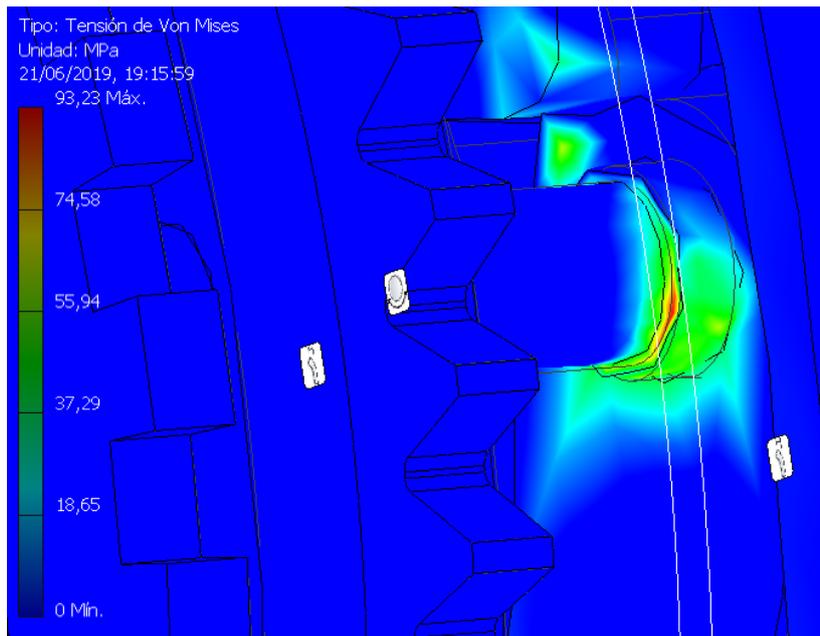


Figura 33. Máxima tensión en el embrague

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

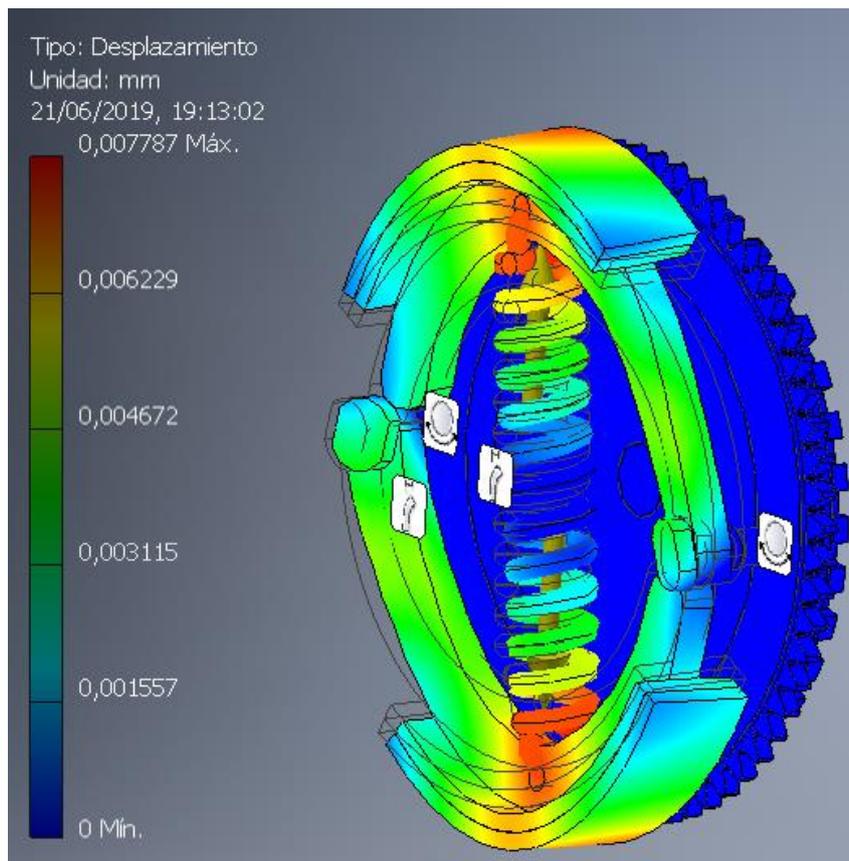


Figura 34. Desplazamientos del embrague

Con los resultados obtenidos de estos ensayos podemos considerar que la elección de los materiales ha sido correcta. Existiendo un coeficiente de seguridad a la rotura muy elevado.

Este margen de seguridad nos permite que nuestro embrague soporte exigencias mayores a las habituales que existen en la competición.

