



**UNIVERSITAT JAUME I**



**Máster Universitario en Diseño y  
Fabricación**

**Máquina portátil de medición de  
alineación de dirección para Formula  
Student.**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**AUTOR:**

David Rius Viciach

**TUTOR/A:**

Pedro Rosado Castellano

**Castellón, noviembre 2021**

# ÍNDICE

ÍNDICE.....	2
MEMORIA .....	3
ANEXOS .....	63
PRESUPUESTO.....	96
PLIEGO DE CONDICIONES.....	102
PLANOS.....	109

# MEMORIA

# Índice

Índice.....	4
1 Introducción .....	6
1.1 Alcance.....	8
1.2 Justificación.....	9
1.3 Objetivo .....	10
2 Antecedentes .....	11
2.1 Alineador camber/caster digital.....	11
2.2 Medidor de convergencia/divergencia .....	12
2.3 Máquina de alineación laser .....	13
2.4 Patente medición alineación por fuerzas .....	14
2.5 Patente medición alineación en 3D sin contacto .....	14
3 Diseño conceptual y preliminar .....	15
3.1 Requisitos de diseño.....	15
3.1.1 Base de soporte .....	15
3.1.2 Dispositivo de medición .....	16
3.2 Análisis de soluciones .....	17
3.2.1 Diseño de soporte de base.....	17
3.2.2 Diseño dispositivo de medición.....	19
3.3 Selección base de soporte.....	23
3.4 Selección del dispositivo de medición .....	23
4. Diseño de detalle .....	25
4.1 Presentación del producto .....	26
4.2 Diseño en detalle .....	28
4.2.1 Subconjunto de medición .....	28
4.2.1.1 Pletina de sujeción .....	29
4.2.1.2 Buje eje horizontal.....	30

4.2.1.3 Eje horizontal.....	30
4.2.1.4 Soportes laterales .....	31
4.2.1.5 Topes de la pletina de sujeción .....	32
4.2.1.6 Placa horizontal .....	33
4.2.1.7 Eje vertical .....	35
4.2.2 Subconjunto de elevación.....	36
4.2.2.1 Husillo de elevación .....	36
4.2.2.2 Pie de apoyo.....	37
4.2.2.3 Tuerca de elevación .....	37
4.2.2.4 Soporte motor paso a paso .....	38
4.2.2.5 Protector inferior conjunto elevación .....	39
4.2.2.6 Protector superior husillo.....	39
4.2.3 Base de referencia .....	40
4.3 Análisis de elementos finitos.....	42
4.3.1 Análisis topológico pletina de sujeción.....	42
4.3.2 Análisis elementos finitos base referencia .....	47
4.4 Programación.....	49
4.4.1 Funcionamiento de la máquina.....	49
4.4.2 Uso de la aplicación complementaria.....	52
4.4.3 Componentes electrónicos.....	53
4.4.3.1 Sensores .....	53
4.4.3.2 Actuadores .....	55
4.4.4 GRAFCETS de la máquina .....	56
4.5 Uso de la máquina .....	58
5 Conclusiones .....	62

## 1. Introducción

El presente documento describe el Trabajo Final de Master, del Master en Diseño y fabricación de la Universidad Jaume I. Este trabajo está enmarcado dentro de la especialización de diseño de maquinaria.

El principal objetivo de este trabajo es el diseño de una máquina de medición y alineación de dirección, para equipos participantes en Formula Student. En primer lugar, la competición Formula Student se originó en Estados Unidos en 1979, dirigida a estudiantes universitarios. Teniendo lugar la primera edición en 1981 en el circuito de Austin (Texas). Desde entonces, se vienen realizando competiciones en numerosos países a lo largo de los cinco continentes, en las que se puede llegar a albergar en cada una de ellas hasta 120 equipos y más de 2000 estudiantes involucrados. Un ejemplo del volumen de gente involucrada en estas competiciones se puede observar a continuación (**ver Figura 1**).



*Figura 1. Fotografía de los participantes en Formula Student Spain 2017*

La Formula Student es una competición de ingeniería que se basa en el diseño, fabricación y desarrollo tanto teórico como en pista, de un monoplaza, bajo una normativa común para todas las competiciones que tienen lugar alrededor del mundo.

Concretamente, en la Universitat Jaume I, se inició el proyecto de Formula Student en el año 2014, compitiendo en diferentes competiciones en los tres años siguientes construyendo un coche diferente en cada uno de ellos. En la última competición

que ha tenido lugar a finales de agosto, el equipo ha conseguido finalizar todas las pruebas por primera vez en su reciente historia.

Este proyecto está enfocado para lograr sacar el máximo rendimiento en pista del coche realizado por el equipo de la universidad, UJI Motorsport y poder plasmar en el circuito las características más cercanas a las teóricas con las que se ha diseñado el monoplaza.

Con el fin de poder sacar el mayor rendimiento posible al monoplaza, es totalmente necesario una parte dinámica del coche adecuada para los circuitos y pruebas a los que se va a someter, por ello se explicaran las pruebas dinámicas que tienen lugar en la competición.

- **Aceleración. (75 puntos)**

Esta prueba consiste en recorrer una distancia de 75 metros en el menor tiempo posible, partiendo desde parado. En esta prueba se evalúa la capacidad de generación de tracción y por tanto, aceleración longitudinal.



- **Skid Pad (75 puntos)**

En esta prueba los vehículos recorren dos trayectorias circulares en forma de 8, cada uno de ellos en un sentido de giro. Los dos círculos se hacen enlazados, y el mejor tiempo se calcula con la media de ambos sentidos de giro. En esta prueba se evalúa la capacidad de giro constante del monoplaza, así como la capacidad de resistir la aceleración lateral.

- **Autocross (100 puntos)**

Esta prueba tiene lugar en un circuito de entre 800m y 1km de longitud que está delimitado por conos y es diseñado por la organización de la competición. Sin embargo, el ancho de la pista, los radios de giro y la longitud mínima y máxima de rectas es determinado bajo la normativa.

- **Endurance (325 puntos)**

Esta, es la prueba reina de la competición y consiste en recorrer 22km en el circuito del autocross en el menor tiempo posible, realizando un cambio de piloto a mitad de prueba, es decir a los 11km. En esta prueba se evalúa la fiabilidad del monoplaza.

- **Fuel Efficiency (100 puntos)**

Esta prueba, realmente tiene lugar dentro de la prueba de resistencia y se valora el combustible consumido durante la prueba y sirve para evaluar la eficiencia del vehículo.

### **1.1 Alcance.**

Este proyecto está orientado hacia la realización de un salto cualitativo en el comportamiento dinámico del monoplaza de Formula Student realizado por el equipo de la universidad, UJI Motorsport.

La realización y finalización del presente proyecto, representaría la posibilidad de realizar un setup o alineación óptima para cada una de las pruebas que tienen lugar en la competición y de esta forma poder conseguir el mejor desempeño posible del monoplaza.

La máquina debe de ser capaz de medir el camber, toe y caster, que son los parámetros principales de alineación de la rueda, de forma precisa. Además esta máquina tiene que ser portátil para que se pueda utilizar tanto en el taller disponible en la universidad, en la zona donde se realizan los test o en los desplazamientos a las distintas competiciones a las que asista el equipo.

Fuera del alcance del presente proyecto, queda la realización de la programación en Arduino de los dispositivos que se vayan a incluir en el conjunto de componentes.

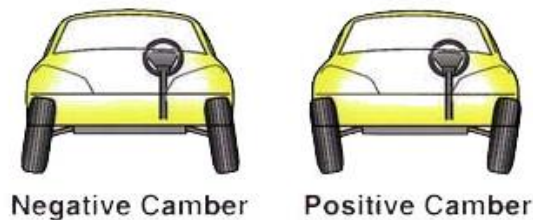


## 1.2 Justificación

Para llevar a buen puerto las pruebas anteriores, el coche deberá ser capaz de transmitir correctamente la fuerza del motor a las ruedas y para ello, la geometría y la posición de las ruedas respecto al suelo deben de ser las correctas. Las características más importantes, y las cuales se podrían medir con la máquina de alineación de dirección, son:

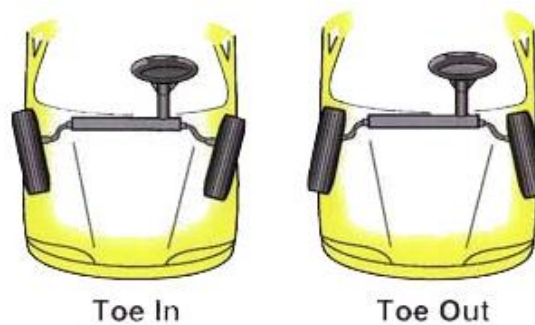
- **Camber** (caída)

Se define como el ángulo formado por la inclinación del plano de la rueda respecto a la calzada. Si la rueda está inclinada por su parte superior hacia fuera, la caída es positiva, en el caso de que la inclinación de la parte superior sea hacia adentro, la caída es negativa. En neumáticos de competición, como es este caso, se desea que el apoyo de la banda de rodadura y la adherencia sea máxima y para ello el camber debe estar comprendido entre 2° y 3° negativos.



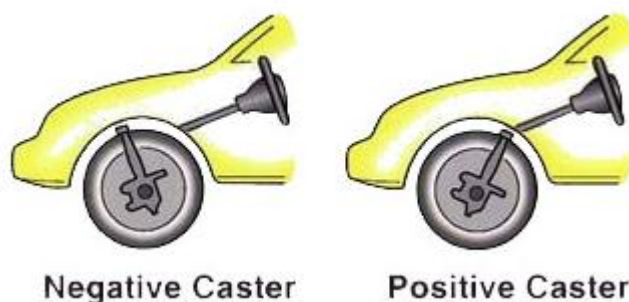
- **Toe in/out** (convergencia/divergencia)

Se produce convergencia cuando el plano de la rueda está inclinado hacia delante respecto del eje longitudinal del coche. Es decir, mirando desde el frente, las ruedas se cierran hacia adelante. De manera contraria se llamará divergencia, cuando desde la vista frontal del automóvil las ruedas se abran. Si el plano de la llanta es paralelo al eje longitudinal del coche se tiene convergencia cero.



- **Caster**

Es el ángulo que forma los anclajes superior e inferior de la suspensión con la vertical cuando miramos desde el lateral del vehículo. El propósito del ángulo de avance es proporcionar una cierta estabilidad direccional y una sensibilidad al piloto. El incremento del ángulo de avance hace que la dirección sea más pesada de girar y también que retorne con más fuerza. Un mayor avance introduce una tendencia hacia el cambio de caída negativa. Un avance muy reducido hace inestable y ligera la dirección.



*Figura 3. Gráfico sentido Caster*

El *caster* positivo al proyectar hacia adelante el eje geométrico de giro y establecer el punto de carga adelante del punto de contacto de la rueda sobre el pavimento imparte a las ruedas la tendencia a mantenerse orientadas con fuerza direccional del vehículo hacia enfrente.

### **1.3 Objetivo**

El objetivo final de este proyecto es el diseño de una máquina totalmente funcional para la realización de las medidas de orientación y alineación de cada una de las ruedas para un monoplaza de Formula Student.

Esta máquina deberá cumplir los requisitos y especificaciones necesarios para poder obtener las dimensiones correctas y poder sacar el mayor rendimiento posible al monoplaza diseñado por el equipo de Formula Student de nuestra universidad, UJI Motorsport.

Los objetivos que se quieren obtener para esta máquina es que sea un dispositivo de bajo coste que pueda ser amortizado por el equipo, una alta precisión en la medición para obtener la mejor alineación del vehículo, que sea de un peso o volumen reducido para poder transportar todo el sistema a las diferentes competiciones que tienen lugar a lo

largo de Europa y finalmente que la medición sea bastante ágil para realizar el setup del coche en el menor tiempo posible.

Estos objetivos, en los siguientes apartados del proyecto, se detallaran más exhaustivamente y se convertirán en los requisitos y especificaciones que tendrá que cumplir el proyecto para que sea viable técnicamente.



## 2. Antecedentes

En el mercado actual, se pueden encontrar máquinas o dispositivos para realizar estas medidas que se quieren obtener con el proyecto que se define en este documento, pero estas únicamente realizan una medición, no están adaptadas para su uso en vehículos de formula Student, o su precio es desorbitado para estos equipos.

Entre los distintos dispositivos que se pueden encontrar, hay equipos que únicamente pueden realizar una de estas medidas, o están más adaptados para vehículos de calle o están diseñados para utilizarse en vehículos de competición. Así pues, en este apartado se explicaran los dispositivos más representativos que se han encontrado en estudio realizado.

### 2.1. Alineador camber/caster digital

En primer lugar, se encuentra un medidor digital que se utiliza para medir tanto el camber como el caster de una rueda. Este dispositivo puede ir anclado al buje de la rueda o llanta, o como en la imagen adjunta sobre el perfil de la llanta. Una vez que se ha colocado en su lugar, se obtiene el valor de caída de la rueda y para poder obtener el ángulo de caster, es necesario girar la rueda  $15^\circ$  dejar el nivel a 0 y volver a la posición de inicio.



Este dispositivo tiene un precio aproximado de 260 € [5], además tiene una resolución de 0.1° y un rango de medidas de 90° a 0° y de 0° a -90°.

## 2.2. Medidor de convergencia/divergencia

El siguiente dispositivo se utiliza para realizar la medición de convergencia y/o divergencia de las dos ruedas de un mismo eje. Para ello, se utiliza un soporte que se coloca en el cada uno de los aros de la llanta de ambos lados del mismo eje, y con dos cintas métricas se mide la distancia entre la parte delantera y trasera de la rueda. La diferencia de dimensiones, mostrara la inclinación de la rueda respecto al eje vertical de esta de forma que definirá si las ruedas tienen divergencia, convergencia o son neutras.



La resolución es de 1 mm por la cinta métrica, y el conjunto tiene un precio estimado de 255 € [6].

### 2.3. Máquina de alineación laser.

Este dispositivo es el más completo y es el que se suele utilizar preferentemente en los talleres para realizar la alineación de vehículos de calle y también se puede utilizar en la alta competición como se puede observar en la siguiente imagen.



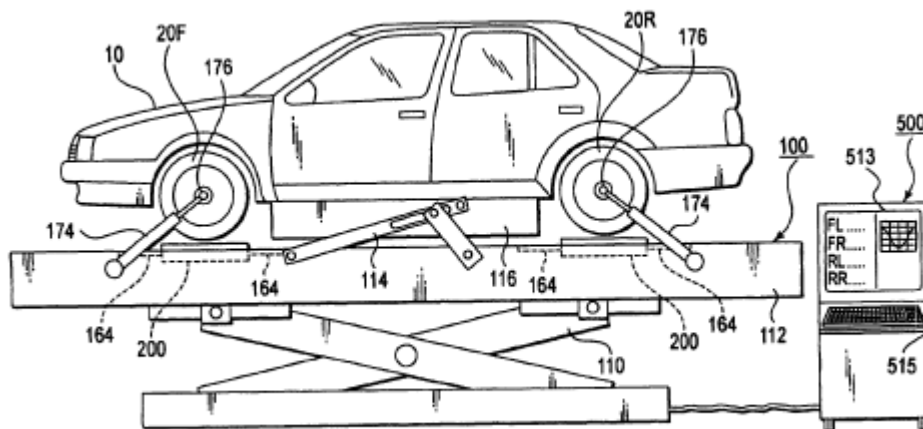
Esta máquina está formada por cuatro receptores que se colocan en cada una de las ruedas y mediante otro dispositivo que funciona como emisor laser. Este dispositivo receptor, recibe el haz reflejado en cada rueda y es capaz de medir los principales parámetros de las ruedas de un vehículo.

La resolución de estos dispositivos es menor a  $0.01^\circ$ , de este modo su precio, puede ir desde los 3.500 € a más de 9.000€ dependiendo de las distintas opciones que se pueden seleccionar. Además, estos dispositivos debido a su tamaño deben de ser anclados y no es posible su transporte.



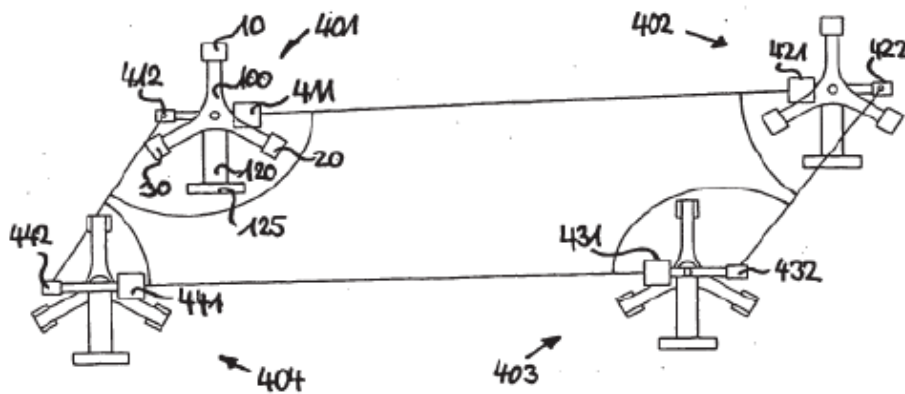
## 2.4. Patente medición alineación por fuerzas

En la presente patente que está registrada por parte del fabricante de neumáticos **Bridgestone**, se obtienen los parámetros de alineación de las ruedas del vehículo por el cálculo de las fuerzas que cada una de estas ejercen sobre el dispositivo. El cambio de estas fuerzas, frente a una rueda de referencia, genera un ángulo de convergencia o divergencia que son los datos que se obtienen de esta máquina.



## 2.5. Patente medición alineación en 3D sin contacto

En esta patente, para la obtención tanto los ángulos de caída, cómo los ángulos de convergencia, se utilizan unos dispositivos que giran sobre el eje de cada rueda, como se puede observar en la siguiente imagen.



Cada uno de estos dispositivos, está compuesto por varios haces láser que giran sobre la rueda sin tener contacto sobre ella y que dibujan la superficie de la rueda o llanta de forma que se puede obtener las inclinaciones de esta misma.

### 3. Diseño conceptual y preliminar

Mediante el estudio de mercado realizado anteriormente se ha obtenido una idea general de los requisitos, que resultan necesarios para establecer las especificaciones que se emplearan en los siguientes apartados, con el fin de seleccionar la solución óptima para la realización del proyecto que se está llevando a cabo.

#### 3.1. Requisitos de diseño

En este proyecto según el planteamiento inicial que se ha propuesto para el diseño de la máquina, se van a encontrar dos elementos principales. El primero de ellos será una base de soporte que se utilizará para dotar al conjunto de una parte plana y nivelada. Por otro lado, será necesario un dispositivo de medición que debe de ir anclado a la rueda o buje. Por este motivo, los requisitos y deseos se dividirán para cada uno de los elementos.

##### 3.1.1. Base de soporte

En primer lugar, se especificarán los requisitos y deseos necesarios para la selección de la solución de la base que servirá de soporte del sistema y que se utilizara como base plana de referencia para la obtención de las medidas angulares de alineación. Los requisitos son los siguientes:

- **Volumen**

El volumen de la pieza, está perfectamente ligado con el peso que tendrá la pieza una vez fabricada, por lo tanto, a menor volumen de diseño menor será el peso final de la pieza. De esta forma, el dispositivo será más fácilmente transportado.

- **Ajuste de nivelación**

La base se debe de utilizar como plano de referencia, por lo tanto, los ajustes de nivelación deben de ser lo más sencillos posibles, para la nivelación de la base respecto al suelo.

- **Nivelación entre bases**

El número de bases que se utilicen, determinará el tiempo que será necesario emplear para nivelar las bases respecto del resto de bases.

Como se puede percibir de los requisitos anteriores, la selección del diseño óptimo para la base de soporte está basada en requisitos optimizables de forma que el mejor diseño será el que cumpla mejor los requisitos descritos.

### **3.1.2. Dispositivo de medición**

En este caso, el dispositivo de medición debe de ser capaz de cumplir un mínimo de requisitos cuantificables, como son los que se muestran a continuación:

- **Rango de medidas: -5° hasta 5°**

Los ángulos con los que se trabaja en los parámetros de alineación de la rueda son recomendables por debajo de los 4° ya sean positivos o negativos, por lo tanto, un rango de medición de -5° hasta 5° será suficiente para el dispositivo de medición.

- **Resolución: 0.05°**

La resolución de un dispositivo de medida el valor mínimo de incremento o disminución que se puede medir con él. Por esto, una resolución de 0.05° es suficiente ya que representa un 0.5% dentro del rango de medidas del dispositivo.



- **Precisión:  $\pm 0.1^\circ$**

La precisión de un dispositivo de medida es la dispersión de los valores obtenidos en mediciones repetidas de la misma medida. Por esto, una precisión de  $0.1^\circ$  no generará cambios significativos en el comportamiento del vehículo.

Aparte de estos requisitos que deberá cumplir la máquina de alineación portátil, se determinan otros requisitos optimizables por los cuales se seleccionará el diseño óptimo de la máquina portátil de alineación de dirección. Estos requisitos son:

- **Volumen**

Por el volumen de la pieza o conjunto de piezas seleccionadas, que determinara el peso final del conjunto y por lo tanto la transportabilidad del dispositivo.

- **Pasos de calibración y medición**

El número mínimo de pasos necesarios para realizar la calibración del aparato y las medidas consecuentes.

- **Precio**

El precio del dispositivo, que sería recomendable que todo el conjunto estuviera por debajo del precio de una de las máquinas más completas, como se ha visto en el estudio de mercado. El precio máximo que se podría entender sería de unos 750-800 €. Aunque como se ha visto en el estudio de mercado anterior, se podrían conseguir dos dispositivos distintos para realizar las medidas por menos de este precio, pero estas no tendrían la misma resolución y cada una de ellas no podría hacer todas las funciones requeridas por sí mismas.

## **3.2. Análisis de soluciones**

Tras determinar los distintos requisitos, se procede en este punto a realizar un análisis de las distintas soluciones que se han podido obtener para la realización de los dos componentes principales, que formarán el conjunto de la máquina portátil de medición de alineación de dirección que se está diseñando en el presente documento.

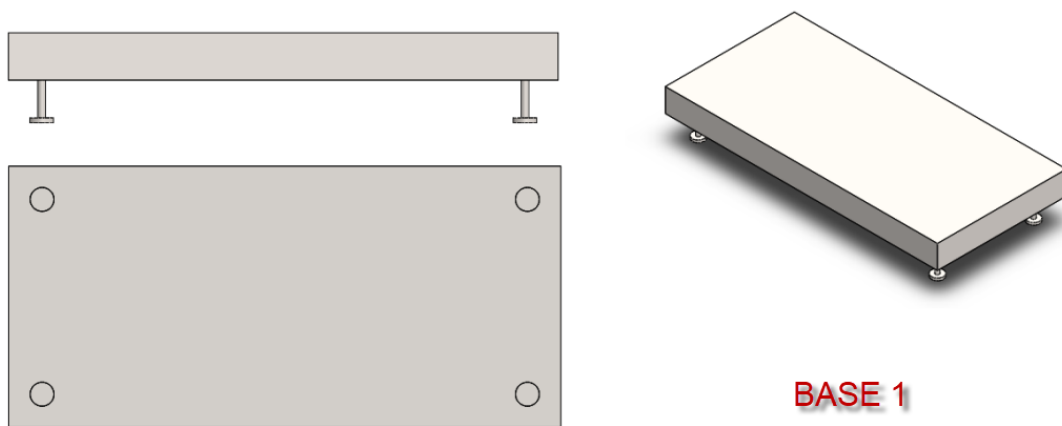
### **3.2.1. Diseño soporte de base**

En primer lugar, se mostrarán los tres distintos diseños que se han realizado para la base que servirá de soporte del conjunto y que además se empleará como base de

referencia para realizar todas las mediciones. Los diferentes diseños son mostrados y explicados detalladamente a continuación.

- **Base 1**

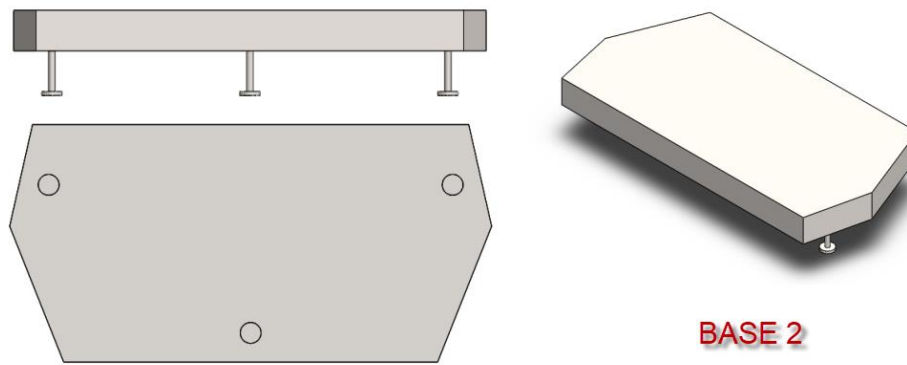
En el primer diseño se encuentra una base con cuatro puntos de apoyo en el suelo, que se colocará en cada una de las ruedas del vehículo. Esta base presenta una gran estabilidad con lo que se podría reducir el volumen del conjunto, y por el contrario genera una mayor dificultad para nivelar el sistema ya que se necesitan colocar los cuatro puntos de apoyo en el mismo plano respecto al suelo.



El volumen que ocupa esta pieza es de  $7992.8 \text{ cm}^3$ , que sumando el de las cuatro bases necesarias dan un total de  $31971.2 \text{ cm}^3$ .

- **Base 2**

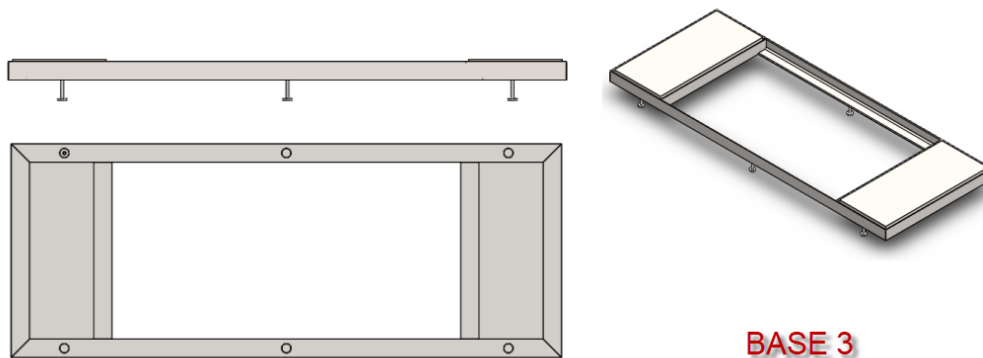
El siguiente diseño, es similar al anterior, pero en lugar de cuatro puntos de apoyo solamente presenta tres puntos de apoyo, por lo tanto, muestra un volumen parecido mientras que el procedimiento de nivelación es más sencillo, debido a que tres puntos no alineados siempre generan un plano. Por el contrario, presenta una menor estabilidad sin que esta se vea comprometida en ningún momento.



El volumen de esta pieza, es de  $7582.3 \text{ cm}^3$ , que sumando el de las cuatro bases necesarias dan un total de  $30329.2 \text{ cm}^3$ .

- **Base 3**

Por último, el diseño de la base 3, se ha realizado para colocar una base en cada eje y reducir el número de alineaciones que se realiza entre bases. Por este motivo, se ha visto aumentado el volumen de la pieza que es de  $16431.3 \text{ cm}^3$ , por eje, lo que alcanza un volumen total de  $32862.6 \text{ cm}^3$ .



### 3.2.2. Diseño dispositivo de medición.

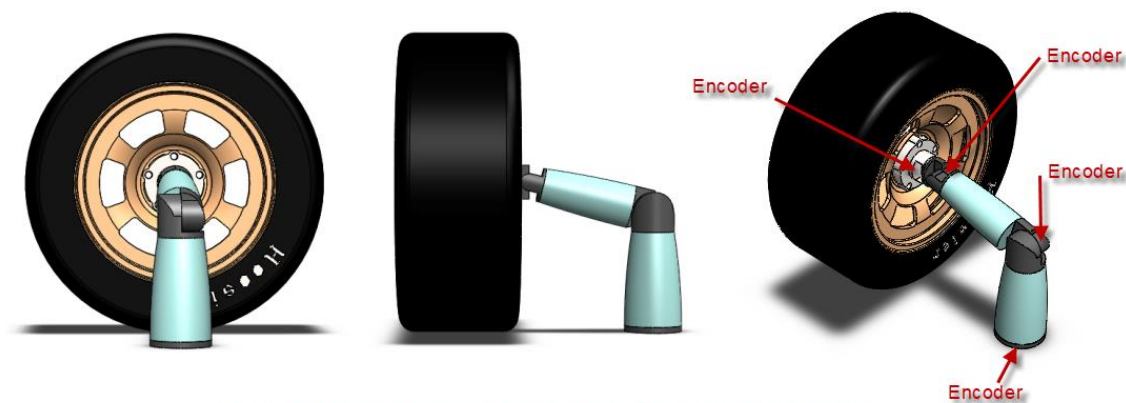
Los diseños que se han obtenido para el dispositivo que se utilizará para realizar las medidas de los parámetros de la rueda y su alineación se hallarán detallados a continuación. Para realizar todas las mediciones y reducir el precio total del conjunto, se empleará *Arduino*, así como los diferentes sensores necesarios para la obtención de las distintas medidas a realizar.

- **Dispositivo de medición brazo articulado**

El primer diseño del dispositivo de medición es de tipo brazo articulado, de la misma forma que se utiliza para la realización de medición por coordenadas. En la siguiente imagen, se puede observar este tipo de estructura.



Para la obtención de las medidas tanto de camber, como de caster y convergencia, será necesaria la utilización de encoders absolutos en las articulaciones del brazo. En total, en este dispositivo serán necesarios cuatro encoders, que estarán situados como se puede observar en la imagen adjunta del diseño del brazo articulado.



**Dispositivo de medición con brazo articulado**

Uno para el giro del dispositivo respecto a la base de soporte, otro para la primera articulación con el brazo vertical, otro para la siguiente articulación con la pieza de anclaje al centro de la rueda y por último uno en la pieza de anclaje para medir en la dirección perpendicular al brazo de medición.

El volumen del dispositivo es de 1136.3 cm<sup>3</sup> en total, ya que únicamente se instalaría un brazo de medición y se rotaría entre las cuatro ruedas del vehículo.

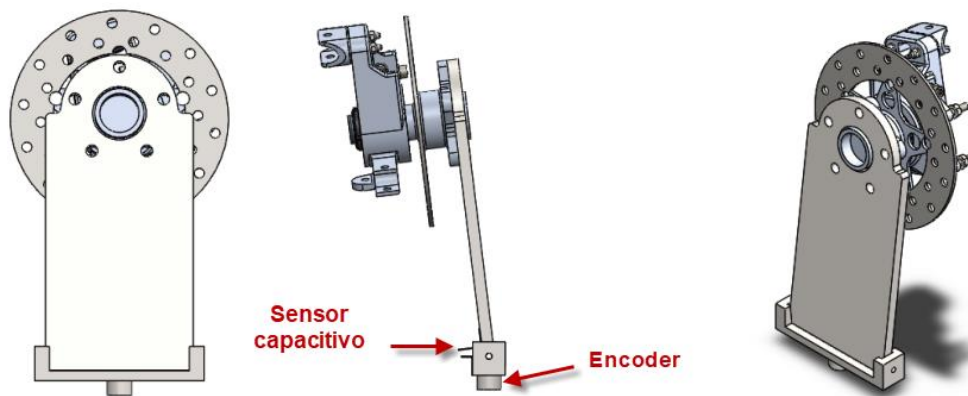
Los pasos a seguir para la calibración y medición de los parámetros son los siguientes:

1. Colocar el brazo en vertical con el fin de obtener un punto de referencia inicial en el conjunto.
2. Anclar el soporte a la llanta o buje
3. Bloquear el conjunto
4. Obtener los parámetros de alineación y repetir para cada una de las ruedas.

