

DISEÑO GRÁFICO, PROTOTIPADO Y TESTEO



TOBERA DE REFRIGERACIÓN DE FRENOS PARA TOYOTA GR86

ALUMNOS: Mario Feito, Diego Pilares, Pablo Chillón y Álvaro Santing

GRADO: Ingeniería de Sistemas Industriales

CURSO Y GRUPO: 4º AUTOMOCIÓN



Índice

1	RESUMEN DEL PROYECTO	3
2	OBJETIVOS DEL PROYECTO	3
3	MEMORIA.....	4
3.1	Explicación del proyecto	4
3.2	Material y herramientas empleadas.	4
3.3	Ingeniería inversa.....	8
3.4	Evolución de la pieza (diseño y prototipado)	8
3.4.1	Procesado de malla escaneo en Rhino.....	8
3.4.2	Primera versión del proyecto	10
3.4.3	Segunda versión del proyecto	10
3.4.4	Tercera versión del proyecto.....	11
3.4.5	Cuarta versión del proyecto	15
3.4.6	Diseño definitivo.....	18
3.4.7	Modelado del sistema refrigeración del otro lado del coche	22
3.5	Plan de verificación y ensayos	24
3.5.1	Resultados análisis de frecuencia tobera	25
3.5.2	Resultados análisis de frecuencia tubo del paso de rueda	26
3.5.3	Resultados análisis del ensamblaje	27
3.6	Método de fabricación.....	28
3.6.1	Parámetros de impresión	28
3.6.2	Piezas resultantes de la impresión	29
3.7	Verificación del montaje en el parachoques	30
3.8	Planning de trabajo	32
3.9	Costes.....	33
3.9.1	Componentes.	33
3.9.2	Mano de obra	33
3.10	Planos y cotas	34
4	CONCLUSIÓN.....	36
5	ANEXO	37
6	BIBLIOGRAFÍA	44



1 RESUMEN DEL PROYECTO

A lo largo del curso, en la asignatura de diseño, prototipado y testeo, hemos adquirido diferentes habilidades que hemos aplicado en este proyecto. Entre estas habilidades destacan las siguientes: ingeniería inversa, la fabricación por impresión 3D y la utilización de programas de diseño CAD como Rhino 7 y Solidworks.

- **INGENIERÍA INVERSA.** Proceso mediante el cual se analiza un objeto, sistema o componente para entender su funcionamiento interno, diseño o estructura, con el objetivo de obtener información detallada y, en algunos casos, replicar o mejorar dicho objeto. Se trata esencialmente de trabajar hacia atrás desde el producto final hasta llegar a su diseño original o sus componentes clave. En nuestro caso, hemos empleado un escáner 3D.
- **FABRICACIÓN ADITIVA CON IMPRESORAS 3D.** Empleando el programa Cura para generar el archivo compatible con la impresora.
- **DISEÑO CON LOS PROGRAMAS RHINO 7 Y SOLIDWORKS.** Estos programas nos permiten trabajar con el archivo escaneado con el escáner 3D.

Poniendo en práctica esta serie de habilidades y conocimientos aprendidos hemos sido capaces de diseñar y fabricar la pieza con las especificaciones correctas para poder desempeñar su función de manera óptima.

2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los objetivos de este proyecto son los siguientes:

- Involucrarse en la fabricación de una pieza de un vehículo de manera similar a como se haría en una empresa de automoción.
- Aprender a manejar un escáner 3D.
- Entender los requisitos necesarios y en base a ellos diseñar la pieza con ayuda de programas como Rhino 7 y Solidworks.
- Realizar simulaciones y ensayos.
- Obtener una pieza con un diseño fiable y seguro y que cumpla con las especificaciones.

3 MEMORIA

3.1 Explicación del proyecto

Tras ver los diferentes proyectos disponibles, nos decidimos por el diseño y fabricación de una tobera para refrigerar los frenos del Toyota GR86 en su futura preparación para la TGR Iberian Cup de GR86. Para la entrada de aire emplearemos un embellecedor que, en la versión de calle del vehículo se encuentra tapado.



Ilustración 1. Toyota GR86 2023



Ilustración 2. Entrada de refrigeración de frenos falsa

El diseño de la tobera estará limitado principalmente por los siguientes factores:

- Espacio disponible entre el chasis, paso de rueda y recorrido de suspensión y dirección.
- Restricciones de peso.
- Eficiencia aerodinámica, para lo cual hemos realizado una serie de estudios con la ayuda de la herramienta *Solidworks Simulation*.
- El diseño y la fabricación deben resultar en un producto final fiable.

3.2 Material y herramientas empleadas.

Para la elección del material hemos valorado diferentes opciones:

- **PLA (Ácido Poliláctico):**

Ventajas del PLA en propiedades mecánicas:

- Moderada resistencia mecánica (25-37 MPa).
- Adecuado para impresiones con detalles finos.
- Excelente resistencia a impactos (3-5 MPa*m²).
- Barato.

Inconvenientes del PLA en propiedades mecánicas:

- Baja resistencia térmica.
- Baja resistencia a flexión (55,3 MPa)
- Menos duradero en comparación con ABS y PC.

- **ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno):**

Ventajas del ABS en propiedades mecánicas:

- Elevada resistencia a tracción (30*-50 MPa).
- Buena tenacidad y resistencia al impacto ($1,2 - 4,3 \text{ MPa} \cdot \text{m}^2$).
- Baja densidad (1020-1080 kg/m³).
- Barato.

Inconvenientes del ABS en propiedades mecánicas:

- Mayor propensión al warping durante la impresión.

- **PC (Policarbonato):**

Ventajas del PC en propiedades mecánicas:

- Alta resistencia a tracción (55-75 MPa).
- Buena resistencia al impacto ($2,1-4,6 \text{ MPa} \cdot \text{m}^2$)
- Excelente resistencia térmica.

Inconvenientes del PC en propiedades mecánicas:

- Requiere temperaturas de extrusión más altas, es por esto que se necesita de una impresora especial con los laterales cubiertos, normalmente más costosa
- Propenso al warping durante la impresión.
- Elevado coste.

Una vez hemos analizado las principales ventajas e inconvenientes de estos 3 tipos de materiales nos hemos decantado por ABS, dado que consideramos que ofrece un buen compromiso entre propiedades mecánicas y precio.

En cuanto a las herramientas empleadas hemos utilizado las siguientes:

1. **ESCÁNER 3D EINSCAM PRO 2X.** Hemos empleado el escáner en la zona del paragolpes, principalmente para obtener las medidas del orificio de entrada de aire. Las principales características técnicas del Einstan Pro 2X son las siguientes:

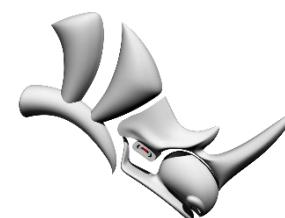
- **Tecnología de Escaneo:** Utiliza la tecnología de luz estructurada para capturar la geometría tridimensional de los objetos.



Ilustración 1. Escáner 3D Einscan Pro 2X

- **Precisión:** Ofrece una precisión de hasta 0.04 mm, permitiendo la captura de detalles finos.
- **Velocidad de Escaneo:** Proporciona una velocidad de escaneo de hasta 1,500,000 puntos por segundo, permitiendo escaneos rápidos y eficientes.
- **Volumen de Escaneo:** 150 × 120 mm - 250 × 200 mm.
- **Modos de Escaneo:** Ofrece modos de escaneo en color y en blanco y negro para adaptarse a diferentes requisitos de aplicación.
- **Resolución de Textura:** La resolución de textura en el modo de escaneo en color es de hasta 1.3 mp.
- **Peso y Portabilidad:** Es un escáner portátil con un peso de aproximadamente 1.13 kg, lo que facilita su transporte y uso en diferentes ubicaciones.
- **Iluminación:** Cuenta con luz LED blanca para una iluminación óptima durante el escaneo.
- **Área de Escaneo Óptima:** Recomendado para objetos pequeños a medianos, como componentes industriales, esculturas, juguetes, entre otros.
- **Software Incluido:** Viene con el software EinScan, que proporciona herramientas de postprocesamiento y exportación de datos escaneados.
- **Conectividad:** Se conecta a través de USB 3.0 para una transferencia de datos rápida y estable.
- **Compatibilidad de Archivos:** Admite la exportación de archivos en formatos STL, OBJ, PLY y otros formatos estándar de la industria.

2. **RHINO.** Es un software de modelado tridimensional (3D) que, en nuestro caso hemos usado como herramienta de CAD. Su función principal en este trabajo fue el procesado de las mallas del escaneo. Parchéándolas y resolviendo incoherencias que pudiera tener para así poder cerrar la malla. La idea inicial era convertir esa malla a sólido para poder diseñar sobre ella. Sin embargo, al final, por falta de agilidad en el software y sobre todo por haber encontrado una herramienta similar en Solidworks, desecharmos Rhino y continuamos el diseño en SolidWorks.



Rhinoceros



3. SOLIDWORKS. Es un software de diseño asistido por ordenador (CAD) que se utiliza principalmente para el diseño, simulación, análisis y gestión de datos en el ámbito de la ingeniería y el diseño de productos. En este proyecto hemos usado esta herramienta para el diseño completo de la pieza, así como para los ensayos aerodinámicos y de vibraciones.

4. CURA. Es un software de código abierto utilizado para la preparación y gestión de impresiones que permite preparar los modelos 3D para su impresión. Hemos usado esta herramienta en el último paso antes de imprimir la pieza, modificando diferentes variables como el infill, espesor de capa, patrón de relleno, etc.



5. IMPRESORA 3D ULTIMAKER S5. Una impresora 3D es una máquina que construye objetos tridimensionales capa por capa, siguiendo un modelo digital, haciendo uso de filamentos de plástico (en nuestro caso ABS). El modelo de impresora que hemos utilizado es el Ultimaker S5, cuyas características principales son las siguientes:

- Formato de fichero: stl
- Tecnología: Extrusión (FDM/FFF).
- Software: Cura.
- Doble extrusor.
- Volumen de Impresión: 330 x 240 x 300 mm.
- Filamento: 2.85 mm.
- Diámetro de Boquilla: 0,25 mm, 0,4 mm, 0,6 mm, 0,8 mm.
- Resolución XYZ: 6,9, 6,9, 2,5 micras.
- Conexiones: USB, Ethernet, Wifi.
- Cámara de video incorporada.
- Peso: 20,6 kg.
- Potencia Máxima: 500 W.



Ilustración 2. Ultimaker S5

3.3 Ingeniería inversa.

Como hemos mencionado anteriormente, hemos empleado un escáner 3D para escanear la parte interior del paragolpes.

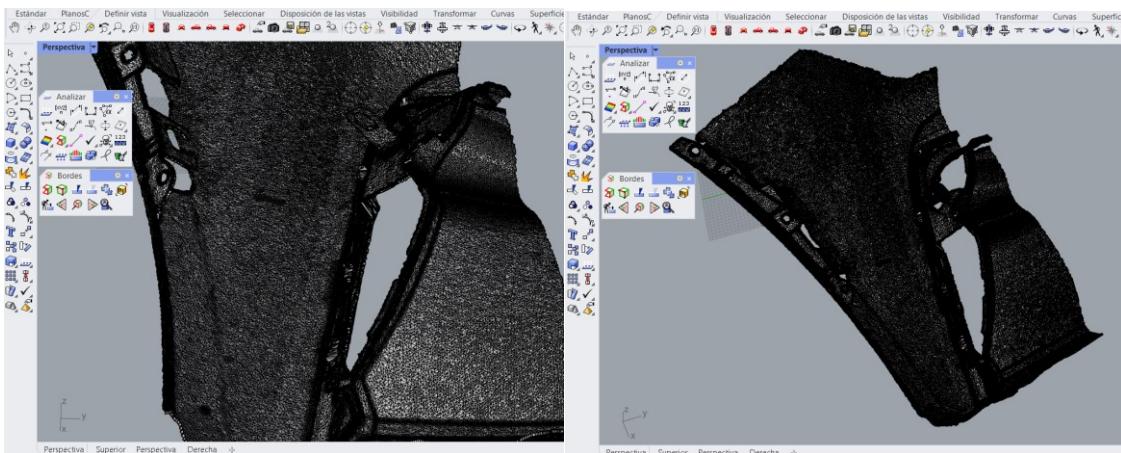
En primer lugar, nos hicimos con un paragolpes ya desmontado en el taller del MSI y procedimos a escanear el interior. Antes de escanear, aplicamos un espray antirreflejos para obtener unos resultados de escaneo más precisos.