ANÁLISIS DE SOLUCIONES

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

Una vez han sido realizados los cálculos previos y ensayos correspondientes se dispone a realizar el montaje en el vehículo.

Con la ayuda de todo el equipo de compañeros y profesor responsable de la IDF se realizaron más cambios en todo el vehículo.

Como se realizó un nuevo chasis del vehículo, se aprovechó también para cambiar diversos elementos de la transmisión, partes eléctricas, sistema de dirección y motor.

Al usar el nuevo motor se cambiaron los anclajes, por lo que hubo que realizar una serie de medidas lo más precisas posibles. Algunas de estas piezas fueron fabricadas mediante la impresión 3D para ver que los tamaños se correspondieran antes de enviarlos a fabricar de manera definitiva.

Para el embrague ha sido necesario colocar una serie de piezas que sujeten y centren la campana con la intención de transmitir el giro con una cadena a todo el eje trasero, donde se encuentra un piñón anclado al buje de la rueda.

La transmisión anterior estaba compuesta por un sistema de dos correas diferentes que se cambiaban para variar así la relación de transmisión según las estrategias de competición y exigencias de los circuitos. Ahora, en cambio, se emplea una cadena y piñones con distintos tamaños.

Todo este sistema de transmisión ahora estará colocado a la izquierda del motor debido a motivos de espacio y diseño de los nuevos componentes.

Finalmente se ha conseguido que el vehículo completo alcance un peso total con los nuevos componentes de 26 kilos. Bajando más de la mitad, de 14,31 Kg a 6,27 Kg, tan solo variando el espesor en el chasis.

Desde el punto de vista de seguridad, podemos bajar el espesor del chasis ya que el vehículo ira dotado de sus respectivos frenos, el piloto irá con casco, mono, guantes y calzado adecuado. Además las velocidades que se consiguen en pista no son superior a los 30 km/h.

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

Por lo tanto, el transcurso de movimientos desde el motor hasta las ruedas seguirá el siguiente recorrido.

El movimiento generado por el motor de arranque moverá todo el eje del motor de combustión y empezará a funcionar de manera normal. Las mazas unidas al plato de arranque actuarán al alcanzar más o menos las 4000 rpm y se pegarán a las paredes internas de la campana. Esta campana lleva en su mismo eje de giro una rueda dentada donde va montada la cadena que se encargará finalmente de llevar el movimiento al piñón trasero y de este finalmente a la rueda.



Figura 35. Transmisión completa

PRESUPUESTOS

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

El presupuesto constará del coste de las mazas, bulones y campana, a su vez se incluirá el precio estimado de mano de obra de fabricación, materiales y mecanizado de estos.

También se deduce que el fabricar piezas para un solo embrague encarecerá el precio final ya que al no fabricarse en serie la cotización es mayor, por eso muchas empresas se niegan a fabricarlo ya que no podrían competir con otras más especializadas en este tipo de proyectos.

Otro inconveniente que ha causado la negativa de otras empresas, a parte del volumen, es tanto la geometría de las piezas como el tamaño de estas ya que muchas se dedican a tamaños mayores y no disponen del utillaje adecuado.

Estas ofertas tampoco son competitivas con ya los embragues centrífugos que proporcionan otras empresas dedicadas al sector de la automoción como son las marcas Malossi o Newfren que rondan en unos 200€ por embrague completo.

Resumen de varios presupuestos:

Una empresa de mecanizado de Madrid llamada APM (alta precisión de mecanizado) propuso lo siguiente:

Campana de embrague --> 516 €

Bulones--> 73€/unidad

Mazas--> 330€/unidad

Total: 1322€

Otra empresa especializada en fabricación CNC francesa llamada ProtoLabs mandó la siguiente oferta:

Campana de embrague--> 370,89€

Bulones--> 81,26€/unidad

Mazas--> 166,70€/unidad

Total: 866,81€

En Mecanizados UMESAL de Valencia el coste de fabricación propuesto fue el siguiente:

Campana de embrague--> 482,17€

Mazas de embrague--> 259,32€/unidad

Bulones--> 64,47€/unidad

Total: 1129,75€

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

Heripa s.a proporcionó los siguientes precios de fabricación:

Campana de embrague--> 250€

Mazas de embrague--> 235€/unidad

Bulones--> 50€/unidad

Total: 820€

La oferta adjuntada por Mecanizados Torne S.L consta de los siguientes precios:

Campana de embrague--> 212,18€

Mazas --> 263,56€/unidad

Bulones-->36,32/unidad

Total, con IVA: 982,45€

En Mecanizados Gallego Calero la propuesta de fabricación recibida fue la siguiente:

Campana--> 485€

Mazas--> 288€/unidad

Bulones-->78€/unidad

Total: 1217€

El presupuesto planteado por MECAV (Mecánica Avanzada) fue:

Campana--> 222,44€

Mazas--> 157,65€/unidad

Bulones-->45,98€/unidad

Total: 629,70€

Como se puede observar los precios ofertados rondan entre los 600-1300€ pero finalmente se consiguió realizar estas piezas de manera gratuita al patrocinar a la empresa alcoyana MecanizadosXYZ que las fabricó finalmente.