La estimación de precio para el conjunto de sensores en este conjunto, es de unos 1250 €.

- **Dispositivo de medición vertical**

Esta alternativa de diseño está formada por una pieza de soporte vertical a la que se puede anclar el centro del buje directamente, o con una pieza extra se puede anclar la llanta. Este soporte para permitir la realización de las mediciones pivota en dos sentidos, con un eje paralelo al plano inferior de la rueda para obtener el camber y con un eje perpendicular al eje de la rueda para obtener el caster y toe.



**Dispositivo de medición vertical**

Para ello se necesitará un sensor capacitivo para medir la distancia de la pieza de soporte con la base, que se empleará para obtener la inclinación de la rueda y por tanto el

camber. Además, también será necesario un encoder absoluto, para obtener el giro de la pieza de soporte y calcular el resto de parámetros.

El volumen del dispositivo es de  $578.3 \text{ cm}^3$ , que contando con los dispositivos necesarios para las cuatro ruedas, el volumen total es de  $2313.2 \text{ cm}^3$ .

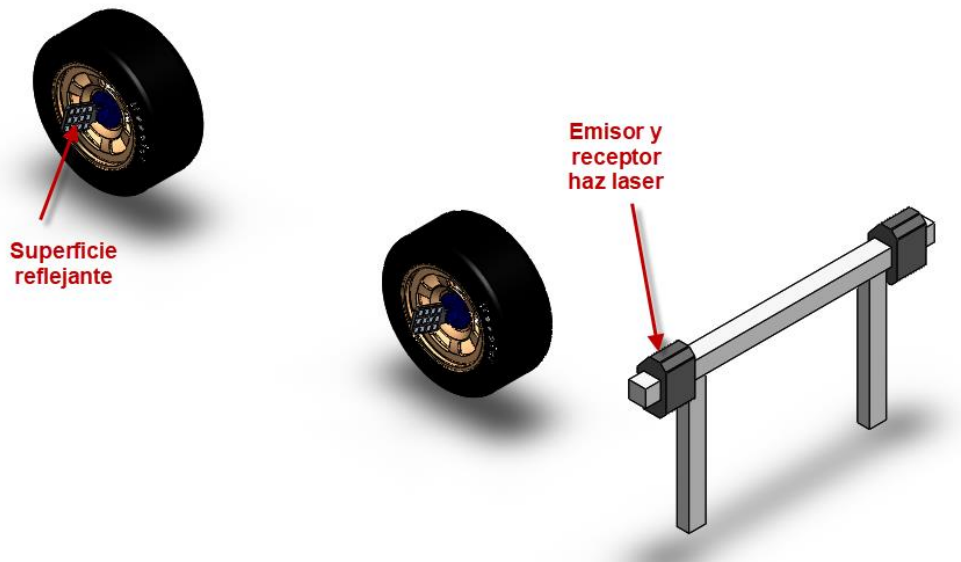
Los pasos a seguir para la calibración y medición de los parámetros son los siguientes:

- Anclar el soporte a la llanta o buje
- Obtener los parámetros de alineación

La estimación de precio para el conjunto de sensores, es de unos 300 €.

- **Dispositivo de medición laser**

Por último, tenemos el dispositivo de medición laser, que está formado por varias piezas que se anclan únicamente en el centro de la llanta y mediante una superficie reflejante realiza las mediciones conjuntamente con un aparato colocado en la parte frontal del vehículo. Este aparato genera unos haces laser que son reflejados en las piezas adheridas a las ruedas y son leídas de nuevo en el mismo aparato, obteniendo de esta forma la orientación exacta de cada una de las ruedas.



Para realizar este diseño sería necesario un aparato láser con una longitud de onda estable, que se utiliza un emisor y receptor por cada una de las ruedas del vehículo, aumentando de esta forma el precio total del conjunto.

El volumen del dispositivo que va anclado a la rueda es de  $280.3 \text{ cm}^3$ , y considerando las cuatro unidades, suma un volumen de  $1121.2 \text{ cm}^3$ . Además, la estructura donde se ubicarían los sensores laser, tiene un volumen de  $13465.2 \text{ cm}^3$ . Por lo tanto, el volumen total del dispositivo de medición es de  $14586.4 \text{ cm}^3$ .

Los pasos a seguir para la calibración y medición de los parámetros son los siguientes:

- Anclar el soporte a cada una de las llantas.
- Alinear el dispositivo de emisión/recepción laser con la horizontal de las bases de soporte por medio de los propios haz laser.
- Orientar los reflectores de cada una de las ruedas
- Realizar las mediciones por medio de los haces laser.
- Obtener los parámetros de alineación

La estimación de precio para este conjunto, es de unos 3000 €, debido al elevado precio de los sensores de emisión y recepción del haz laser.

### **3.3. Selección base de soporte**

Por medio del método de las jerarquías analíticas, se ha obtenido que el diseño a seleccionar es la base 2, es decir la base con tres puntos de apoyo. Este resultado viene proporcionado principalmente por la facilidad para la nivelación del sistema y en menor medida, por el menor volumen que tiene este sistema de soporte.

Se ha seleccionado este diseño ya que los resultados obtenidos por el método de jerarquías analíticas es de un 97.8%, de la opción de la base de soporte con tres puntos de apoyo. El procedimiento para la obtención de estos resultados se puede observar en el [Anexo 1. Base de soporte](#).

### **3.4. Selección del dispositivo de medición**

Al igual que en el punto anterior se hace servir el método de las jerarquías analíticas para obtener el modelo óptimo del dispositivo de medición diseñado.

En primer lugar, dos dispositivos cumplen con los requisitos mínimos de funcionamiento por lo que estos no se han tenido en cuenta para la realización de la selección y solo se han empleado para eliminar el primero de los diseños, el de brazo articulado. Este diseño se ha descartado debido a que la precisión es superior al 0.5% requerido.

De este modo, del restante número de diseños, se ha seleccionado el dispositivo de medición vertical. Se ha llegado a esta conclusión por varios motivos:

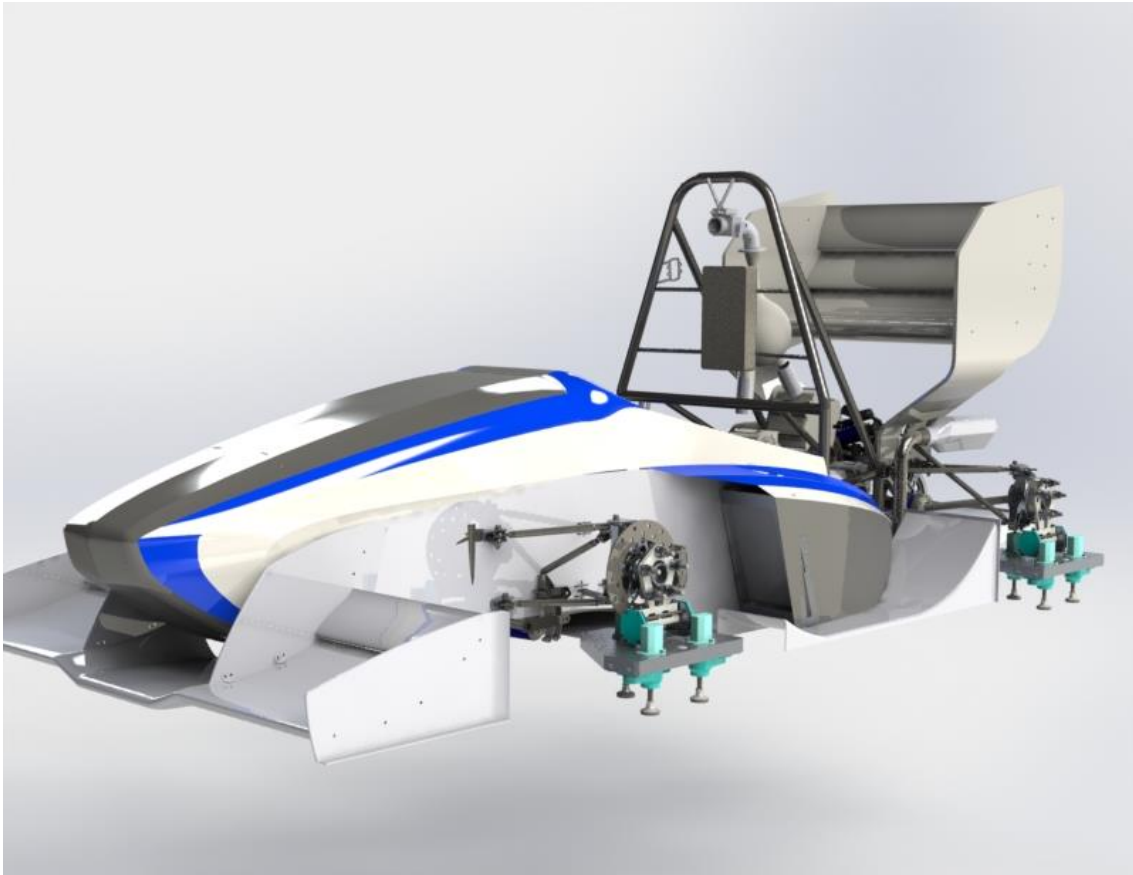
- Menor volumen y por lo tanto una mayor facilidad para el transporte.
- Menos pasos requeridos para la realización de las medidas.
- Precio menor debido al menor número y coste de los sensores necesarios.

El procedimiento para la obtención de estos resultados se puede observar en el [Anexo 1. Dispositivo de medición.](#)



## 4. Diseño de detalle

En este punto se explicará el diseño final detallado de todas las partes que componen la máquina de medición de alineación. Así también se llevará a cabo la descripción del uso de la máquina para realizar correctamente las funciones para las cuales se ha diseñado la máquina.

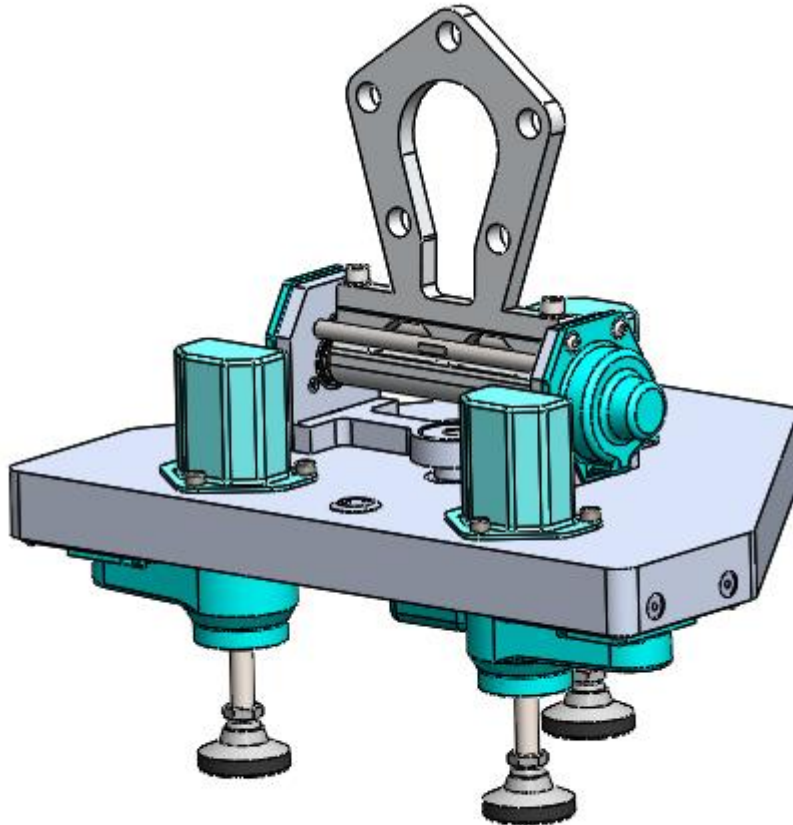


En esta primera imagen del diseño final de la máquina se pueden ver dos de las cuatro bases necesarias montadas en el UFS-03, para poder obtener las mediciones de alineación de cada una de las ruedas. Con el fin de realizar el ajuste de los ángulos de inclinación óptimos de la rueda, en primer lugar, hay que quitar la llanta con el neumático para poder acceder fácilmente a los trapecios de la suspensión que es desde donde se regulan los ángulos principales de alineación.

La máquina se ancla al coche por medio de los agujeros mecanizados en la placa de medición. Este paso hay que realizarlo en las cuatro ruedas del vehículo secuencialmente. Los pasos a seguir para realizar las mediciones, se explicarán en el apartado correspondiente al uso de la máquina [\[4.5.1\]](#).

A continuación, se detallarán pormenorizadamente todos los componentes que forman la máquina y como se unen entre ellos.

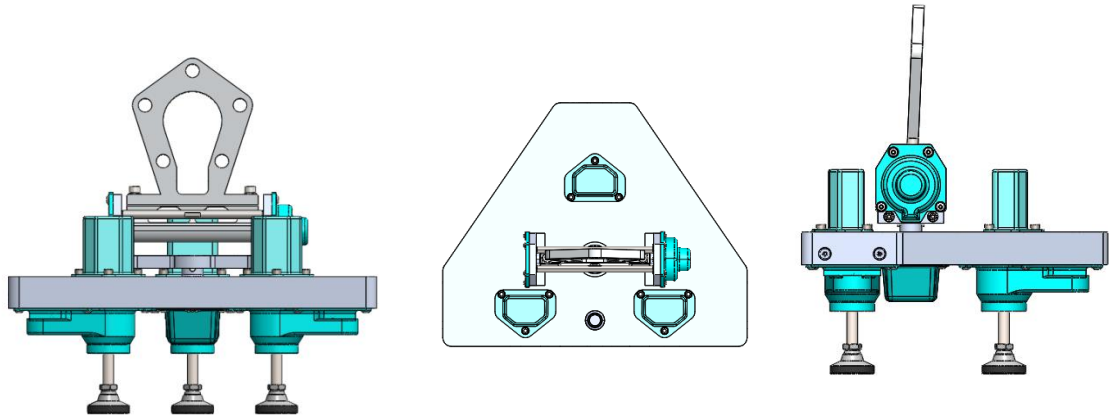
#### 4.1. Presentación del producto



Aquí se puede observar el diseño completo de uno de los conjuntos de la máquina de medición obtenido tras el estudio realizado en el presente proyecto. Para poder realizar la medición en el vehículo se utilizarán cuatro conjuntos iguales a este que serán colocados en cada rueda respectivamente, cómo ya se ha comentado anteriormente.

El conjunto tiene las siguientes dimensiones:

- Ancho: 350 mm
- Fondo: 285 mm
- Altura: 340 mm



El peso de cada conjunto es de 5,5 kilogramos, por lo que es fácilmente transportable para realizar la medición en cualquier lugar donde se esté compitiendo con el vehículo, además de no necesitar elementos externos para el transporte como podría ser en una máquina de medición laser.

Los rangos de medición en cada uno de los requisitos son los siguientes:

- Camber

Se pueden realizar mediciones desde 2,5 grados negativos hasta 2,5 grados positivos como se puede ver en las dos imágenes adjuntas.

- Toe

El rango de movimiento máximo es de 5 grados positivos a 5 grados negativos conforme se observa en la imagen siguiente.

Además, mediante las tres patas que tiene el conjunto se puede nivelar hasta con una inclinación en el suelo de 5° y ajustar la altura correcta del centro de rueda.

Respecto a la obtención de las mediciones realizadas se transmitirán por medio de una conexión bluetooth ya sea hacia un ordenador o con otros dispositivos electrónicos como Smartphones o tablets. Además, si esta conexión tuviera problemas se dispondrá de conexión por usb. Estas características se explicaran en el apartado correspondiente

[\[4.4.1\]](#)

A continuación se detallara el diseño final de cada subconjunto y los componentes que forman a cada uno de estos.

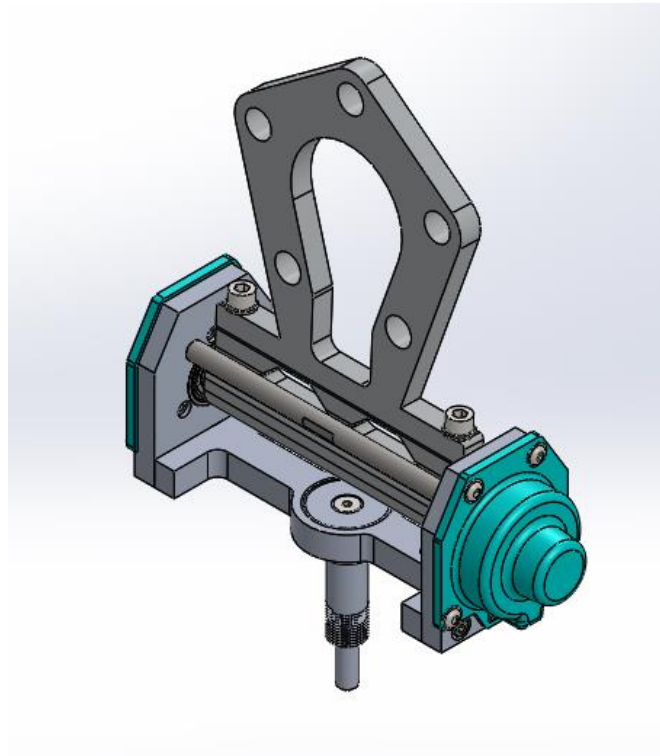
## **4.2. Diseño en detalle**

La máquina está dividida en varios subconjuntos dentro de esta, que a su vez tiene dentro las partes que los forman. De esta forma, se explicará el conjunto completo para de esta forma pasar de una descripción general al más mínimo detalle de las piezas.

En primer lugar, cada uno de los cuatro conjuntos está formado por dos grandes subconjuntos a su vez, que se ubican sobre una base de referencia que es la parte principal de la máquina ya que se utiliza como apoyo para todas las piezas. Podemos encontrar el subconjunto de obtención de las medidas de alineación y el subconjunto de elevación y nivelación de la base. Cada uno de estos subconjuntos se detallará en los siguientes puntos.

### **4.2.1. Subconjunto de medición.**

En este subconjunto se pueden encontrar los elementos que sirven para realizar las mediciones de las inclinaciones de la rueda que se quieren obtener. Para ello se emplean dos ejes de giro, uno vertical y otro horizontal.



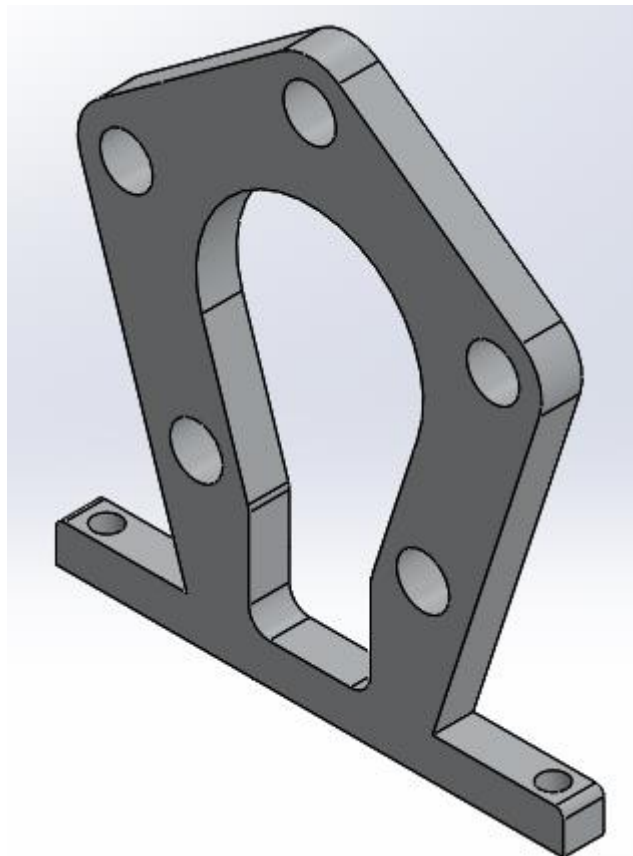
El orden en el cual se explicará cada una de las piezas es el sentido del reparto de fuerzas o movimientos, es decir, desde la unión de la máquina con la rueda hasta el soporte

del subconjunto de medición con la base de referencia. O explicado de otra forma, visto desde la imagen anterior desde la parte superior de la imagen hacia la parte inferior.

#### **4.2.1.1. Pletina de sujeción**

En primer lugar, se encuentra la pletina de sujeción, este elemento es la única pieza que tiene contacto con el vehículo. Por ello, la pletina se ha diseñado específicamente para la distribución de tornillos que dispone el UFS03, que son cinco tornillos en disposición de estrella ya que la llanta que se utiliza tiene esta disposición.

Si en un futuro se cambiaran las llantas y tuvieran otro sistema diferente de sujeción al buje, la pletina se tendría que realizar un nuevo diseño para adaptarlo, ya fueran con un menor número de tornillos, con tornillos de más diámetro e incluso a un sistema mono tuerca.

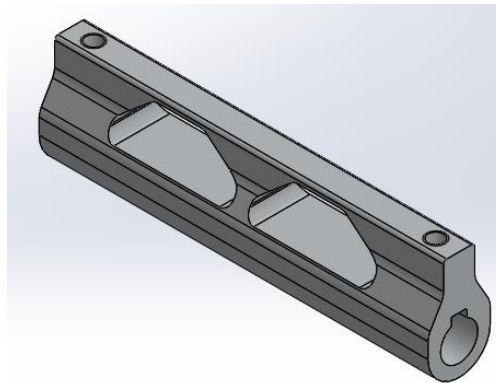


La pieza ha sido diseñada para soportar un peso máximo de 105 kg, como se explica en el anexo [1], de forma que se ha realizado un estudio topográfico de elementos finitos con el fin de obtener los mínimos desplazamientos con el menor peso posible [\[4.3.1\]](#). De esta forma, el peso de esta pieza es de 190 gramos.

Como se puede observar en la pieza se encuentran los agujeros correspondientes al tamaño de los tornillos que lo unen al buje de la mangueta, y con el reparto de cinco tornillos que se ha explicado anteriormente. Además, esta pieza va apoyada sobre la pieza que se explicará a continuación y unida mediante dos tornillos en los extremos de esta.

#### **4.2.1.2. Buje eje horizontal**

Con el fin de transmitir el movimiento de la pletina de sujeción con el eje de medición se utiliza un buje de apoyo que es la pieza que se va a explicar en este punto.

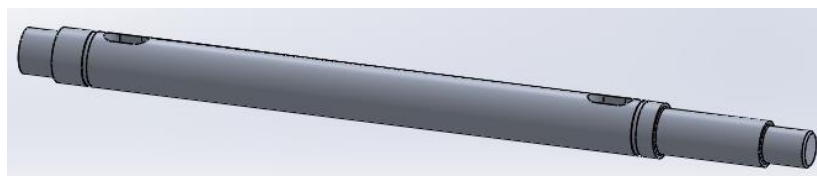


El buje está diseñado de forma que se une con la pieza anterior mediante dos taladros roscados y asentado en la cara superior del buje. El buje tiene un peso de 102 gramos y es de aluminio mecanizado.

El movimiento se transmitirá al eje por medio de dos chavetas que se ubican en cada extremo del eje buje.

#### **4.2.1.3. Eje horizontal**

En este punto llegamos al primer elemento principal de la máquina, el eje de medición horizontal que se va a utilizar para medir el camber de cada una de las ruedas y transmitir este movimiento al encoder de medición.

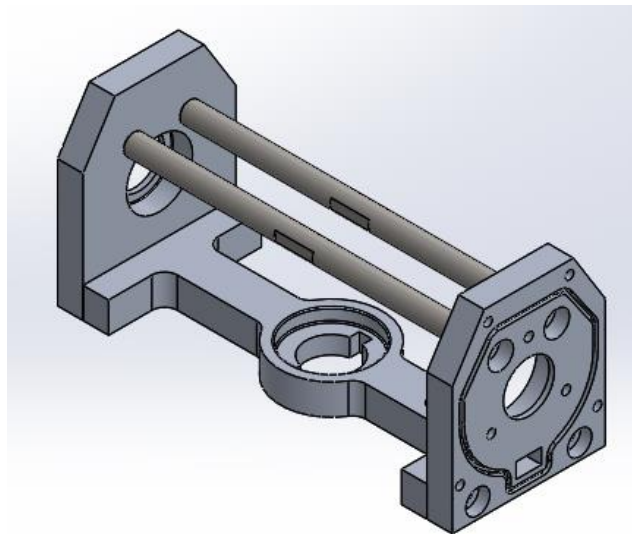


El eje tiene un peso inferior a los 50 gramos. Como se puede observar se encuentran los alojamientos de las chavetas que transmiten el movimiento del buje al eje, como se ha comentado anteriormente. Además el eje esta soportado con dos rodamientos de bolas en sus extremos que transmitirán el peso soportado por el eje al resto del

conjunto. Por último, el rebaje que se observa en el extremo derecho del eje, se introduce en el encoder magnético para de esta forma obtener el movimiento angular del eje y, por tanto, la medida del camber de la rueda.

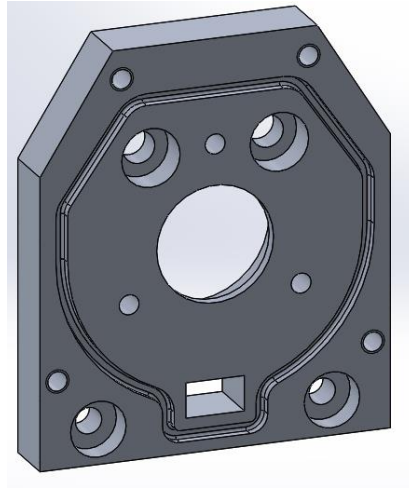
#### 4.2.1.4. Soportes laterales

En este punto se va a detallar el diseño de ambos soportes laterales que son los encargados de sostener los rodamientos de bolas que a su vez sujetan el eje horizontal. Además, también se usan para sujetar los topes de inclinación, el encoder y las tapas de protección.



En la imagen se pueden observar distintas piezas. En primer lugar, los soportes laterales, que son simétricos, pero con una pequeña diferencia. Esta diferencia es que uno está preparado para poder montar el encoder magnético y poder pasar el cableado a través, mientras que en el otro soporte esto no es necesario.

Asimismo, se puede observar los dos ejes que hacen de tope mecánico con el fin de limitar el movimiento rotacional de la pletina de sujeción, y la placa horizontal que transmitirá el movimiento de ambos soportes laterales al eje vertical aunque estos elementos se explicaran más adelante en su apartado correspondiente.



A partir de aquí se va a detallar el diseño del soporte lateral en más profundidad. En primer lugar, el soporte se utiliza para sustentar los rodamientos de bolas y por ello se mecaniza el alojamiento para este. Seguidamente se pueden encontrar un gran número de taladros para sujetar todos los elementos que se han nombrado anteriormente.

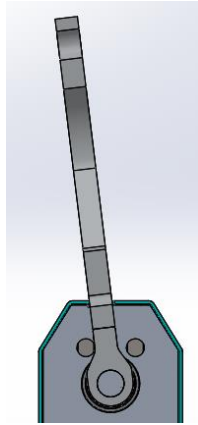
Los dos taladros inferiores son los que se usan para unir los soportes laterales con la placa horizontal, además de dos taladros centrales que son para los topes de la placa de sujeción. A su vez se encuentran cuatro agujeros roscados sobre los cuales se montarán las defensas de protección y con el fin de resguardar todo el sistema se realiza una hendidura en la cual se colocara una junta tórica de protección. Estas características se encontrarán en las dos configuraciones de la pieza.

Para poder montar el encoder, se disponen de tres taladros en forma de triángulo y una abertura inferior para el paso de cables desde el encoder hasta la base donde se encuentra la electrónica de la máquina.

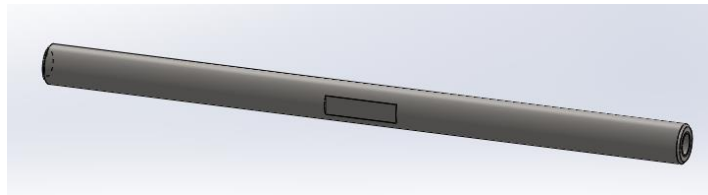
#### **4.2.1.5. Topes de la pletina de sujeción**

En este punto se va a detallar los topes que se van a utilizar para definir el movimiento angular máximo que puede tener la placa de sujeción y por tanto, la máxima medida de camber que es posible medir con la máquina. Como se puede ver en la imagen siguiente, la pletina de sujeción que estaría anclada a la rueda del coche, contactaría con el eje de tope y no podría seguir el giro.





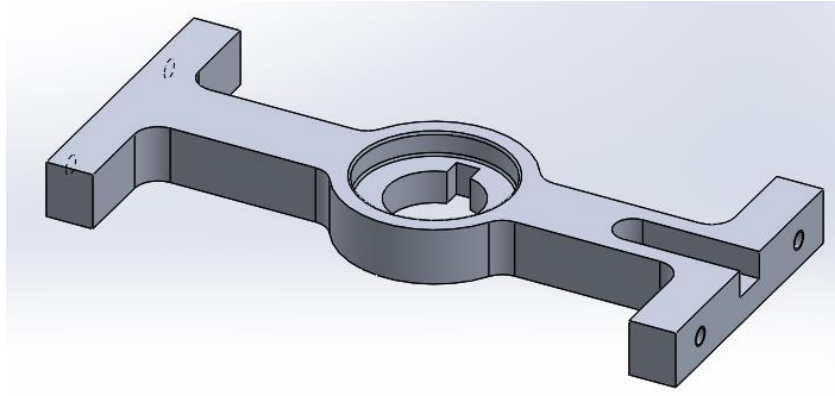
Estos componentes se utilizan para restringir el movimiento de la pletina de sujeción y no tener posibles impactos que podrían malograr la pletina de sujeción y obtener medidas que no serían correctas.



El eje de tope es tal como se ve en la imagen superior. Se trata de un eje de ocho milímetros de diámetro que va montado entre los soportes laterales, y para ello se han mecanizados dos taladros roscados de M5 en cada extremo del eje. Con el fin de poder montar y apretar el eje, se realiza un rebaje en el centro del eje, para conseguir sujetar el eje y apretar el tornillo desde el soporte lateral al eje.

#### **4.2.1.6. Placa horizontal**

La siguiente pieza que se va a explicar es la placa horizontal que tiene dos funciones principales. La primera es unir las placas laterales entre ellas y por tanto soportar el peso del conjunto de medición. La siguiente función es ofrecer un alojamiento para transmitir el movimiento de rotación respecto al eje vertical de la placa de sujeción al eje de medición vertical que se explicara en el siguiente punto.