Una vez que tenemos el archivo del escaneo, procedemos a trasladar la malla obtenida con el escaneo a SolidWorks y obtener un sólido con el que podamos trabajar.



3.4 Evolución de la pieza (diseño y prototipado)

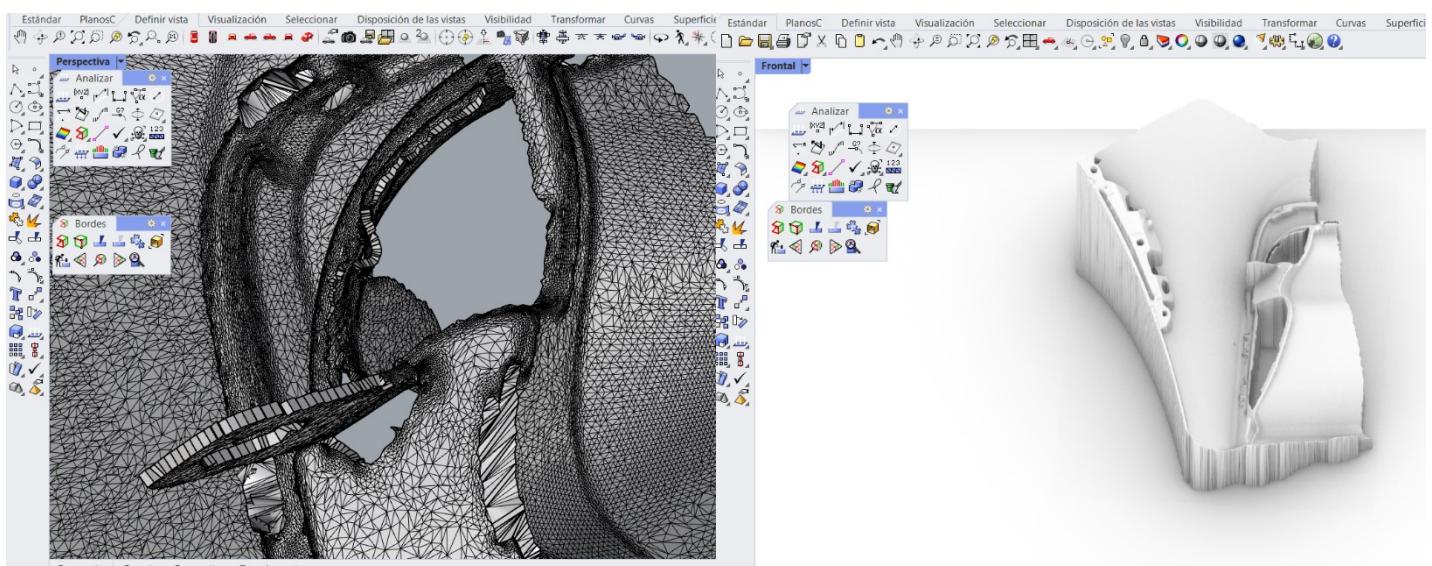
3.4.1 Procesado de malla escaneo en Rhino



El primer paso después de obtener el archivo de escaneo fue procesarlo quitando errores y otros sólidos innecesarios para este proyecto. También se recortó la malla original dejando la zona del parachoques de la toma de aire lateral. Reduciendo así el peso del archivo para que fuera más manejable.

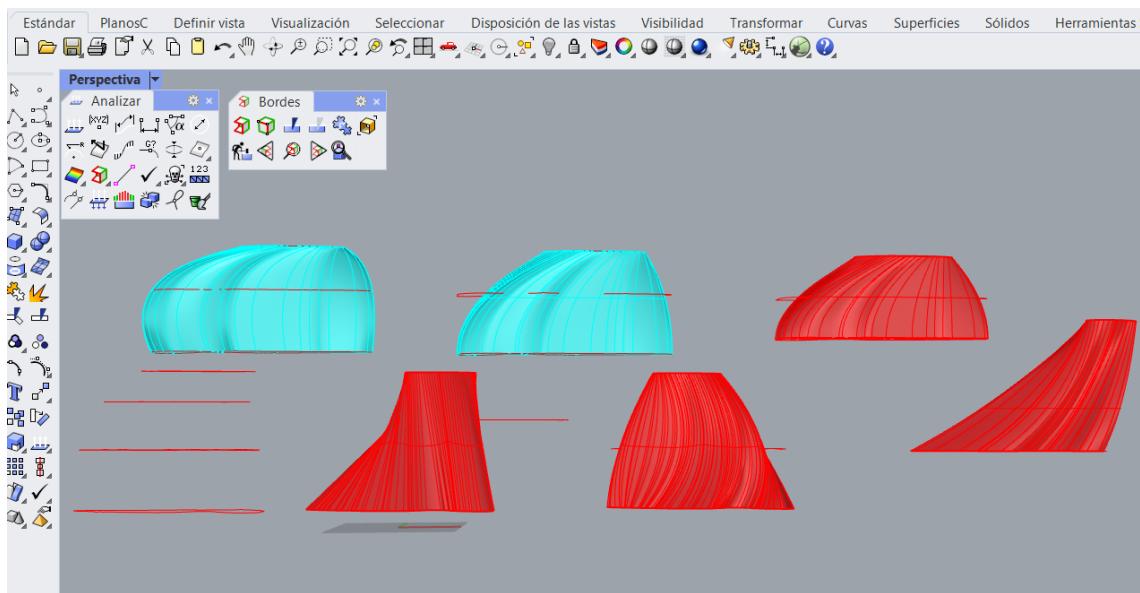
A continuación, se procedió a tapar y parchear manualmente las irregularidades de la malla. Dado que la intención inicial era conseguir una malla cerrada que hiciera sólido el escaneo, creando una posible base desde la que poder modelar.

Cómo se verá más adelante, se desechó esta idea inicial por un cambio a SolidWorks tras descubrir el complemento Scanto3D.



Una vez solventados los problemas de la malla producidos en el escaneo, pudimos generar un sólido a partir del cual empezamos a diseñar una primera versión de la tobera en Rhino. Esta sería la única iteración del proyecto que realizaríamos en Rhino, puesto que, debido a nuestra falta de agilidad con el programa, nos resultó más sencillo continuar con el proyecto en el entorno de SolidWorks, donde contábamos con una agilidad de manejo del programa altamente superior. Sin embargo, durante las primeras versiones realizadas en SolidWorks, seguimos usando el sólido que obtuvimos de la malla del escaneo en Rhino.

3.4.2 Primera versión del proyecto



Tobera integrada con el paso de rueda - V1

La primera versión del proyecto se llevó a cabo en Rhino a partir del sólido del parachoques de antes. Se obtuvieron varios perfiles abarcando toda la toma de aire y se empezó a optimizar la forma de la futura tobera. Pero aún sin tener en cuenta especificaciones de diseño como los anclajes o la adaptación con el paso de rueda. Era un diseño a grandes rasgos de qué forma tendría la futura tobera.

3.4.3 Segunda versión del proyecto

Una vez cambiamos nuestro entorno de trabajo a SolidWorks, no tardamos mucho en producir una segunda versión del proyecto, donde comenzamos a considerar la idea de añadir una tubería que redireccionase el aire por dentro del paso de rueda. En esta versión, diseñamos tanto la tobera como la tubería interior del paso de rueda como una única pieza. Asimismo, obtuvimos una geometría que difiere de la ideal, debido a que tuvimos en cuenta la existencia del depósito del líquido del limpiaparabrisas e intentamos crear una solución que pudiera sortearlo para así evitar tener que eliminar el depósito. En versiones futuras, optamos por eliminar el depósito del líquido del limpiaparabrisas.

Otro motivo por el que se desecharon estos diseños fue por la imposibilidad de fabricarlo reiteradamente de forma cómoda. Como era un diseño de pieza única, no era posible fabricarlo en un molde por la forma enrevesada que tenía. Tampoco era posible imprimirla en 3D porque era demasiado grande para la cama de cualquier impresora. Así que se optó por dividirla en dos para futuros diseños.



3.4.4 Tercera versión del proyecto

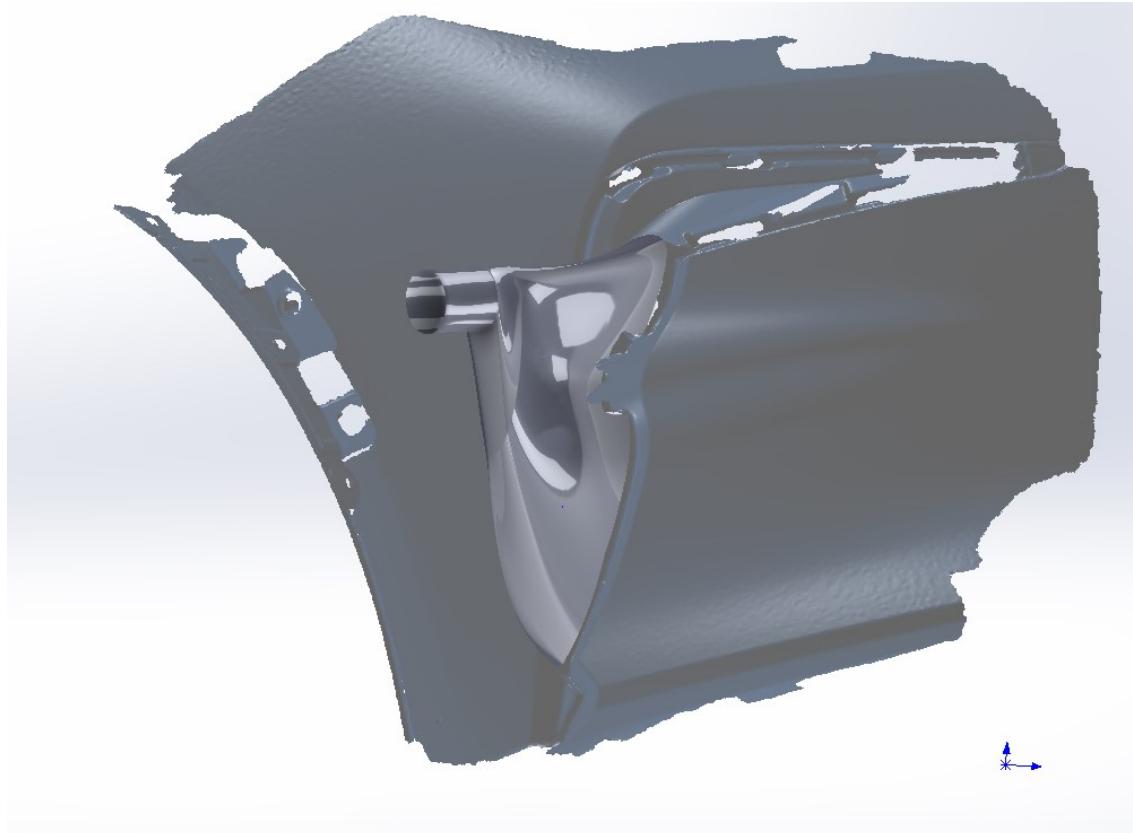
Tras intentar crear un diseño de una única pieza, vimos que esto no sería práctico a la hora de montar o desmontar la pieza del vehículo, por lo que decidimos diseñar dos piezas distintas, una tobera entre el paragolpes y el paso de rueda y una tubería que colocaríamos en el interior del paso de rueda.

Asimismo, también decidimos cambiar el sólido de referencia que generamos en Rhino, por uno creado en SolidWorks, debido a que, por la forma en que creamos el sólido en Rhino, teníamos dificultad para visualizar ciertos componentes del escaneo.