En el anexo se adjuntan algunas de las ofertas de manera más detallada.

CONCLUSIONES

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL ECOMARATHON

En el presente trabajo se ha descrito de manera breve el funcionamiento del embrague y los diferentes tipos que existen en el mercado de la actualidad.

Se ha realizado el proceso de diseño mediante el programa de Autodesk Inventor, basándonos en un tipo de embrague ya disponible en el mercado.

Este diseño se ha centrado en la creación de los 4 elementos principales que lo componen; campana, mazas, bulones y resorte.

El dimensionamiento de estos se ha regido por el tamaño del plato de arranque que ya se disponía de anteriores ediciones de la competición.

De manera teórica se ha podido calcular la fuerza necesaria a ejercer en nuestro embrague para que funcione como corresponde sin incumplir ninguna de las leyes impuestas por el comité de la competición.

Una vez conocida esta fuerza se ha podido obtener la constante elástica, también conocida como K o R según el fabricante.

Posteriormente empleando ensayos de elementos finitos, que proporciona el mismo programa de diseño, se ha podido visualizar de manera gráfica cómo se comportan las piezas modelizadas sometidas a las diferentes cargas de presión, fuerzas y temperaturas generadas en la transmisión del vehículo.

Finalmente se realiza una serie resúmenes de presupuestos de diferentes empresas de manera orientativa para observar cual sería el coste aproximado de fabricación de estas piezas ya que con ayuda de un patrocinador se obtuvieron de manera gratuita.



Figura 36. Monoplaza completo de la edición 2019

BIBLIOGRAFÍA

**DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE EMBRAGUE CENTRÍFUGO PARA MOTOR DE VEHÍCULO SHELL
ECOMARATHON**

- *SHELL ECO-MARATHON 2019 OFFICIAL RULES CHAPTER I, 2019*
- R.G Budynas & J.K Nisbett (2008). *Diseño en ingeniería mecánica*. Mc Graw Hill.
- Robert C. Juvinall & Kurt M. Marshek. (2013). *Diseño de elementos de máquinas*. Limusa Wiley
- Robert L. Norton. (2012). *Diseño de máquinas*. Pearson.
- Thom Tremblay. (2011). *Autodesk Inventor 2012*. Anaya
- Pablo Luque, Daniel Álvarez, & Carlos Verá. (2004). *Ingeniería del Automóvil. Sistemas y Comportamiento Dinámico*. Thomson

