

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE ALCOY



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Diseño del sistema de admisión por airbox
para una moto de competición
Motostudent.

Autor:

D. David Fernández Sanus

Tutor:

Dr. Carlos Micó Reche

Julio 2020





AGRADECIMIENTOS

Este documento es resultado de todas las experiencias, hechos y conceptos aprendidos a lo largo de todos los años de estudio. Agradecer a todos mis amigos y familia que me han animado a concluir esta tapa de mi vida, así como toda la gente que he conocido durante estos maravillosos 4 años.

Cabe destacar la especial atención que he recibido por parte de mi tutor de proyecto, Carlos Micó Reche, por ayudarme a sacar adelante el proyecto y por la disponibilidad que me ha ofrecido durante los extraños tiempos que todos hemos vivido.

David Fernández Sanus

Alumno de Ingeniería Mecánica

Alcoy, 2020



RESUMEN

En el mundo del motorsport cualquier pequeño aumento de potencia puede marcar la diferencia entre los demás rivales, por lo que en este trabajo se pretende diseñar y calcular un sistema de admisión con airbox, para su aplicación en el equipo universitario que participa en la competición Motostudent. Teniendo como objetivo introducir una mayor cantidad de aire gracias a la sobrepresión que se genera en el interior del airbox.

Para el diseño de dicho sistema se emplearán diferentes herramientas de diseño y simulaciones dinámicas, además se efectuará un estudio para la selección óptima de material teniendo en cuenta los diversos factores a los que puede estar expuesto.

Una vez se tenga el diseño final se podrán comparar las ganancias que se obtienen al emplear dicho sistema de admisión.



RESUM

En el món del motorsport qualsevol xicotet augment de potència pot marcar la diferència entre els altres contrincants, pel que en aquest treball es pretén dissenyar i calcular un sistema d'admissió amb airbox, per a la seua aplicació en l'equip universitari que participa en la competició Motostudent. Tenint com a objectiu introduir una major quantitat d'aire gràcies a la sobrepressió que es genera en l'interior del airbox.

Per al disseny del sistema s'utilitzaran diferents ferramentes de disseny i simulacions dinàmiques, a més s'efectuarà un estudi per a la selecció òptima de material tenint en compte els diversos factors als quals va a poder estar exposat.

Una volta es tinga el disseny es podran comparar els beneficis que s'obtenen emprant el sistema d'admissió.



SUMMARY

In the motorsport world, even if there is a small power increase, it can make a big difference between rivals. That's why, this work pretends to design and calculate an intake system with airbox, created for its application in the university team which participates in the Motostudent competition. It has as the main aim to introduce the biggest quantity of air, due to the overpression created in the interior of the airbox.

Different tools will be used for the design of this system and dynamics simulations, a study will also be used for optimal material selection, taking into account some aspects that could be exposed.

When the final design is finished, it could compare the advantage that we have archived for using this intake system.



Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 Objetivo.....	12
1.2 Metodología.....	12
2. ANTECEDENTES	14
2.1 Competición.....	14
2.1.1 MS1.....	14
2.1.2 MS2.....	16
2.2 Normativa aplicable al sistema de admisión	18
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	19
3.1 Fundamentos y funcionamiento de un MCIA.....	19
3.1.1 Tipos de motores de combustión interna alternativo	19
3.2 Renovación de la carga	20
3.2.1 Renovación de carga en 2T	21
3.2.2 Renovación de carga en 4T	22
3.3 Sobrealimentación	23
3.3.1 Sistema de admisión con airbox	24
3.4 Fenómeno tobera/difusor	26
3.4.1 Tobera	26
3.4.2 Difusores.....	26
3.4.3 Descripción del comportamiento de una tobera/difusor.....	27
4. CÁLCULO.....	30
4.1 Determinación de la velocidad de entrada	30
4.2 Determinación de un régimen de giro.....	31
4.3 Cálculo del número Mach	33
4.4 Ecuaciones de toberas y difusores.....	34
4.5 Cálculo relación de áreas	37
5. DISEÑO	39
5.1 Estudio del carenado	39

5.1.1	Condiciones de contorno	39
	40
5.1.2	Mallado.....	40
5.1.3	Resultados del análisis	41
5.2	Diseño del sistema de admisión	42
5.2.1	Limitaciones geométricas.....	42
5.2.2	Diseño preliminar	43
6.	ANÁLISIS FLUIDO-MECÁNICO DEL SISTEMA DE ADMISIÓN	47
6.1	Condiciones de contorno	47
6.2	Mallado geométrico.....	48
6.3	Set-up del análisis	49
6.4	Resultados simulaciones.....	50
6.4.1	Resultado del diseño final	50
7.	ELECCIÓN DE MATERIAL Y PROCESO DE FABRICACIÓN	56
7.1	Elección de material.....	56
	Comparativa límite elástico vs Densidad.....	57
	Comparativa densidad vs Temperatura máxima de servicio	57
	Comparativa densidad vs Precio	58
7.2	Proceso de fabricación.....	58
	Características de la impresora 3D	59
7.3	Conclusión.....	59
8.	DISEÑO FINAL	60
8.1	Unión conductos	61
8.2	Unión caja de remanso/Airbox	61
8.3	Conexión del sistema de admisión el con el motor y con la moto	62
9.	PRESUPUESTO	63
10.	CONCLUSIONES	65
11.	BIBLIOGRAFÍA	66
11.1	Libros.....	66
11.2	Proyectos de fin de grado	66
11.3	Páginas web	66