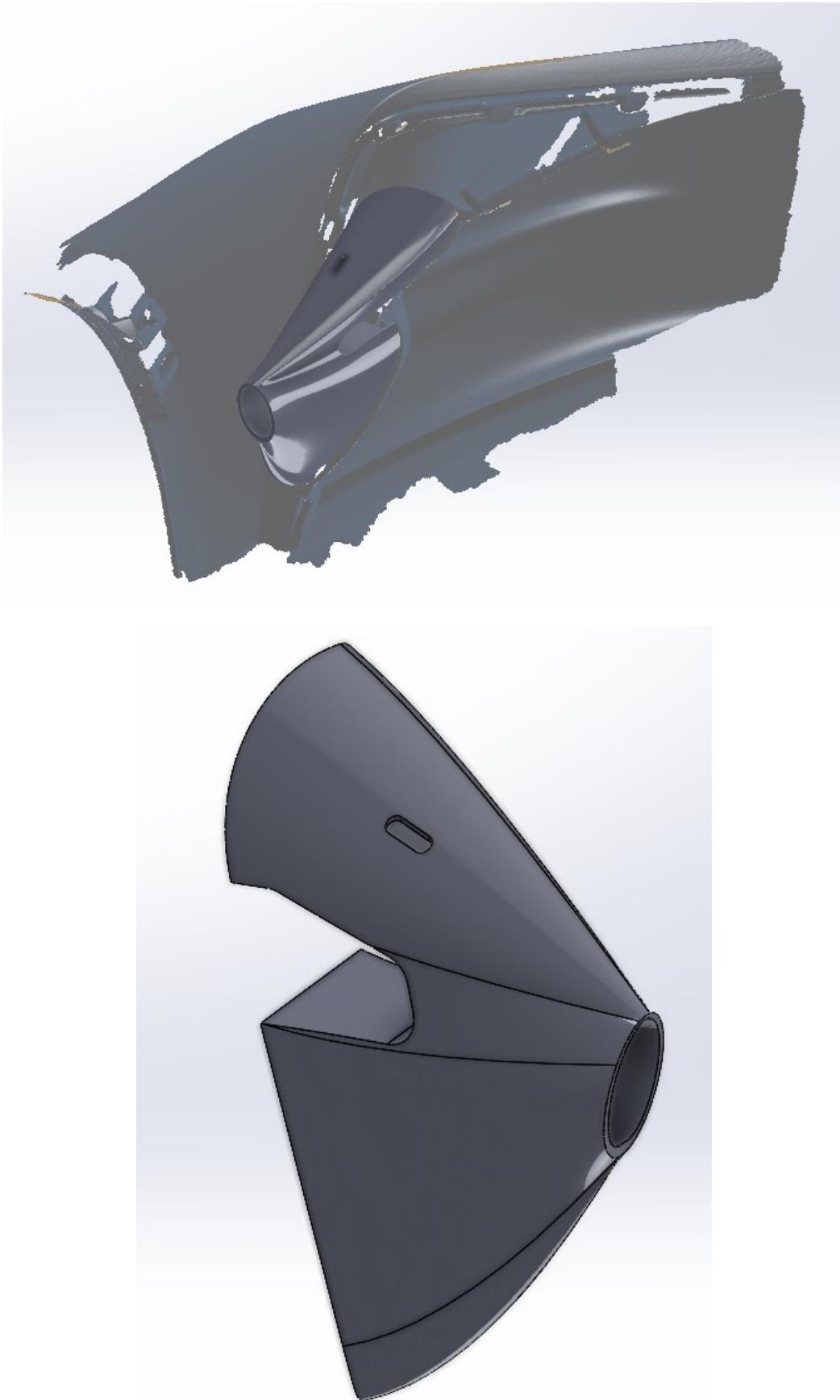


En esta versión, tratamos principalmente la forma de enganchar la tobera al paragolpes. Originalmente, pensamos en producir una apertura en la parte superior de la tobera, para así poder pasar un tornillo hacia un punto de anclaje que encontramos en el paragolpes. Esta apertura iba a ser sellada posteriormente con un grommet, de forma que no afectase tanto al flujo del aire por la tobera. En futuras versiones, aunque seguimos usando este punto de anclaje del paragolpes, desechamos la idea de crear una apertura en la tobera, debido a que encontramos otra solución mucho más práctica.

Cabe destacar también, que esta fue la primera versión que prototipamos, imprimiendo la sección correspondiente la entrada de aire en la tobera, para comprobar nuestras medidas obtenidas del escaneo con el paragolpes.



Primera iteración con el escáner de SolidWorks en vez del obtenido en Rhino



Iteración final del enganche al paragolpes antes del primer prototipo



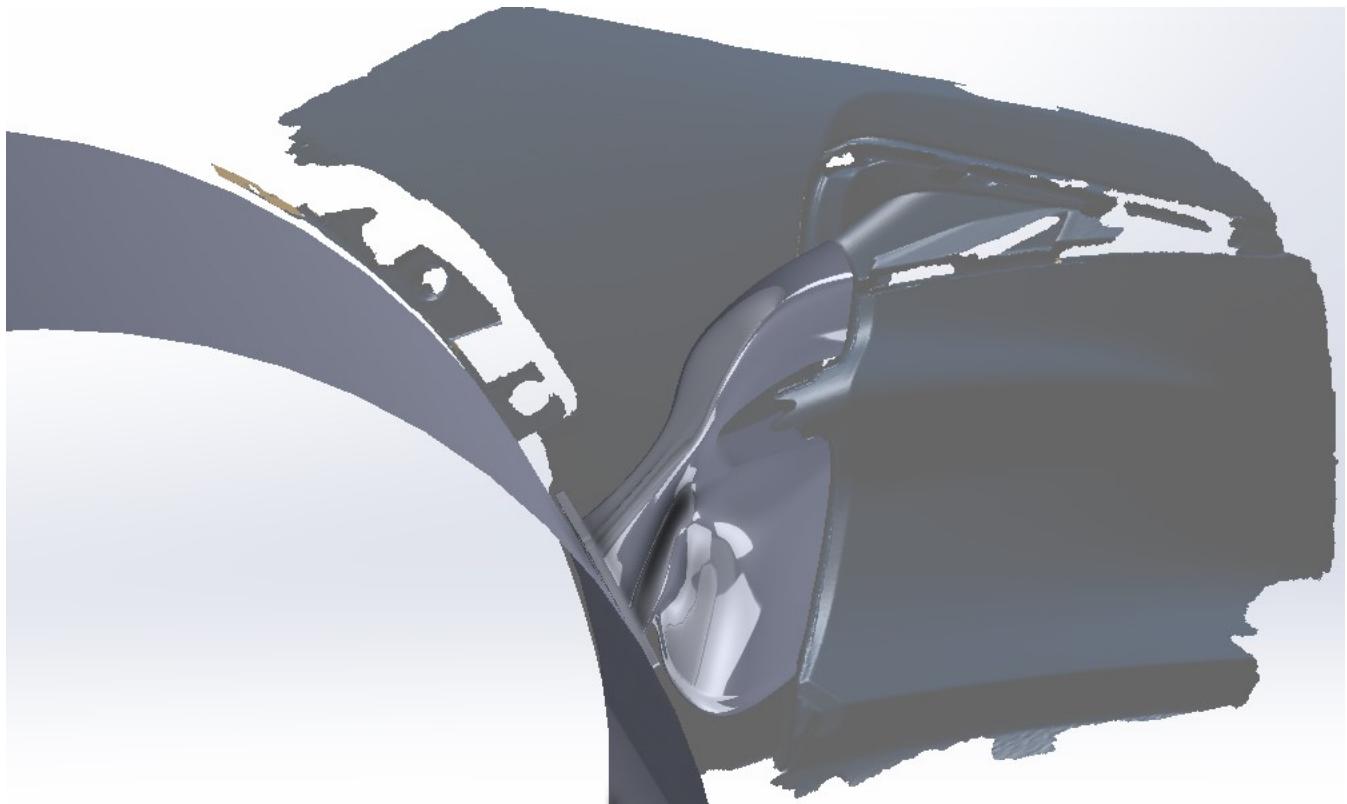
Como se puede observar, tuvimos que modificar nuestro prototipo, recortando material, lo que nos sirvió para tomar nuevas referencias, no solo para el enganche que pretendíamos utilizar, sino también para el perfil que utilizamos para crear la tobera, puesto que, como se puede observar en la imagen en la que el prototipo está superpuesto al paragolpes, el perfil que obtuvimos del escáner del paragolpes difiere altamente del perfil real.

Esto fue porque se optó por simplificar todo lo posible la forma del perfil inicial, con la intención de facilitar al software futuras operaciones. Sin embargo, después de comprobar que no era muy similar, se rediseño manteniéndose fiel a la forma de la toma de aire.

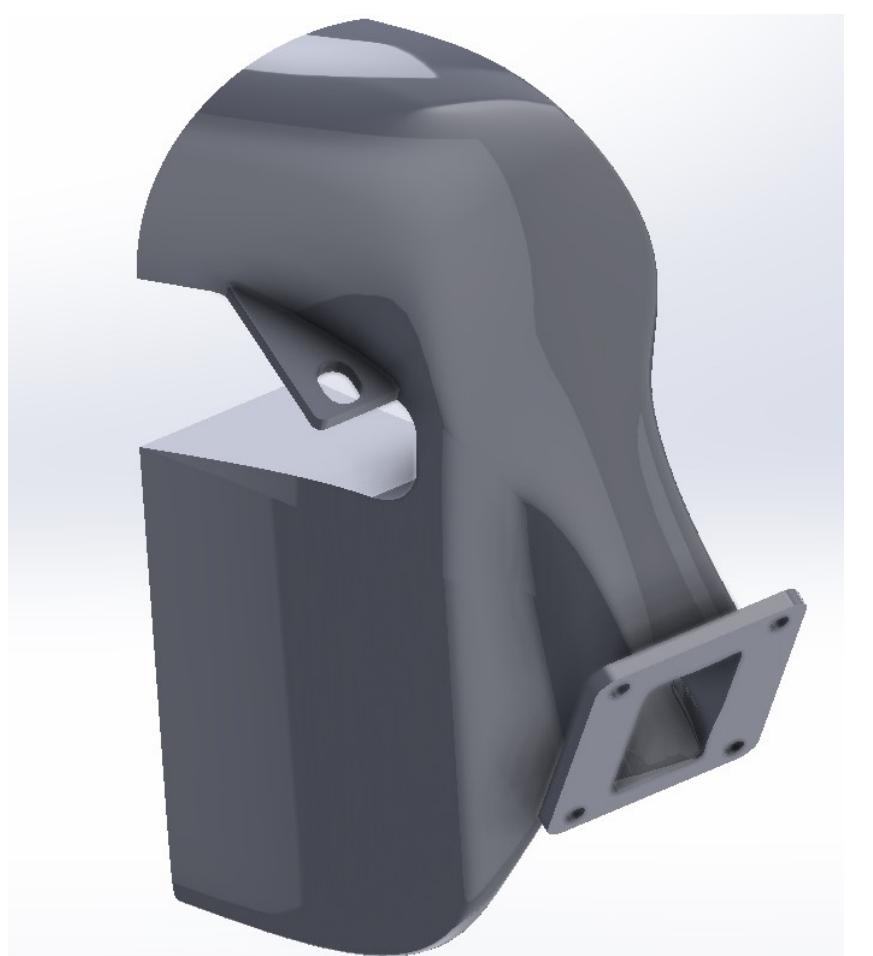
3.4.5 Cuarta versión del proyecto

En esta versión del diseño, decidimos descartar la opción de enganche de la tobera al paragolpes propuesta anteriormente, y decidimos decantarnos por desviar la tobera hacia el lateral, de forma que pudiéramos introducir una plataforma donde añadir un hueco para que reposase la cabeza de un tornillo hexagonal, de forma que simplificase el proceso de montaje/desmontaje de la pieza enormemente, al tener un tornillo fijo en una posición accesible, de forma que solo habría que atornillar/desatornillar la tuerca con la que haríamos un sándwich con el enganche del paragolpes.