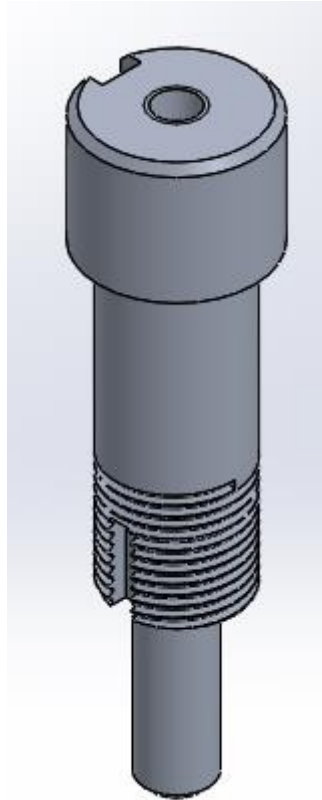


La pieza tiene un peso 100 gramos. Esta pieza se ha diseñado en forma de I con el objetivo de reducir el peso de esta. En los extremos se encuentran dos agujeros roscados en cada extremo donde se sujetarán los soportes laterales y además en uno de los lados se puede encontrar una ranura, que servirá para poder pasar los cables del encoder hasta la base de referencia.

En la parte central de la pieza se ha diseñado el alojamiento para el eje vertical hacia el cual se va a trasladar el movimiento rotacional por medio de una chaveta. Además, en la parte superior de este alojamiento se ha dejado un espacio para poner una arandela en la parte superior del eje y asegurar la posición de esta con la pletina horizontal.

#### 4.2.1.7. Eje vertical

Por último, en el subconjunto de medición se encuentra el eje de medición vertical que se utilizara para la obtención de la medida del toe de la rueda del formula.



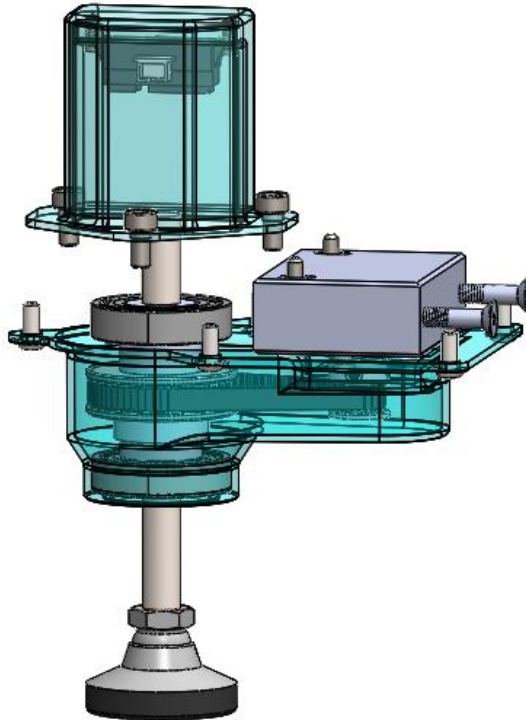
El peso del eje es de 32 gramos. En la parte superior del eje se encuentra el chavetero para la transmisión del movimiento rotacional y el agujero roscado mediante el cual se montará la arandela de sujeción con la placa horizontal.

Seguidamente se ha realizado un rebaje en el que apoyara un rodamiento axial que soportará todo el peso del conjunto de medición y además también alojará un rodamiento de bolas que permitirá girar libremente el subconjunto de medición sobre la base de referencia.

Para fijar el eje sólidamente a la base, se ha roscado la parte inferior del eje para alojar una tuerca KM y la correspondiente arandela para la que es necesaria una ranura en el roscado del eje. Por último, se ha rebajado el eje para poder introducirlo en el interior de encoder magnético que se utiliza para obtener la medición de la divergencia o convergencia de cada una de las ruedas.

#### 4.2.2. Subconjunto de elevación

Para nivelar y ajustar la altura de la base de referencia se utilizan tres puntos de apoyo. Cada punto de apoyo, estará compuesto por un husillo de 10mm de diámetro según los cálculos del anexo [3], a lo largo del cual se va a mover una tuerca que es accionada por un motor paso a paso [anexo 4] que se utilizarán para regular la altura y nivelar la base de referencia.



En la imagen anterior se puede observar el subconjunto que forman todos los componentes de uno de los apoyos de regulación y nivelación que seguidamente se explicarán detalladamente cada uno de ellos.

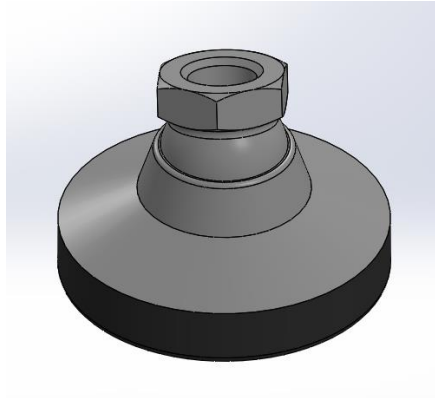
##### 4.2.2.1. Husillo de elevación

El elemento principal de este subconjunto es el husillo de elevación. Esta pieza es la encargada de convertir el movimiento rotacional del motor paso a paso en un movimiento traslacional.

El husillo es una barra roscada a derechas de métrica 10 mm con un paso de 2 mm. El tamaño del husillo está seleccionado según los cálculos obtenidos para soportar el peso de cada extremo del vehículo y estos se encuentran en el anexo [3].

#### 4.2.2.2. Pie de apoyo

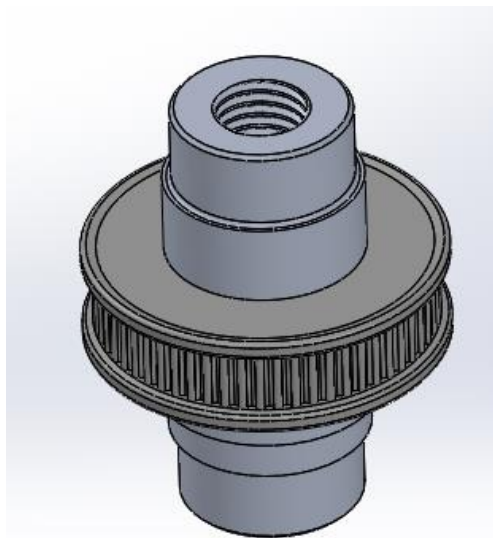
En la parte inferior del husillo se encuentra montado el pie de apoyo, que es el único contacto de la máquina con el suelo de donde se vaya a utilizar.



El pie de apoyo, o pie de nivelación que es cómo se le conoce comercialmente, se utiliza para la nivelación de máquinas o chasis y puede salvar hasta desniveles de 15 grados. Se trata de una esfera con juego libre, que permite este movimiento. Así también, lleva una tuerca soldado con lo que se puede introducir el husillo y fijarlo al pie de nivelación.

#### 4.2.2.3. Tuerca de elevación

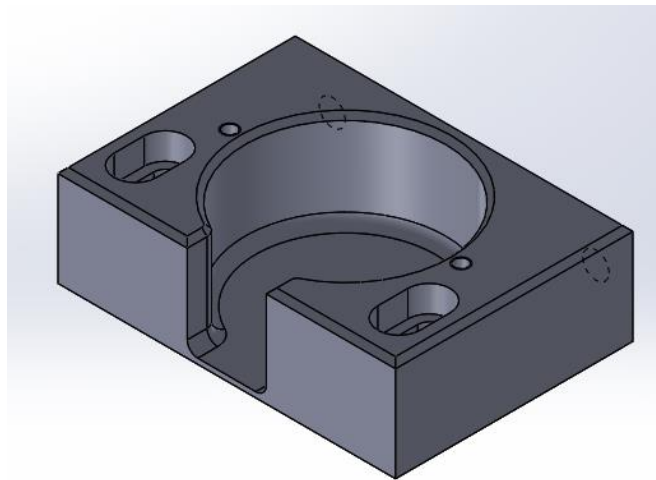
Esta pieza es donde se transmite el movimiento de rotación del motor paso a paso al husillo. La tuerca esta fija entre dos rodamientos de bolas que se ubican en los rebajes encontrados en la parte superior e inferior del componente.



En la parte central, como se puede observar en la imagen, se ha soldado a la tuerca mecanizada un piñón de sesenta dientes que se utiliza para trasladar el giro del motor paso a paso a la tuerca, para moverse de forma solidaria.

#### 4.2.2.4. Soporte motor paso a paso

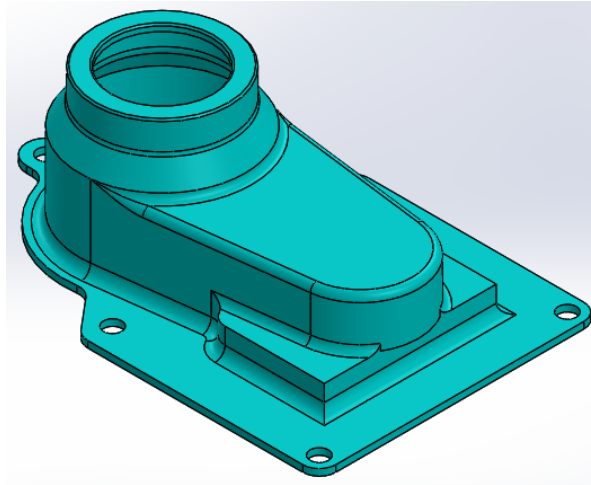
El siguiente componente a explicar, es el que aparece en la siguiente imagen, el soporte del motor paso a paso.



El soporte tiene un mecanizado para integrar el motor paso a paso seleccionado [anexo 4] en su posición. Además de esto, también se utiliza esta pieza para realizar el tensado de la correa de transmisión. Para ello se ancla el soporte a la base de referencia con sendos tornillos en cada una de las ranuras visibles, que será el recorrido disponible para realizar el tensado. Por último, en la parte trasera se encuentran dos taladros roscados que son los elementos que generan la fuerza para realizar el tensado, ya que se apoyan en el lateral de la base y hacen un tensado por tracción.

#### 4.2.2.5. Protector inferior conjunto elevación

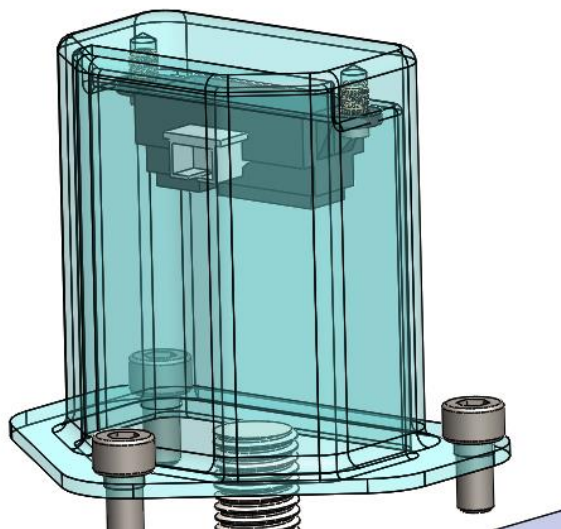
Para proteger la cara inferior de todo el subconjunto, que será la más próxima al suelo, se coloca una pieza protectora que es tal cómo se puede ver en la imagen inferior.



Este protector además de servir como defensa y seguridad de la transmisión del subconjunto de elevación, también se utiliza como alojamiento del rodamiento de bolas inferior de la tuerca de elevación que ya se ha comentado anteriormente. El proceso de fabricación del protector será el de impresión 3d.

#### 4.2.2.6. Protector superior husillo.

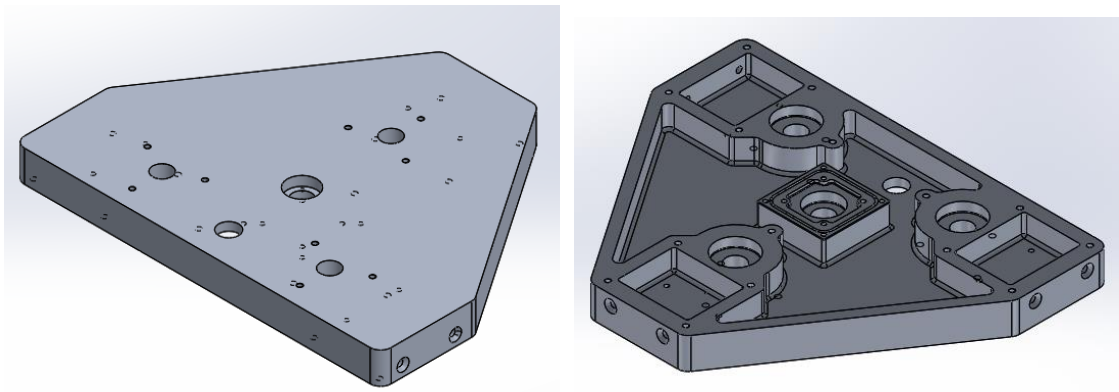
Al igual que la pieza anterior, este elemento se utilizará para proteger el husillo de cualquier tipo de elemento externo y como componente de seguridad aunque en este caso se encontrar en la parte superior de la base de referencia.



Como se puede ver en la imagen, además también sirve como alojamiento del sensor de distancia. Para anclar este al protector, ya que esta pieza está realizada por impresión 3d también, se han utilizado dos insertos que son calentados al colocarlos y de esta forma se funden con el resto de la pieza.

#### 4.2.3. Base de referencia

Por último, se va a explicar detalladamente el elemento principal sobre el que van montados todos los elementos anteriormente explicados y sobretodo que se trata de la referencia para obtener todas las medidas de alineación de la rueda.



En estas dos imágenes se puede ver la cara superior y la cara inferior de la base de referencia. En primer lugar, se explicarán los taladros de la cara superior y para qué sirve cada uno de ellos.

En agujero que se encuentra en el centro de la base, es el alojamiento del rodamiento axial sobre el que descansará todo el peso del conjunto de medición. Alrededor de este en una disposición en triángulo se encuentran los agujeros pasantes por los cuales pasará cada uno de los husillos para nivelar todo el sistema. En la inmediación de cada uno de los agujeros pasantes, se encuentran tres taladros roscados para anclar los protectores superiores del husillo.

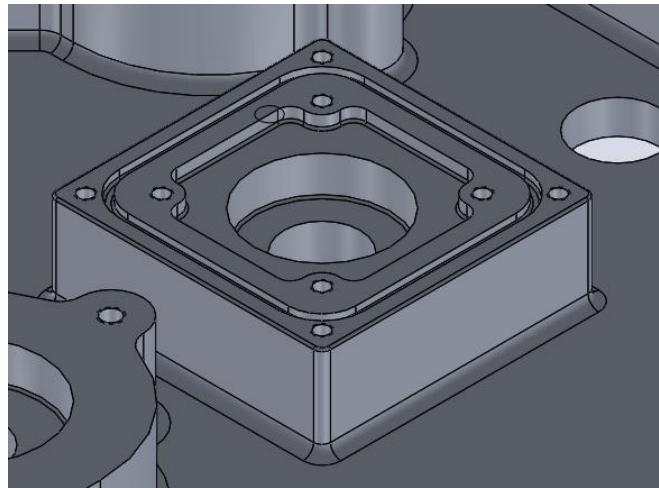
Por último, centrado en el lado más largo del elemento, se ha realizado otro agujero pasante que será donde esté ubicado el botón de encendido de la máquina.

Seguidamente en el lateral, en cada una de las esquinas de la base, se encuentran dos taladros que se utilizan para los tornillos tensores del soporte del motor paso a paso que se ubicará en los rebajes cuadrados que se ven en la cara inferior de la base. En las



cercanías de estos rebajes se encuentra el alojamiento del rodamiento de bolas superior del subconjunto de elevación y los taladros correspondientes al protector inferior del subconjunto de elevación.

Para terminar, en el centro de la base, justo en la cara contraria del agujero que primero se ha descrito, se encuentra la zona donde se montará el segundo encoder que medirá el ángulo de divergencia o convergencia de la rueda. Como se puede observar en la imagen siguiente, se ha realizado un mecanizado para la colocación de una junta tórica. Además de esto se encuentran dos conjuntos de cuatro taladros roscados que son para el encoder del eje vertical y el protector inferior del encoder, los cuatro interiores y los cuatro exteriores respectivamente.



Además, en el centro se encuentra el alojamiento del rodamiento de bolas del subconjunto de medición que ya se explicó anteriormente.

### 4.3. Análisis de elementos finitos

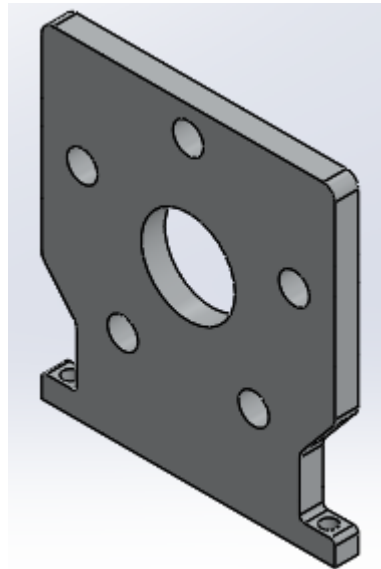
Después de realizar toda la explicación detallado del diseño que tienen todas las piezas del conjunto, es necesario llevar a cabo una validación del diseño desde un punto de vista estructural.

Para esta finalidad, lo más habitual es realizar un estudio de elementos finitos. De esta forma se comprobará la resistencia de cada pieza a los esfuerzos que estará sometida durante el desempeño de su función.

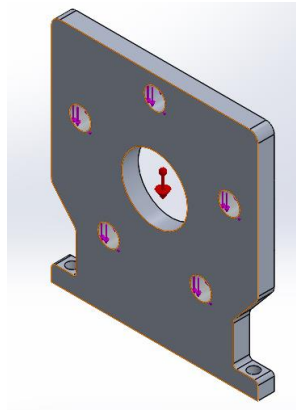
#### 4.3.1. Análisis topológico pletina de sujeción

El primer análisis realizado es un análisis topológico de la pletina de sujeción a la rueda. Este análisis tiene la finalidad de optimizar la forma de la pieza, de tal forma que se reduce el peso de la pieza sin perder resistencia u obtener unas mayores deformaciones.

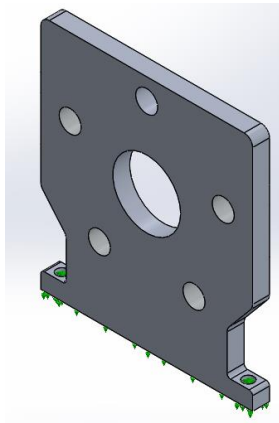
Para ello, se empieza por realizar un diseño inicial de la pieza con las características que debe cumplir la pieza, como pueden ser taladros o agujeros de anclaje. En la siguiente imagen se puede observar el diseño inicial realizado para la pletina de sujeción, en la cual se pueden encontrar los cinco agujeros de anclaje al buje de la rueda y los dos taladros para montar la pletina sobre el buje de soporte.



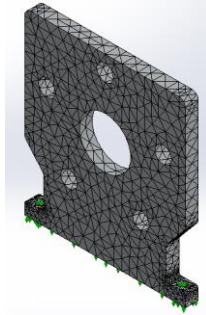
Tras realizar el diseño previo, será imprescindible la realización de un análisis de elementos finitos para comprobar que este diseño es válido para soportar los esfuerzos y entonces, realizar la optimización de la pieza. Los esfuerzos que tiene que soportar la pieza sería el peso de cada una de las ruedas que según el [Anexo \[2.1\]](#) es de 94 kg. Por lo tanto, la fuerza que se supone que estará repartida entre los cinco tornillos de igual forma será de 930 N en total, además de la fuerza de la gravedad como se puede observar en la siguiente imagen.



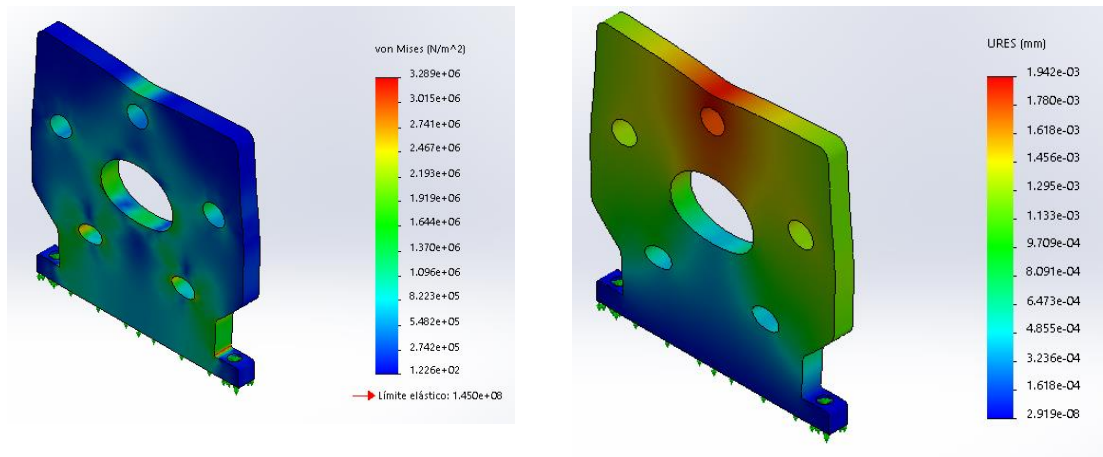
Seguidamente se añaden las restricciones de fijación. En este caso, se añade una restricción de rodillo sobre la base inferior que será el apoyo, y además, dos restricciones de bisagra en los agujeros de los tornillos de anclaje.



A continuación, se crea la malla y se procede a realizar el análisis de fuerza sobre la pieza.



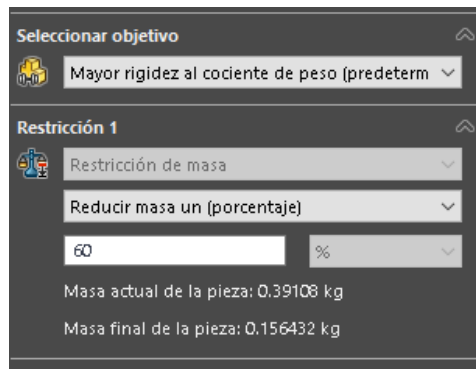
Los resultados obtenidos se pueden ver a continuación. La imagen de la izquierda corresponde al trazado de tensiones, mientras que el del lado derecho es el trazado de deformaciones de la pieza.



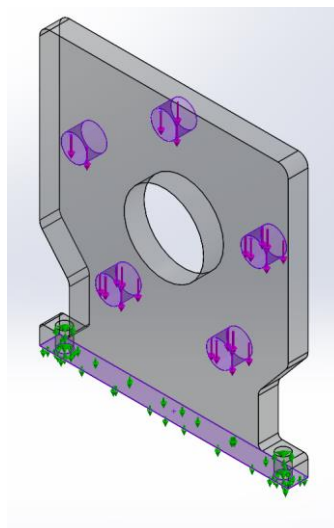
Como se puede ver en ambas imágenes, la pieza está sobredimensionada ya que existen unos desplazamientos mínimos y las tensiones de la pieza son muy inferiores al límite elástico del material. El resto de datos obtenidos en el análisis estático se puede ver en el [Anexo \[3.1\]](#). En este punto es en el cual se va a realizar el análisis topológico para optimizar el componente.

Para realizar el análisis topológico de la pieza se usan las mismas restricciones y fuerzas que en el análisis estático. Pero, en esta ocasión es necesario añadir los parámetros para realizar la optimización.

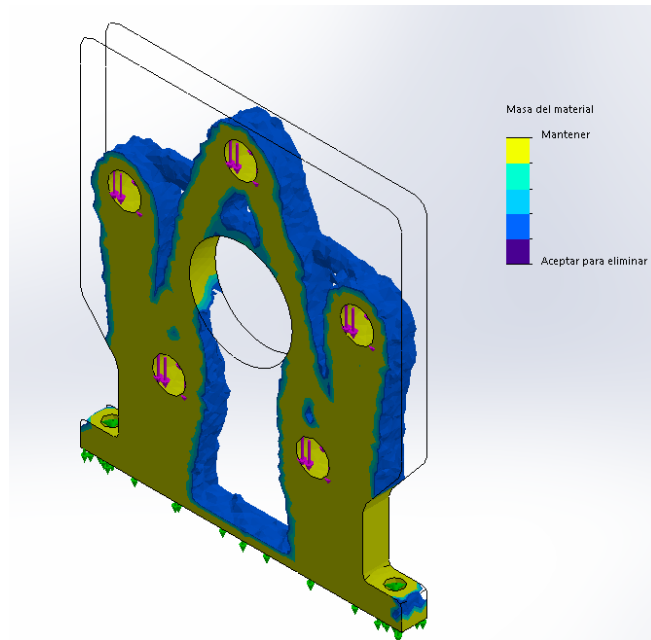
En primer lugar se indica el objetivo del estudio de topología. Para esta pieza que es reducir el peso pero con las mismas tensiones internas de la pieza, y se coloca una restricción de reducir en un 60% la masa de la pieza, como se puede ver a continuación.



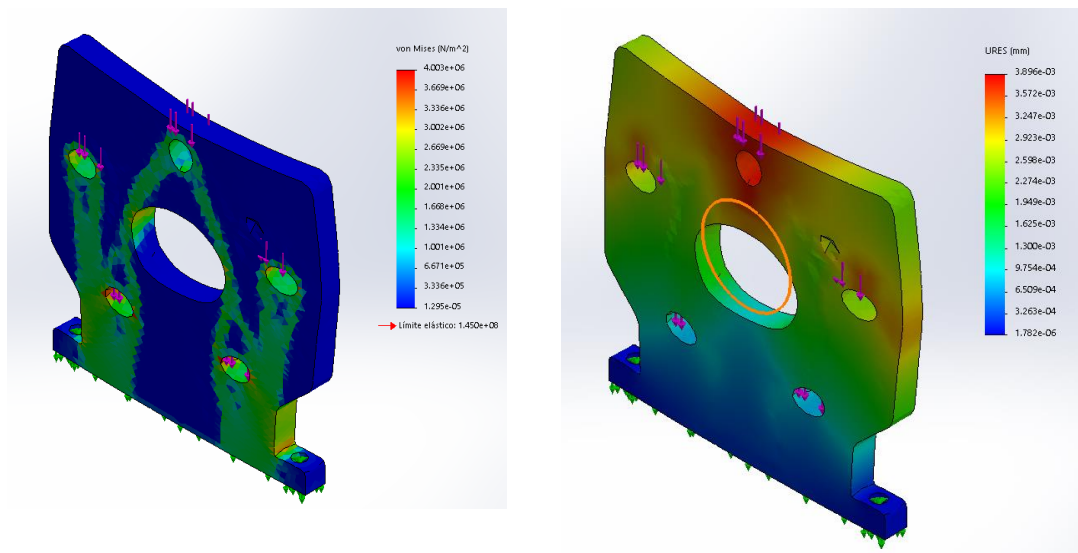
Además, aunque no es necesario añadir los controles de fabricación, que permiten tener más control sobre la forma resultante y considerar los métodos de fabricación excluyendo áreas del proceso de optimización. En este caso, se han seleccionado los agujeros donde iría anclado el buje de la rueda, y la base de la pieza, como se puede ver en la imagen siguiente.



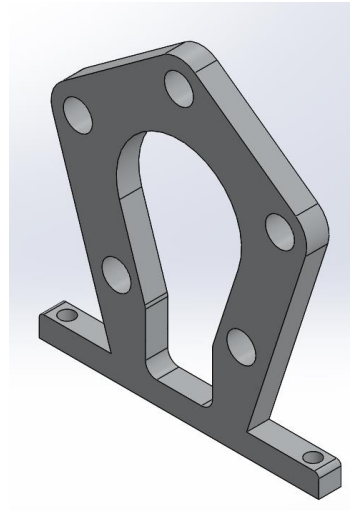
En este punto se ejecuta el estudio de topología y tras un largo tiempo de cálculo en el cual pasa por todas las iteraciones de posible eliminación de material, se obtiene la pieza optimizada que se puede ver a continuación.



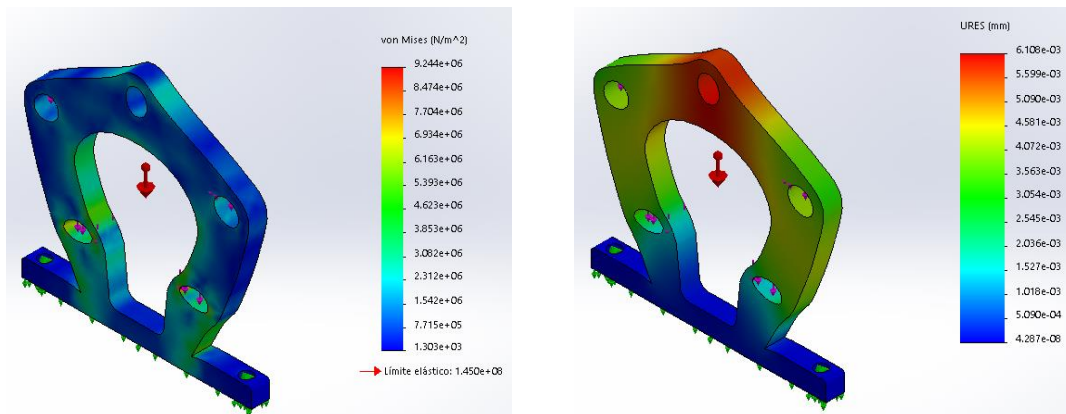
También se pueden ver los trazados de tensiones y de deformaciones. Como se puede ver los dos gráficos son similares a los obtenidos en el análisis estático pero con la geometría optimizada.



Con el resultado obtenido, se decide que como se va a utilizar un método de fabricación por mecanizado, no se puede conseguir la geometría obtenida. Por lo tanto, se rediseña la pletina inicial teniendo en cuenta donde se ha eliminado material y no es necesario obteniendo un diseño final como el que se puede ver a continuación. Con una reducción final del peso de aproximadamente un 48%.



Por último como comprobación, se repite el análisis estático para observar que se obtienen resultados similares a los obtenidos en el análisis inicial.

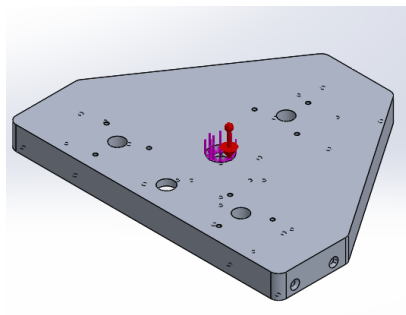


#### 4.3.2. Análisis elementos finitos base referencia

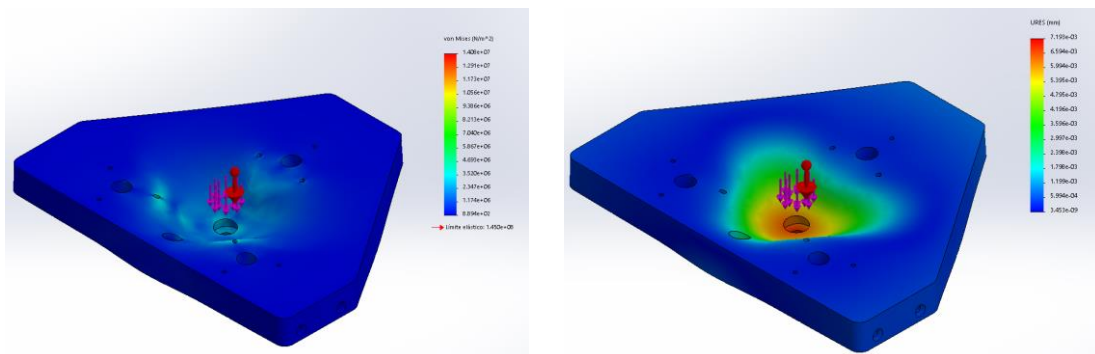
El siguiente análisis de elementos finitos se va a realizar sobre la base de referencia. El objetivo de este estudio es la comprobación de que estructuralmente el componente va a soportar los esfuerzos de la rueda y el resto de componentes, así como también va a servir para obtener la fuerza que tendrán que hacer los husillos para elevar el conjunto una vez montado en el coche.