ANEJO DE PRESUPUESTOS Y PLANOS

6 5 4 3 2 1

D

D

C

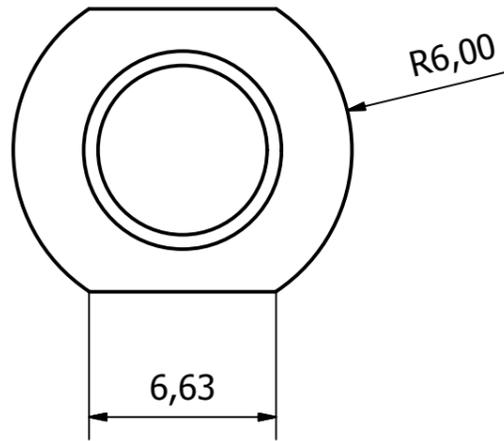
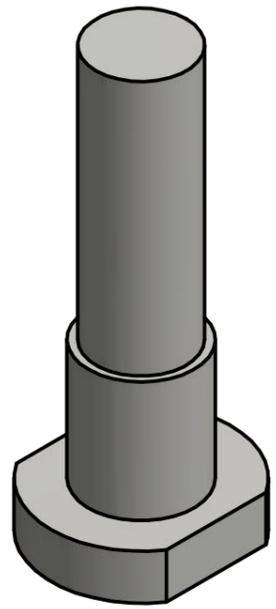
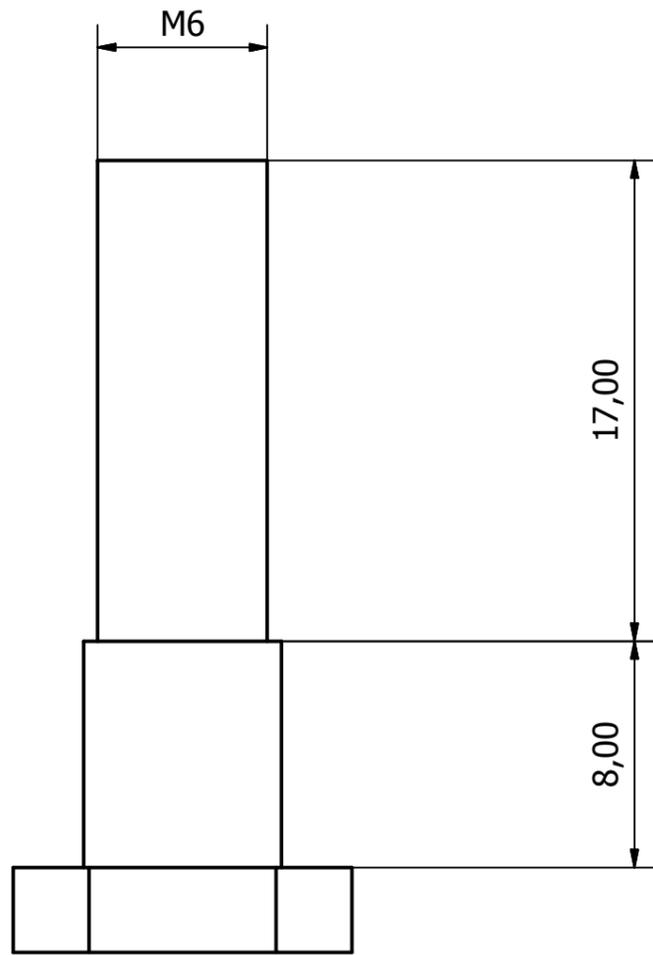
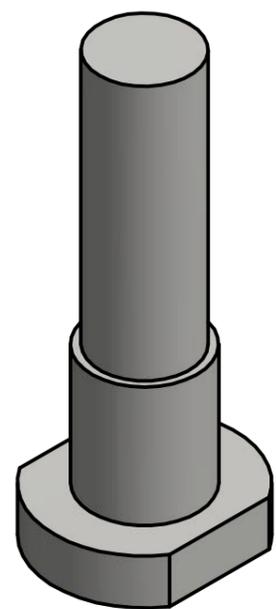
C