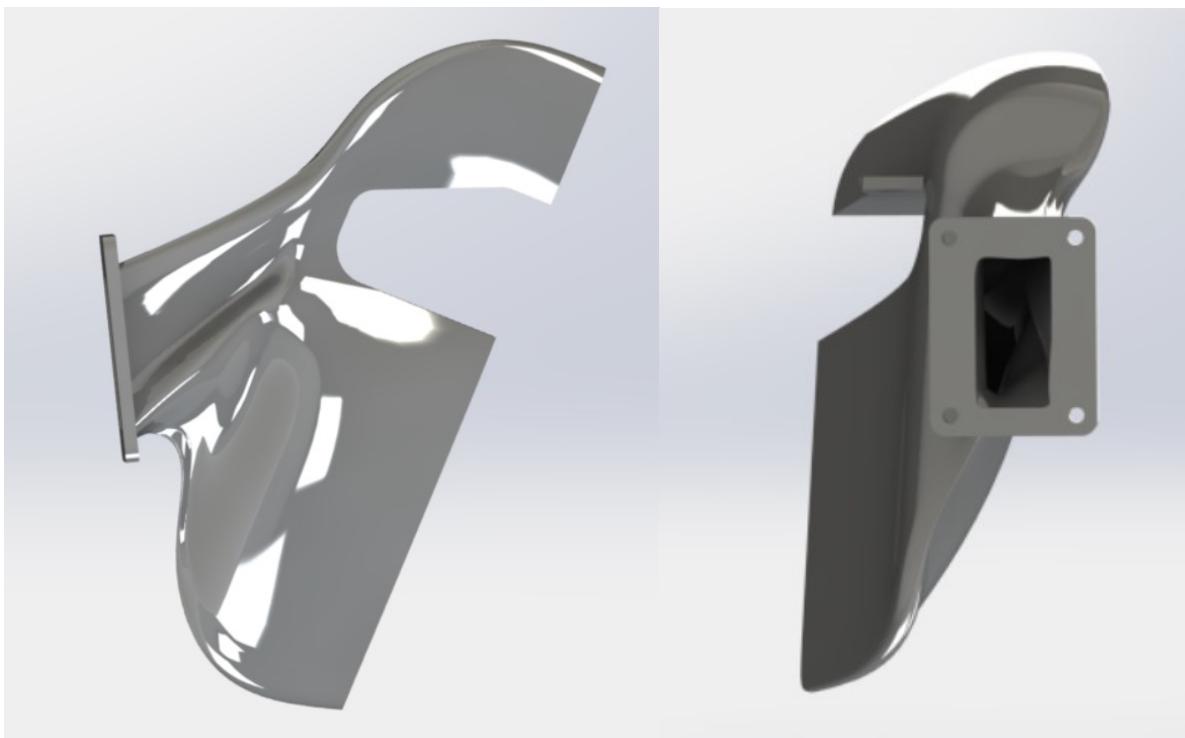
En esta versión, habiendo realizado una corrección sobre la entrada de aire a la tobera, decidimos empezar a centrarnos en la unión al paso de rueda y, además, comenzamos a diseñar el tubo que redireccionaría el aire por dentro del paso de rueda.



Introducción de un paso de rueda para asistir al diseño



Primera versión del enganche exterior al paragolpes y del enganche al paso de rueda





Primera versión del tubo interior del paso de rueda



En esta versión del ensamblaje, con el tubo interior inicial, ya había una tobera con el anclaje al paragolpes correcto. Sin embargo, la manera de fijar las piezas entre ellas era poco práctica, ya que consistía en una configuración tuerca-tornillo, donde el tornillo no estaba fijo. Lo que suponía un aparatoso montaje y desmontaje de la pieza.

Otro motivo por el que se descartó este sistema de refrigeración fue por implementar una pieza para el paso de rueda demasiado aparatoso. Un tamaño demasiado grande para muy poca ganancia en la refrigeración. Sumado a que también era de compleja fabricación, se optó por rediseñar el sistema.



La versión anterior a la definitiva de la pieza del paso de rueda se descartó porque al imprimirla, se advirtió un error de diseño que dejaba una pequeña fuga. Se tuvo que modificar para mejorar el flujo de aire por dentro y para reforzar la unión de la tubería con la placa de anclaje.

3.4.6 Diseño definitivo

Después de hasta 13 iteraciones distintas de la tobera, llegamos al que consideramos el diseño definitivo tras imprimir un segundo prototipo y rediseñar la abertura del perfil.

Un modelo de tobera anclado al paragolpes por una ranura para tornillos de cabeza hexagonal M8, y la pieza del paso de rueda con 4 tornillos de cabeza hexagonal M6, en ambos casos con tuercas hexagonales que permitan transmitir el par de apriete al tornillo.

Por otro lado, en la parte que conecta con el paso de rueda, esta tobera dispone de un ranurado de 3mm de grosor para acoplar entre las dos piezas una junta de goma que selle correctamente la unión. Mejorando el flujo de aire por el interior, al no tener fugas, y reduciendo y amortiguando la transmisión de vibración del paso de rueda al sistema de refrigeración.

Un modelo de tobera orientado al interior del coche para poder salvar la parte del paso de rueda donde está más próxima la rueda, garantizando así la integridad de este sistema de ventilación en todo momento.

Por último, este diseño de tobera tiene en cuenta también el flujo de aire que entra por la toma ya que reduce considerablemente el área final generando una mayor velocidad de fluido en la salida que permite esa refrigeración.

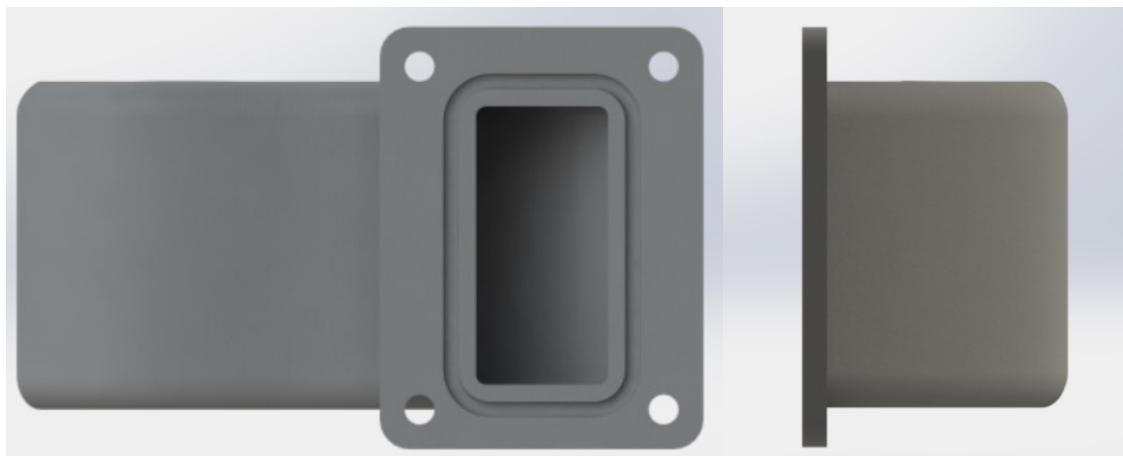
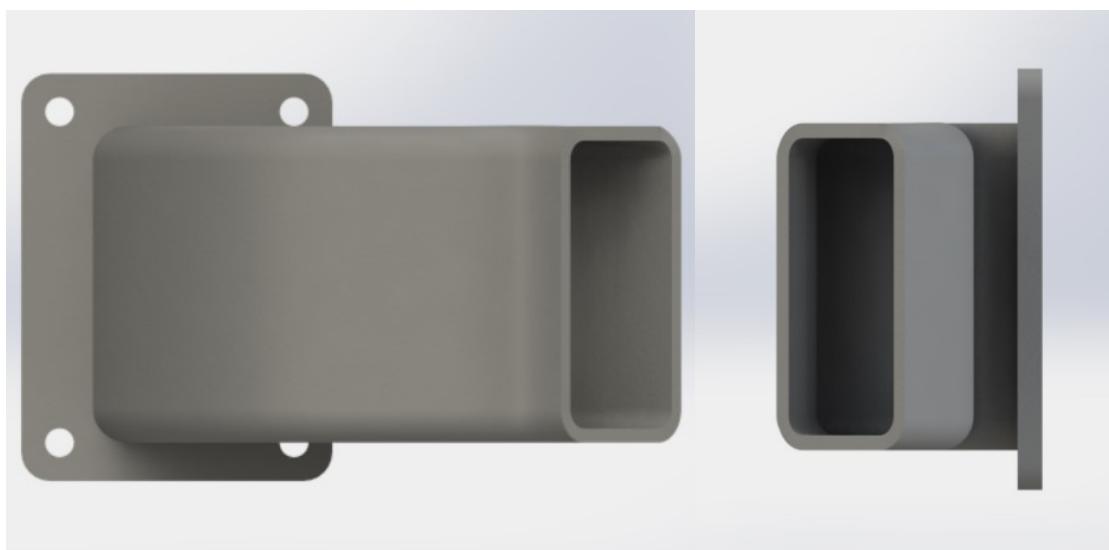


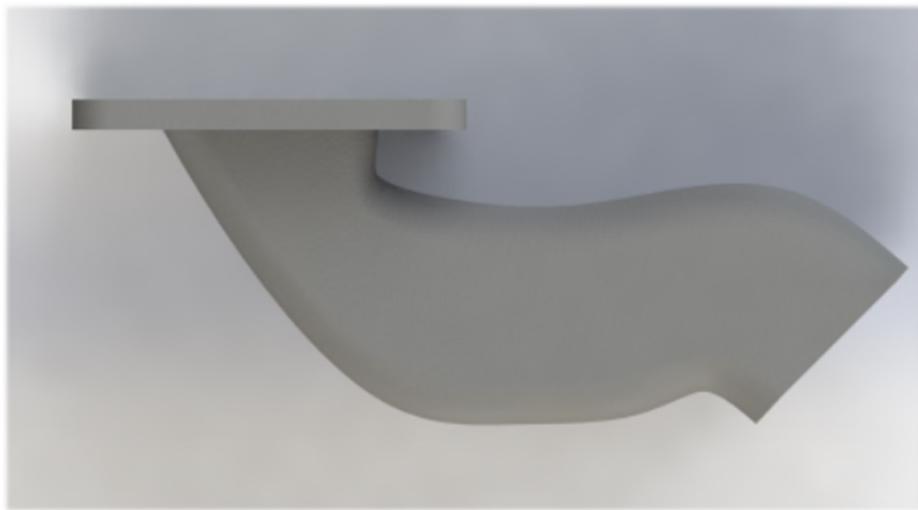
Fotografías de referencia de la tobera final



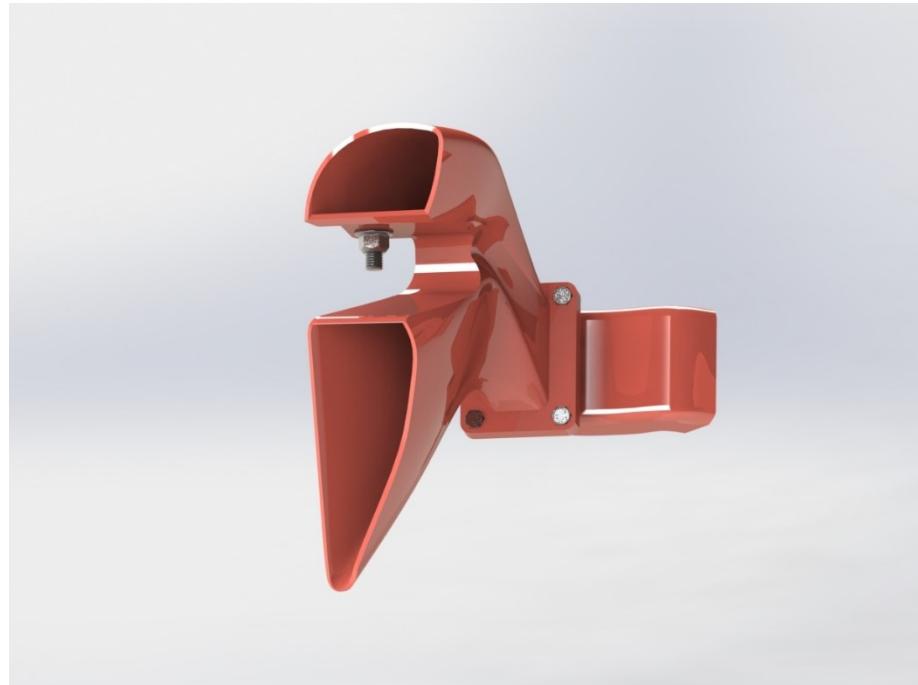
En cuanto a la pieza del paso de rueda, tras 7 iteraciones distintas, encontramos que el tubo ha sido reducido sustancialmente respecto a la primera versión, optando por un diseño de fácil impresión y bajo peso, que redirecciona el aire hacia la parte posterior del disco de freno, ayudando a la refrigeración de los frenos, cumpliendo el objetivo propuesto en este proyecto.