Para ello, en primer lugar se van a definir las fuerzas presentes en el conjunto. La fuerza a considerar sería el peso máximo estimado que podría tener cada esquina del coche, y el peso de los componentes del subconjunto de medición. Esta fuerza estará ubicada en el alojamiento realizado para el rodamiento de bolas axial, que se encuentra en la cara superior de la base.

Las restricciones de sujeción, se encontraran dos restricciones en el alojamiento de cada rodamiento superior del subconjunto de elevación. Primero una restricción en la cara superior de rodillo plano, y en la circunferencia del alojamiento una restricción radial y de giro.

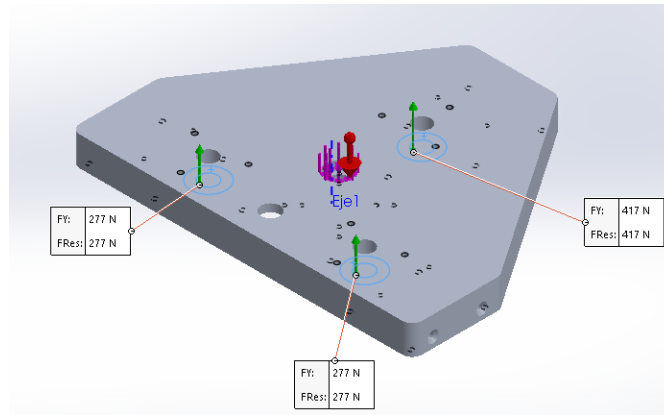


Tras la ejecución del análisis, se obtienen los siguientes resultados. En la parte izquierda se puede ver el trazado de tensiones, y en la parte derecha se observa el trazado de desplazamientos.



Además, el otro objetivo era conocer las reacciones en los apoyos de los subconjuntos de elevación con el fin de calcular el diámetro del husillo y la transmisión del motor paso a paso. Por lo tanto, el valor con el cual se hará el cálculo es de 404 N y estos cálculos se encontraran explicados en el [Anexo \[2.2\]](#).





Para finalizar este apartado, en el [Anexo \[3.3\]](#) se encontrará el informe completo del análisis CAE.

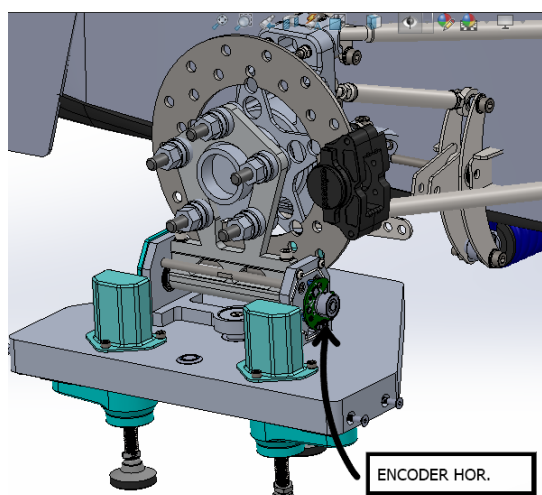
#### 4.4. Programación

En el presente apartado del documento el funcionamiento de la máquina, y como se obtendrán las mediciones que se busca obtener con la máquina y los procesos de automatización para llegar a ello.

##### 4.4.1. Funcionamiento de la máquina

El primer punto y más importante, tras la explicación detallada del diseño de todos los componentes de la máquina, es como estos se relacionan entre si y sobretodo como se obtienen las medidas para las cuales se ha diseñado la presente máquina.

En el subconjunto de medición es de donde se obtiene tanto el camber, como el toe que son los dos ángulos que se quiere conseguir con este proyecto. Para ello es necesario conocer la posición angular de cada eje, tanto el eje vertical como el eje horizontal y la solución más sencilla es la utilización de sendos encoders colocados en cada uno respectivamente.

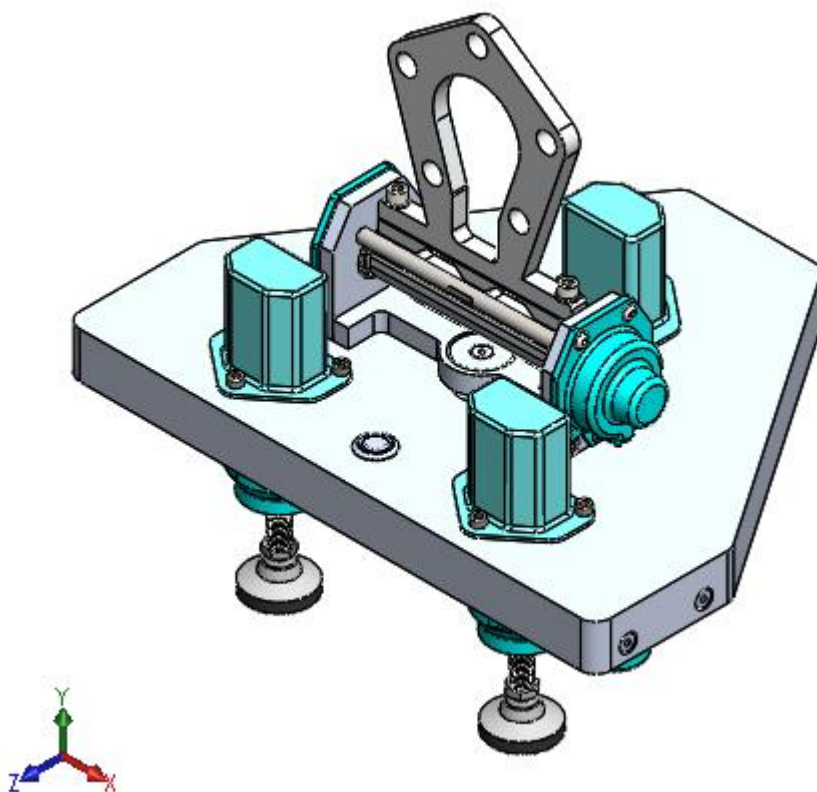


El encoder horizontal, con la posición de la placa de sujeción y el correspondiente movimiento del eje horizontal, va a proporcionar el valor angular de la inclinación respecto al plano vertical de la rueda o camber.

En cambio, el encoder vertical que recoge el movimiento de todo el subconjunto de medición, va a facilitar la medición del ángulo de la rueda respecto al plano central del coche o toe.

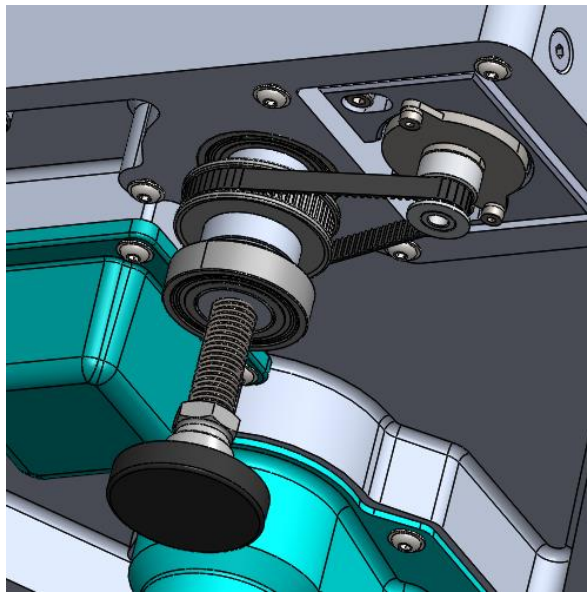
Con el fin de obtener estas mediciones correctamente es necesario hacer referencia a un plano horizontal fijo. Para este fin, se ha diseñado la base de referencia, que se puede regular y nivelar por medio de los subconjuntos de elevación.

Para nivelar la base, primero, es indispensable conocer la inclinación de la base respecto al suelo. Por eso en la base se encuentra un sensor giroscópico que facilitará la inclinación de la base, principalmente en los dos planos principales del conjunto de la máquina.



Con el sensor giroscópico se obtendrá la inclinación de la base respecto al giro respecto el eje x, además, del giro respecto el eje z. De esta forma, con los datos obtenidos se hará actuar cada uno de los husillos de elevación tal y como se explicará en el GRAFCET del movimiento de elevación [4.4.4.3].

Para realizar la subida o bajada del husillo es necesario que el movimiento traslacional del husillo se genere con un movimiento rotacional. Para ello se ha diseñado una tuerca roscada a la cual se le ha añadido soldada una polea que es accionado por un mecanismo de correa. La correa a su vez es accionada por un motor paso a paso de tal forma que se puede llegar a obtener una precisión elevada para nivelar la base con el menos error posible.



En la anterior imagen se puede ver la transmisión por correa que va desde el motor paso a paso hasta la polea que esta soldada a la tuerca del husillo. Además, también se observan los rodamientos que soportan la tuerca del husillo, el superior que va embutido en la base de referencia y el inferior que va montado sobre el cubre de la transmisión.

Por otro lado, para la realización del ajuste de altura, será necesario conocer la altura del centro de la rueda que se deberá introducir en la aplicación complementaria. Una vez se conoce la altura del centro de rueda y la base de referencia esta nivelada, como la distancia desde la base al centro de la rueda será conocido por el diseño de las piezas y se introducirá en el programa anteriormente, se podrá subir o bajar la base completa hasta que el centro de la rueda sea el indicado.

Con este fin, para saber la posición del husillo después de ser nivelada la base, se ha colocado un sensor de distancia por infrarrojos en la parte superior del conjunto de la máquina, de tal forma que se puede conocer la distancia que tienen que elevar o descender los husillos sin perder la nivelación que ya se consiguió en el paso anterior.

Tras explicar todos estos pasos, ya se podrían tomar las mediciones de cada uno de los conjuntos de la máquina, aunque, antes de eso será necesario explicar cómo se utiliza la aplicación con la que se obtendrán todas las mediciones y se interactuara con la máquina.

#### **4.4.2. Uso de la aplicación complementaria.**

En el primer uso de la aplicación, será necesario registrar el vehículo para el que se va a usar la máquina de medición. Para ello, será necesario incluir la siguiente información:

- Nombre del coche
- Temporada/Año
- Tamaño de rueda

Las dos primeros datos serían para tener archivados los datos ordenados y la información del tamaño de rueda es primordial, porque se utilizará para colocar en su posición la base de referencia respecto al suelo respetando el centro de la rueda.

Una vez se introducen estos datos, se podría realizar una medición con la máquina. Para ello se crearía una nueva hoja de medición, con la información solicitada a continuación:

- Nombre de la configuración
- Fecha
- Circuito o prueba

Tras esto, se tendrá que seleccionar el modo de utilización, que serán uno de los tres explicados anteriormente, que son:

- Obtención de la medida
- Ajuste manual
- Ajuste límite

Tras realizar la medida o medidas, se pueden guardar estas en la aplicación para tener un historial de todas las mediciones, para poder revisarlas y comparar con la telemetría y/o tiempos obtenidos con el coche.

### 4.4.3. Componentes electrónicos

En la máquina se pueden encontrar diferentes componentes electrónicos, tanto para el movimiento del conjunto de elevación como para la obtención de las dimensiones. De esta forma, se dividirán los componentes electrónicos en sensores y actuadores.

Fuera de este proyecto queda la selección de la placa electrónica, o incluso el diseño de una placa especial para poder adaptarla perfectamente a la forma de la máquina. La placa debería ser capaz de incluir todos los elementos que se explicarán a continuación, así también de un emisor bluetooth para poder compartir la información de la máquina con cualquier tipo de dispositivo que tenga la app de la máquina.

#### 4.4.3.1. Sensores

En esta máquina se pueden encontrar diferentes sensores, donde cada uno tiene una finalidad y una ubicación concreta.

En primer lugar, se va a explicar el encoder magnético. Es el sensor más importante de la máquina ya que será el encargado de ofrecer las dimensiones angulares en cada uno de los ejes, tal y cómo se ha explicado en puntos anteriores.



Se trata de un encoder magnético absoluto, que mide la rotación del eje por los cambios que se producen en el campo magnético a medida que este va girando. Se ha seleccionado un encoder absoluto ya que permite conocer la posición exacta del eje y por tanto obtener el ángulo de inclinación que se está buscando.

La resolución de este encoder tiene una resolución de 14 bits, por lo que la resolución angular del giro del eje en grados será de 0,02 de resolución.

Se conecta a la placa electrónica por medio de comunicación SPI.

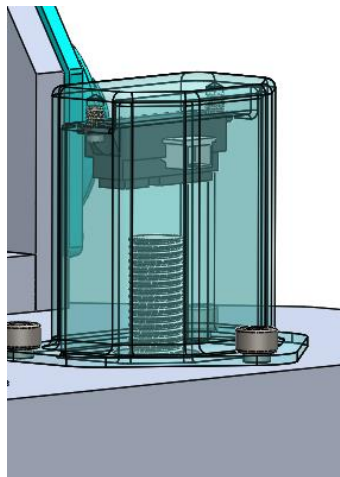
Por otro lado, en la base de referencia se puede encontrar el siguiente sensor. En este caso, se trata de un sensor giroscópico que tiene como característica mostrar la

inclinación en los 3 ejes. El sensor mide la velocidad angular respecto a cada eje, y con su placa interna es capaz de dar la inclinación en los 3 planos.



Este sensor se va a utilizar para obtener la inclinación de la base de referencia respecto al suelo y de esta forma poder nivelar la base por medio de los conjuntos de elevación.

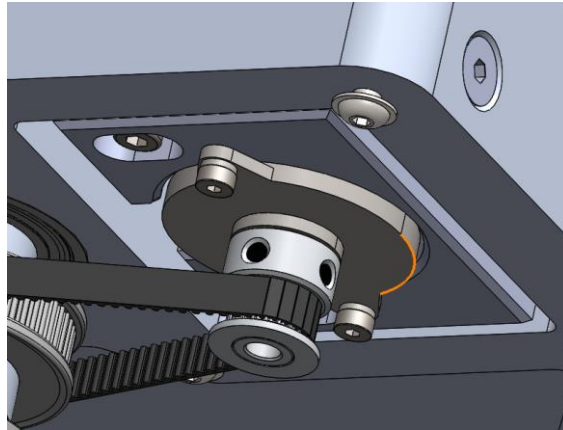
Por último, se encuentra un sensor de medición de distancia por infrarrojos. Este se utiliza para medir la posición del husillo dentro de su rango de movimiento, de esta forma se puede conocer la altura de la base de referencia y por tanto, colocar el centro de la rueda a la altura que estaría en el vehículo en funcionamiento.



En la imagen superior se puede observar el sensor de infrarrojos en la parte superior del husillo y colocado dentro del alojamiento que se ha diseñado para tal fin.

#### 4.4.3.2. Actuadores

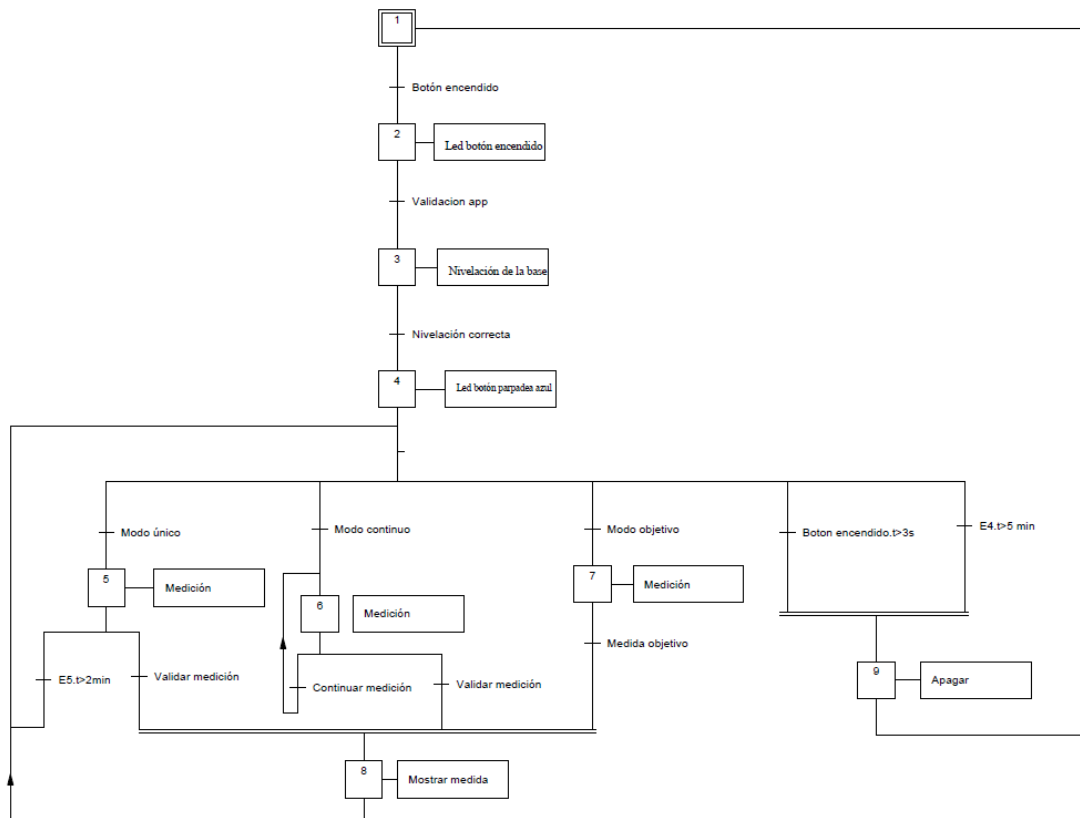
En esta máquina únicamente se ha montado un elemento que funciona como un actuador, este elemento es el motor paso a paso seleccionado (ver [Anexo \[2.2\]](#)) para elevar el husillo y de esta forma nivelar y regular la base de referencia. En la imagen se puede ver el motor paso a paso montado en la máquina.



Este motor paso a paso, tiene un ángulo de paso de 0,9 grados y un par de 8 Ncm, que como ya se ha comprobado es más que suficiente para el uso que se le va a dar. Para poder hacer funcionar el motor, además, es necesaria la instalación de un driver de motor. En este caso se selecciona un Pololu A4988. Además de para generar todas las señales necesarias para el motor paso a paso, también añade protecciones para el motor y reduce el número de conexiones con la plana a únicamente dos pines.

#### 4.4.4. GRAFCETS de la máquina

Para poder hacer funcionar la máquina es necesario un programa de automatización, para describir esto, se va a utilizar los diagramas GRAFCET. Los GRAFCET muestran la evolución secuencial del proceso que se va automatizar y se representan las acciones que realiza la máquina y las distintas acciones que provocan el paso de una acción a la siguiente.



En el diagrama anterior se muestran todas las etapas que tienen lugar en la máquina y que es lo que hay que hacer para pasar entre las distintas etapas.

El diagrama empieza con la etapa 0, que es con la máquina bien montada y ajustada para poder trabajar. Tras accionar el botón de encendido, el mismo botón tiene un aro led que se mostrará en color verde para poder ver que la máquina está en funcionamiento.

El siguiente paso es entrar en la aplicación complementaria y una vez esta toda la información introducida, se valida esta información y entonces la máquina regula automáticamente la base de referencia para poder realizar las medidas. A continuación de



que la base esta nivelada el led se mostrará en color azul y en ese punto se vuelve a la app.

Ahora desde la aplicación se selecciona el modo de trabajo de la máquina, donde se pueden encontrar tres modos distintos. Además, se podría apagar la máquina tras presionar el botón durante más de 3 segundos o si se deja la máquina más de 5 minutos en espera, se apaga la máquina directamente. Por otro lado, los tres modos de funcionamiento se describirán a continuación.

- Modo único

Este modo se utiliza para realizar una única medida de los ángulos de la rueda. Puede servir para realizar una medida y utilizarla como referencia para medidas posteriores o si no se conoce la medida con la que está el vehículo tras el montaje inicial.

- Modo continuo

El modo continuo mostrara la medida durante todo el tiempo hasta que desde la aplicación se cancele el modo. Se utilizará para realizar los ajustes de la inclinación de las ruedas si no se conoce el valor al que se quiere llegar. Finalmente se mostrará y almacenara la última medición realizada.

- Modo objetivo

El modo objetivo podría funcionar igual que el modo anterior, pero con una diferencia, se tiene que indicar el valor para cada ángulo que se quiere alcanzar. Una vez se ha alcanzado esta medida, en la aplicación sale un aviso y se muestra esta medición como correcta.

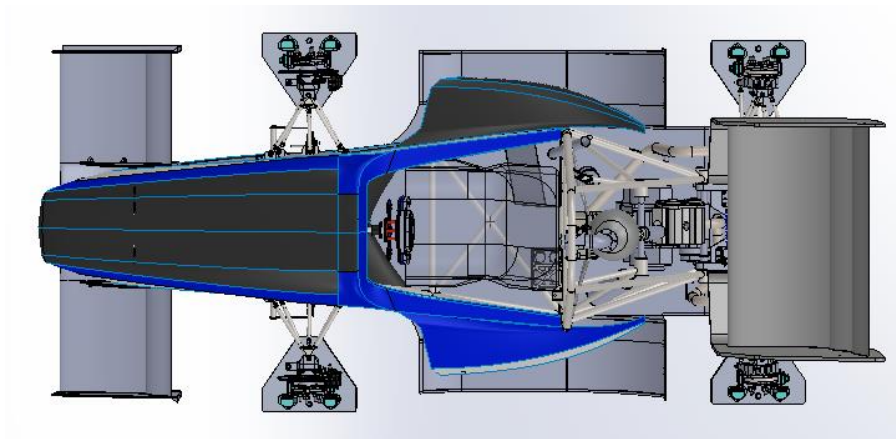
Tras mostrar la medición final, desde la aplicación se podría volver a seleccionar alguno de los métodos anteriores, o apagar la máquina presionando el botón durante unos 3 segundos. Automáticamente la máquina descenderá la base hasta su punto más bajo y se apagará la máquina para proceder al desmontaje y guardado de la máquina.

#### 4.5. Uso de la máquina

Con el fin de poder realizar correctamente las mediciones con el menor error posible, es necesario seguir unos ciertos pasos para usar la máquina, así como realizar un ajuste correcto de los componentes.

Cómo ya se ha comentado anteriormente se tiene que montar un conjunto de máquina en cada rueda. Para ello se levanta todo el vehículo con medio de gatos hidráulicos o con el método habitual que se lleve a cabo para el cambio de ruedas.

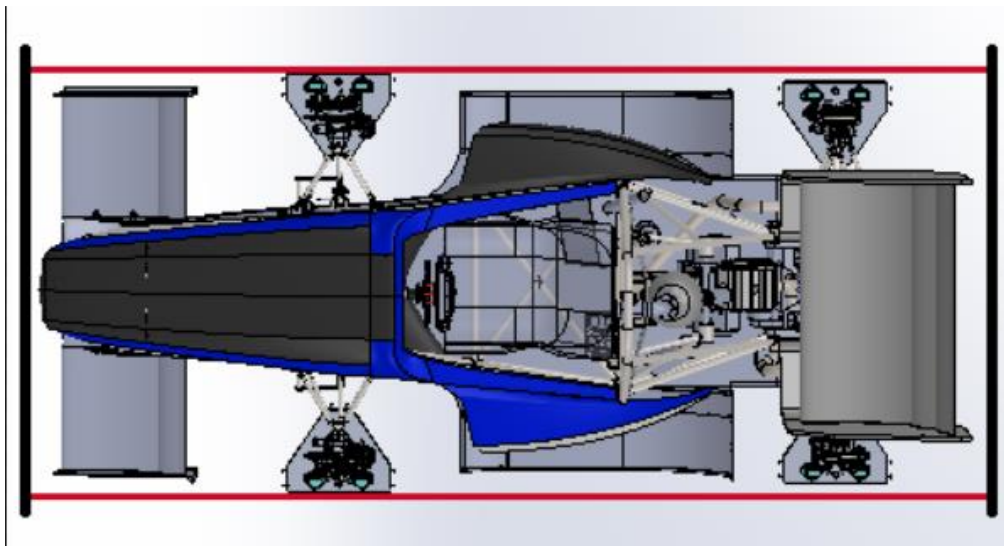
Seguidamente, se tienen que extraer las ruedas para poder montar la máquina en los mismos tornillos que están ubicadas estas sobre el buje. Ya se ha explicado anteriormente, pero el fin de retirar las ruedas es facilitar el trabajo de ajuste de los trapecios de suspensión que son mediante los cuales se realiza el ajuste de las inclinaciones de la rueda.



Con las cuatro máquinas montadas sobre cada buje del coche y tras quitar los elementos que se hayan utilizado para elevar el coche y dejar a este sujetado por la máquina de medición, se debe hacer la alineación de las bases para confirmar que cada una de las referencias sobre el centro de la rueda es el indicado. Para ello, se va a usar un método habitual, incluso en la más alta competición como puede ser la Fórmula 1.



Este método consiste en la colocación de un elemento de igual ancho en la parte delantera y trasera del vehículo, y en los extremos colocar un hilo tensado. De esta forma se tienen dos líneas paralelas que sirven como referencia para alinear las ruedas en dirección longitudinal al vehículo.



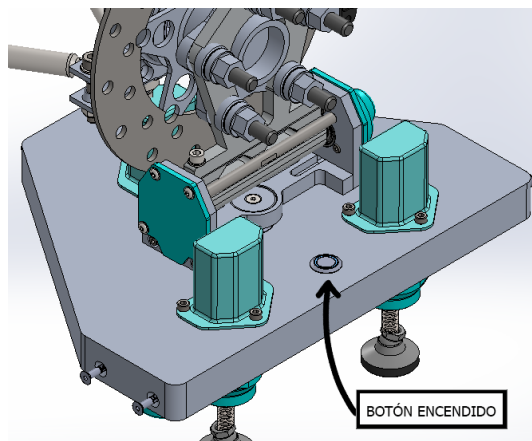
En la imagen superior se puede ver, como se ha colocado una barra en la parte trasera y delantera del coche (barra de color negro), que se tendría que diseñar especialmente y anclar sobre el chasis para que fuera totalmente perpendicular a la línea central del coche. Además, en color rojo se han colocado los dos hilos o cuerdas que servirán para referenciar y colocar todas las bases de medición en la orientación correcta.

Para ello, se medirían varios puntos de la parte más larga de la base de referencia y se replicaría en ambos lados del coche. Además, como en este caso, el ancho de vías trasero es inferior al delantero, y se procedería de la misma forma además asegurando que

entre el conjunto delantero y trasero existe la misma diferencia de dimensiones que entre el ancho de vías del coche.

Tras la realización del alineado correcto de las bases, ya se podría proceder a encender cada una de las máquinas. Aunque antes de realizar este paso, sería conveniente introducir las características del coche en la app de mediciones si estas no habían sido introducidas anteriormente.

Como ya se ha comentado anteriormente, en la aplicación se pueden guardar distintos coches, así como también diferentes configuraciones dentro de cada uno. Por lo tanto, tras incluir todos los datos, se podrá encender las bases con el botón disponible para ello en cada una.



Después de realizar el encendido, hay que volver a la aplicación desde la que se realizarán todos los pasos siguientes.

Una vez se termine de utilizar la máquina y se vaya a guardar, hay que volver a montar las ruedas del coche. El primer paso sería aflojar todos los tornillos de las pletinas de fijación para poder desanclar el conjunto de la máquina del vehículo y colocar los gatos hidráulicos para sujetar el coche. Entonces se puede proceder a quitar las básculas, colocar las llantas y dejar el vehículo en el suelo.

Antes de desconectar los conjuntos de la corriente eléctrica hay que dejarlos preparados para guardar, por esto, se debe de presionar el botón de encendido durante tres segundos y la base descenderá hasta su posición mínima respecto a los husillos de elevación.

Por último, se recomienda desmontar la placa de medición con los dos tornillos ya que de esta forma, la máquina ocupara el menor espacio posible para guardarlas o ser transportadas.

## 5. Conclusiones

Mediante el presente proyecto se han puesto en práctica todos los conocimientos adquiridos durante la realización del master en diseño y fabricación. Desde un diseño conceptual de un nuevo prototipo de máquina hasta realizar el diseño detallado de todas y cada una de las piezas que conforman todo el conjunto.

Este proyecto en cuestión se ha diseñado con el fin de conseguir unos mejores resultados dentro del equipo de Formula Student de la universidad. De tal forma que el equipo podría dar un salto cualitativo dentro de la competición.

Dentro del proyecto se han solucionado los distintos problemas de diseño y encontrando diferentes soluciones para esto.

Como último indicar, que para proyectos futuros quedaría definir la placa electrónica que se tendría que hacer para la máquina así como la aplicación para poder trabajar con ella, y que quedaban fuera de este proyecto.

# ANEXOS

## Índice

Índice.....	64
1 Método de jerarquías analíticas.....	65
1.1 bases de soporte.....	67
1.2 Dispositivo medición.....	68
2 Cálculos.....	69
2.1 Reparto de pesos por rueda .....	69
3 Informes de análisis CAE .....	70
3.1 Estudio CAE pletina sujeción.....	70
3.2 Estudio CAE pletina sujeción optimizada .....	80
3.3 Estudio CAE base de referencia.....	87



## 1. Método de jerarquías analíticas

El método de las jerarquías analíticas o AHP desarrollado por el Dr. Thomas L. Saaty en la Universidad de Pennsylvania (Estados Unidos). Es un instrumento para la evaluación y selección de alternativas complejas que involucran múltiples objetivos.

A continuación se va a describir el procedimiento para llevar a cabo el método de las jerarquías analíticas:



### 1. Definir la preferencia entre atributos.

Se define con qué intensidad un atributo es preferido respecto a otro, mediante los valores de importancia que se muestran en la siguiente tabla.

Importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos elementos contribuyen idénticamente al objetivo.
3	Dominancia débil	La experiencia manifiesta que existe una débil dominancia de un elemento sobre otro.
5	Fuerte dominancia	La experiencia manifiesta una fuerte dominancia de un elemento sobre otro.
7	Demostrada dominancia	La dominancia de un elemento sobre otro está completamente demostrada.
9	Absoluta dominancia	Las evidencias demuestran que un elemento es absolutamente dominado por otro.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios	Son valores intermedios de decisión.

Con la importancia de los diversos atributos definida, se realiza una matriz de intensidades.

### 2. Cálculo de los pesos entre atributos.

Para obtener el peso de cada atributo respecto a la solución óptima se realiza la media geométrica por medio de la ecuación siguiente:

$$W = (I_1 \cdot I_2 \cdot I_3 \cdot \dots \cdot I_n)^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

Aplicando la ecuación anterior a cada uno de los factores se calculan los pesos de cada atributo y con la ecuación siguiente se calcula cada peso en valor unitario. Para esto se calcula el peso total de los atributos y se divide cada elemento por el peso total.

$$W_{unitario} = \frac{W_{atributo}}{W_{total}} \quad (2)$$

### **3. Definir la matriz de decisiones.**

Para realizar la matriz de decisiones normalizadas se lleva a cabo una comparación entre las distintas alternativas con valores comprendidos entre 1 y 0, diferenciadas para cada atributo.

### **4. Cálculo de la media ponderada**

El cálculo de la media ponderada consiste en multiplicar el peso en valor unitario por el valor con el cual se ha dotado a la alternativa en la matriz de decisiones. El elemento que obtenga la mayor media, será la selección óptima buscada.

Después de describir el procedimiento que se debe de llevar a cabo para la realización del método de las jerarquías analíticas, vamos a estudiar las diferentes alternativas.