B

B

A

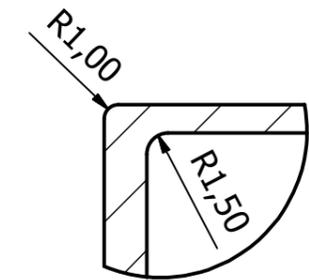
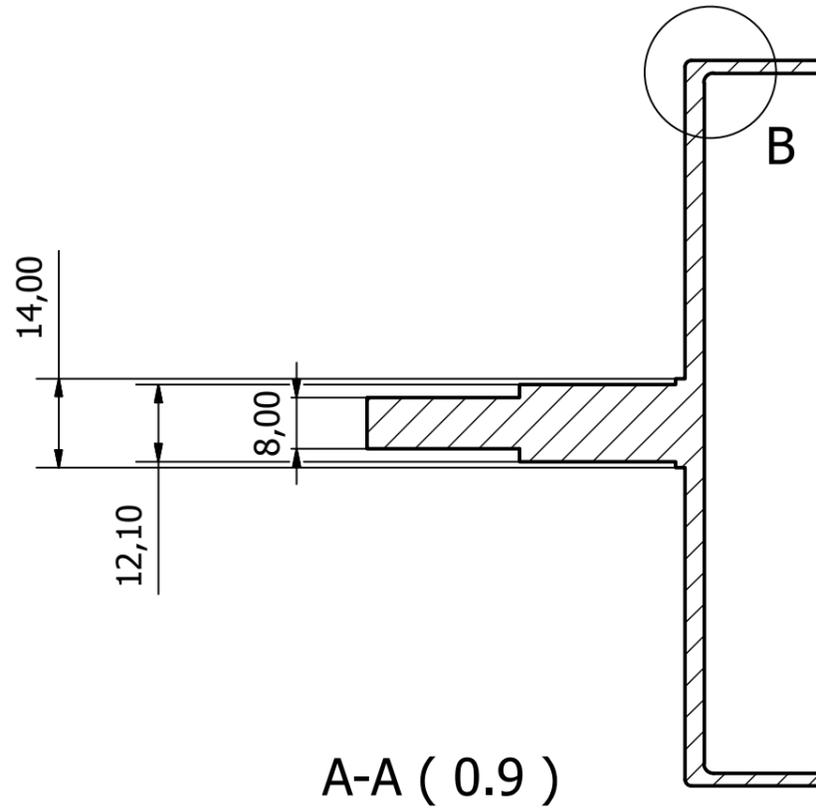