Podemos observar que en la entrada al tubo encontramos una placa, de dimensiones idénticas a la placa encontrada al final de la tobera, donde reutilizaremos los tornillos M6 utilizados para fijar la tobera al paso de rueda, para fijar también este tubo al paso de rueda, haciendo un sandwich con la superficie del paso de rueda entre la tobera y el tubo. Siguiendo el mismo diseño utilizado en la tobera, encontramos un ranurado para colocar una goma idéntica a la que tenemos en la tobera, para permitir sellar correctamente el tubo al paso de rueda y evitar fugas innecesarias de aire.





Fotografías de referencia del tubo del paso de rueda final



Ensamblaje refrigeración completo

3.4.7 Modelado del sistema refrigeración del otro lado del coche

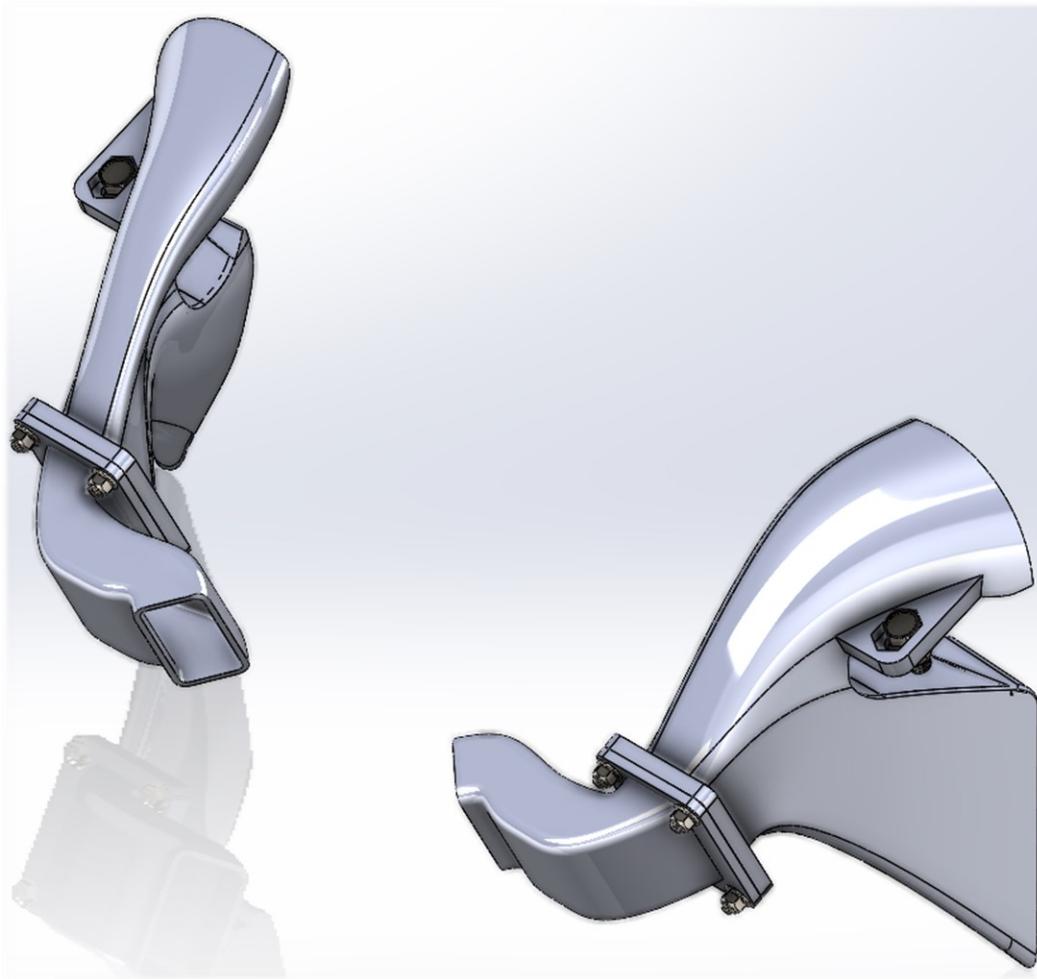


Modelo del sistema completo de refrigeración

A la hora de diseñar el sistema de refrigeración de los frenos, debido a la simetría del vehículo, optamos por diseñar sólo el lado del conductor del vehículo. Para obtener el sistema de refrigeración del lado del copiloto del vehículo, aplicamos una operación de simetría tanto a la tobera como a la pieza del paso de rueda. Con esta operación se reflejó la pieza cómo si de un espejo se tratara, consiguiendo el sistema del otro lado.

Después de llevar a cabo esta operación y obtener las piezas que faltaban dio por finalizada la labor de diseño y modelado de este trabajo. Quedando la simulación y posterior fabricación.

Finalmente, tras realizar la simetría y unir todas las piezas diseñadas con la tornillería a utilizar en un ensamblaje, podemos ver el modelo final del proyecto.



Ensamblaje completo del proyecto



Vista explosionada del sistema de refrigeración



3.5 Plan de verificación y ensayos

Con el objetivo de verificar que nuestro diseño puede ser instalado en el vehículo, realizamos un análisis de vibraciones en las piezas, para comprobar que las frecuencias producidas por el vehículo no coinciden con la frecuencia natural de nuestras piezas, lo que, en caso de ocurrir, provocaría un fallo catastrófico de las piezas, por lo que debemos evitarlo.

En un vehículo, las frecuencias más importantes producidas por el vehículo serán las producidas por la suspensión. Los valores promedio de las frecuencias producidas por la suspensión están comprendidas entre 1 y 2 Hz, por lo que nuestras piezas deberán tener unas frecuencias de rotura superiores a las mencionadas.

Para cerciorarnos de que esto se cumple, haremos tres estudios distintos de vibraciones, siendo dos de estos las piezas por separado, y un último estudio del ensamblaje completo con ambas piezas.

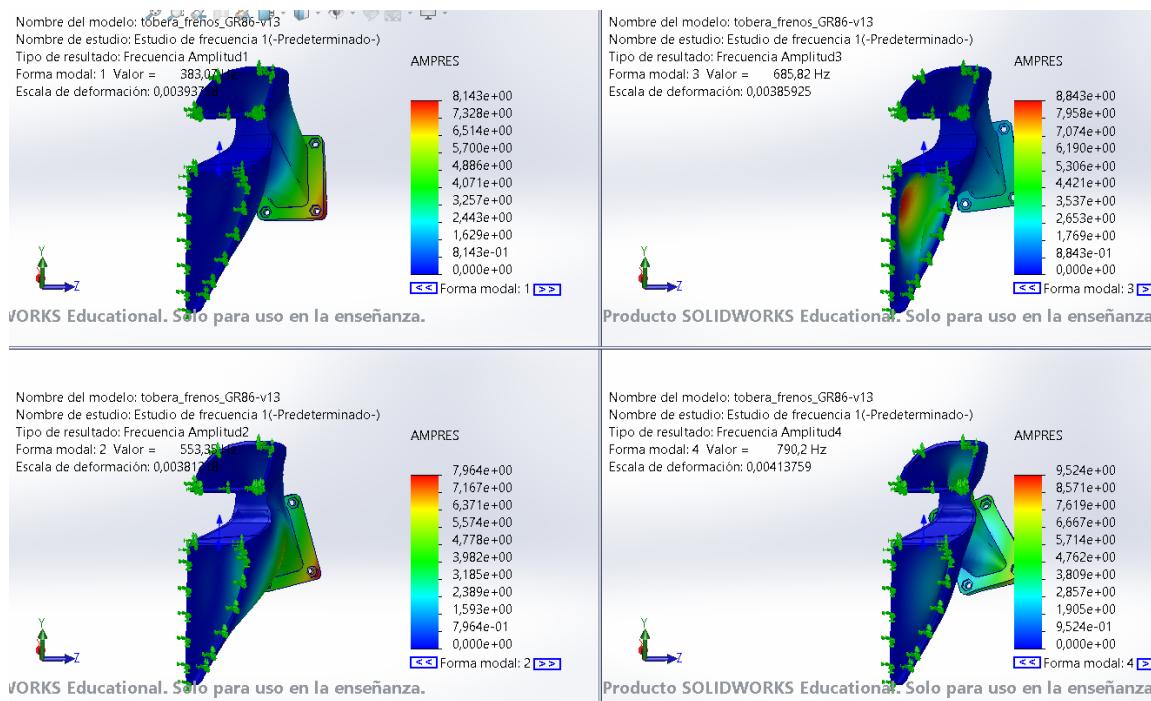
Asimismo, se aplican las propiedades del material ABS, encontradas dentro de la base de datos de SolidWorks. Dichas propiedades son las siguientes:

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2000	N/mm ²
Coeficiente de Poisson	0.394	N/D
Módulo cortante	318.9	N/mm ²
Densidad de masa	1020	kg/m ³
Límite de tracción	30	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico		N/mm ²
Coeficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica	0.2256	W/(m·K)

3. Propiedades del ABS

3.5.1 Resultados análisis de frecuencia tobera

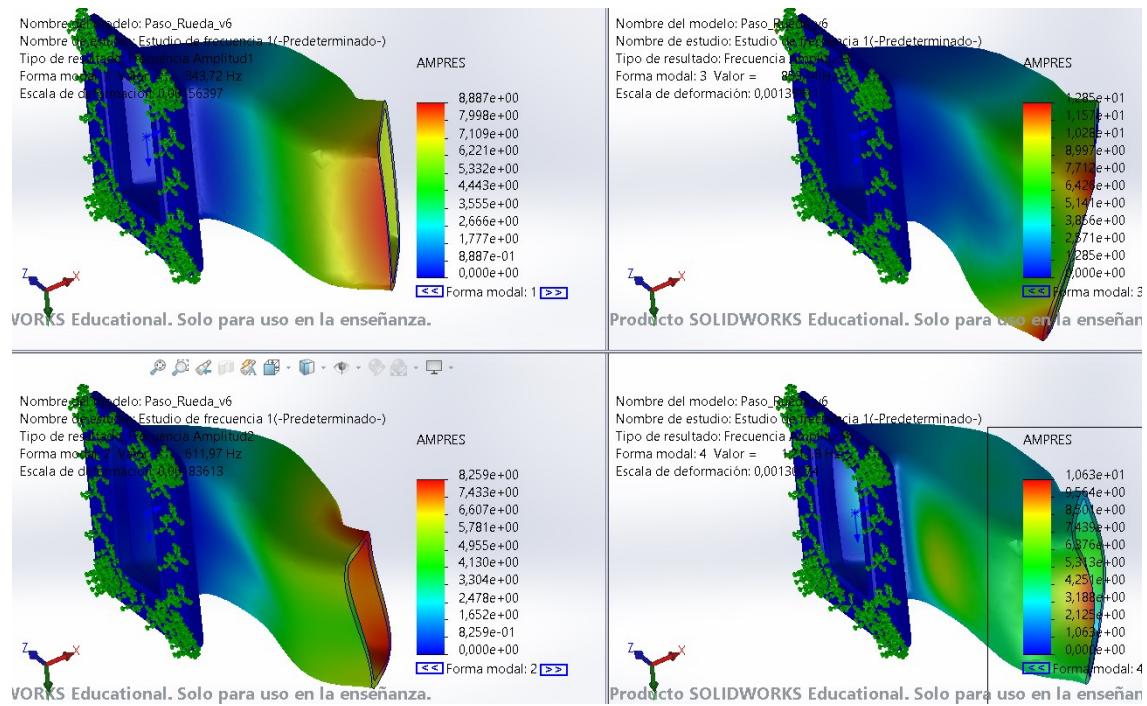
En este estudio, se impusieron dos sujeciones de geometría fija (la correspondiente al sellado al paragolpes y al anclaje del mismo).