## 1.1. Bases de soporte

### 1. Matriz de intensidades

	Volumen	Ajuste de nivelación	Nivelación entre bases
Volumen	1	5	3
Ajuste de nivelación	1/5	1	3
Nivelación entre bases	1/3	1/3	1

Tabla 1. Matriz de intensidad base de soporte

### 2. Cálculo de pesos por atributo

$$W_{Volumen} = (1 \cdot 5 \cdot 3)^{\frac{1}{3}} = 2.466$$

$$W_{Ajuste\_nivelación} = \left(\frac{1}{5} \cdot 1 \cdot 3\right)^{\frac{1}{3}} = 0.843$$

$$W_{Nivelación\_bases} = \left(\frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1\right)^{\frac{1}{3}} = 0.481$$

Ahora se procede a obtener el valor unitario de los pesos, con la ecuación (3).

$$W_{total} = W_{Volumen} + W_{Ajuste\_nivelacion} + W_{Nivelacion\_bases} \quad (3)$$

$$W_{total} = 3.79$$

Donde aplicando la ecuación (2) para cada atributo se obtiene:

$$W_{uVolumen} = \frac{W_{Volumen}}{W_{total}} = 0.651$$

$$W_{uAjuste\_nivelacion} = \frac{W_{Ajuste\_nivelacion}}{W_{total}} = 0.223$$

$$W_{uNivelacion\_bases} = \frac{W_{Nivelacion\_bases}}{W_{total}} = 0.127$$

### 3. Matriz de decisiones normalizadas

Se realiza la comparación entre las diferentes alternativas propuestas para las ruedas, mediante la tabla 2:

	Volumen	Ajuste de nivelación	Nivelación entre bases
Base 1	0.7	0.75	0.5
Base 2	1	1	0.5
Base 3	0.3	0.3	1

Tabla 2. Matriz de decisión de base de soporte

### 4. Cálculo de la media ponderada.

- Base 1 = 0.686
- Base 2 = 0.937
- Base 3 = 0.389

#### 1.2. Dispositivo medición

##### 1. Matriz de intensidades

	Volumen	Calibración	Precio
Volumen	1	3	5
Ajuste de nivelación	1/3	1	3
Nivelación entre bases	1/5	1/3	1

Tabla 3. Matriz de intensidad de los dispositivos de medición

##### 2. Cálculo de pesos por atributo

$$W_{Volumen} = (1 \cdot 3 \cdot 5)^{\frac{1}{3}} = 2.466$$

$$W_{Calibración} = \left(\frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 3\right)^{\frac{1}{3}} = 1$$

$$W_{Precio} = \left(\frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1\right)^{\frac{1}{3}} = 0.405$$

Ahora se procede a obtener el valor unitario de los pesos, con la ecuación (4).

$$W_{total} = W_{Volumen} + W_{Calibración} + W_{Precio} \quad (4)$$

$$W_{total} = 3.87$$

Donde aplicando la ecuación (2) para cada atributo se obtiene:

$$W_{uVolumen} = \frac{W_{Volumen}}{W_{total}} = 0.637$$

$$W_{uCalibración} = \frac{W_{Calibración}}{W_{total}} = 0.258$$

$$W_{uPrecio} = \frac{W_{Precio}}{W_{total}} = 0.105$$

### 3. Matriz de decisiones normalizadas

Se realiza la comparación entre las diferentes alternativas propuestas para las ruedas, mediante la tabla 4:

	Volumen	Ajuste de nivelación	Nivelación entre bases
Brazo articulado	0.8	0.75	1
Soporte vertical	1	1	0.8
Laser	0.1	0.3	0.2

Tabla 4. Matriz de decisión selección dispositivo medición

### 4. Cálculo de la media ponderada.

- Brazo articulado = 0.808
- Soporte vertical = 0.979
- Laser = 0.162

## 2. Cálculos

### 2.1. Reparto de pesos por rueda

El peso del vehículo estará comprendido entre los 170 y 240 kilogramos, que es los pesos máximos y mínimos que se han podido observar en las distintas competiciones a las que se ha asistido.

Al tratarse de un vehículo con tracción trasera, el reparto de pesos se suele situar entre el 55-60% en el eje trasero ya que es el eje motriz del vehículo y así transmitir la potencia disponible de una manera más eficaz al asfalto.

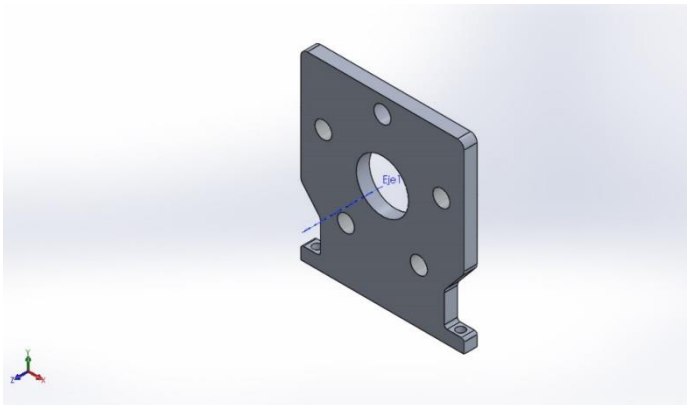
De esta forma, con el posible peso máximo del coche y suponiendo que reparto también está en su posición más extrema, 60% en el eje trasero, el reparto de peso en cada una de las ruedas será el siguiente:

	RUEDA DERECHA	RUEDA IZQUIERDA
EJE DELANTERO	48 KG	48 KG
EJE TRASERO	72 KG	72 KG

Así, el peso máximo por rueda sería de 72 Kg. Además, debido a que el centro de masas del vehículo puede no estar en el centro transversal del mismo, se utilizara un peso de referencia de 94 Kg, es decir aproximadamente un 15 % superior al peso obtenido de la tabla anterior.

### 3. Informes de análisis CAE

#### 3.1. Estudio CAE pletina sujeción



#### Simulación de soporte rueda pletina

**Fecha:** viernes, 19 de noviembre de 2021

**Diseñador:** David Rius

**Nombre de estudio:** carga rueda

**Tipo de análisis:** Análisis estático

## Información de modelo

 <b>Nombre del modelo:</b> soporte rueda pletina <b>Configuración actual:</b> Predeterminado		
<b>Sólidos</b>		
<b>Nombre de documento y referencia</b>	<b>Tratado como</b>	<b>Propiedades volumétricas</b>
Cortar-Extruir4 	Sólido	<b>Masa:</b> 0.39108 kg <b>Volumen:</b> 0.000144845 m <sup>3</sup> <b>Densidad:</b> 2700 kg/m <sup>3</sup> <b>Peso:</b> 3.83259 N

## Propiedades de estudio

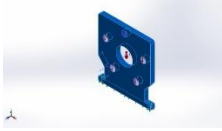
<b>Nombre de estudio</b>	carga rueda
<b>Tipo de análisis</b>	Análisis estático
<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Efecto térmico:</b>	Activar
<b>Opción térmica</b>	Incluir cargas térmicas
<b>Temperatura a tensión cero</b>	298 Kelvin
<b>Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation</b>	Desactivar
<b>Tipo de solver</b>	FFEPlus
<b>Efecto de rigidización por tensión (Inplane):</b>	Desactivar
<b>Muelle blando:</b>	Desactivar
<b>Desahogo inercial:</b>	Desactivar
<b>Opciones de unión rígida incompatibles</b>	Automático
<b>Gran desplazamiento</b>	Desactivar
<b>Calcular fuerzas de cuerpo libre</b>	Activar
<b>Fricción</b>	Desactivar
<b>Utilizar método adaptativo:</b>	Desactivar

## Unidades

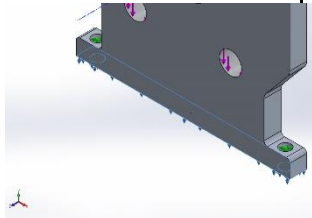
<b>Sistema de unidades:</b>	Métrico (MKS)
<b>Longitud/Desplazamiento</b>	mm
<b>Temperatura</b>	Kelvin
<b>Velocidad angular</b>	Rad/seg
<b>Presión/Tensión</b>	N/m <sup>2</sup>



## Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p><b>Nombre:</b> 6063-T5</p> <p><b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal</p> <p><b>Criterio de error predeterminado:</b> Desconocido</p> <p><b>Límite elástico:</b> 1.45e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Límite de tracción:</b> 1.85e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Módulo elástico:</b> 6.9e+10 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.33</p> <p><b>Densidad:</b> 2700 kg/m<sup>3</sup></p> <p><b>Módulo cortante:</b> 2.58e+10 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de dilatación térmica:</b> 2.3e-05 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Cortar-Extruir4)(soporte rueda pletina)</p>

## Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Rodillo/Control deslizante -1		<p><b>Entidades:</b> 1 cara(s)</p> <p><b>Tipo:</b> Rodillo/Control deslizante</p>

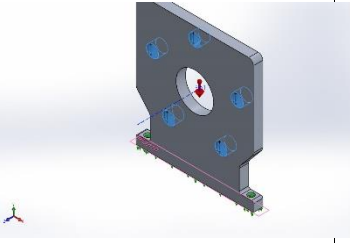
<b>Fuerzas resultantes</b>				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0.303469	907.728	0.144724	907.728
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Bisagra fija-3		<b>Entidades:</b> 2 cara(s) <b>Tipo:</b> Bisagra fija
----------------	---	--

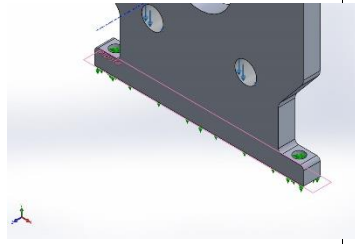
  

<b>Fuerzas resultantes</b>				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0.00730795	26.9911	0.00904647	26.9911
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<b>Entidades:</b> 5 cara(s), 1 plano(s) <b>Referencia:</b> Planta <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> ---, ---, -930 N

Gravedad

-1



**Referencia:** Planta

**Valores:** 0 0 -9.81

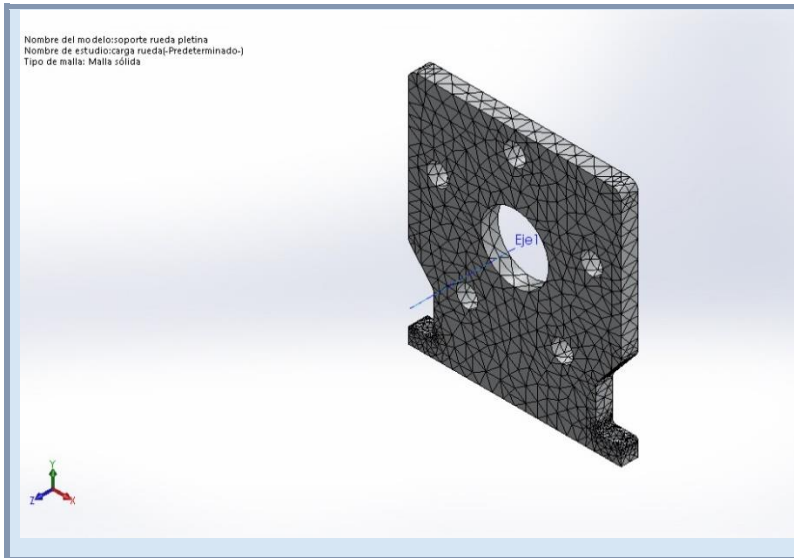
**Unidades:** m/s<sup>2</sup>

## Información de malla

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla basada en curvatura
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño máximo de elemento</b>	7.5 mm
<b>Tamaño mínimo del elemento</b>	1.5 mm
<b>Trazado de calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden

## Información de malla - Detalles

<b>Número total de nodos</b>	12154
<b>Número total de elementos</b>	6836
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	5.1975
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	98.9
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	0
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>	0
<b>Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):</b>	00:00:04
<b>Nombre de computadora:</b>	



**Fuerzas resultantes:**

**Fuerzas de reacción**

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0.00730795	933.947	0.00904647	933.947

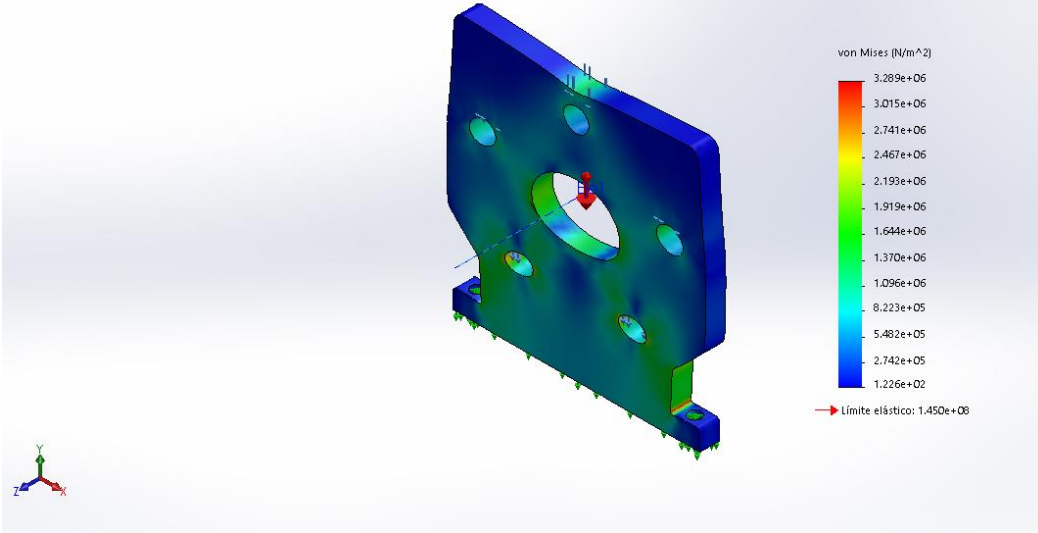
**Momentos de reacción**

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

**Resultados del estudio**

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1.226e+02 N/m <sup>2</sup> Nodo: 6031	3.289e+06 N/m <sup>2</sup> Nodo: 1342

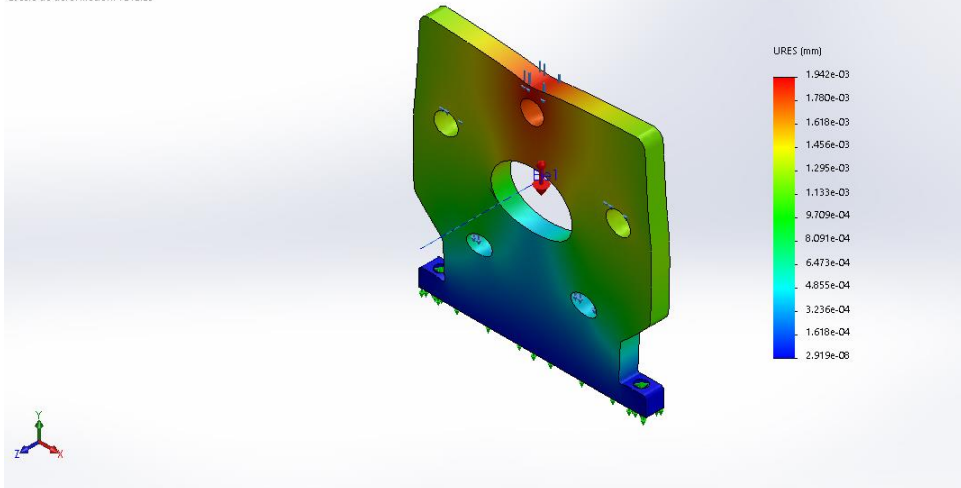
Nombre del modelo: soporte rueda pletina  
Nombre de estudio: carga rueda (Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
Escala de deformación: 7210.23



soporte rueda pletina-carga rueda-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	2.919e-08 mm Nodo: 6095	1.942e-03 mm Nodo: 330

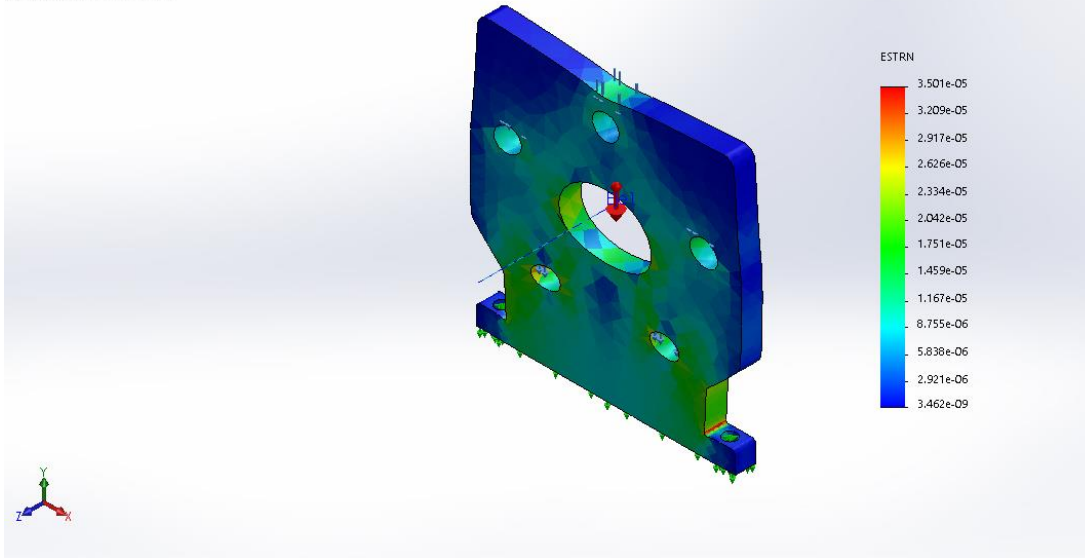
Nombre del modelo: soporte rueda pletina  
Nombre de estudio: carga rueda (Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 7210.23



soporte rueda pletina-carga rueda-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3.462e-09 Elemento: 1658	3.501e-05 Elemento: 1854

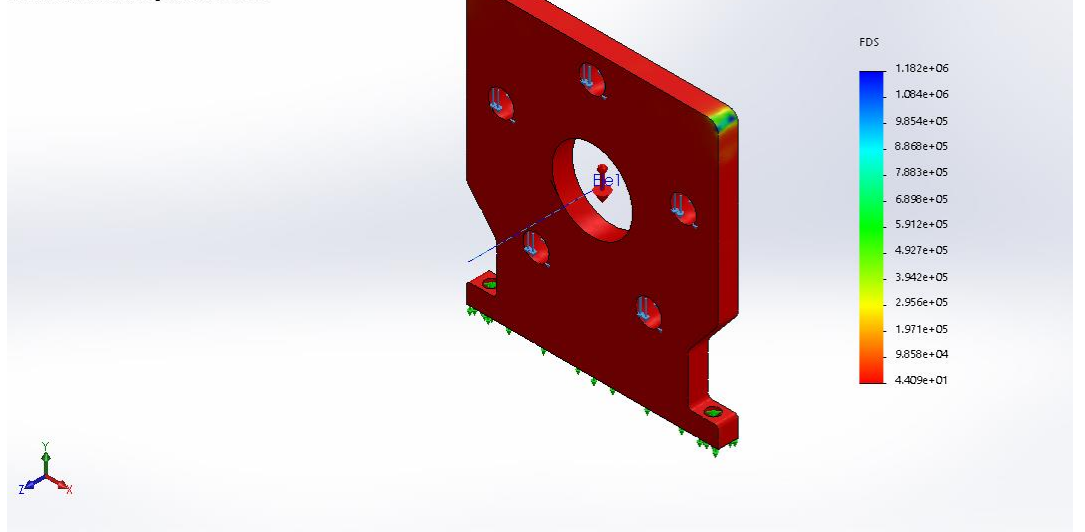
Nombre del modelo: soporte rueda pletina  
Nombre de estudio: carga rueda(-Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1  
Escala de deformación: 7210.23



soporte rueda pletina-carga rueda-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

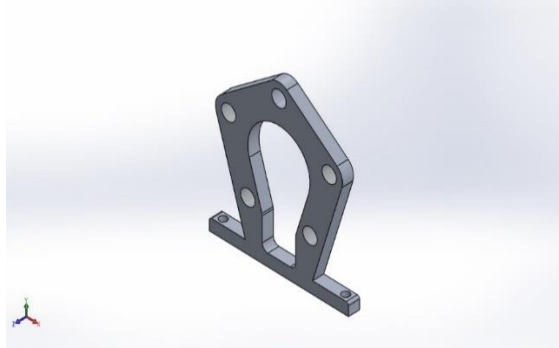
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	4.409e+01 Nodo: 1342	1.182e+06 Nodo: 6031

Nombre del modelo: soporte rueda pletina  
Nombre de estudio: carga rueda(-Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
Criterio: Tensiones von Mises máx.  
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 44



soporte rueda pletina-carga rueda-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

### 3.2. Estudio CAE pletina sujeción optimizada



## Simulación de soporte rueda pletina optimizado

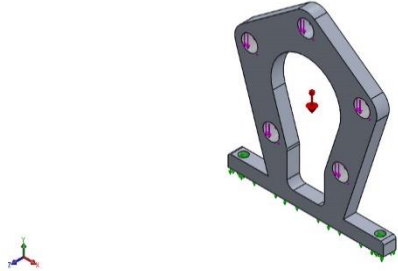

**Fecha:** Viernes, 19 de noviembre de 2021

**Diseñador:** David Rius

**Nombre de estudio:** carga rueda

**Tipo de análisis:** Análisis estático

### Información de modelo

		
<b>Nombre del modelo:</b> soporte rueda pletina_optimizado		
<b>Configuración actual:</b> Predeterminado		
Sólidos		
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas
Redondeo3 	Sólido	<b>Masa:</b> 0.190816 kg <b>Volumen:</b> 7.06727e-05 m <sup>3</sup> <b>Densidad:</b> 2700 kg/m <sup>3</sup> <b>Peso:</b> 1.87 N



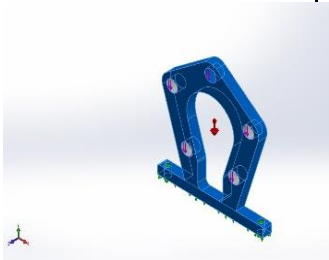
## Propiedades de estudio

<b>Nombre de estudio</b>	carga rueda
<b>Tipo de análisis</b>	Análisis estático
<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Efecto térmico:</b>	Activar
<b>Opción térmica</b>	Incluir cargas térmicas
<b>Temperatura a tensión cero</b>	298 Kelvin
<b>Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation</b>	Desactivar
<b>Tipo de solver</b>	FFEPlus
<b>Efecto de rigidización por tensión (Inplane):</b>	Desactivar
<b>Muelle blando:</b>	Desactivar
<b>Desahogo inercial:</b>	Desactivar
<b>Opciones de unión rígida incompatibles</b>	Automático
<b>Gran desplazamiento</b>	Desactivar
<b>Calcular fuerzas de cuerpo libre</b>	Activar
<b>Fricción</b>	Desactivar
<b>Utilizar método adaptativo:</b>	Desactivar

## Unidades

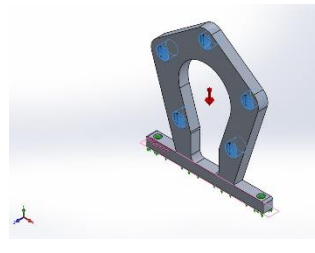
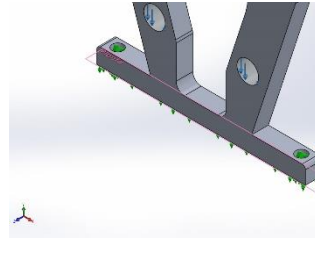
<b>Sistema de unidades:</b>	Métrico (MKS)
<b>Longitud/Desplazamiento</b>	mm
<b>Temperatura</b>	Kelvin
<b>Velocidad angular</b>	Rad/seg
<b>Presión/Tensión</b>	N/m <sup>2</sup>

## Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p><b>Nombre:</b> 6063-T5</p> <p><b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal</p> <p><b>Criterio de error predeterminado:</b> Desconocido</p> <p><b>Límite elástico:</b> 1.45e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Límite de tracción:</b> 1.85e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Módulo elástico:</b> 6.9e+10 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.33</p> <p><b>Densidad:</b> 2700 kg/m<sup>3</sup></p> <p><b>Módulo cortante:</b> 2.58e+10 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de dilatación térmica:</b> 2.3e-05 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Redondeo3)(soporte rueda pletina_optimizado)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		

## Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción															
Bisagra fija-1		<b>Entidades:</b> 2 cara(s) <b>Tipo:</b> Bisagra fija															
<b>Fuerzas resultantes</b> <table border="1" data-bbox="304 719 1294 1021"> <thead> <tr> <th data-bbox="304 719 517 763">Componentes</th> <th data-bbox="517 719 703 763">X</th> <th data-bbox="703 719 895 763">Y</th> <th data-bbox="895 719 1086 763">Z</th> <th data-bbox="1086 719 1294 763">Resultante</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="304 786 517 875">Fuerza de reacción(N)</td> <td data-bbox="517 786 703 875">0.00993556</td> <td data-bbox="703 786 895 875">-8.25699</td> <td data-bbox="895 786 1086 875">-0.0137049</td> <td data-bbox="1086 786 1294 875">8.25701</td> </tr> <tr> <td data-bbox="304 898 517 987">Momento de reacción(N.m)</td> <td data-bbox="517 898 703 987">0</td> <td data-bbox="703 898 895 987">0</td> <td data-bbox="895 898 1086 987">0</td> <td data-bbox="1086 898 1294 987">0</td> </tr> </tbody> </table>			Componentes	X	Y	Z	Resultante	Fuerza de reacción(N)	0.00993556	-8.25699	-0.0137049	8.25701	Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0
Componentes	X	Y	Z	Resultante													
Fuerza de reacción(N)	0.00993556	-8.25699	-0.0137049	8.25701													
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0													
Rodillo/Control deslizante-1		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Tipo:</b> Rodillo/Control deslizante															
<b>Fuerzas resultantes</b> <table border="1" data-bbox="304 1391 1294 1693"> <thead> <tr> <th data-bbox="304 1391 517 1435">Componentes</th> <th data-bbox="517 1391 703 1435">X</th> <th data-bbox="703 1391 895 1435">Y</th> <th data-bbox="895 1391 1086 1435">Z</th> <th data-bbox="1086 1391 1294 1435">Resultante</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="304 1458 517 1547">Fuerza de reacción(N)</td> <td data-bbox="517 1458 703 1547">0.0137227</td> <td data-bbox="703 1458 895 1547">940.514</td> <td data-bbox="895 1458 1086 1547">-0.00363374</td> <td data-bbox="1086 1458 1294 1547">940.514</td> </tr> <tr> <td data-bbox="304 1570 517 1659">Momento de reacción(N.m)</td> <td data-bbox="517 1570 703 1659">0</td> <td data-bbox="703 1570 895 1659">0</td> <td data-bbox="895 1570 1086 1659">0</td> <td data-bbox="1086 1570 1294 1659">0</td> </tr> </tbody> </table>			Componentes	X	Y	Z	Resultante	Fuerza de reacción(N)	0.0137227	940.514	-0.00363374	940.514	Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0
Componentes	X	Y	Z	Resultante													
Fuerza de reacción(N)	0.0137227	940.514	-0.00363374	940.514													
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0													

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<b>Entidades:</b> 5 cara(s), 1 plano(s) <b>Referencia:</b> Planta <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> ---, ---, -930 N
Gravedad-1		<b>Referencia:</b> Planta <b>Valores:</b> 0 0 -9.81 <b>Unidades:</b> m/s <sup>2</sup>

### Información de malla

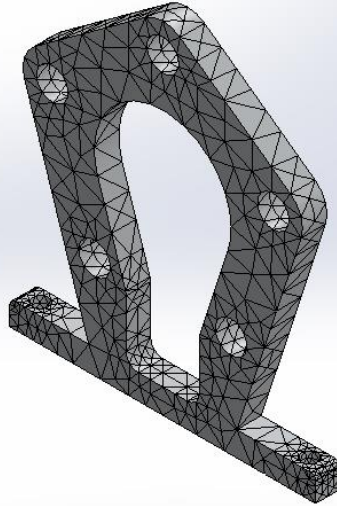
<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla basada en curvatura
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño máximo de elemento</b>	10 mm
<b>Tamaño mínimo del elemento</b>	2 mm
<b>Trazado de calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden

### Información de malla - Detalles

<b>Número total de nodos</b>	5269
<b>Número total de elementos</b>	2683
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	5.4245
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	97.4
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	0
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>	0
<b>Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):</b>	00:00:03

Nombre de computadora:

Nombre del modelo: soporte rueda pletina\_optimizado  
Nombre de estudio: carga rueda-(Predeterminado-)  
Tipo de malla: Malla sólida



### Fuerzas resultantes:

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0.00993556	931.869	-0.0137049	931.869

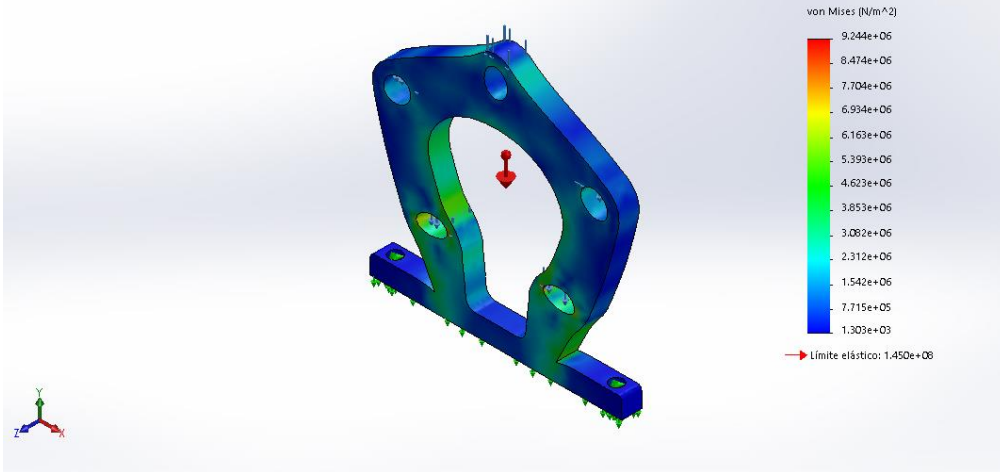
Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

### Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1.303e+03 N/m <sup>2</sup> Nodo: 72	9.244e+06 N/m <sup>2</sup> Nodo: 2827

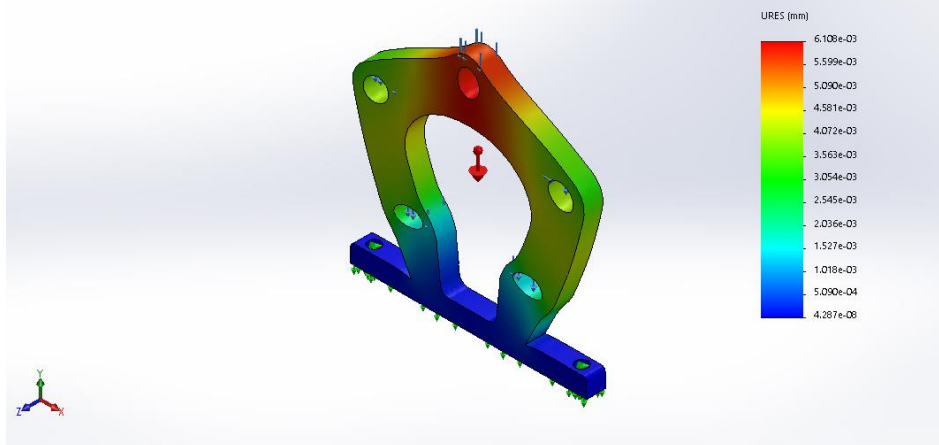
Nombre del modelo: soporte rueda pletina\_optimizado  
Nombre de estudio: carga rueda (Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
Escala de deformación: 2284.18