11.4	Normativa	67
12.	ANEJOS	68
12.1	Cálculos	68
	Gasto másico en diferentes rpm	68
12.2	Resultado simulaciones previas.....	69
	Resultados simulación ilustración 26	69
	69
	Resultados simulación ilustración 27	70
	Resultados simulación ilustración 28	71
12.3	Proceso impresión Ultimaker Cura.....	73
	Conducto 1.....	73
	Conducto 2 y simétrico.....	73
	Conducto 3 y simétrico.....	74
	Conducto 4 y simétrico.....	74
	Conducto 5 y simétrico.....	75
	Airbox 1.....	75
	Airbox 2.....	76
12.4	Planos acotados	76



LISTADO DE SÍMBOLOS

η_v	Rendimiento volumétrico
\dot{m}	Gasto másico (Kg/s)
m	Masa (Kg)
ρ	Densidad ($\frac{Kg}{m^3}$)
A	Área (mm^2)
c	Velocidad (m/s)
i	0.5 para 4T y 1 para 2T
n	Número de revoluciones (rpm)
V	Volumen (m^3)
M	Número de Mach
a	Velocidad del sonido en el medio ($\frac{m}{s}$)
γ	Exponente adiabático
R	Constante de los gases (J/KgK)
T	Temperatura (K)
p	Presión (Pa)
c_p	Calor específico a presión constante ($\frac{J}{KgK}$)
Re	Número de Reynolds
D	Diámetro (m)
μ	Viscosidad dinámica del fluido ($N \cdot s/m^2$)
t	Tiempo (s)
ω	Velocidad angular ($\frac{rad}{s}$)



LISTADO DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Gráfico repartición de puntuaciones fase MS1 y MS2.....</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 2: Anchura máxima del carenado.....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 4: MCIA Daimler AG.....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 4: Motor de combustión externa, Turbina de Vapor.....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 5: Renovación de carga en un 2T.....</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 6: Motor más potente del mundo (2T).....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 7: Renovación de carga en un 4T.....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 8: Diagrama de tipos de sobrealimentadores.....</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 9: Sistema de admisión con airbox.....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 10: Partes sistema de admisión con airbox.....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 11: Datos telemétricos del quipo ETSEIB Racing.....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 12: Gráfico metros recorridos en función de la velocidad.....</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 13: Gráfico curva potencia - par - revoluciones.....</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 14: Realización de mediciones de presión.....</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 15: Gráfico presiones generadas - velocidad.....</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 16: Diagrama con las condiciones de entrada, de parada y de salida de un difusor.....</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 17: Preparación airchivo CAD para simulación CFX.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 18: Asiganción de la entrada y de la salida del sistema.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 19: Asignación del espacio abierto y de las superficies de contacto.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 20: Mallado del objeto.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 21: Puntos de mayor presión del carenado.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 22: Trayectorias del aire y su incidencia en el carenado.....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 23: Ensamblaje de la moto y elementos que pueden causar interferencias.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 24: Visualización del conjunto con el sistema de admisión.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 25: Ensamblaje de la moto con el “dummy”.....</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 26: Antes (Izquierda) y después (Derecha) del primer método de diseño de conductos.....</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 27: Tramo 5 antes (Izquierda) y después (Derecha).....</i>	<i>46</i>