Nº de modo	Frecuencia(Rad/seg)	Frecuencia(Hertz)	Período(Segundos)
1	2.406,9	383,07	0,0026105
2	3.476,8	553,35	0,0018072
3	4.309,2	685,82	0,0014581
4	4.965	790,2	0,0012655
5	6.212,7	988,79	0,0010113

3.5.2 Resultados análisis de frecuencia tubo del paso de rueda

En el siguiente estudio, se impuso una sujeción de geometría fija correspondiente al sellado de ambas piezas del sistema de refrigeración.

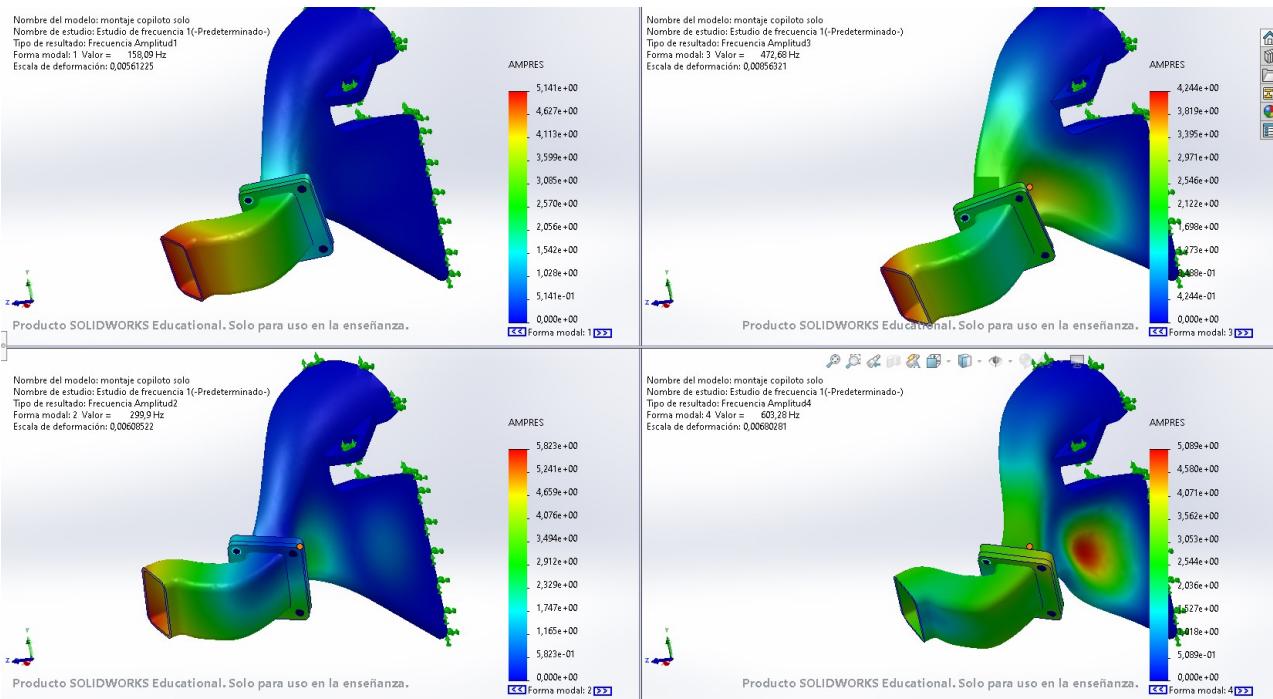


Nº de modo	Frecuencia(Rad/seg)	Frecuencia(Hertz)	Período(Segundos)
1	2.159,6	343,72	0,0029094
2	3.845,1	611,97	0,0016341
3	5.364,2	853,74	0,0011713
4	7.626,4	1.213,8	0,00082387
5	7.760,4	1.235,1	0,00080964

3.5.3 Resultados análisis del ensamblaje

Al realizar el análisis del ensamblaje, tuvimos que añadir 4 conectores tipo pasador, además de los puntos de fijación de la tobera al paragolpes, para unir las dos piezas.

Los resultados obtenidos son los siguientes:



Nº de modo	Frecuencia(Rad/seg)	Frecuencia(Hertz)	Período(Segundos)
1	993,32	158,09	0,0063254
2	1.884,3	299,9	0,0033344
3	2.969,9	472,68	0,0021156
4	3.790,5	603,28	0,0016576
5	4.978,7	792,39	0,001262

Como conclusión, debido a que las frecuencias son superiores a las generadas por la suspensión, podemos asumir que las piezas ensambladas no corren riesgo de rotura para las frecuencias de trabajo del vehículo. De la misma manera, las piezas del prototipo final, cuenta con un margen aceptable de factor de seguridad antes de presentar deformaciones comprometedoras o directamente, antes de sufrir la rotura.



3.6 Método de fabricación

La fabricación de este componente se realizará en ABS, haciendo uso de una impresora 3D, aunque para el prototipo presentado, debido a que este no será un modelo utilizado en ningún vehículo y con el objetivo de abaratar costes innecesarios, hemos decidido fabricar nuestro prototipo en PLA.

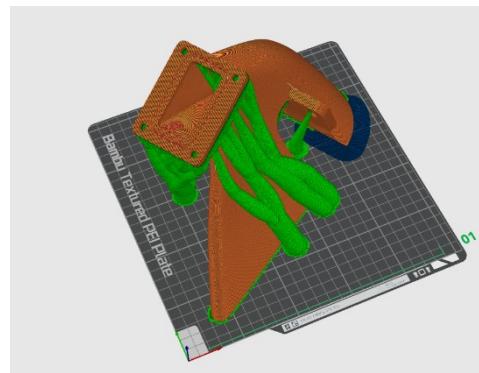
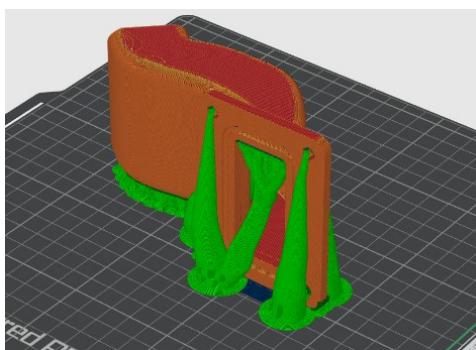
Hemos considerado que la impresión 3D es el método de fabricación más adecuado por varias razones:

- En primer lugar, permite fabricar de forma rápida y barata la pieza.
- En caso de tener que realizar cambios o mejoras, este método de fabricación nos permite una gran flexibilidad.
- La parte del paragolpes delantero es muy susceptible a daños que destrocen nuestra pieza, lo cual hace que sea una gran ventaja el hecho de poder fabricarla cuando sea necesaria rápidamente.
- Consideramos que las piezas impresas en 3D con ABS disponen de unas características más que adecuadas para la función que van a realizar.

3.6.1 Parámetros de impresión

Con la intención de que la pieza cumpla los requisitos de sellado, manteniendo su geometría irregular, se han utilizado los siguientes parámetros en la configuración de las piezas para fabricación aditiva. No obstante, estos parámetros son perfectamente modificables para mayores requerimientos. Aunque, tras el buen resultado en distintas impresiones se ha decidido mantenerlos.

- En primer lugar, debemos mencionar que las geometrías de ambas piezas contienen saliente y voladizos de grandes ángulos de inclinación. Por ello, se ha determinado que para ángulos a partir de 30º, se extruye soporte de refuerzo en la estructura (soporte de árbol).
- En cuanto a la altura de capa se ha empleado 0.20 mm
- Búcles de pared o número de paredes: 2
- Densidad de relleno: 15%
- Patrón de líneas para el relleno interno disperso: Formato rejilla (líneas perpendiculares).



4. Laminado de las piezas

Filamento:	29,94 m	89,30 g
Coste:	1,79	
Planificar tiempo:	5m47s	
Tiempo de impresión del modelo:	3h9m	
Tiempo total:	3h15m	

Filamento:	78,69 m	234,69 g
Coste:	4,69	
Planificar tiempo:	5m47s	
Tiempo de impresión del modelo:	8h24m	
Tiempo total:	8h30m	

3.6.2 Piezas resultantes de la impresión

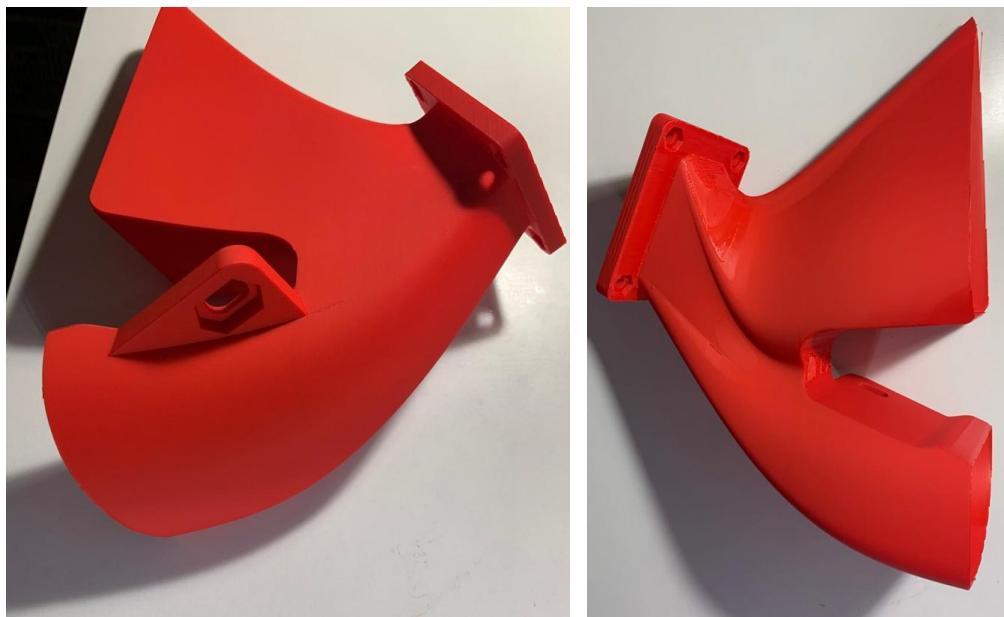
Las piezas resultantes no contaron con fallos de impresión importantes que comprometiesen la integridad de la estructura. Visualmente, estos fueron los resultados:

- Tubería paso de rueda:



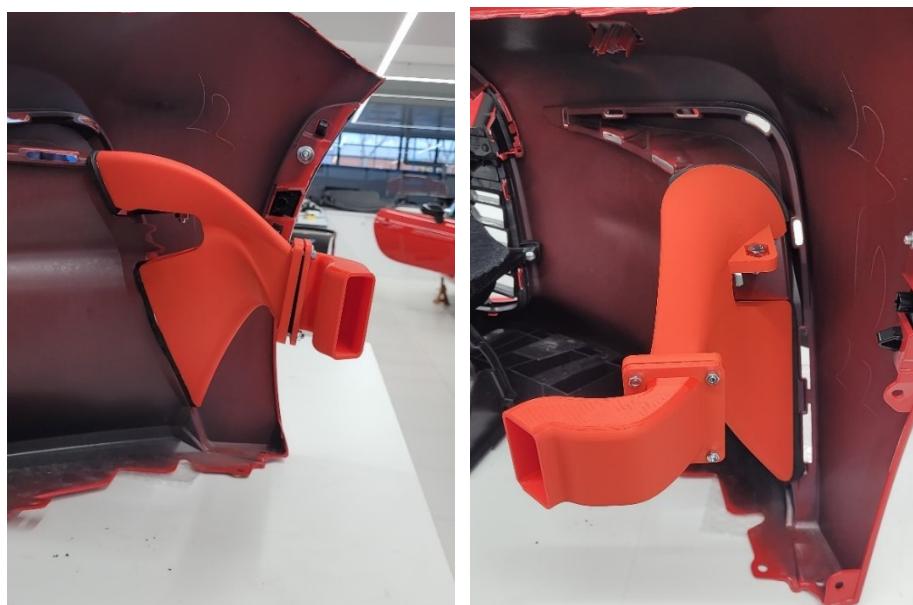
-

- Tobera:



3.7 Verificación del montaje en el parachoques

Después de modelar, simular y conseguir imprimir las piezas, el siguiente paso de este proyecto fue el montaje de estas en el paragolpes para comprobar que realmente las medidas y cálculos estimados cuadraban con la realidad.