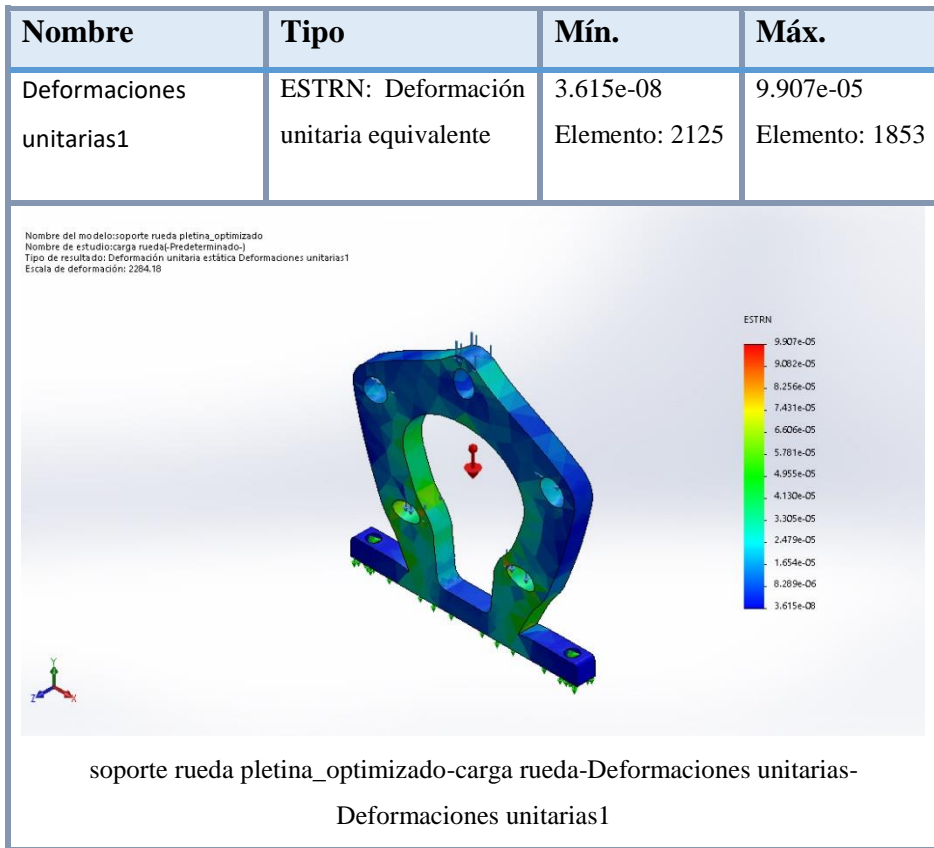
soporte rueda pletina\_optimizado-carga rueda-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	4.287e-08 mm Nodo: 161	6.108e-03 mm Nodo: 190

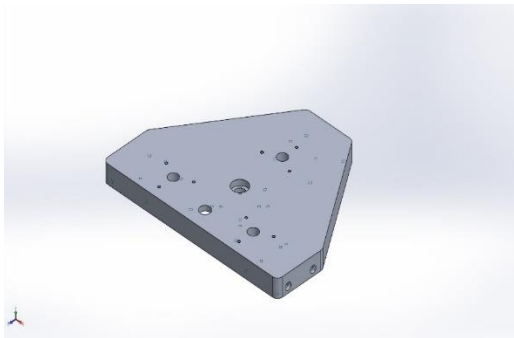
Nombre del modelo: soporte rueda pletina\_optimizado  
Nombre de estudio: carga rueda (Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 2284.18



soporte rueda pletina\_optimizado-carga rueda-Desplazamientos-Desplazamientos1



### 3.3. Estudio CAE base de referencia



#### Simulación de Base de referencia

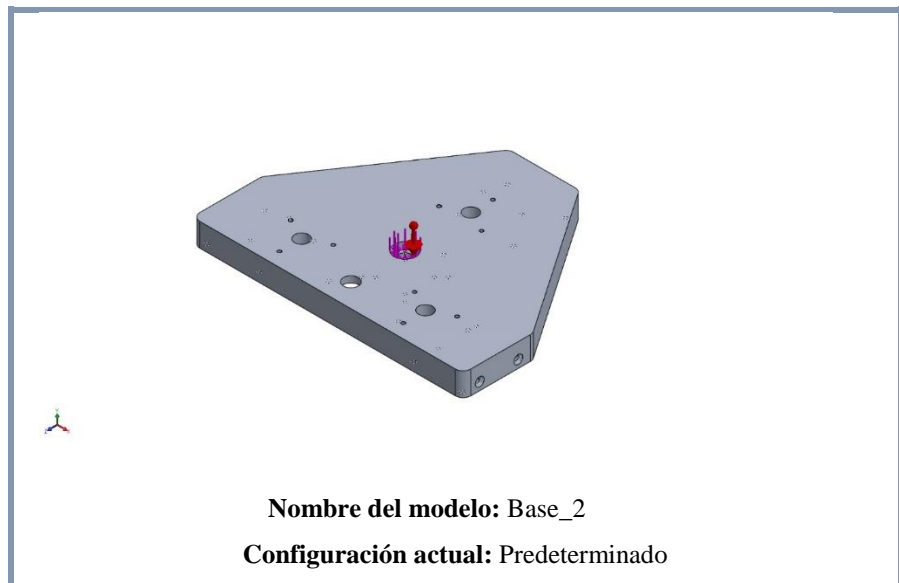
**Fecha:** sábado, 20 de noviembre de 2021

**Diseñador:** David Rius

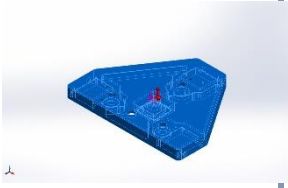
**Nombre de estudio:** Análisis carga

**Tipo de análisis:** Análisis estático

## Información de modelo



### Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas
Redondeo10 	Sólido	Masa:3.22371 kg Volumen:0.00119397 m <sup>3</sup> Densidad:2700 kg/m <sup>3</sup> Peso:31.5924 N

## Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Análisis carga
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus

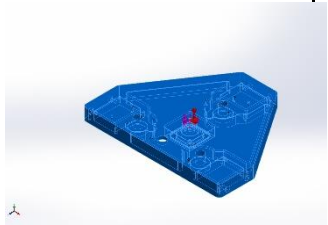


<b>Efecto de rigidización por tensión (Inplane):</b>	Desactivar
<b>Muelle blando:</b>	Desactivar
<b>Desahogo inercial:</b>	Desactivar
<b>Opciones de unión rígida incompatibles</b>	Automático
<b>Gran desplazamiento</b>	Desactivar
<b>Calcular fuerzas de cuerpo libre</b>	Activar
<b>Fricción</b>	Desactivar
<b>Utilizar método adaptativo:</b>	Desactivar
<b>Carpeta de resultados</b>	Documento de SOLIDWORKS (D:\universitat\MDF\TFM\3-Final\modelo)

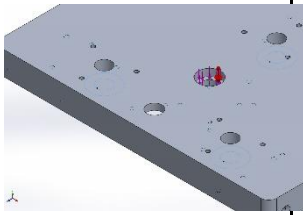
## Unidades

<b>Sistema de unidades:</b>	Métrico (MKS)
<b>Longitud/Desplazamiento</b>	mm
<b>Temperatura</b>	Kelvin
<b>Velocidad angular</b>	Rad/seg
<b>Presión/Tensión</b>	N/m <sup>2</sup>

## Propiedades de material

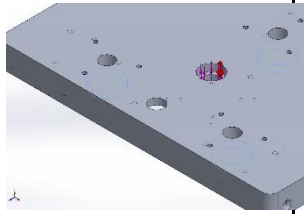
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p><b>Nombre:</b> 6063-T5</p> <p><b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal</p> <p><b>Criterio de error predeterminado:</b> Desconocido</p> <p><b>Límite elástico:</b> 1.45e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Límite de tracción:</b> 1.85e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Módulo elástico:</b> 6.9e+10 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.33</p> <p><b>Densidad:</b> 2700 kg/m<sup>3</sup></p> <p><b>Módulo cortante:</b> 2.58e+10 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de dilatación térmica:</b> 2.3e-05 /Kelvin</p>	<p>Sólido</p> <p>1(Redondeo10)(Base_2)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		

## Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
<p>Rodillo/Control deslizante</p> <p>-1</p>		<p><b>Entidades:</b> 3 cara(s)</p> <p><b>Tipo:</b> Rodillo/Control deslizante</p>

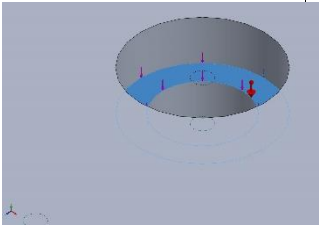
<b>Fuerzas resultantes</b>				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0	970.351	0	970.351
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

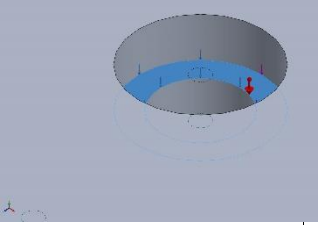
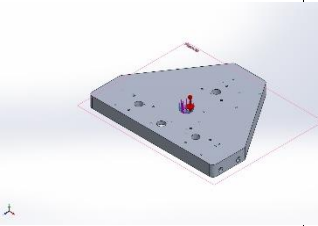
  

Sobre caras cilíndricas-1		<b>Entidades:</b> 3 cara(s)
		<b>Tipo:</b> Sobre caras cilíndricas
		<b>Traslación:</b> 0, 0 rad., ---
		<b>Unidades:</b> mm

<b>Fuerzas resultantes</b>				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0.00454605	0	-0.00362206	0.00581256
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Carga rueda		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 930 N

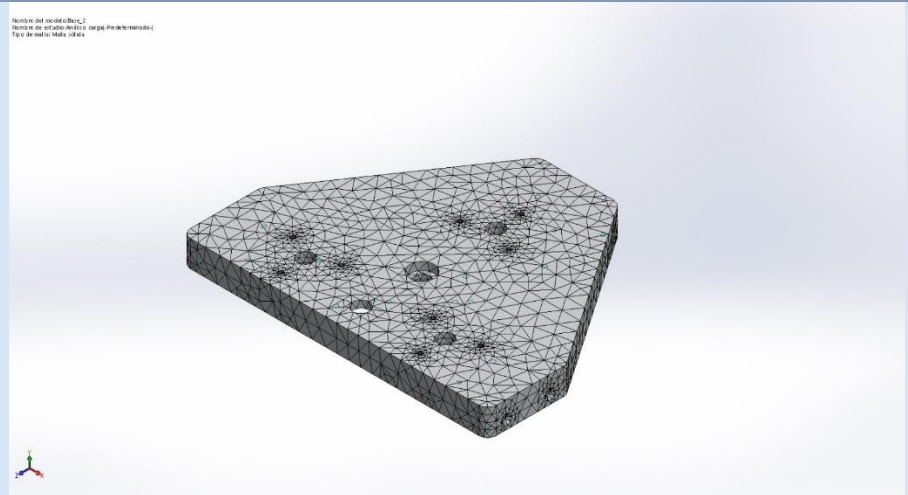
Fuerza- 2		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 8.7309 N
Gravedad- d-1		<b>Referencia:</b> Planta <b>Valores:</b> 0 0 -9.81 <b>Unidades:</b> m/s <sup>2</sup>

### Información de malla

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla basada en curvatura
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño máximo de elemento</b>	15 mm
<b>Tamaño mínimo del elemento</b>	3 mm
<b>Trazado de calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden

### Información de malla - Detalles

<b>Número total de nodos</b>	158796
<b>Número total de elementos</b>	102492
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	87.043
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	88.3
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	0.347
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>	0

<b>Tiempo para completar la malla (hh;mm;ss):</b>	00:00:47
<b>Nombre de computadora:</b>	
	

### Fuerzas resultantes

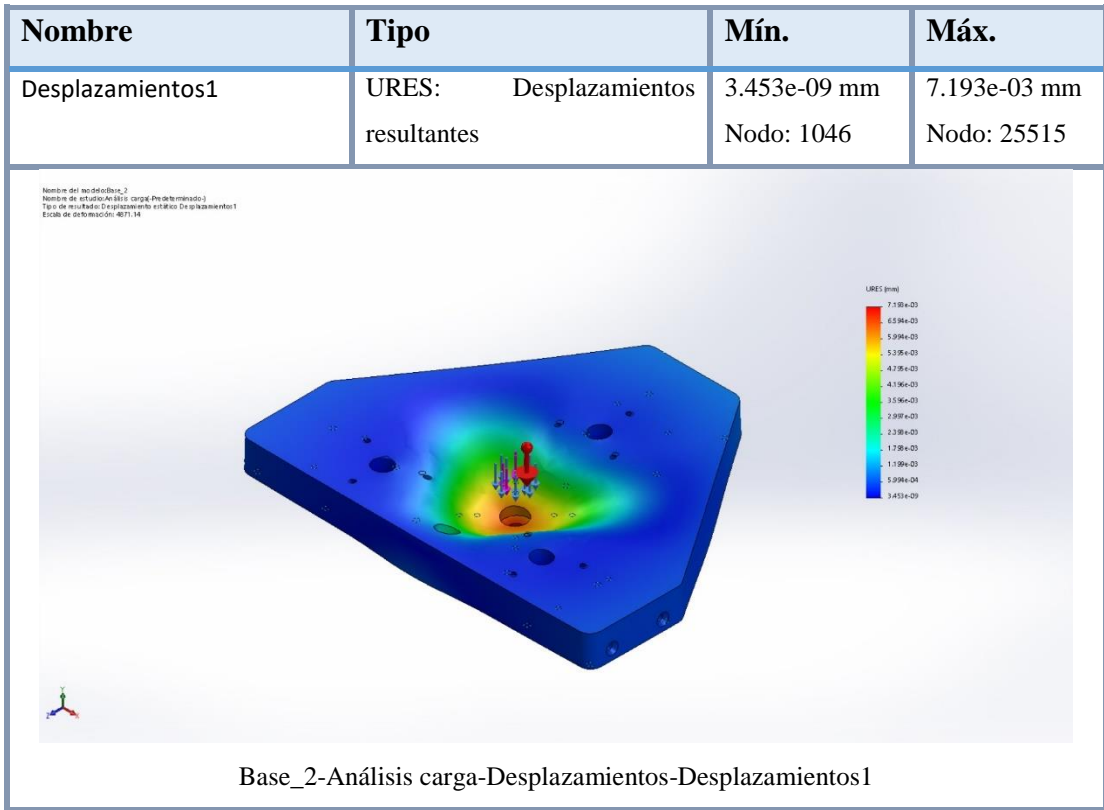
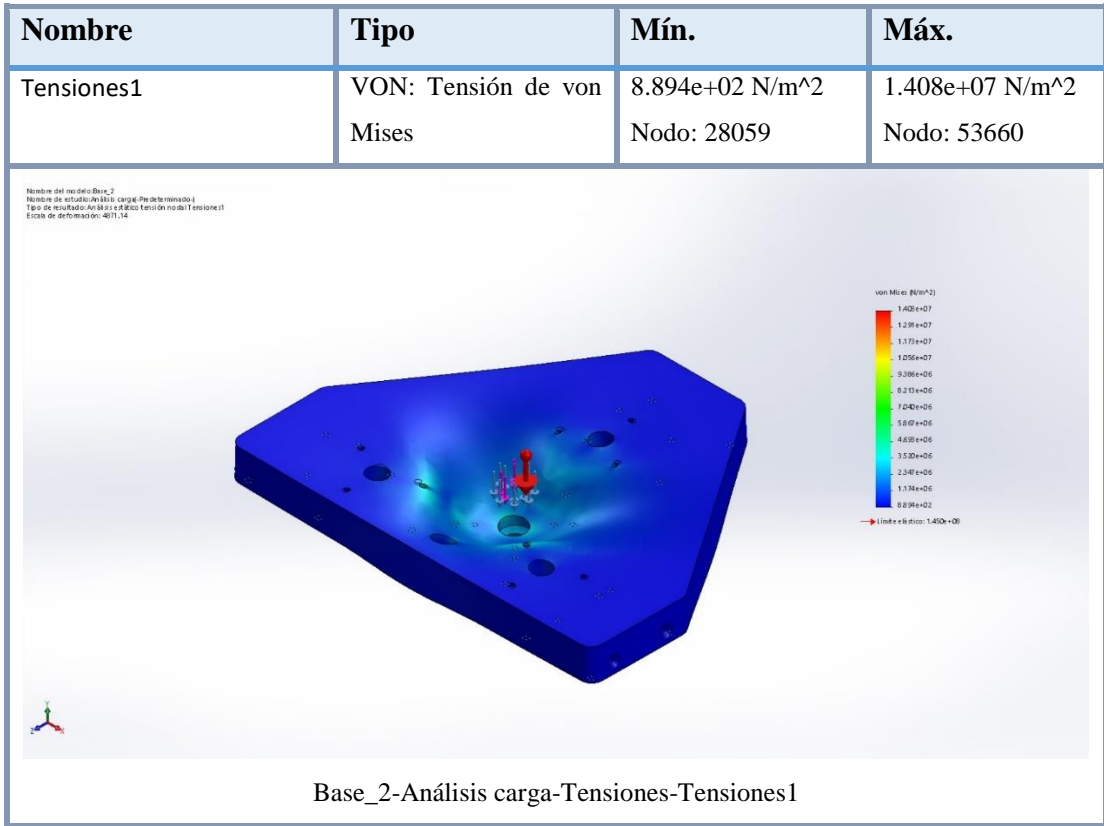
Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0.00454605	970.351	-0.00362206	970.351

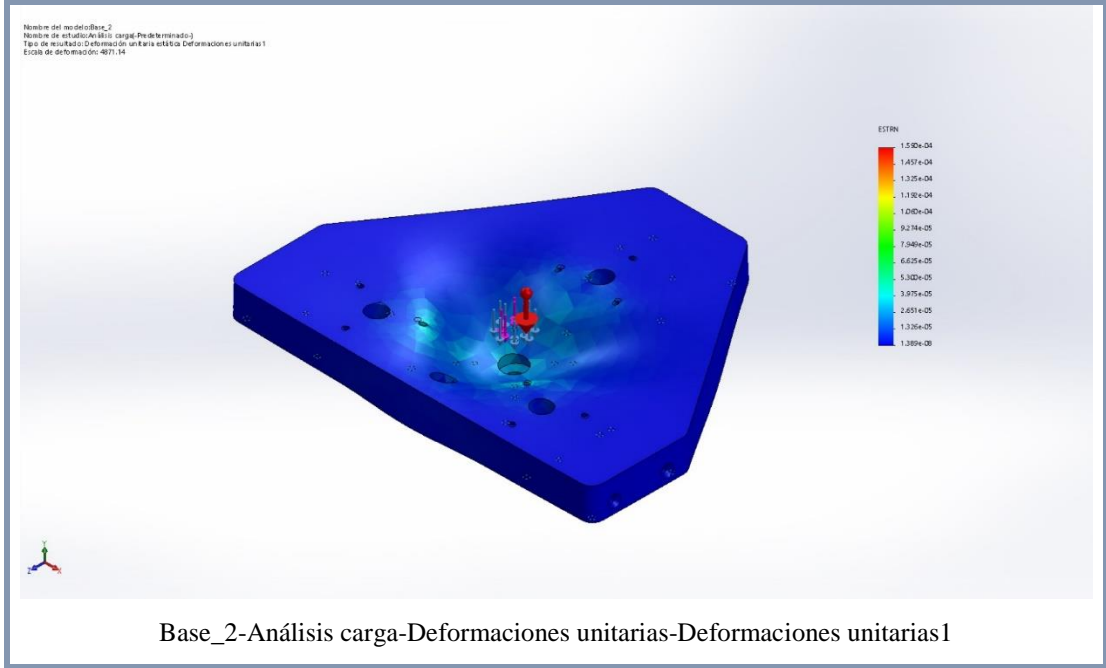
Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

### Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1.389e-08 Elemento: 65556	1.590e-04 Elemento: 20121



# PRESUPUESTO



## Índice

Índice.....	97
1 Componentes comerciales.....	98
2 Componentes mecanizados .....	99
3 Componentes impresión 3D.....	100
4 Presupuesto montaje .....	100
5 Resumen presupuesto.....	101

El presupuesto de la máquina se divide entre materiales comerciales y las piezas a mecanizar. Además, también se va a estimar el tiempo de montaje necesario para la máquina y todos los componentes.

## 1. Componentes comerciales

En este apartado se va a mostrar el precio de todos los componentes comerciales que forman la máquina. Estos componentes son los que no necesitan ningún mecanizado y se montan directamente en la máquina.

<i>Descripción</i>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio/unidad (€)</b>	<b>Precio Total (€)</b>
<i>Arandela DIN125 – M2</i>	12	0.0085	0.102
<i>Arandela DIN125 – M3</i>	3	0.0101	0.0303
<i>Arandela DIN125 – M4</i>	4	0.01	0.04
<i>Arandela DIN125 – M6</i>	2	0.01	0.02
<i>Arandela DIN127 – M2</i>	6	0.0283	0.1698
<i>Tornillo DIN912 – M2x5</i>	12	0.115	1.38
<i>Tornillo DIN912 – M3x10</i>	9	0.03	0.27
<i>Tornillo DIN912 – M4x10</i>	8	0.03	0.24
<i>Tornillo DIN912 – M4x20</i>	6	0.05	0.3
<i>Tornillo DIN912 – M5x10</i>	9	0.07	0.63
<i>Tornillo DIN912 – M5x15</i>	4	0.23	0.92
<i>Tornillo DIN912 – M6x20</i>	2	0.04	0.08
<i>Tornillo DIN7991 – M3x5</i>	3	0.0818	0.2454
<i>Tornillo DIN7991 – M5x12</i>	1	0.07	0.07
<i>Tornillo ISO7380 A –M4x10</i>	27	0.03	0.81
<i>Inserto roscado – M2</i>	6	0.16	0.96
<i>Chaveta DIN6885 5x5 L10</i>	2	0.15	0.3
<i>Seeger DIN471 Ø12</i>	2	0.027	0.054
<i>Rodamiento 6000-2RSH</i>	2	2.19	4.38
<i>Rodamiento axial 51102</i>	1	14.01	14.01
<i>Rodamiento W-6002-2RS1</i>	1	23.16	23.16
<i>Rodamiento 61904-2RS1</i>	6	15.03	90.18
<i>Tuerca KM 1</i>	1	4.53	4.53

<i>Arandela MB 1</i>	1	1.57	1.57
<i>Motor paso a paso NEMA 14</i>	3	18.55	55.65
<i>Polea GT2 20T</i>	3	3.53	10.59
<i>Polea GT2 60 T</i>	3	5.35	16.05
<i>Correa GT2 L=190mm</i>	3	3.75	11.25
<i>Barra rosca M10x190</i>	3	0.75	2.25
<i>Pie de nivelación GN 343-01</i>	3	7	21
<i>Tórica encoder horizontal</i>	2	1.25	2.5
<i>Tórica encoder vertical</i>	1	1.8	1.8
<i>Sensor encoder magnético</i>	2	77	154
<i>Sensor infrarrojos SHARP</i>	3	10.2	30.6
<i>Botón led 19mm</i>	1	11.25	11.25
		TOTAL	175 €

## 2. Componentes mecanizados

Para realizar el presupuesto de los componentes mecanizados de la máquina, se ha realizado una estimación de los tiempos de mecanizado por el volumen a eliminar desde el bruto de partida. La tasa de eliminación de material se ha definido como 50mm<sup>3</sup>/s. A continuación se va a detallar todos los precios de los componentes mecanizados.

<i>Nombre</i>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio por unidad (€)</b>	<b>Precio total (€)</b>
<i>001 – PLETINA SUJECCION</i>	1	34.52	34.52
<i>002 – BUJE HORIZONTAL</i>	1	20.52	20.52
<i>003 – EJE HORIZONTAL</i>	1	8.13	8.13
<i>004 – SOPORTE LATERAL ENCODER</i>	1	10.56	10.56
<i>005 – SOPORTE LATERAL</i>	1	9.78	9.78
<i>006 – PLACA HORIZONTAL</i>	1	23.4	23.4
<i>007 – EJE TOPE INCLINACIÓN</i>	2	7.66	15.32
<i>008 – TAPON EJE VERTICAL</i>	1	7.59	7.59
<i>009 – EJE VERTICAL</i>	1	10.62	10.62

<i>010 – BASE REFERENCIA</i>	1	244.1	244
<i>011 – TUERCA ELEVACION</i>	3	10.27	10.27
<i>012 – SEPARADOR ENCODER</i>	6	7.54	45.24
<i>013 – SUPLEMENTO ENCODER INFERIOR</i>	1	8.01	8.01
<i>014-SOPORTE MOTOR PASO A PASO</i>	3	19.03	57.09
		TOTAL	505.05 €

### 3. Componentes impresión 3D

En este apartado se ha realizado el detalle de costes de las piezas que se van a fabricar por impresión 3D, cómo se puede ver en la siguiente tabla.

<i>Nombre</i>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio por unidad (€)</b>	<b>Precio total (€)</b>
<i>014 – CUBRE SOPORTE ENCODER</i>	1	12.56	12.56
<i>015 – CUBRE SOPORTE LATERAL</i>	1	7	7
<i>016 – CUBRE ELEVACIÓN</i>	3	24.43	73.29
<i>017 – CUBRE SUPERIOR HUSILLO</i>	3	18.63	55.89
<i>018 – CUBRE ENCODER VERTICAL</i>	1	15.95	15.95
		TOTAL	164.69

### 4. Presupuesto montaje

Para montar la máquina se va a estimar que el tiempo de montaje de cada uno de los cuatro conjuntos se va a tardar como máximo un día de trabajo, es decir 8 horas. Por lo tanto, para montar la máquina completa serán necesarias horas de montaje.

El precio será de 5 €/hora, según el convenio del metal de la comunidad valencia para un oficial de primera.

Así pues, el precio por el montaje de la máquina será de 160 €.

## 5. Resumen presupuesto

Finalmente, el presupuesto final para la máquina completa sería el indicado en la siguiente tabla.

<i>Descripción</i>	<b>Unidades</b>	<b>Precio por unidad (€)</b>	<b>Precio total (€)</b>
<i>Componentes comerciales</i>	4	175	700
<i>Componentes mecanizados</i>	4	505.05	2020.2
<i>Componentes impresión 3D</i>	4	164.69	658.76
<i>Montaje</i>	1	160	160
		<b>TOTAL</b>	<b>3538.96 €</b>

# PLIEGO DE CONDICIONES

## Índice

Índice.....	103
1. Disposiciones generales .....	104
1.1 Objetivo .....	104
1.2 Documentación del proyecto.....	104
1.3 Compatibilidad y relación entre documentos .....	105
2. Condiciones técnicas.....	106
2.1 Componentes fabricados .....	106
2.2 Componentes comerciales .....	106
3. Condiciones de garantía .....	106
3.1 Garantía de la máquina.....	106
3.2 Garantía de elementos comerciales .....	107
3.3 Control de calidad .....	107
4. Condiciones legales.....	107
4.1 Mercado CE.....	107
4.2 Normativa aplicable .....	107

# 1. Disposiciones generales

El presente Pliego de Condiciones Generales tiene como finalidad la regulación de las condiciones técnicas, facultativas, económicas y legales que deben ser tomadas en cuenta para la correcta realización del proyecto “**Máquina portátil de medición de alineación de dirección para Formula Student**”.

## 1.1. Objetivo

El objeto del Pliego de Condiciones es proporcionar una base a la realización del proyecto con los detalles que se esgrimen en la Memoria, sus anexos, Presupuesto y Planos que se encuentran en este documento.

## 1.2. Documentación del proyecto

En el presente proyecto se pueden encontrar los siguientes documentos:

- Documento 1. ÍNDICE GENERAL

Es la referencia a todos los documentos que forman el conjunto del proyecto. Sirve para indicar la página específica para localizar los contenidos, así como, mostrar el esquema global que se ha seguido.

- Documento 2. MEMORIA

Es el documento donde se encuentra la información imprescindible para que el global del proyecto sea entendido. Es donde son definidos los objetivos, el proceso de diseño y la solución final que se ha conseguido.

- Documento 3. ANEXOS

Los anexos están formados por el método para hallar el diseño óptimo del proyecto según los objetivos definidos, así como también los cálculos que definen los componentes de la máquina. Por último, en este documento está presente toda la documentación referente a los estudios de elementos finitos realizados con el programa *Solidworks*.

- Documento 4. PRESUPUESTO

El presupuesto es un documento de orientación que sirve para tener una idea del coste que tendría el proyecto.



- Documento 5. PLIEGO DE CONDICIONES

Este documento regula las normas de comportamiento para la realización, desde el punto de vista técnico, facultativo, económico y legal entre los agentes del proyecto que intervienen en la ejecución del mismo

- Documento 6. PLANOS

Este documento contiene todos los planos técnicos para llevar a cabo la fabricación del proyecto. Estos definen de forma correcta, tanto gráficamente como geoméricamente la información imprescindible de cada una de las piezas a ejecutar.

Por otro lado, los documentos presentes en el contrato y que son de obligado cumplimiento, es lo que se conoce como documentos contractuales. En el proyecto, son los siguientes documentos:

- ANEXOS
- PLANOS
- PLIEGO DE CONDICIONES
- PRESUPUESTO

Los documentos que no están presentes en la lista anterior son documentos informativos.

### **1.3. Compatibilidad y relación entre documentos**

El proyecto está definido por el conjunto de documentos que se ha comentado anteriormente, todos ellos son compatibles y se complementan entre ellos también. En un principio, únicamente con la información presente en ANEXOS, PLANOS y PLIEGO DE CONDICIONES, debería ser suficiente para poder ejecutar el proyecto completamente.

La prioridad entre los documentos va a depender de las condiciones que se vayan a considerar. Desde el punto de vista técnico el orden sería MEMORIA, seguido de los ANEXOS y PLANOS. Mientras que desde el punto de vista legal el documento de referencia será el PLIEGO DE CONDICIONES.

## **2. Condiciones técnicas**

El pliego de condiciones técnicas tiene por objeto poner a disposición del Contratista la información necesaria para poder fabricar todos los elementos y sus características.

Cualquier punto que no esté señalado en este punto, el Pliego de Condiciones general será el documento a referenciar.

### **2.1. Componentes fabricados**

La información referente al material de cada una de las piezas estará especificado en cada plano de fabricación respectivamente. Así también, el proceso de fabricación deberá ser aquel que asegure las tolerancias que se encuentran en cada plano indicadas.

### **2.2. Componentes comerciales**

Los componentes comerciales deben ser acordes a la hoja técnica de cada uno de ellos y fabricado con los materiales ahí indicados. Si en algún momento se detecta algún material que no cumpla los certificados de calidad o sea una pieza defectuosa es responsabilidad del proveedor la sustitución de dicha pieza.

## **3. Condiciones de garantía**

### **3.1. Garantía de la máquina**

El fabricante ofrece dos años de garantía desde el momento de la recepción de la máquina o desde su instalación. Si se observara algún defecto o fallo en el funcionamiento o diseño de la máquina a causa de una avería proveniente de fábrica, el coste de la revisión, reparación, fabricación y/o remplazo de la máquina o alguna de sus piezas estaría incluido dentro de la garantía, y el fabricante se haría responsable de los gastos económicos, siempre y cuando esté dentro del periodo establecido de dos años de garantía.