<i>Ilustración 28: Tramo 1 antes (Izquierda) y después (Derecha).</i>	46
<i>Ilustración 29: Tramo 8 antes (Izquierda) y después (Derecha).</i>	46
<i>Ilustración 30: Visualización del sistema de admisión diseñado.</i>	47
<i>Ilustración 31: Condiciones de contorno del sistema de admisión.</i>	48
<i>Ilustración 32: Mallado del sistema.</i>	48
<i>Ilustración 33: Modelo viscoso.</i>	49
<i>Ilustración 34: Valor de los residuales y número de iteraciones.</i>	50
<i>Ilustración 35: Visualización de las líneas de corriente a lo largo del sistema de admisión.</i>	51
<i>Ilustración 36: Presiones obtenidas con la escala ajustada.</i>	52
<i>Ilustración 37: Densidad en el interior del sistema.</i>	53
<i>Ilustración 38: Densidad en el interior de la caja de remanso o airbox.</i>	53
<i>Ilustración 39: Diagrama de distribución.</i>	54
<i>Ilustración 40: Gráfico comparativo entre el límite elástico y la densidad de los materiales.</i>	57
<i>Ilustración 41: Gráfico comparativo entre la Temperatura máxima de servicio y la densidad de los materiales.</i>	57
<i>Ilustración 42: Gráfico comparativo entre la densidad y el precio de los materiales.</i>	58
<i>Ilustración 43: Impresora Stratasys Dimension 1200.</i>	59
<i>Ilustración 44: Diseño final del sistema de admisión</i>	60
<i>Ilustración 45: Unión de conductos.</i>	61
<i>Ilustración 46: Encaje entre conductos.</i>	61
<i>Ilustración 47: Visualización de la caja de remanso y sus partes.</i>	62
<i>Ilustración 48: Ranura para abrazadera.</i>	62
<i>Ilustración 49: Oreja para sujeción a la araña</i>	62
<i>Ilustración 50: Resultados primer diseño.</i>	69
<i>Ilustración 51: Resultados segundo diseño.</i>	69
<i>Ilustración 52: Resultados parte 1 inicial.</i>	70
<i>Ilustración 53: Resultados parte 1 final.</i>	70
<i>Ilustración 54: Resultados parte 5 inicial.</i>	71
<i>Ilustración 55: Resultados parte 5 final.</i>	71
<i>Ilustración 56: Resultados parte 8 inicial.</i>	72

<i>Ilustración 57: Resultados parte 8 final.</i>	<i>72</i>
<i>Ilustración 58: Proceso impresión conducto 1.</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 59: Proceso impresión conducto 2 y simétrico.</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 60: Proceso impresión conducto 3 y simétrico.</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 61: Proceso impresión conducto 4 y simétrico.</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 62: Proceso impresión conducto 5 y simétrico.</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 63: Proceso impresión Airbox parte 1.</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 64: Proceso impresión Airbox parte 2.</i>	<i>76</i>



LISTADO DE TABLAS

<i>Tabla 1: Diferentes datos de partida.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 2: Relación de marchas.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 3: Tabla comparativa de los Límites elásticos, Densidades y Temperaturas máx. de servicio de los diferentes materiales.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 4: Desglose de horas y cantidad de material empleado por pieza.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 5: Total de tiempo y de cantidad de material empleado.</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 6: Material empleado y su precio.</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 7: Coste total del sistema de admisión.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 8: Gastos básicos para diferentes rpm.</i>	<i>68</i>

1. INTRODUCCIÓN

En el año 2019/2020 se celebra la VI edición de la Competición internacional MotoStudent, por lo que el equipo Engineering Proyect Alcoy intentará mejorar los resultados de la edición anterior y continuará aprendiendo del mundo de las carreras.

En una competición donde la mayoría de elementos que componen la moto son idénticos para todos los equipos se pretende mejorar aquellos componentes que la organización no proporciona para poder obtener una mejora de rendimiento del conjunto, ya que cada pequeña mejora que se realice puede marcar una gran diferencia.

1.1 Objetivo

Los principales objetivos del proyecto serán los siguientes:

- Definir las necesidades del motor.
- Determinar la mejor geometría desde el punto de vista fluidodinámico y de prestaciones.
- Definir el material y el proceso de fabricación.

En este proyecto se va a diseñar un sistema de admisión con airbox, cuyo objetivo es mejorar el trasiego de aire que le llegue al motor. Dicho elemento va a determinar cuanta cantidad de gasolina se aporta al proceso de combustión, ya que una mayor entrada de aire permitirá un mayor aporte de combustible, lo que generará un incremento de potencia en la moto.

Para el desarrollo del proyecto, se tendrá que trabajar en cooperación con los distintos departamentos del equipo, para que todo el ensamblaje funcione de la manera deseada, ya que existen numerosas restricciones geométricas.

1.2 Metodología

La termodinámica nos dice que, para generar un aumento de presión, el sistema de admisión que estamos diseñando tiene que comportarse como un difusor. Por tanto, el trabajo comienza con un prediseño basado en la aplicación de fundamentos teóricos de termodinámica a los difusores. Esto permite definir la relación entre el área de entrada y el área de salida del sistema.

A partir de ahí, se elabora un primer diseño 3D ajustándose a las limitaciones del carenado. Su funcionamiento se evalúa a partir de CFD (*computer fluid dynamics*). Este

nos indicará como el sistema de admisión va a afectar a la cantidad de aire que entra al motor. Se trata de un proceso iterativo en el que el diseño se modifica y se evalúa sucesivamente hasta alcanzar la mejor solución posible.