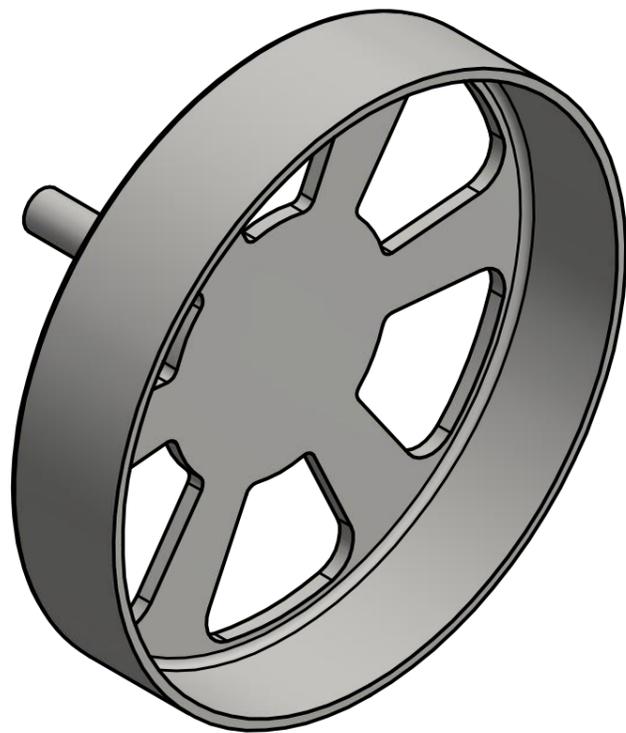
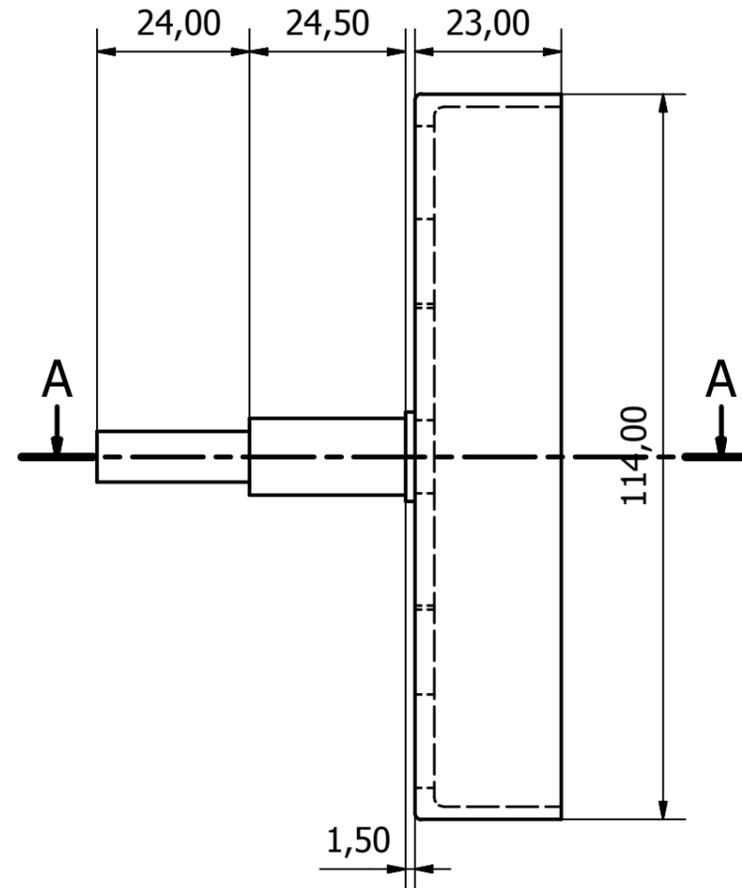
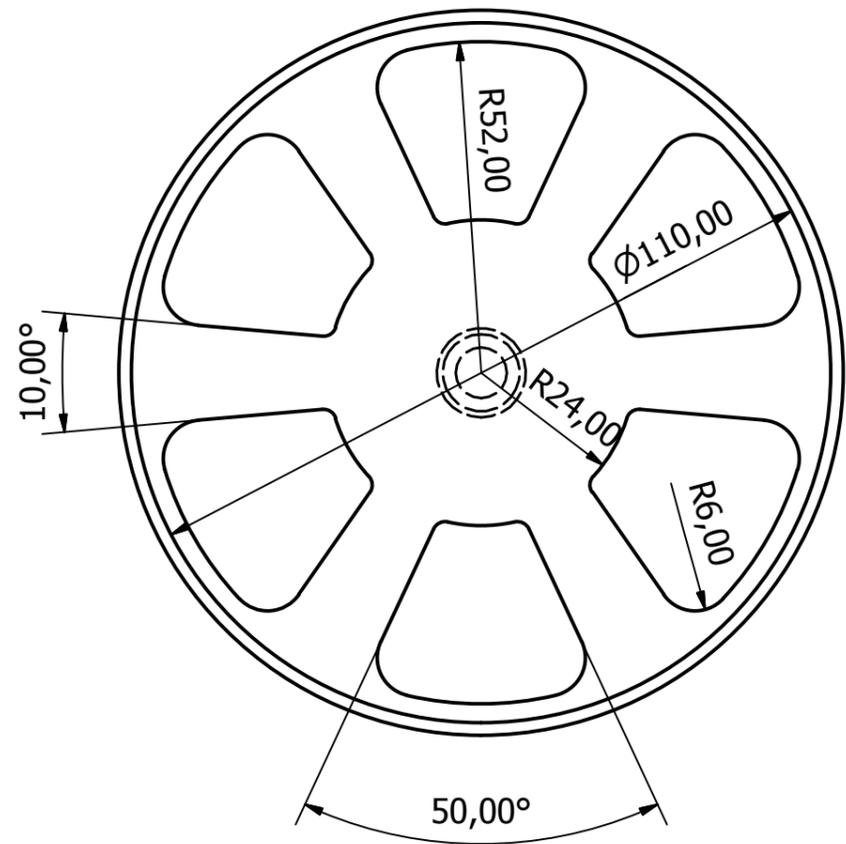
A