Respecto al proceso de instalación de la máquina, el proveedor ofrecerá servicio de asistencia técnica a cargo de profesionales cualificados para dicho trabajo. Independientemente de si son empleados de la empresa o subcontratados a terceros. No obstante, será necesario acordar y añadir los costes de esta asistencia al precio inicial de la oferta, ya que este no los incluye.

Finalmente, la terminación de la garantía estará en función del periodo temporal descrito previamente, así como de las posibles ampliaciones temporales de este periodo

ante posibles fallos en el funcionamiento de la máquina o dificultades durante el proceso de instalación.

### **3.2. Garantía de elementos comerciales**

Esta garantía es ofrecida por el proveedor de los elementos comerciales y siempre será igual o superior a 2 años, al igual que la máquina.

### **3.3. Control de calidad**

Se establece el compromiso por parte del fabricante de la máquina, a la hora de planificar y llevar a cabo los controles de calidad necesarios. Incluyendo la supervisión y revisión de sus elementos, así como de todo el conjunto completo. Si se diera el caso de un bajo funcionamiento debido a una pobre calidad de los materiales, será el fabricante quien se responsabilice de las cargas económicas consecuentes. Asimismo, el fabricante tendrá que disponer de los certificados de calidad adecuados de los componentes comerciales. Finalmente, para confirmar la apropiada fabricación y el buen funcionamiento de la máquina, todos los componentes y piezas, junto a la máquina en su conjunto, serán sometidos a un control dimensional y a las pruebas necesarias.

## **4. Condiciones legales**

### **4.1. Mercado CE**

A través del pliego de condiciones se asegura la seguridad de los clientes y los empleados que la fabricarán. Todo ello sustentado en la Directiva de Máquina. En el caso de que algún aspecto no estuviera integrado en esta, el proceso se regularía a través directrices y normas concretas en función del producto y sus propiedades.

El logotipo del mercado CE asegura que cualquier máquina fabricada en la Unión Europea ha pasado una serie de controles de calidad específicos de su campo y que, por tanto, además de cumplir los requisitos de seguridad, ningún país puede prohibir su libre circulación, distribución y puesta en el mercado por los países pertenecientes a la Unión.

### **4.2. Normativa aplicable**

Además, respecto a la seguridad general de máquina se han consultado las siguientes normas:

- UNE-EN 13861:2011 - Seguridad de las máquinas. Guía para la aplicación de las normas sobre ergonomía al diseño de máquinas.

- UNE-EN ISO 12100:2012 - Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo. - Directiva de Seguridad de Máquinas 2006/42/CE

- UNE-EN 954-1 - Seguridad de las máquinas. Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad. Parte 1: Principios generales para el diseño.

- UNE-EN 981 - Seguridad de las máquinas. Sistema de señales de peligro y de información auditiva y visual.

- Directiva de Baja Tensión 2006/95/CE.

- Certificación de calidad ISO 9001.

- Certificación ISO 14001 sobre el sistema de gestión medioambiental.

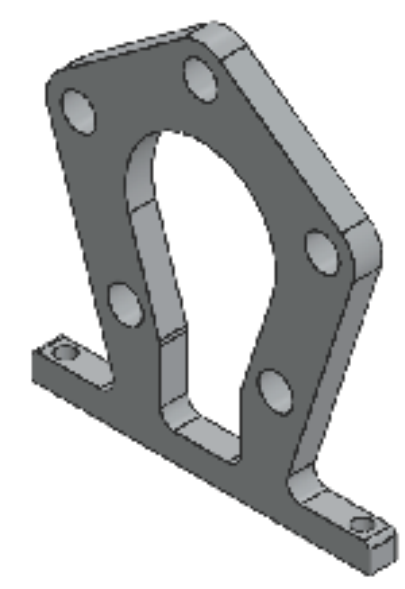
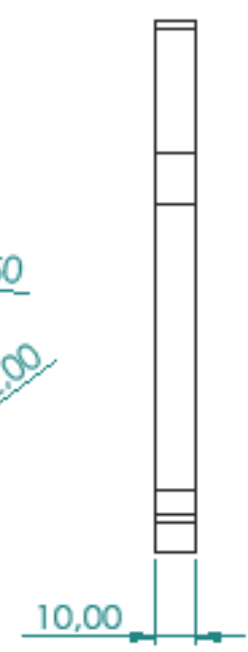
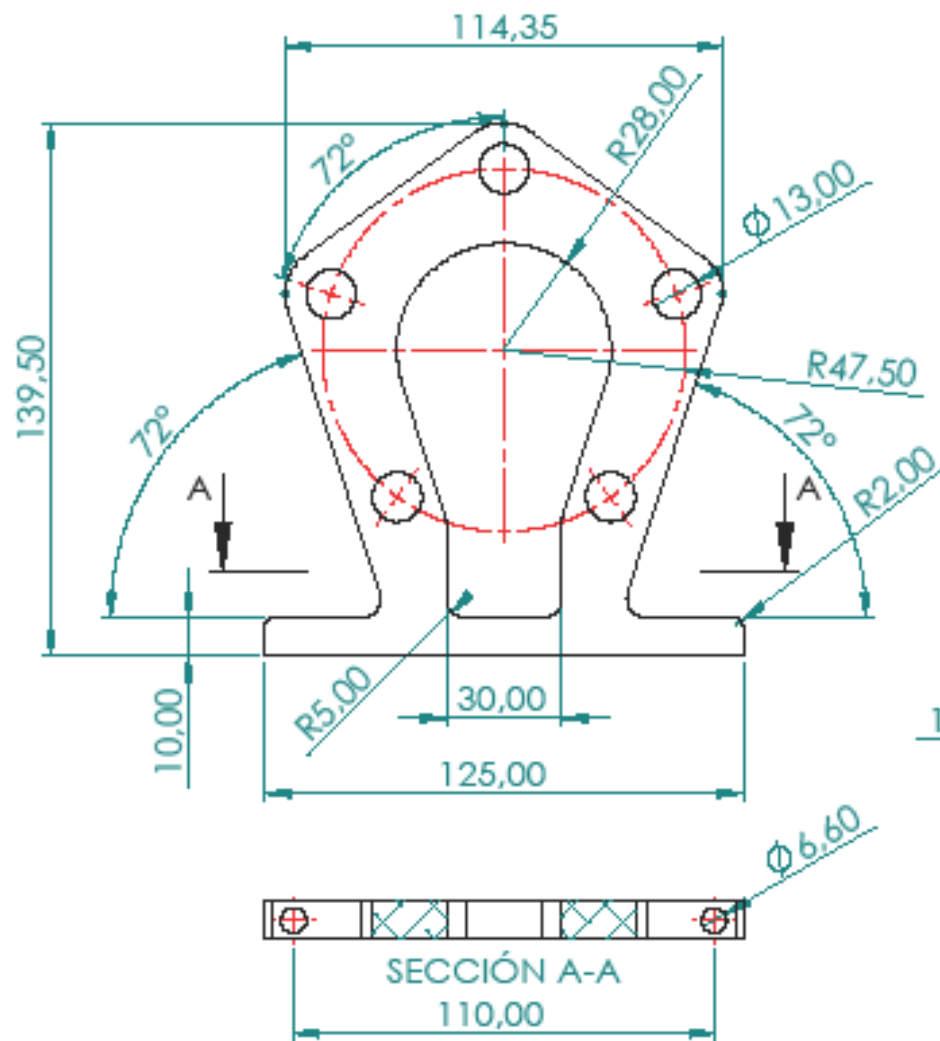
- Real Decreto 1338/1984 del 4 de julio, medidas de seguridad en entidades y emplazamientos públicos y privados.

Para una correcta realización del proyecto se debe consultar la última versión de las normas y directivas citadas. En caso de discrepancia o contradicción entre normas se aplicará la más restrictiva y actualizada.

# PLANOS

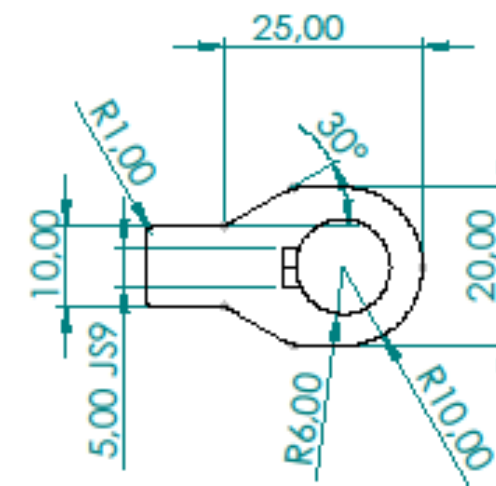
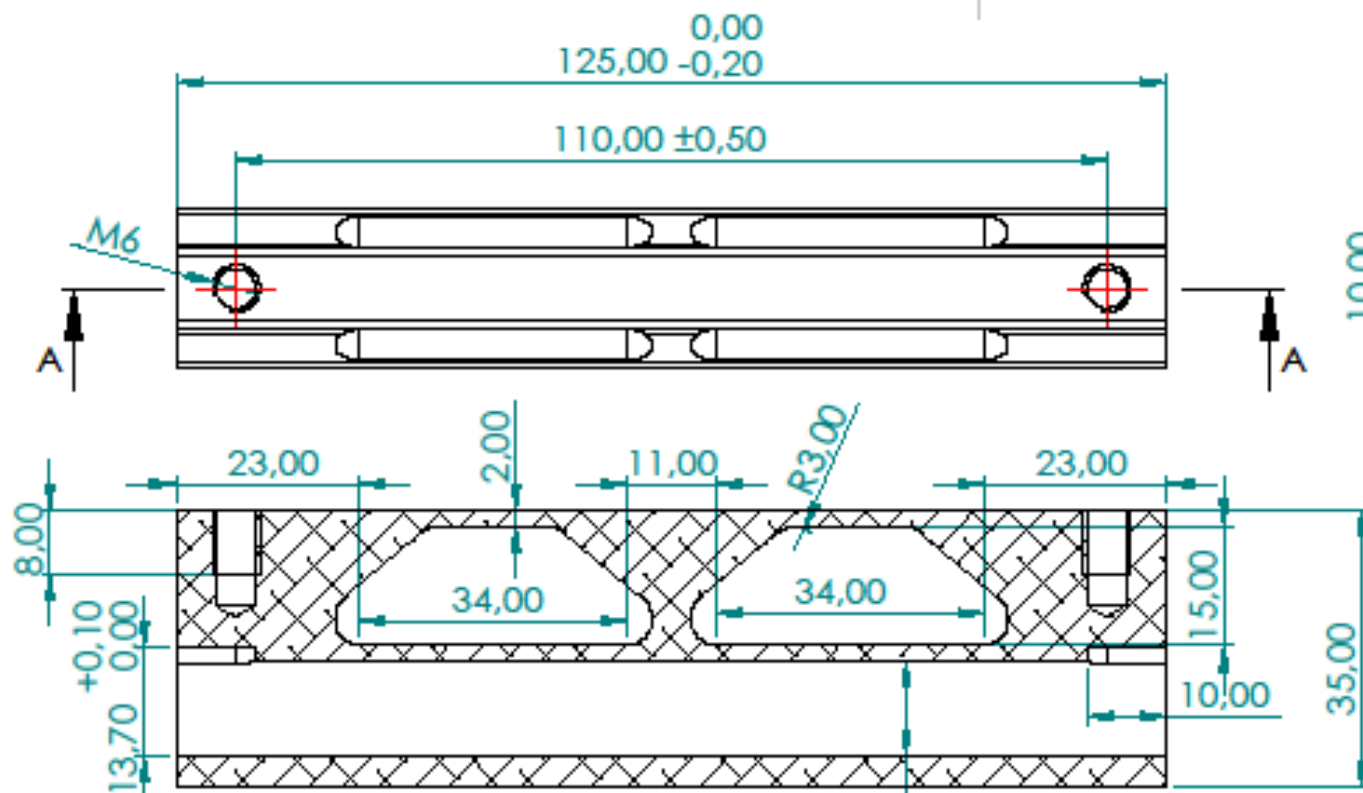
## ÍNDICE

Índice.....	110
Plano 001.....	111
Plano 002.....	112
Plano 003.....	113
Plano 004.....	114
Plano 005.....	115
Plano 006.....	116
Plano 007.....	117
Plano 008.....	118
Plano 009.....	119
Plano 010.....	120
Plano 011.....	121
Plano 012.....	122
Plano 013.....	123

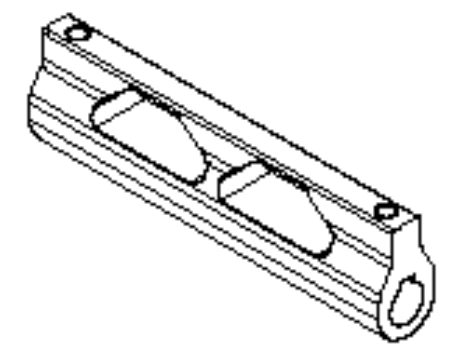


N.º DE ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	Longitud
1	1	Placa espesor 10mm - Aluminio 6063	139.5 x 125

Unidades: mm	Esc.: 1:2	Nombre	Fecha	Fecha impresión:	
Formato: A4	Dibujado:	DAVID RIUS	15-11-21	Tolerancia general ISO 2768 - FK	
Representación:	Revisado:				
	Modificado:			Nº pieza: 001	Material:
	Aprobado:				
	Título: PLETINA DE SUJECCION			Proyecto: MMA	
				Nº plano: 001	Rev:



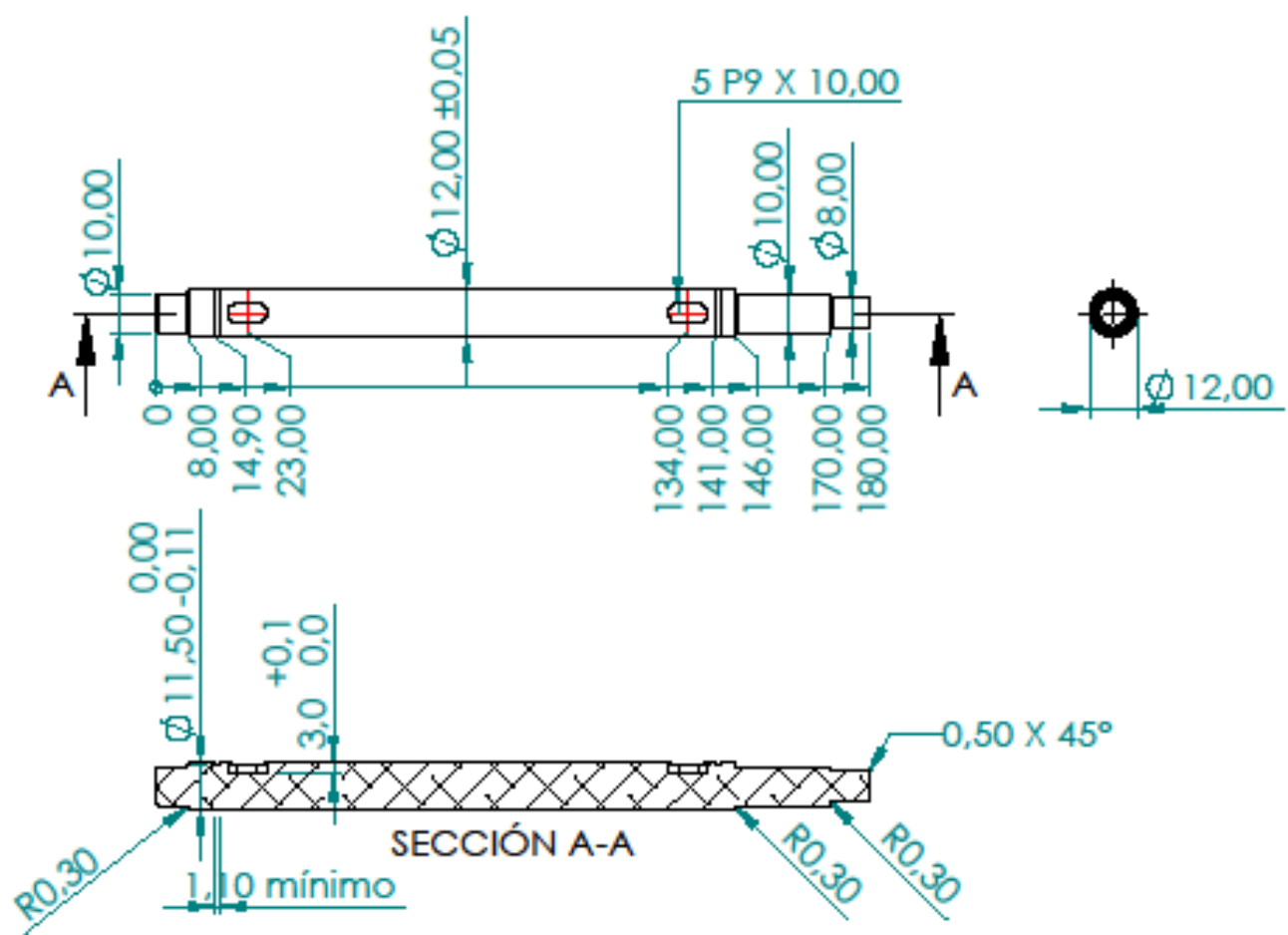
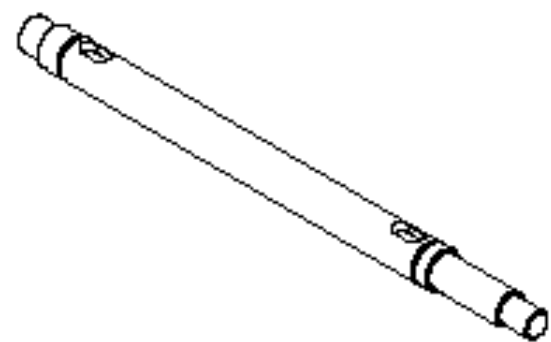
SECCIÓN A-A



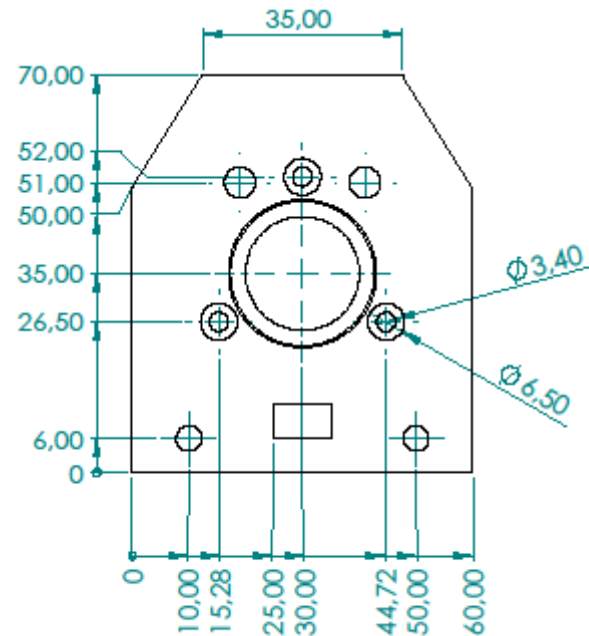
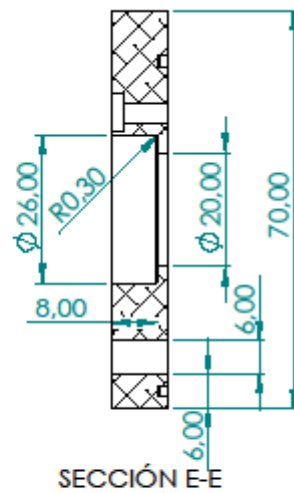
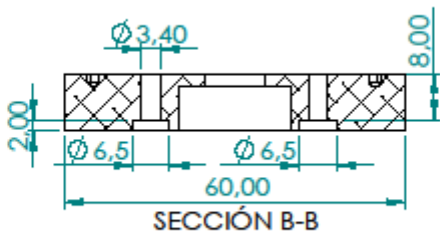
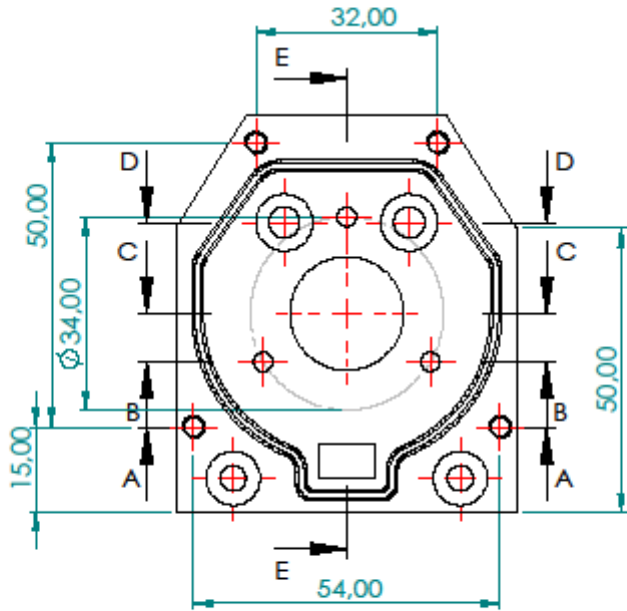
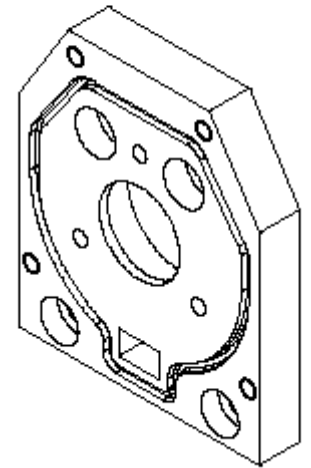
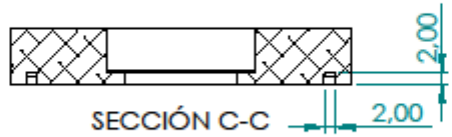
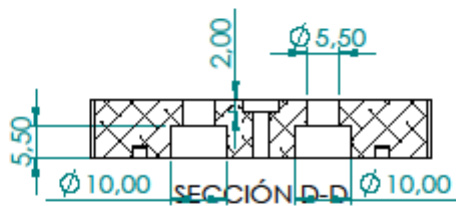
N.º DE ELEMENTO	CANTIDAD	Descripción	LONGITUD
1	1	Placa Aluminio 6063 - 20 esp.	35 x 125
Unidades: mm	Esc.: 1:1	Nombre	Fecha
Formato: A4	Dibujado: DAVID RIUS	15-11-21	Fecha Impresión:
Representación:	Revisado:	Tolerancia general ISO 2768 - FK	
	Modificado:	Nº pieza: 002	Materia:
	Aprobado:	002	Proyecto: MMA
Título: BUJE PLETINA DE SUJECCION		Nº plano: 002	Rev:

UNIVERSITAT JAUME I

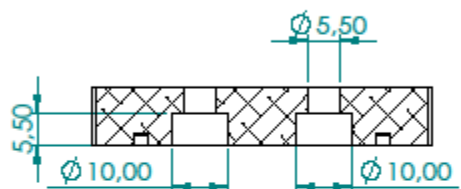




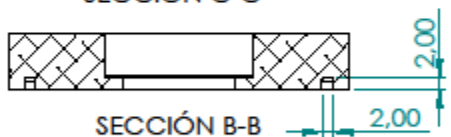
N.º DE ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	LONGITUD
1	1	BARRA ALUMINIO 6063 - Ø20	180
Unidades: mm	Esc.: 1:2	Nombre	Fecha
Formato: A4	Dibujado: DAVID RIUS	15-11-21	Fecha impresión:
Representación:	Revisado:		Tolerancia general ISO 2768 - FK
	Modificado:		Nº pieza: 003
	Aprobado:		Materia: MMA
UNIVERSITAT JAUME I	Título: EJE HORIZONTAL		Nº plano: 003
			Rev:



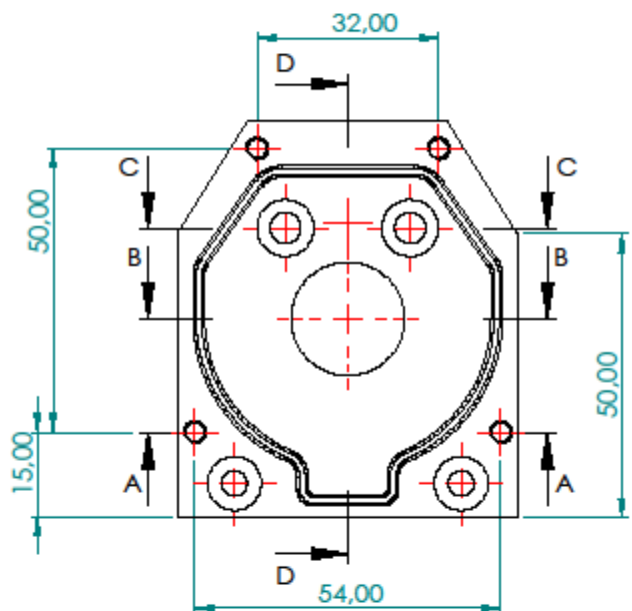
Unidades: mm	Esc.: 1:1	Nombre	Fecha	Fecha Impresión:
Formato: A3	Dibujado: DAVID RIUS	15-11-21	Tolerancia general ISO 2768 - FK	
Representación:	Revisado:		Nº pieza: 004	Materia:
	Modificada:			Proyecto: MMA
	Aprobado:			Nº plano: 004
<b>Título: SOPORTE LATERAL ENCODER</b>				



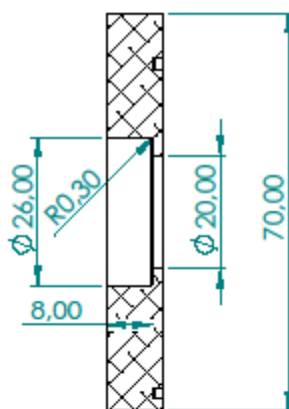
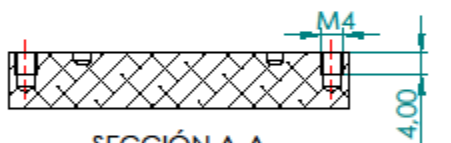
SECCIÓN C-C



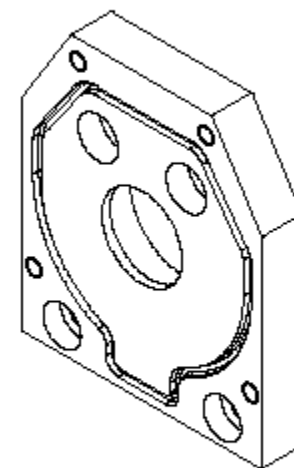
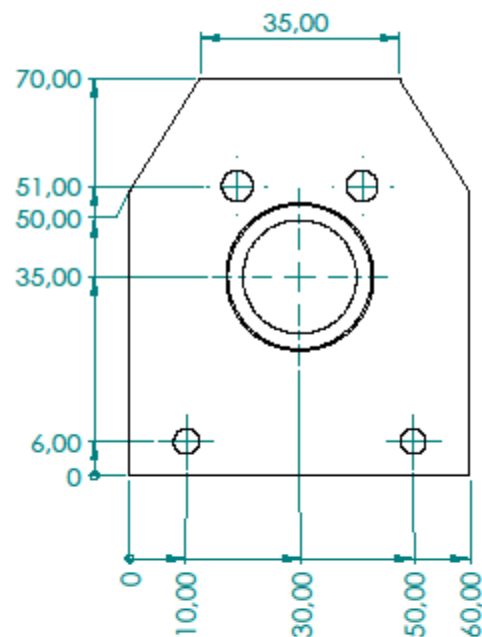
SECCIÓN B-B



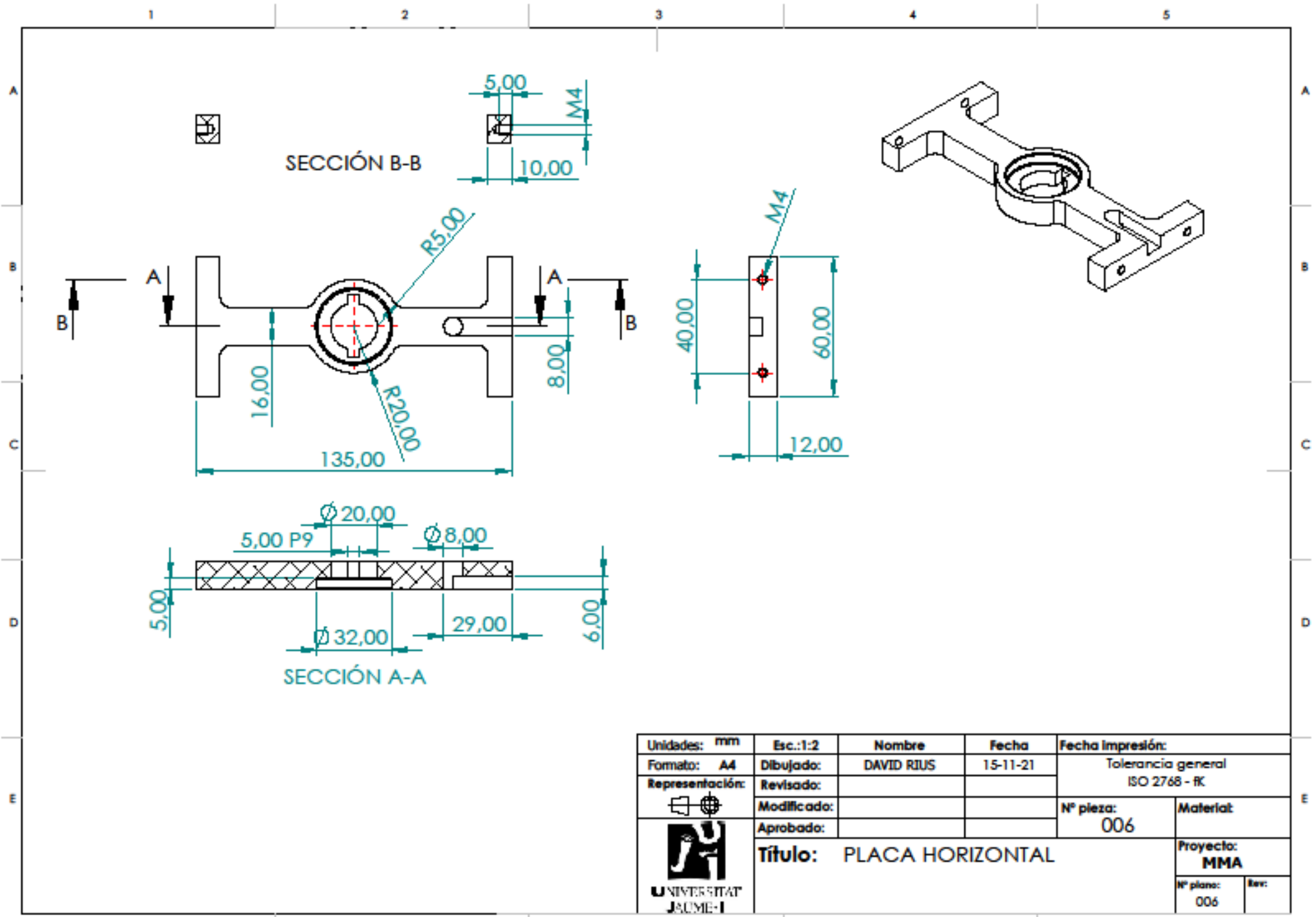
SECCIÓN A-A



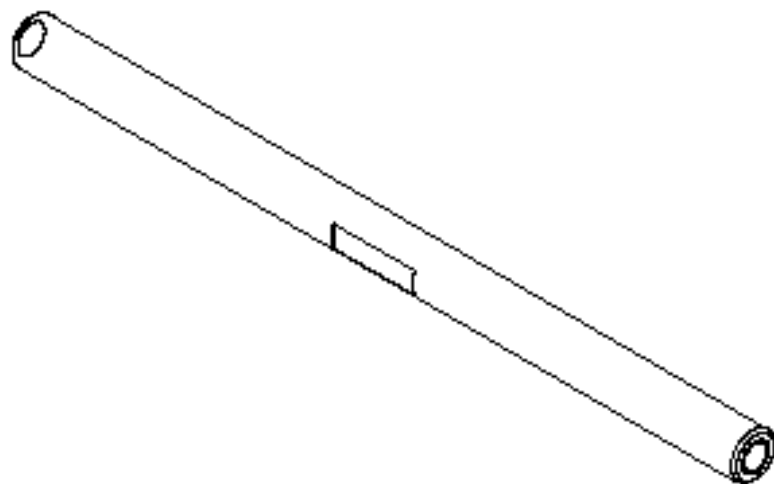
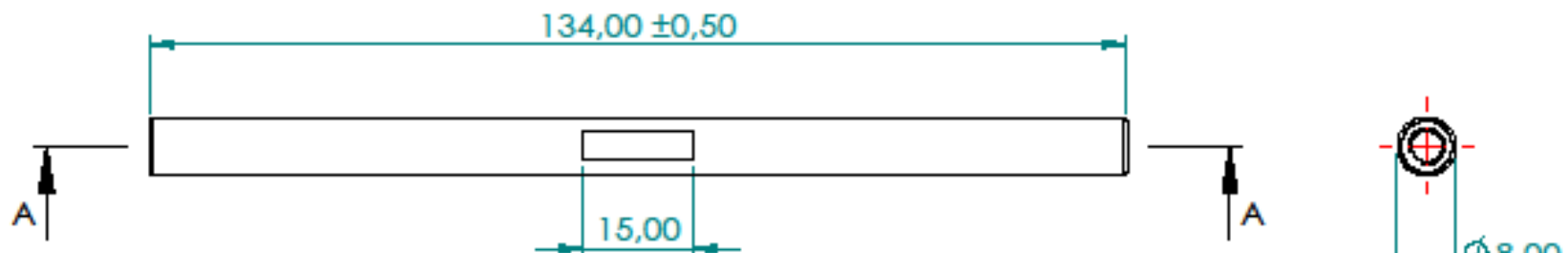
SECCIÓN D-D