Posteriormente cuando estén completamente definidos el cálculo y el diseño inicial, se procederá a hacer un estudio para la selección de material y de proceso de fabricación, por lo que cuando se haya determinado el tipo de material y el proceso de fabricación empleado se generará un diseño final para su posterior fabricación. Finalmente, una vez esté todo realizado se generará un presupuesto contemplando el coste total de proyecto.

2. ANTECEDENTES



2.1 Competición

Como se ha mencionado en el anterior apartado dicho sistema de admisión estará aplicado para su uso en el prototipo del equipo “Engineering Project Alcoy (EPA)”, que compite en la competición internacional Motostudent en la categoría petrol. La organización MotoStudent consiste en una competición de universidades a nivel internacional, en el cual todos los equipos pretenden elaborar un prototipo para competir en las dos variantes disponibles: Petrol y Electric.

La organización ofrece un “kit MotoStudent” para todos los inscritos en la categoría Petrol, el cual consta de los siguientes elementos:

- Motor KTM 250cc 4T monocilíndrico (MEP).
- ECU del motor (centralita).
- Pinza delantera y trasera de freno junto a su bomba de freno J.Juan.
- Juego de neumáticos slick delanteros y traseros.

La competición sigue la siguiente estructura por lo que consta de dos partes principalmente:

- Fase MS1  Entrega de documentación y proyectos.
- Fase MS2  Pruebas estáticas y dinámicas realizadas en el circuito de Alcañiz (MotorLand).

Cada edición empieza una vez acaba la anterior, se tiene que llevar a cabo en un periodo de unos 18 meses, en los cuales habrá que entregar todas las partes correspondientes de las fases en unos plazos impuestos por la organización.

A continuación, se procede a la explicación de una manera más extensa del reparto de puntos y de los subproyectos de cada fase.

2.1.1 MS1

La primera fase pretende demostrar y reflejar que la motocicleta cumple con los objetivos impuestos por los cuales ha sido diseñada y consta de los siguientes capítulos:

- Capítulo A: Concept development
- Capítulo B: Product design
- Capítulo C: Prototyping and testing
- Capítulo D: Innovation
- Capítulo E: Business plan

El diseño del sistema de admisión con aibox estará enmarcado en el capítulo MS1.

Capítulo 1 Concept development:

El propósito de esta etapa es verificar si el proyecto es viable, por lo que teniendo en cuenta todos los requisitos de diseño se deberán asumir decisiones para poder iniciar correctamente la organización del equipo y del prototipo. Se especificará un organigrama del equipo, la geometría de la moto, materiales que se vayan a emplear, componentes comerciales, etc. No se entrará en detalles, sólo se pretenderá describir las características necesarias para definir un diseño básico del prototipo.

Capítulo B Product design:

En esta etapa debe realizarse el análisis de las diferentes alternativas de diseño para todos los sistemas funcionales que compongan el prototipo. Por lo que se procederá a explicar de una manera detenida el diseño de todos los componentes del conjunto, justificando el correcto funcionamiento de ellos con los estudios ejecutados a cada uno de los componentes.

Además, se adjuntarán todos los estudios térmicos realizados al motor, diseño de escape y refrigeración.

Capítulo C Prototyping and testing:

El principal objetivo de este apartado es contrastar todos los resultados obtenidos en las simulaciones con los datos obtenidos en la vida real. Por lo que se tendrá que presentar un documento donde refleje dichas similitudes.

Capítulo D Innovation:

Se pretende evaluar la capacidad de creatividad y entrega de todos los equipos de la organización, por lo que en este capítulo se tiene que desarrollar un proyecto de innovación el cual tiene que contemplar la viabilidad técnica de su fabricación, por lo que se tendrá que realizar un análisis de fiabilidad, además de un desarrollo de todas las fases del proyecto incluyendo planos de todos los componentes y conclusiones.

Es imperativo que dicho proyecto de innovación se aplique en la moto con la que se vaya a competir.

Capítulo E Business plan

En el capítulo E se debe redactar un informe que refleje un modelo de negocio que cumpla y plasme todos los proyectos comentados anteriormente.

Se tendrá que realizar un análisis de mercado, entorno y de las propias capacidades teniendo en cuenta factores políticos, económicos, etc.

2.1.2 MS2

En la segunda fase del proyecto se evaluarán el comportamiento estático y dinámico de la moto fabricada.

Primeramente, antes de realizar cualquier prueba dinámica, el prototipo tendrá que pasar por una serie de verificaciones técnicas para justificar la seguridad del piloto y del equipo.

Verificaciones técnicas

- **Prueba visual:** Los comisarios de la organización harán una inspección minuciosa del estado del conjunto, atendiendo al cumplimiento de todo el reglamento.
- **Sistema de frenado:** Se comprobará que todos los elementos cumplen con la normativa y que su montaje es correcto y seguro para el piloto.
- **Prueba estática en banco:** El prototipo se colocará en una prensa que lo someterá a una carga vertical de 250 Kg y una horizontal de 300 Kg.