Como se puede observar el sistema de refrigeración encaja correctamente con la toma de aire designada para ello. Sin dejar ningún hueco entre las piezas por el que se pueda escapar el flujo de aire.

En cualquier caso, para el montaje de las piezas se acopló entre estas unas juntas de 5mm de grosor de goma-eva flexible con la forma de las aberturas. Con la intención de sellar cualquier posible fuga y amortiguar la transmisión de vibraciones del parachoques o del paso de rueda al sistema. Aunque no es algo fundamental.



Otro aspecto del montaje de la pieza en el paragolpes es, que fue necesario quitar el embellecedor que tapaba la toma para poder anclar bien la tobera. Por otro lado, aunque no se probó por la necesidad de perforar el paso de rueda equipado de fábrica, es necesario reubicar el deposito del líquido del parabrisas. Se encuentra en el lado derecho y al diseñar la tobera fue un elemento considerado prescindible para la preparación del GR86 para la TGR Iberian Cup.

3.8 Planning de trabajo

En la siguiente tabla podemos observar la planificación de los trabajos realizados durante el curso:

Actividad	FECHAS
Brainstorming	30/10/2023
Toma de mediciones	30/10/2023
Escaneado del paragolpes	14/11/2023
Tratamiento postescaneo, proceso de conformación	21/11/2023
Diseño en SolidWorks, adecuado al mallado	28/11/2023
Impresión aditiva del primer prototipo	01/12/2023
Testeo del primer prototipo	04/12/2023
Adaptación del diseño a espacio reducido	11/12/2023
Rediseño de método de anclaje al vehículo	17/12/2023
Fabricación del segundo prototipo	03/01/2024
Testeo del segundo prototipo en el vehículo	04/01/2024
Modificación de la tubería de refrigeración	04/01/2024
Ánálisis de frecuencia del modelo	08/01/2024
Fabricación con impresora 3D del diseño final	10/01/2024
Testeo en el vehículo del diseño final	12/01/2024

3.9 Costes

3.9.1 Componentes.

En la siguiente tabla podemos observar los costes de los componentes.

Componente	Ud.	Coste/ Ud.	Coste/100 Ud.
Rollo ABS	1	4,84€	484€
Tornillo de cabeza hexagonal M8	1	0,3€	30€
Tuerca M8	1	0,08€	8€
Tornillo de cabeza hexagonal M6	4	1,4€	140€
Tuerca M6	4	0,28€	28€
Espuma selladora de flujo	1	0,82€	82€
	TOTAL	7,72	772€

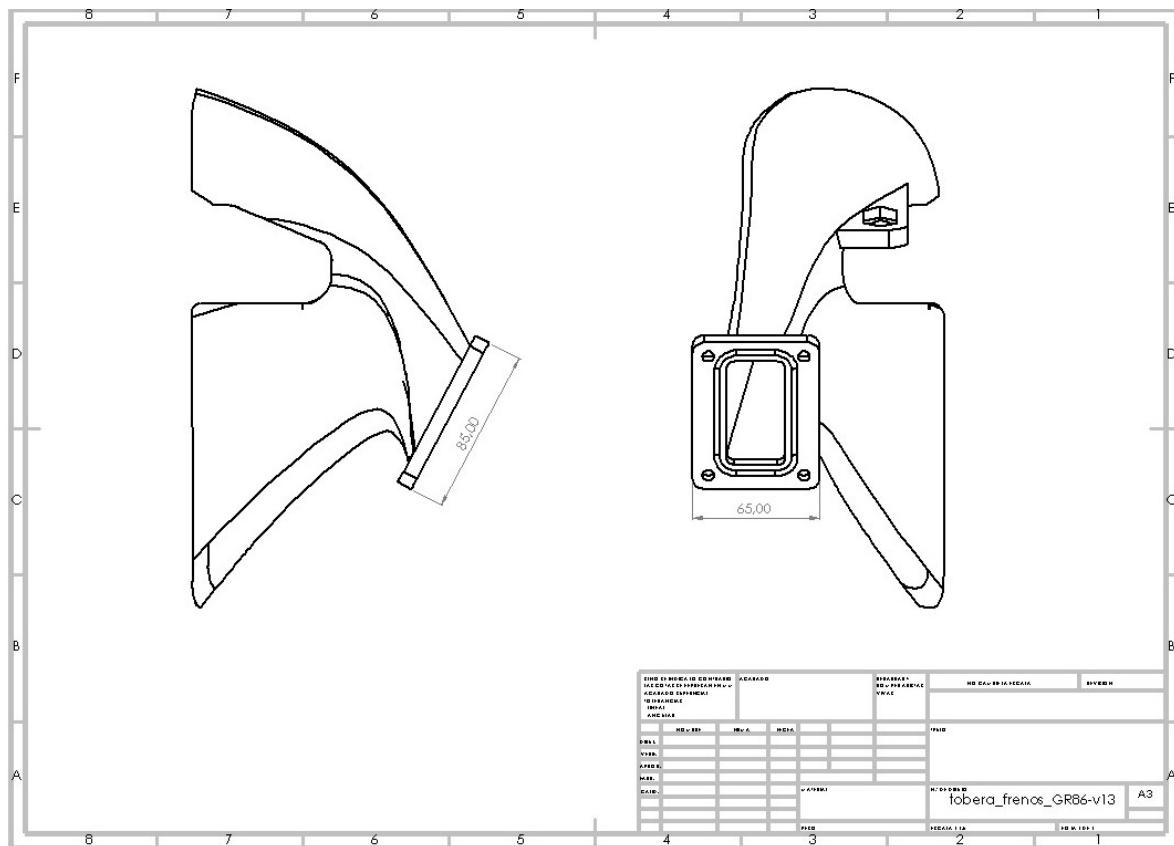
3.9.2 Mano de obra

Considerando un coste de mano de obra después impuestos de 35€/h, obtenemos los siguientes costes:

Actividad	Horas	Coste de la 1a ud	Coste/ud (100 ud.)
Escaneado de la pieza	1	35,00 €	35,00 €
Diseño en SolidWorks, Cura	70	2100,00 €	2450,00 €
Prototipado y testeo	10	350,00 €	350,00 €
Montaje	1	35,00 €	3500,00 €
	TOTAL	2520,00€	63,35€/ ud.

3.10 Planos y cotas

- Plano tobera:



Masa = 215.299864 gramos

Volumen = 211078.297593 milímetros cúbicos

Área de superficie = 134519.092997 milímetros cuadrados

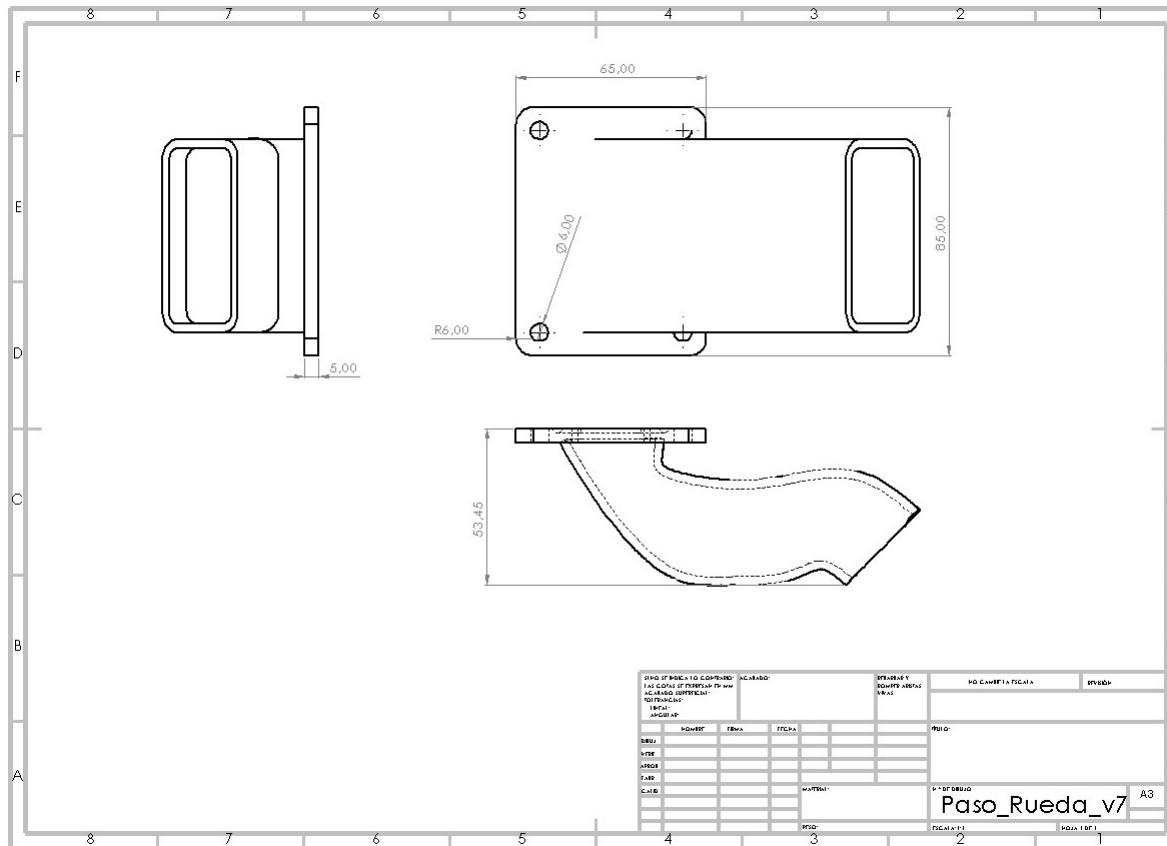
Centro de masa: (milímetros)

X = 63.315387

Y = -6.505598

Z = 33.522444

- Plano paso de rueda



Masa = 80.445239 gramos

Volumen = 78867.880962 milímetros cúbicos

Área de superficie = 51907.361998 milímetros cuadrados

Centro de masa: (milímetros)

X = 19.846444

Y = 1.709887

Z = -31.810908



4 CONCLUSIÓN

Este trabajo de Diseño y prototipado se empezó con el objetivo de diseñar, modelar y fabricar un sistema de refrigeración de frenos para la preparación del Toyota GR86 para la TGR Iberian Cup. Este proceso, como se ha recogido en este informe ha pasado por varias fases.

Primero por una fase de concretar las especificaciones del sistema a diseñar teniendo en cuenta las posibilidades de fabricación y anclaje del sistema. Después de formalizar estos requisitos, sobre los que debíamos luego diseñar las piezas, se pudo pasar a la parte de modelado.