Diseño de Roberto Mas Mora	Fecha 01/06/2019	
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		Proyecto Embrague centrifugo
		Nombre de la pieza Bulón mazas

6 5 4 3 2 1

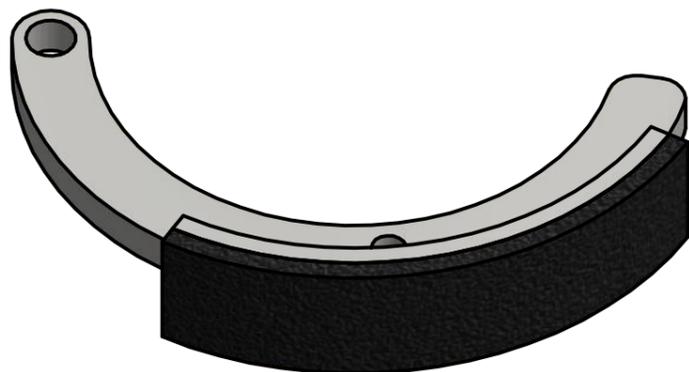
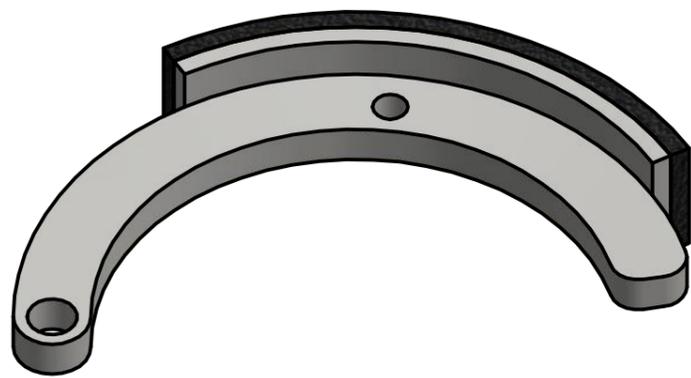
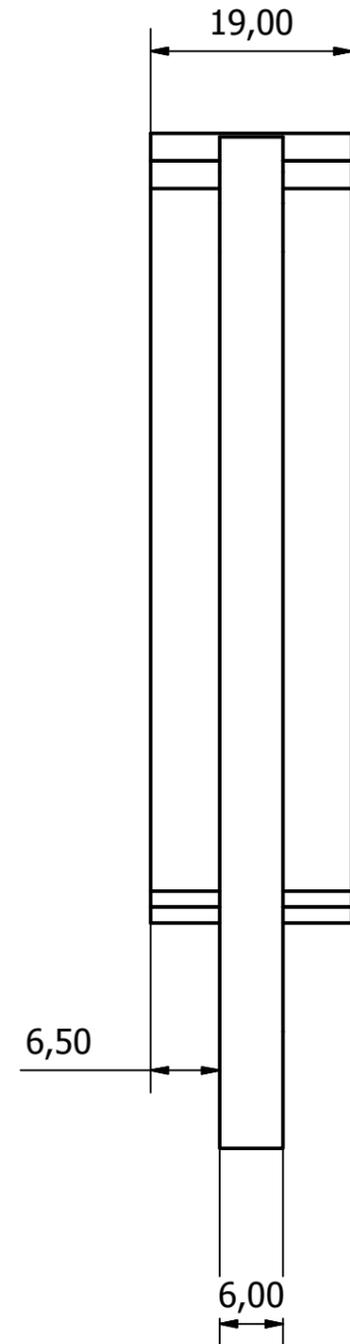
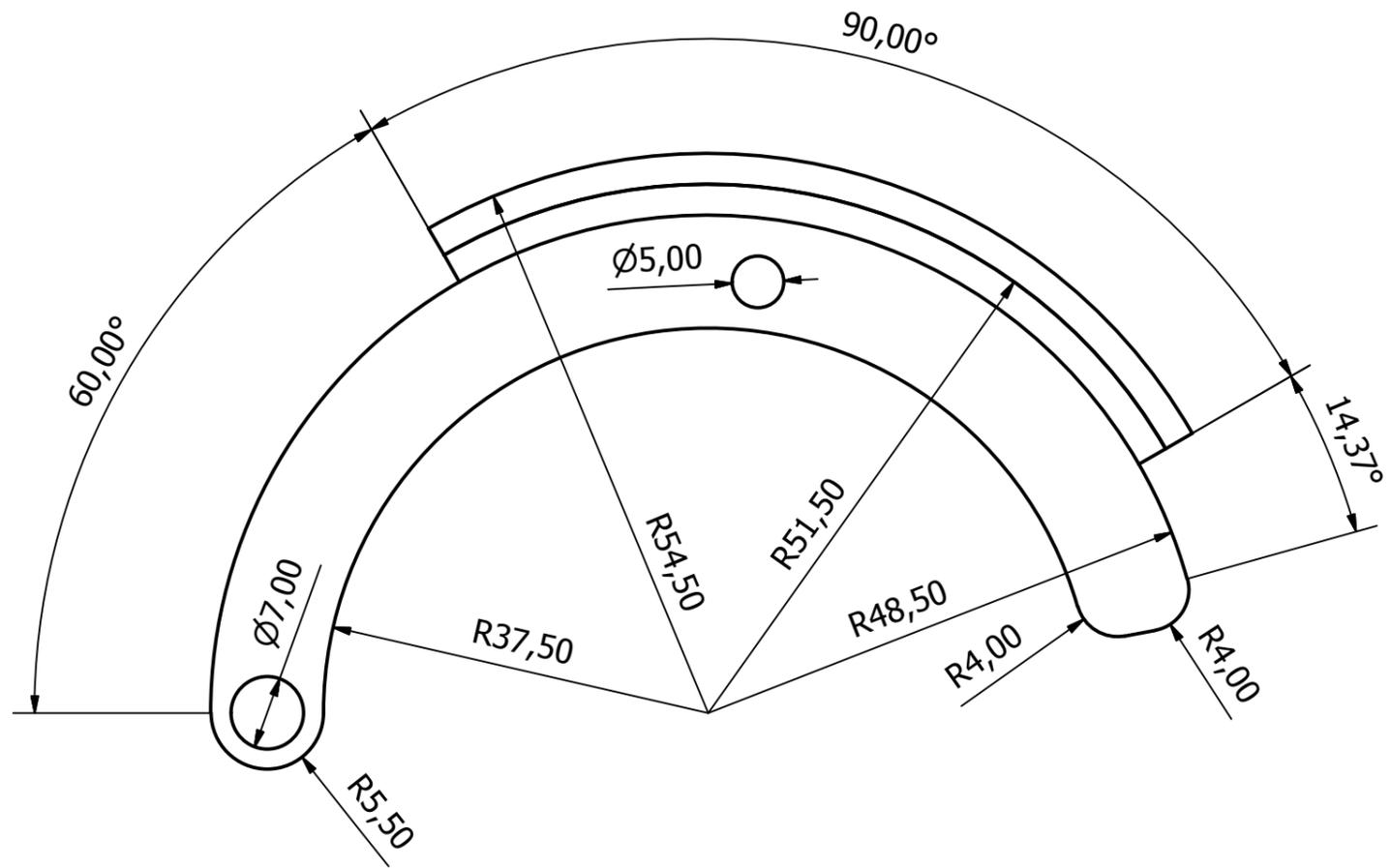
A



B (2)