- **Prueba de sonido:** Se medirá la cantidad de decibelios que emite el escape, estando el límite en 105 dB/A medidos de manera estática a 5000 rpm.
- **Seguridad dinámica en pista:** El comisario de la organización comprobará el funcionamiento de la moto en la pista.

Una vez realizadas todas estas verificaciones se dará paso a la realización de las pruebas calificables.

Pruebas calificables:

- **Prueba de frenada:** Evaluación de la distancia necesaria para detener el prototipo por completo desde una velocidad mínima de 80 Km/h.
- **Gymkhana:** El piloto deberá recorrer una pequeña gymkhana cronometrada.
- **Aceleración:** Se tratará de medir la aceleración máxima desde parado en una recta de 150 m.
- **Carrera:** Consistirá principalmente en una carrera de 8 vueltas en el trazado de MotorLand.

Una vez explicadas las dos fases de la competición, en el siguiente gráfico muestra peso de puntuación de cada fase y de sus subproyectos.



Ilustración 1: Gráfico repartición de puntuaciones fase MS1 y MS2.

2.2 Normativa aplicable al sistema de admisión

Según el reglamento el sistema de admisión debe de cumplir los siguientes apartados:

- C.2.1 Conductos de admisión: la composición, dimensiones y situación de los conductos de admisión de aire son libres siempre que éstas cumplan los requerimientos dimensionales de las cotas generales del prototipo.
 - C.2.1.1 No se permite la instalación de dispositivos móviles en el sistema de admisión antes de las válvulas de admisión a la cámara de combustión, a excepción del carburador o cuerpo de mariposa-inyección.
 - C.2.1.2 Sólo se permite la presencia de mezcla aire-combustible y gases recirculados del motor en los conductos de admisión. No está permitida la inyección adicional de otros elementos como etanol, metanol, agua, etc.
- C.2.3 Sistemas de sobrepresión: Está prohibido el uso de sistemas “turbo” para el aumento de presión de gases en la admisión. Únicamente se permite el aprovechamiento aerodinámico del movimiento del vehículo mediante el uso de tomas de aire.
- C.2.4 Airbox y filtración de aire. El diseño de la caja de admisión de aire es libre.

Además, también se tiene que adaptar a las dimensiones que marca la organización, es decir, deberá cumplir las siguientes restricciones para el correcto funcionamiento del conjunto:

- B.2.1 Dimensiones: las dimensiones del prototipo son libres exceptuando los requisitos básicos expuestos a continuación.
 - B.2.1.8 La anchura máxima del carenado será de 600mm.

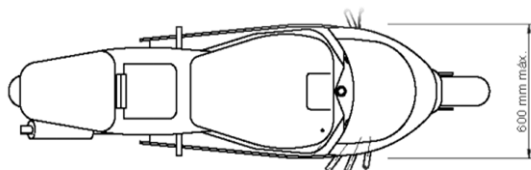


Ilustración 2: Anchura máxima del carenado.

- B.8.1.1 El ángulo de giro mínimo de la dirección deberá ser mayor de 15º medidos a cada lado del eje longitudinal del prototipo.

3.FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 Fundamentos y funcionamiento de un MCIA

Se entiende como motor térmico a un conjunto de elementos mecánicos que consiguen obtener energía mecánica gracias al estado térmico del fluido compresible que atraviesa la máquina, siendo alcanzado mediante un proceso de combustión.

Existen varias variantes de motor térmico de las cuales destacan las siguientes:

- Motor de combustión interna alternativo (MCIA): Es un conjunto de elementos mecánicos por el cual a través de un movimiento alternativo se consigue obtener energía mecánica mediante la energía generada por un proceso de combustión en el seno del fluido que lo atraviesa.
- Motor de combustión externa: Conjunto de elementos mecánicos que logran realizar una conversión de energía calórica en energía mecánica a través de un proceso de combustión externa, es decir, a diferencia de los motores de combustión interna el proceso se realiza en el exterior de la máquina.

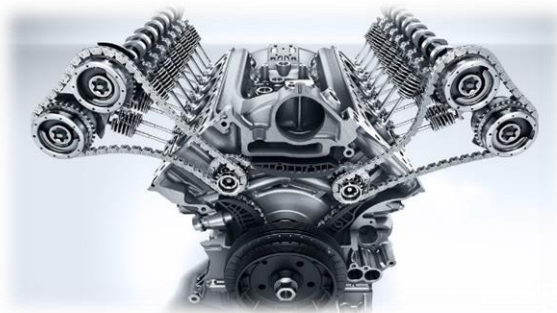


Ilustración 4: MCIA Daimler AG.