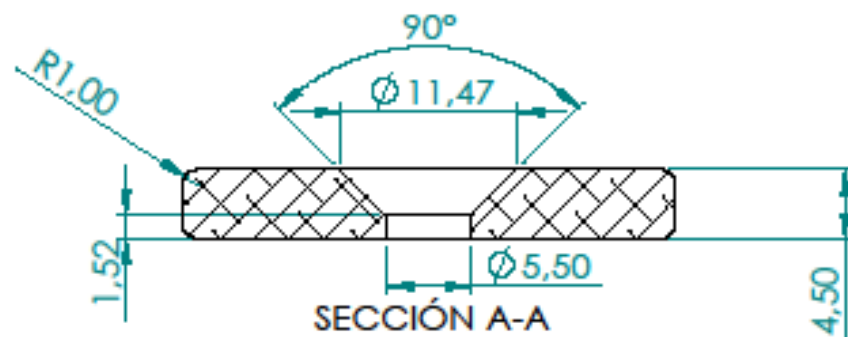
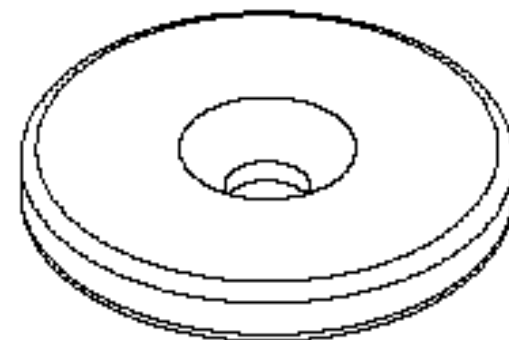
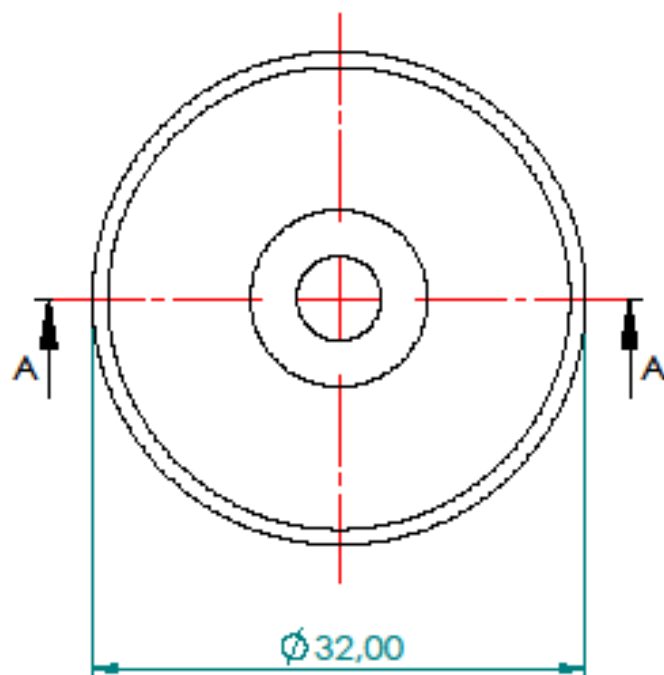
Unidades: mm	Esc.: 1:1	Nombre	Fecha	Fecha impresión:
Formato: A3	Dibujado:	DAVID RIJUS	15-11-21	Tolerancia general ISO 2768 - FK
Representación:	Revisado:			Nº pieza: 005
	Modificado:			Materia:
	Aprobado:			Proyecto: MMA
Título: SOPORTE LATERAL				Nº plano: 005
				Rev:



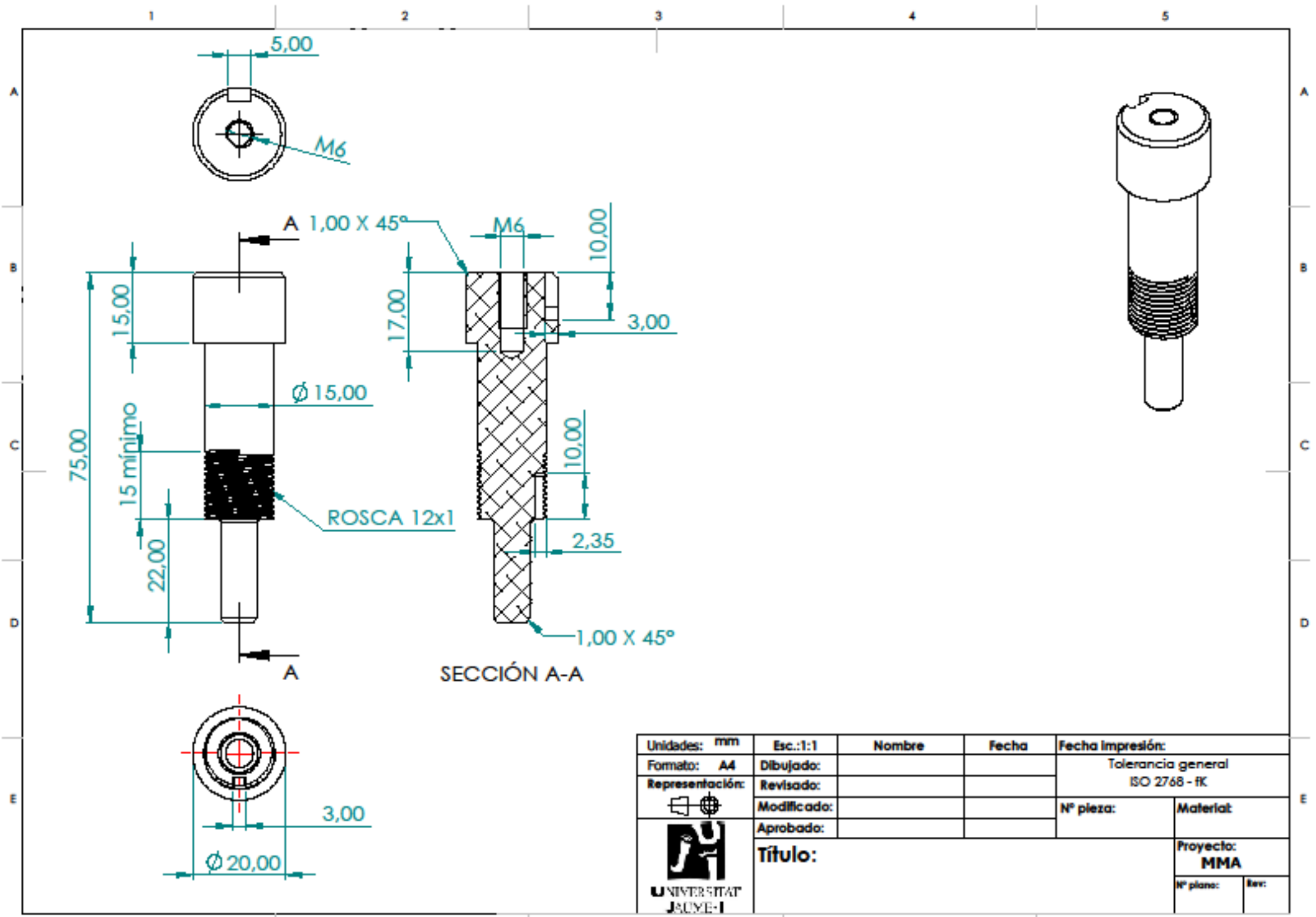
Unidades: mm	Esc.:1:2	Nombre	Fecha	Fecha Impresión:	
Formato: A4	Dibujado: DAVID RIUS	15-11-21	Tolerancia general ISO 2768 - FK		
Representación:	Revisado:			Nº pieza:	Materia:
	Modificado:			006	
	Aprobado:			Proyecto: MMA	
	Título: PLACA HORIZONTAL			Nº plano:	Rev:
UNIVERSITAT JAUME I				006	



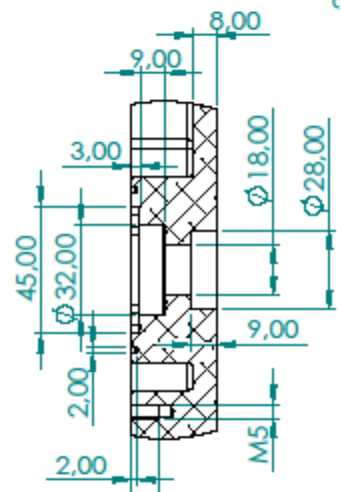
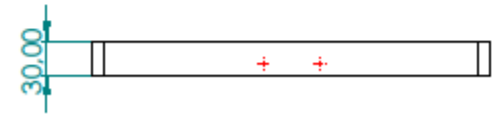
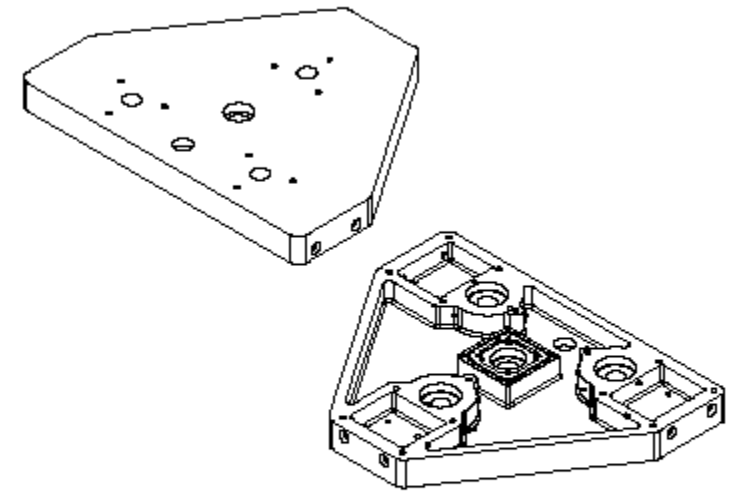
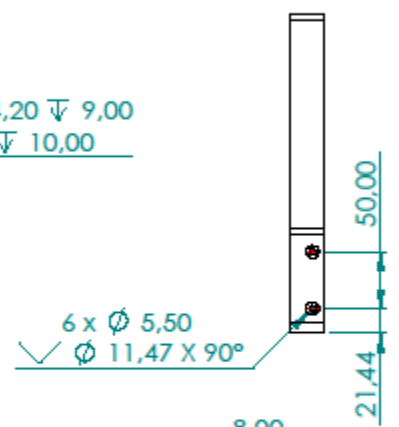
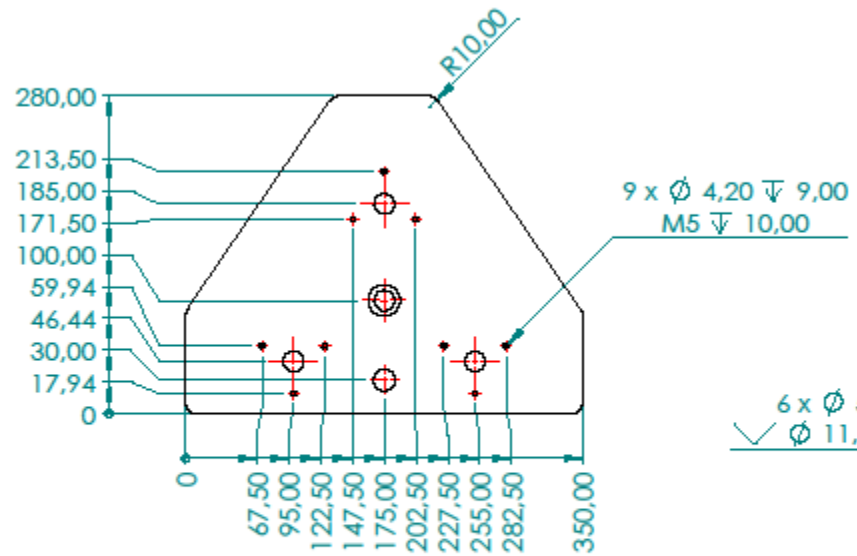
Unidades: mm	Esc.: 1:1	Nombre	Fecha	Fecha Impresión:	
Formato: A4	Dibujado: DAVID RIUS	15-11-21	Tolerancia general ISO 2768 - BK		
Representación:	Revisado:			Nº pieza:	Material:
	Modificado:			007	
 UNIVERSITAT JAUME I	Aprobado:			Proyecto: <b>MMA</b>	
	<b>Título: EJE TOPE INCLINACION</b>				Nº plano:
				007	



Unidades: mm	Esc.:2:1	Nombre	Fecha	Fecha Impresión:	
Formato: A4	Dibujado: DAVID RIUS	15-11-21	Tolerancia general ISO 2768 - FK		
Representación: 	Revisado:			Nº pieza: 008	Material:
	Modificado:				
	Aprobado:				
 UNIVERSITAT JAUME I	Título: TAPON EJE VERTICAL			Proyecto: MMA	
				Nº plano: 008	Rev:

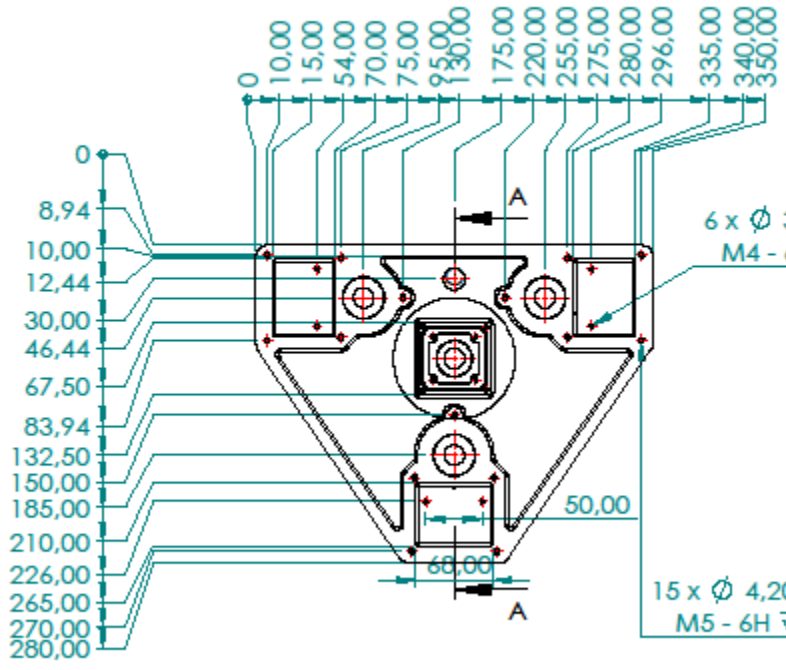
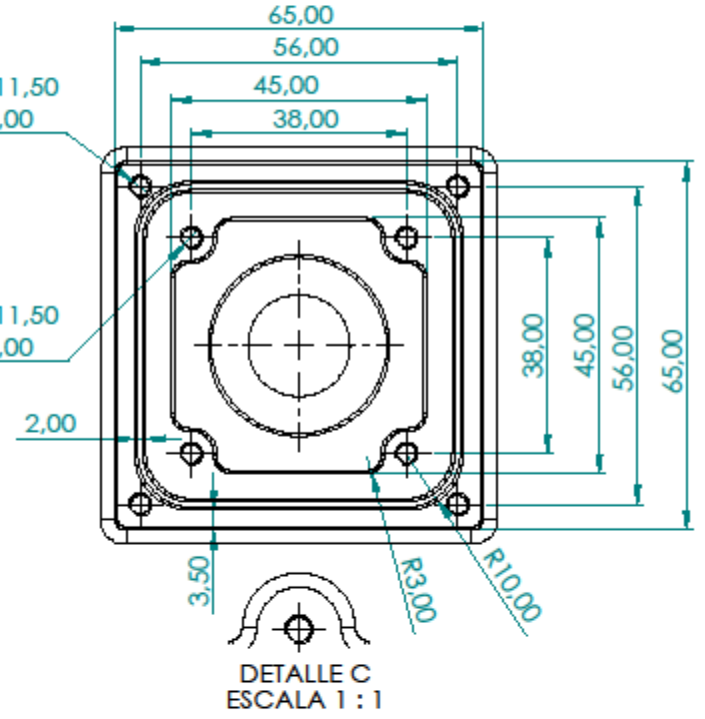


Unidades: mm	Esc.: 1:1	Nombre	Fecha	Fecha impresión:	
Formato: A4	Dibujado:			Tolerancia general ISO 2768 - fK	
Representación:	Revisado:			Nº pieza:	Materia:
	Modificado:				
	Aprobado:			Proyecto: <b>MMA</b>	
UNIVERSITAT JAUME I	Título:			Nº plano:	Rev:



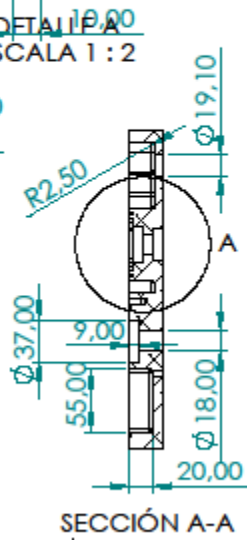
4 x  $\phi 3,30 \nabla 11,50$   
M4 - 6H  $\nabla 8,00$

4 x  $\phi 3,30 \nabla 11,50$   
M4 - 6H  $\nabla 8,00$



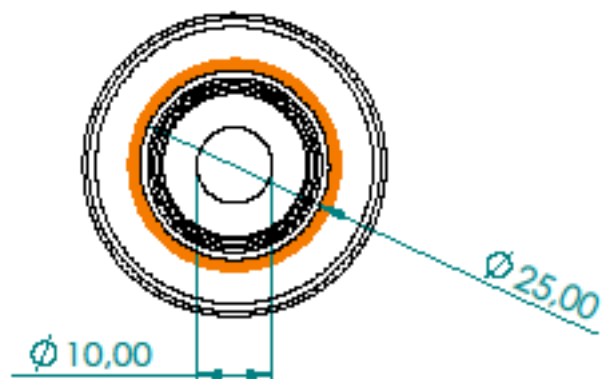
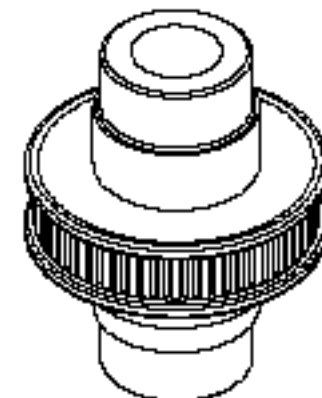
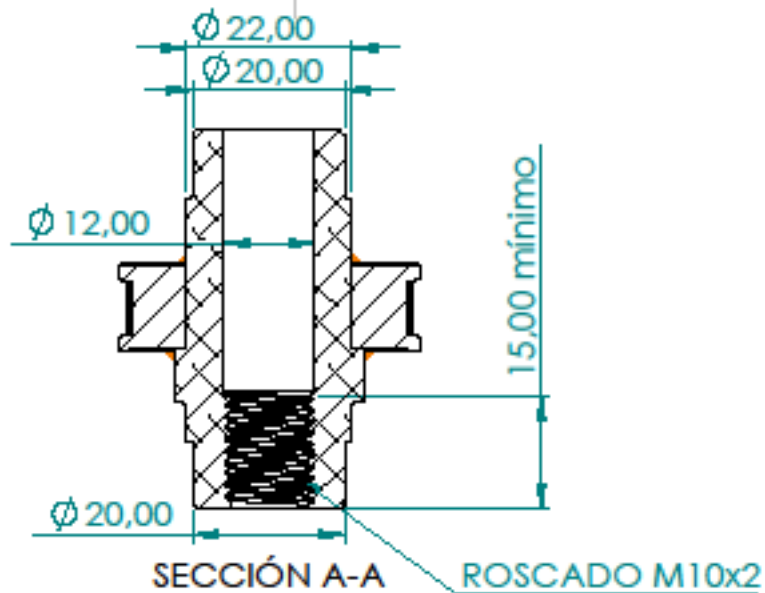
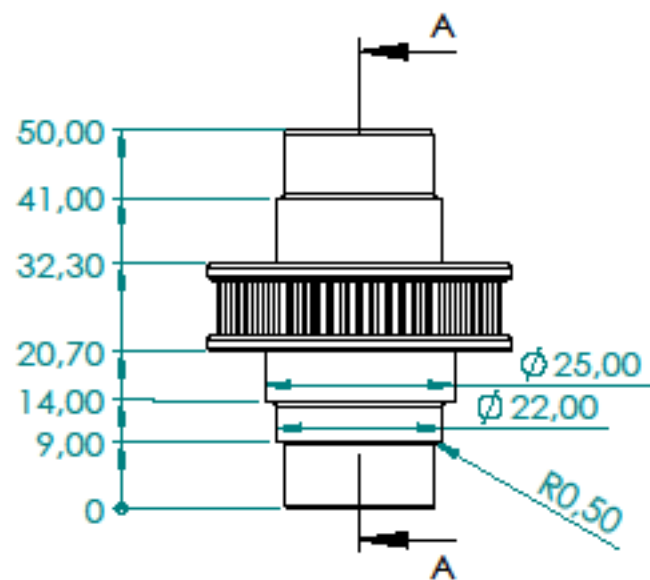
6 x  $\phi 3,30 \nabla 6,00$   
M4 - 6H  $\nabla 5,00$

15 x  $\phi 4,20 \nabla 14,00$   
M5 - 6H  $\nabla 10,00$

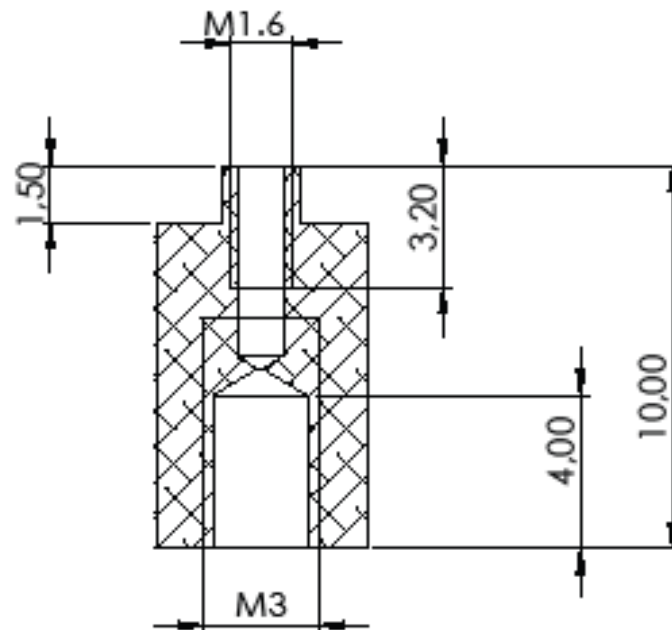
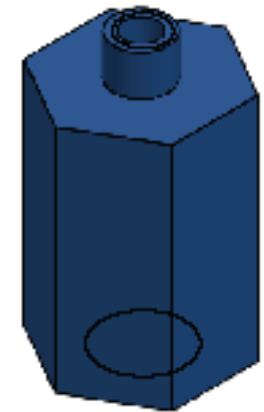
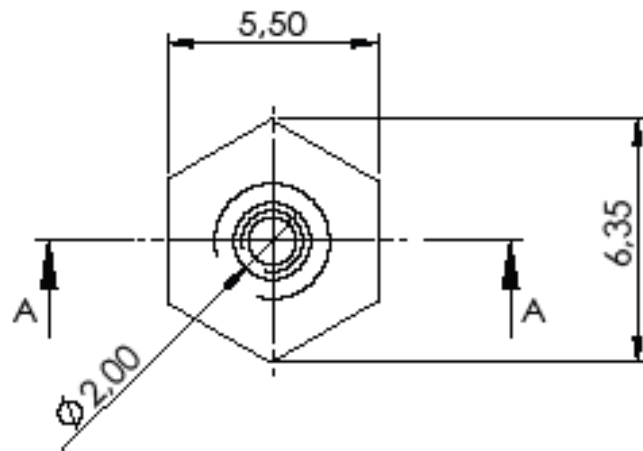


Unidades: mm	Esc.: 1:5	Nombre	Fecha	Fecha Impresión:
Formato: A3	Dibujado:			Tolerancia general ISO 2768 - FK
Representación:	Revisado:			Nº pieza:
	Modificado:			Materia:
	Aprobado:			Proyecto: MMA
Título:				Nº plano:
				Rev:



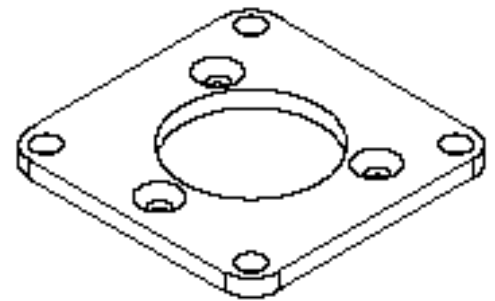
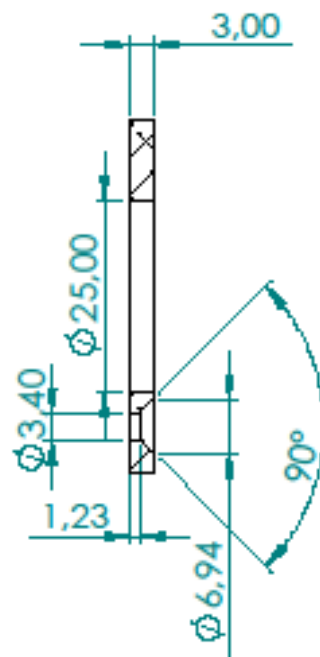
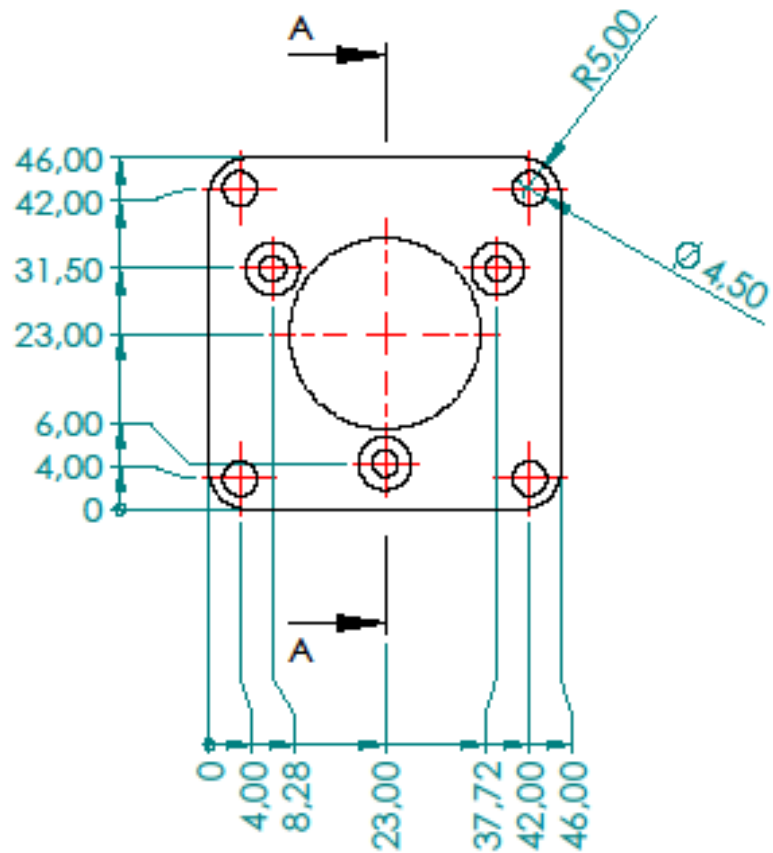


Unidades: mm	Esc.: 1:1	Nombre	Fecha	Fecha impresión:	
Formato: A4	Dibujado: DAVID RIUS	15-11-21	Tolerancia general ISO 2768 - RK		
Representación:	Revisado:			Nº pieza: 011	Materia:
	Modificado:				
	Aprobado:				
<b>Título: TUERCA ELEVACION</b>				Proyecto: MMA	
				Nº plano: 011	Rev:



SECCIÓN A-A

Unidades: mm	Esc.:5:1	Nombre	Fecha	Fecha impresión:	
Formato: A4	Dibujado:	DAVID RIUS	15-11-21	Tolerancia general ISO 2768 - fK	
Representación:	Revisado:			Nº pieza: 012	Material:
	Modificado:				
	Aprobado:			Proyecto: <b>MMA</b>	
	<b>Título: SEPARADOR ENCODER</b>			Nº plano:	Rev:
				012	



Unidades: mm	Esc.: 1:1	Nombre	Fecha	Fecha Impresión:	
Formato: A4	Dibujado: DAVID RIUS	15-11-21	Tolerancia general ISO 2768 - FK		
Representación:	Revisado:			Nº pieza:	Material:
	Modificado:			013	
	Aprobado:		Título: SUPLEMENTO ENCODER INFERIOR		Proyecto: MMA
			Nº plano:	Rev:	
			013		