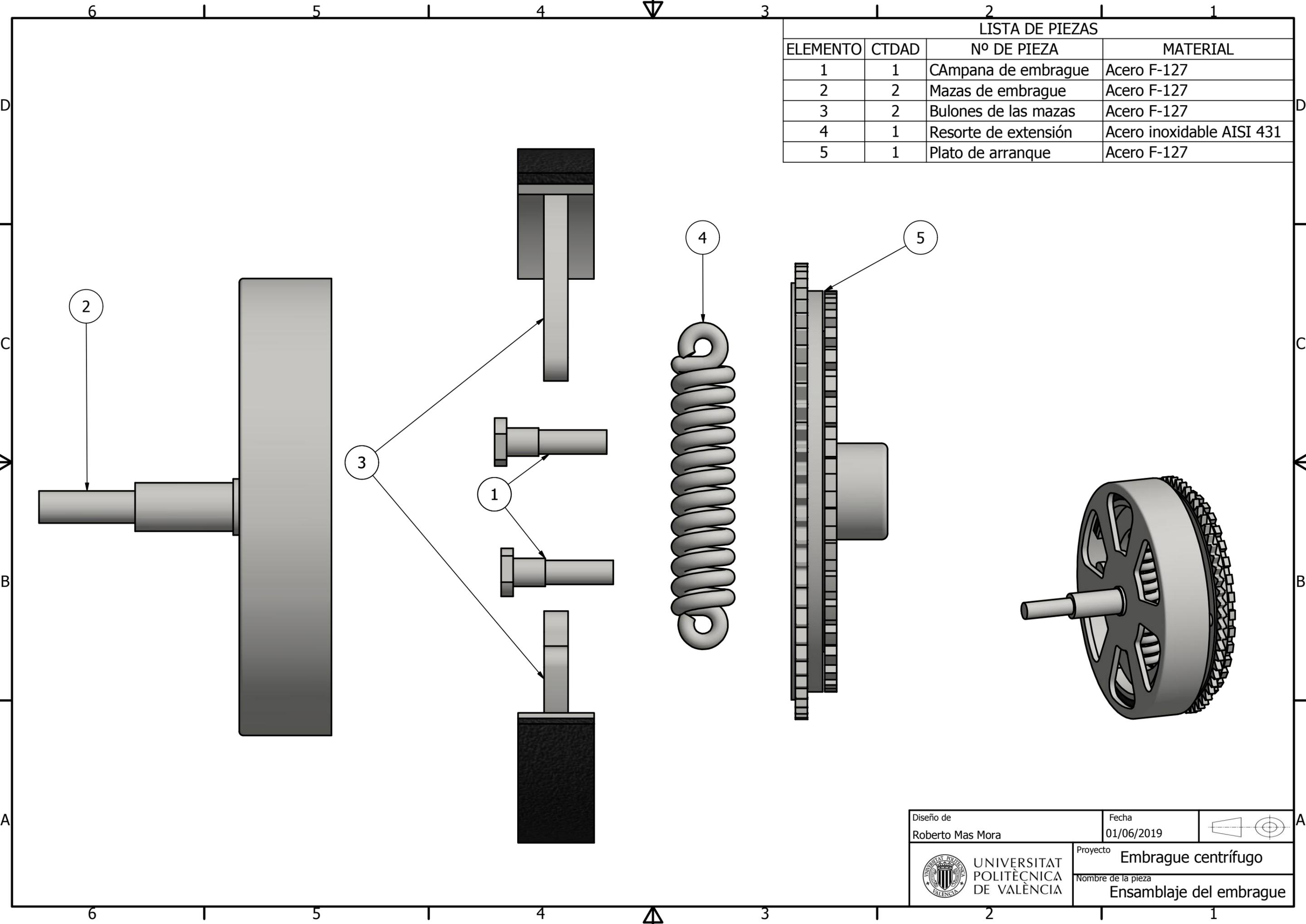
A-A (0.9)

Diseño de Roberto Mas Mora	Fecha 08/06/2019	
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	Proyecto Embrague centrífugo	
	Nombre de la pieza Campana de embrague	



Diseño de Roberto Mas Mora	Fecha 02/06/2019	
	UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	Proyecto Embrague centrífugo
		Nombre de la pieza Maza de embrague

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	MATERIAL
1	1	CAmpana de embrague	Acero F-127
2	2	Mazas de embrague	Acero F-127
3	2	Bulones de las mazas	Acero F-127
4	1	Resorte de extensión	Acero inoxidable AISI 431
5	1	Plato de arranque	Acero F-127



Diseño de Roberto Mas Mora	Fecha 01/06/2019	
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		Proyecto Embrague centrífugo
		Nombre de la pieza Ensamblaje del embrague