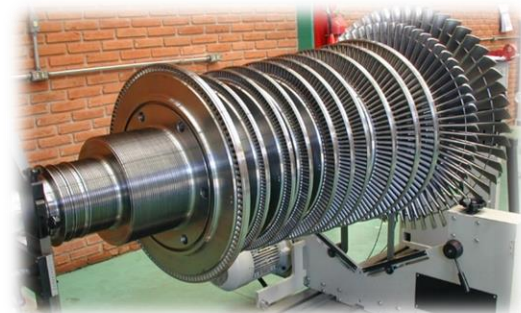


Ilustración 4: Motor de combustión externa, Turbina de Vapor.

3.1.1 Tipos de motores de combustión interna alternativo

Una vez explicado de una forma simple el funcionamiento de los motores de combustión interna se procede a explicar las variantes que existen y en qué erradican sus principales diferencias. Las únicas dos variantes que se pueden hallar son:

- Motor de encendido provocado o MEP
- Motor de encendido por compresión o MEC

3.1.1.1 Motor de encendido provocado o MEP

La principal característica de estos motores es que precisan de bujías para provocar la combustión en el interior del cilindro, por lo que también el combustible mediante el cual se obtendrá la energía mecánica serán los llamados combustibles ligeros con alto octanaje (Gasolina, GLP, GN, Etanol y biogás).

Esto implica que la geometría de los componentes del motor se ajuste a dicha distribución. Otra característica de estos motores se debe a la necesidad de tener premezclada la mezcla de aire y combustible en el momento admisión.

3.1.1.2 Motor de encendido por compresión o MEC

El motor de encendido por compresión no precisa de bujías para iniciar la combustión debido a que combustión se realiza mediante unas condiciones de altas presiones y temperaturas localizadas en el interior del cilindro. Por lo que la mezcla se inyecta directamente en el interior del cilindro a diferencia del MEP que ya viene premezclada de antes, cabe destacar que emplea un combustible pesado con un alto contenido de cetano (gasoil, fueloil y biodiésel).

Como consecuencia del mecanismo de funcionamiento de este tipo de motores se necesitan que sean muy robustos para poder aguantar las presiones que se generan en el interior del cilindro, además son motores mucho más ruidosos que el MEP.

3.2 Renovación de la carga

Como se ha explicado con anterioridad el proceso de combustión es el encargado de la entrega de potencia, como la inyección de combustible es forzada, la entrada de aire en el interior del motor será un fenómeno limitante, ya que en función de la cantidad de aire que sea posible introducir dentro del motor se inyectará más o menos combustible.

Se entiende por renovación de carga al proceso mediante el cual los gases producidos mediante el proceso de combustión son expulsados del cilindro y renovados por mezcla (aire) fresca.

- Motores de 4 Tiempos: Proceso realizado durante las carreras de escape y admisión.
- Motores de 2 Tiempos: Proceso realizado en las cercanías del Punto Muerto Inferior (PMI).

El proceso de renovación de carga se puede efectuar en 4 Tiempos o en 2 Tiempos en función de la geometría del motor.

3.2.1 Renovación de carga en 2T

La principal característica de estos motores es que realiza las 4 fases del ciclo termodinámico (admisión, compresión, explosión y escape) en dos movimientos lineales de pistón, es decir, cada vez que el cigüeñal da una vuelta completa se ejecuta todo el proceso anterior.

Como se ha nombrado anteriormente el funcionamiento de estos motores se realiza en dos fases:

- Tiempo 1: Admisión-Compresión.
- Tiempo 2: Combustión-Escape

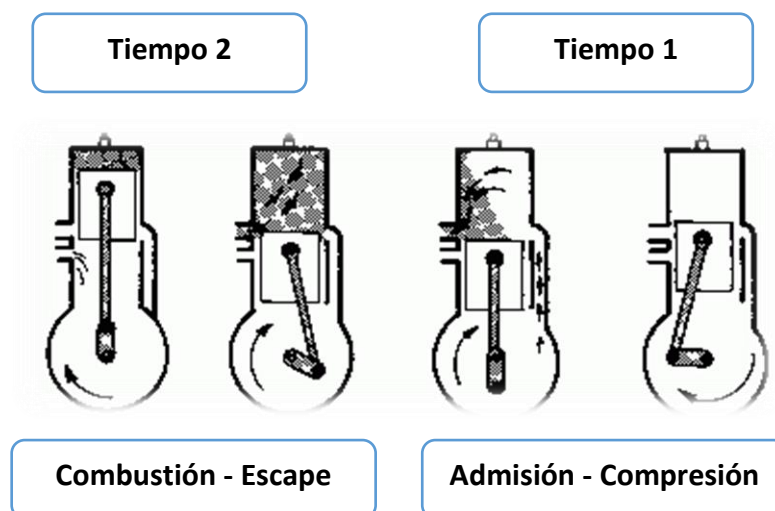


Ilustración 5: Renovación de carga en un 2T

La renovación de la carga en un motor 2 tiempos se realiza mediante un proceso de barrido donde se evacuan los gases quemados en el interior del cilindro y son reemplazados por mezcla fresca. Esto sucede cuando la lumbrera de escape queda desbloqueada al mismo tiempo que la lumbrera de transferencia queda abierta se genera un tránsito de gases que ayuda al barrido de los gases y a la renovación de ellos en el interior de la cámara de combustión. Este proceso genera un cortocircuito en el interior de la cámara de combustión, es decir, como se ha explicado antes sucede que durante un breve periodo de tiempo se puede ocasionar que la lumbrera de admisión y la de escape estén abiertas por lo que ocasiona el paso el directo de mezcla fresca desde la admisión al escape, por lo que se ha de intentar reducir al máximo. De esta manera el

correcto diseño de un sistema de escape es fundamental para conseguir una presión en la lumbrera de escape que favorezca el barrido del cilindro.

Unas de las principales ventajas de estos motores en comparación de los motores de 4 tiempos es la obtención de una potencia específica alta además de la baja complejidad de estos motores .

Como contrapartida son motores que tienen un menor rendimiento, contaminan bastante más que los 4 tiempos y además al funcionar a unas temperaturas mayores generan mucho más fricción, lo que se traducirá en un desgaste prematuro.

Estos motores se suelen emplear en motocicletas aunque su uso está siendo reducido debido a los niveles de contaminación que generan estos motores, también se encuentran en máquinas de accionamiento manual a gasolina (sopladores, cortacésped, moto-sierras, etc.) y principalmente en aplicación naval que es donde el uso de este tipo de motores se ve más extendido.

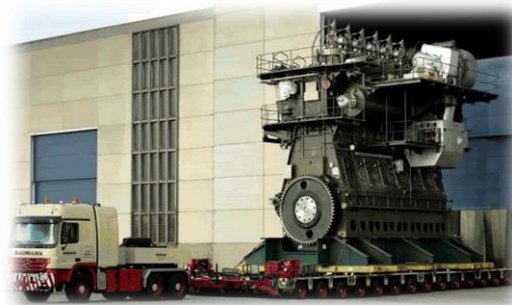


Ilustración 6: Motor más potente del mundo (2T)

3.2.2 Renovación de carga en 4T

Los motores de 4 tiempos cuyo nombre indica todo el proceso se realiza en cuatro movimientos lineales de pistón, es decir, en cada ciclo el cigüeñal del motor da dos

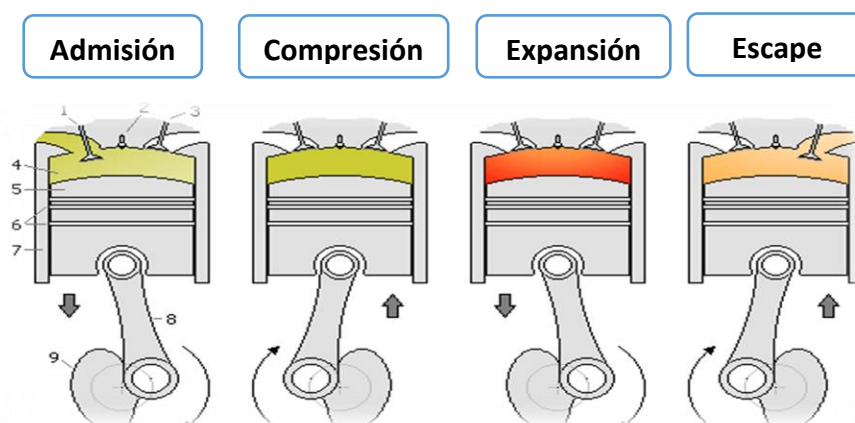


Ilustración 7: Renovación de carga en un 4T

vueltas. En la siguiente imagen se puede visualizar los 4 tiempos en los que está compuesto un ciclo.

3.2.2.1 Proceso de admisión ideal en un 4T

A la hora de estudiar el proceso de admisión, se van a tener en cuenta una serie de simplificaciones:

- Proceso adiabático, no hay transferencia de calor.
- Fluido sin inercia ni fenómenos dinámicos.
- Tiempo de cierre y apertura de válvulas instantáneo en lo PM (Puntos muertos), no existe cortocircuito de mezcla fresca.

Se entiende por rendimiento volumétrico al índice que caracteriza la eficiencia del llenado de los cilindros que posea el motor.

$$\eta_v = \frac{m_a}{\rho_{ref} * i * n * V_{total}} \quad [F. 1]$$

Este índice determinará en este proyecto si el sistema de admisión calculado estará actuando de una manera positiva o, al contrario, reflejará si será deficiente el llenado de cilindros.