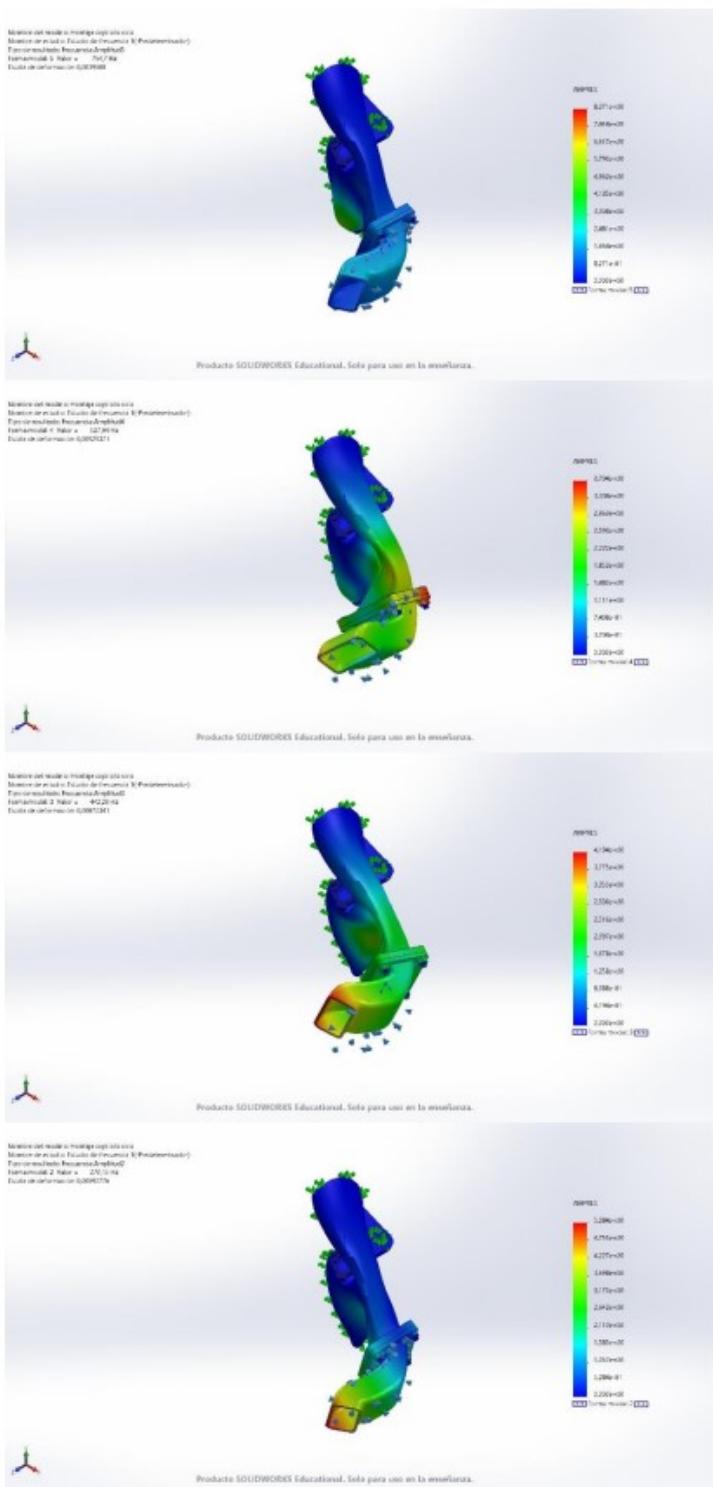
Esta fase del trabajo, como se ha intentado reflejar en los apartados anteriores, ha sido la más tediosa. Sometiendo las piezas a numerosas versiones y revisiones con el fin de que encajara en el parachoques y entre ellas. Teniendo en cuenta también aspectos como el mantenimiento y la revisión del coche donde se montará y desmontará frecuentemente el sistema.

En cualquier caso, finalmente se consiguieron diseñar satisfactoriamente los conductos de refrigeración del sistema de frenada. Sin embargo, aquí no acabó el proceso ya que a continuación, fue necesario llevar a cabo las simulaciones y análisis de frecuencia de las piezas. Para así comprobar, que en ningún caso coincidiese con la frecuencia natural del sistema de suspensión o de propulsión del coche y que no entraran en resonancia en un momento dado de la marcha.

Después de verificar que en ningún caso coincidía se pudo pasar al último paso de fabricación. Para estos diseños, como hemos visto antes, se han procesado las piezas con un software específico de impresión, para posteriormente imprimirlas en 3D.

Finalmente, con la pieza física impresa, se pudo comprobar y montar en el parachoques del GR86 consiguiendo anclarlo y hacerlo funcional exitosamente. Por lo tanto, se puede decir, tras conseguir el objetivo inicial de diseñar correctamente un sistema de refrigeración de frenada, que se ha completado este trabajo de Diseño y Prototipado satisfactoriamente.

5 ANEXO



Simulación de montaje en frecuencia

Fecha: lunes, 15 de enero de 2024

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Estudio de frecuencia 1

Tipo de análisis: Frecuencia

Tabla de contenidos

Descripción.....	2
Propiedades de estudio	3
Unidades.....	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujetaciones	5
Definiciones de conector.....	6
Información de interacción	6
Información de malla	7
Detalles del sensor	7
Resultados del estudio	8

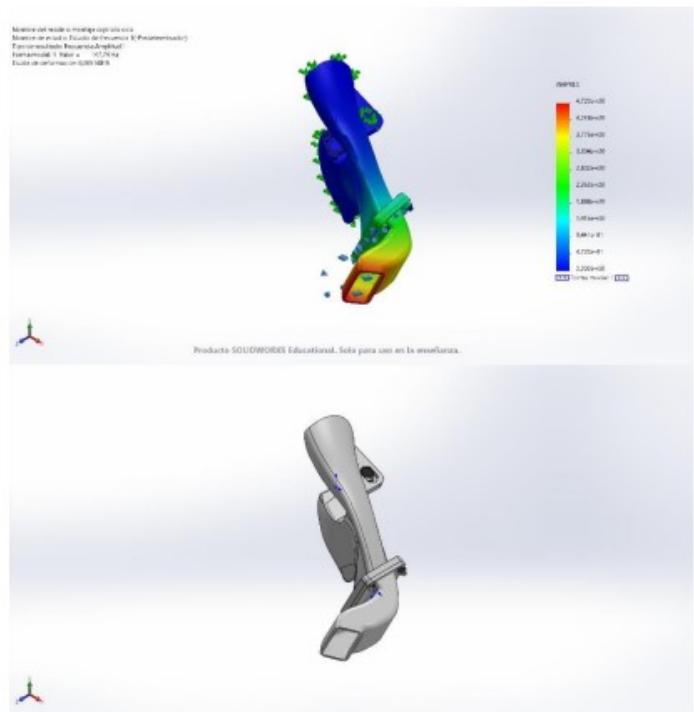


SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

Simulación de montaje copiloto solo

1



Descripción

Ensamblaje completo de tobera y tubería de paso de rueda, incluyendo tornillería.



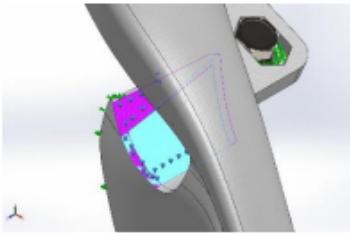
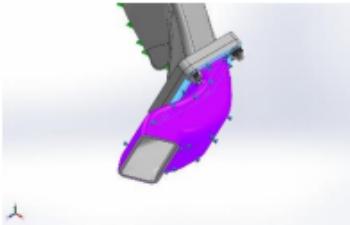


Propiedades de material

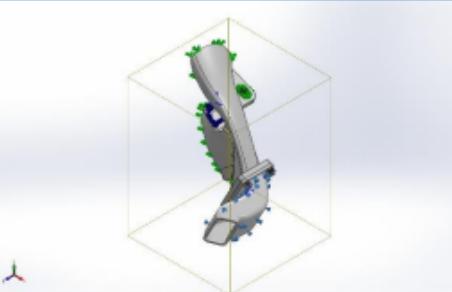
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: ABS Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite de tracción: 3e+07 N/m^2 Densidad: 1.020 kg/m^3 Módulo elástico: 2e+09 N/m^2 Coeficiente de Poisson: 0,394	Sólido 1(Cortar-Barrer1)(Paso_Rueda_v7-1), Sólido 2(Dar espesor2)(Paso_Rueda_v7-1), Sólido 1(Dar espesor17)(tobera_frenos_GR86-v13-1), Sólido 2(Redondeo9)(tobera_frenos_GR86-v13-1), Sólido 3(Dar espesor19)(tobera_frenos_GR86-v13-1)
Datos de curva:N/A		
	Nombre: Acero aleado Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 6,20422e+08 N/m^2 Límite de tracción: 7,23826e+08 N/m^2 Densidad: 7.700 kg/m^3 Módulo elástico: 2,1e+11 N/m^2 Coeficiente de Poisson: 0,28 Coeficiente de dilatación térmica: 1,3e-05 /Kelvin	Sólido 1(ThdSchPat)(formed hex screw_am-1), Sólido 1(ThdSchPat)(formed hex screw_am-2), Sólido 1(ThdSchPat)(formed hex screw_am-3), Sólido 1(ThdSchPat)(formed hex screw_am-4), Sólido 1(ThdSchPat)(formed hex screw_am-5), Sólido 1(EndChamfer)(hex flange nut_am-1), Sólido 1(EndChamfer)(hex flange nut_am-6), Sólido 1(EndChamfer)(hex flange nut_am-7), Sólido 1(EndChamfer)(hex flange nut_am-8), Sólido 1(EndChamfer)(hex flange nut_am-9)
Datos de curva:N/A		



Definiciones de conector

Nombre de conector	Detalles del conector	Imagen del conector
Conejero tipo Unión rígida-1	Entidades: 2 cara(s) Tipo: Unión rígida	 Conejero tipo Unión rígida-1
Conejero tipo Unión rígida-2	Entidades: 2 cara(s) Tipo: Unión rígida	 Conejero tipo Unión rígida-2

Información de interacción

Interacción	Imagen de interacción	Propiedades de interacción
Interacción global		<p>Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado independiente</p>



Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	35,3304 mm
Tamaño mínimo del elemento	1,76652 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Mallar de nuevo las piezas fallidas de forma independiente	Desactivar

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	81837
Número total de elementos	44163
Cociente máximo de aspecto	1.399,3
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	75,5
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	5,27
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:26
Nombre de computadora:	MSI

Detalles del sensor

No hay datos





Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud1	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 1(Valor = 147,738 Hz)	0,000e+00 Nodo: 48309	4,720e+00 Nodo: 9551
montaje copiloto solo-Estudio de frecuencia 1-Amplitud-Amplitud1			

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud2	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 2(Valor = 270,151 Hz)	0,000e+00 Nodo: 48309	5,284e+00 Nodo: 9551
montaje copiloto solo-Estudio de frecuencia 1-Amplitud-Amplitud2			

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud3	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 3(Valor = 442,29 Hz)	0,000e+00 Nodo: 48309	4,194e+00 Nodo: 9559
montaje copiloto solo-Estudio de frecuencia 1-Amplitud-Amplitud3			

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud4	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 4(Valor = 527,943 Hz)	0,000e+00 Nodo: 48309	3,704e+00 Nodo: 3417
montaje copiloto solo-Estudio de frecuencia 1-Amplitud-Amplitud4			

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud5	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 5(Valor = 764,704 Hz)	0,000e+00 Nodo: 48309	8,271e+00 Nodo: 74841
montaje copiloto solo-Estudio de frecuencia 1-Amplitud-Amplitud5			

Lista de modos

Frecuencia nº.	Rad/seg	Hertz	Segundos
1	928,27	147,74	0,0067687
2	1.697,4	270,15	0,0037016
3	2.779	442,29	0,002261
4	3.317,2	527,94	0,0018941



5	4.804,8	764,7	0,0013077
---	---------	-------	-----------

Participación de masa (Normalizada)

Modo nº.	Frecuencia(Hertz)	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z
1	147,74	0,15712	0,0019705	0,19382
2	270,15	0,015798	0,067716	0,13739
3	442,29	0,024594	0,23788	0,10127
4	527,94	0,066774	0,019615	0,076983
5	764,7	0,033728	0,0267	0,028429
		Sum X = 0,29802	Sum Y = 0,35388	Sum Z = 0,53789



SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

Simulación de montaje copiloto solo

9

6 BIBLIOGRAFÍA

Universidad de Málaga - DigiLab. Ultimaker S5.

<https://digilab.uma.es/ultimaker-S5.php>

Markforged. PLA vs ABS vs Nylon: Comprendiendo las diferencias.

<https://markforged.com/es/resources/blog/pla-abs-nylon#:~:text=El%20PLA%20es%20m%C3%A1s%20fuerte,adecuado%20para%20aplicaciones%20de%20prototipado.>

UV Plastic. Plástico ABS vs Plástico Policarbonato: Diferencias y aplicaciones.

<https://es.uvplastic.com/blog/plastico-abs-vs-plastico-policarbonato.html#:~:text=El%20ABS%20es%20tambi%C3%A9n%20un,mayores%20que%20las%20del%20ABS.>

SolidWorks. (2023). Barra de herramientas ScanTo3D en SolidWorks.

https://help.solidworks.com/2023/spanish/SolidWorks/sldworks/r_scanto3D_toolbar.htm?format=P&value=

ALUMNOS: *Álvaro Santing Badía*
 Diego Pilares Gallego
 Mario Feito Muñoz
 Pablo Chillón Domínguez