Si $\eta_v = 1$ si el aire que entra al motor es el que teóricamente entraría teniendo en cuenta la cilindrada total y el régimen de giro para las condiciones termodinámicas de referencia. Por el contrario, si $\eta_v > 1$ quiere decir que le entra al motor más aire del que necesita en condiciones de referencia, interpretándose como una mejora. Finalmente, si se obtiene un $\eta_v < 1$ quiere decir que está entrando menos aire del que entraría en condiciones de referencia, por lo que se puede interpretar como un empeoramiento.

3.3 Sobrealimentación

Una forma de mejorar el rendimiento volumétrico es mediante el uso de sobrealimentadores, por lo que se define como sobrealimentación del motor al aumento de la densidad del aire en el colector de admisión, de esta manera se consigue aumentar la potencia del motor. Como consecuencia de aumentar la densidad del aire se consigue introducir una mayor cantidad de aire.

Existen varias maneras de conseguir sobrealimentar un motor:

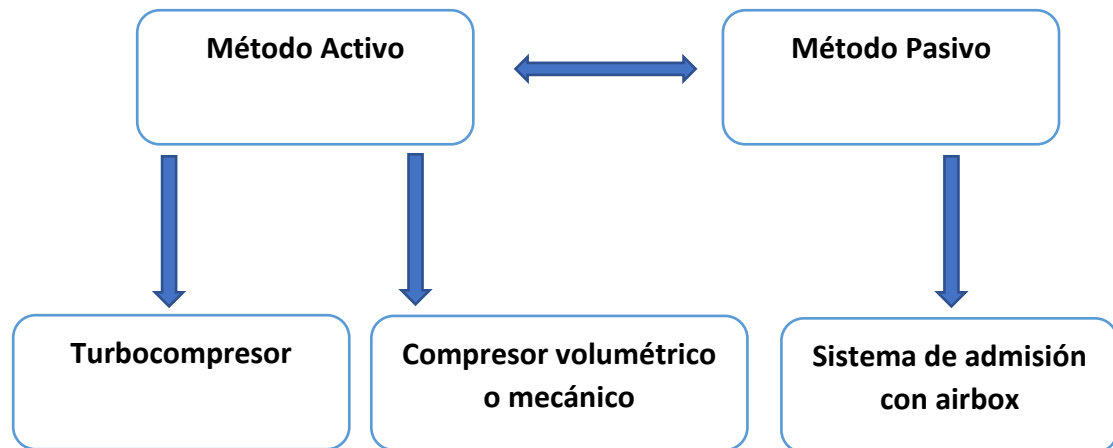


Ilustración 8: Diagrama de tipos de sobrealimentadores.

Cabe destacar que los métodos activos para sobrealimentar un motor requieren de un aporte extra de energía para conseguir generar esa sobrepresión, en el caso de los turbocompresores se aprovecha los gases de escape para generar el movimiento de la turbina para que comprima el aire. Mientras que en el caso de los compresores volumétricos se aprovecha el movimiento del cigüeñal para mover las aspas del compresor y generar la sobrepresión.

Por otro lado, el método pasivo de sobrealimentación aprovecha la inercia y la velocidad que tiene el aire para conseguir comprimir el aire.

Dado que la normativa no deja sobrealimentar el motor del prototipo con métodos activos, se hará uso del método pasivo para poder generar una sobrepresión y un aumento de densidad en la entrada del motor.

3.3.1 Sistema de admisión con airbox

A lo largo de mucho tiempo en el mundo del motociclismo la aerodinámica no se tuvo muy en cuenta, sólo se aplicaba en el mundo de la aeronáutica y posteriormente en los coches de competición. Desde los años 50 el carenado de la moto no tenía ninguna función más que cubrir el interior de él, hasta que a alguien se le ocurrió aprovechar las elevadas velocidades que alcanzaban en carreras para canalizar el viento hasta llegar al motor. Los primeros sistemas de admisión con airbox de empezaron a localizar en las 500 cc de GP (1960), posteriormente en las motos de serie.

El sistema de admisión de una motocicleta funciona aprovechando la velocidad que posee el aire siendo canalizado por los conductos hasta llegar al airbox. Dichos conductos están diseñados geoméricamente para que vayan aumentando su sección transversal a medida que se avanza a lo largo de él, de esta manera se consigue que el

conducto se comporte como un difusor, generando un aumento de la presión del aire a cambio de un descenso en su velocidad a medida que éste avanza por el conducto.

Finalmente, el aire llega a la caja de remanso o airbox donde se acaba parando repentinamente y se acumula generando aún más presión y originando un incremento en la cantidad de aire que se le introduce al motor. Todo esto resulta en un aumento de la densidad del aire a la entrada del motor y, por tanto, un incremento de la cantidad de aire que entra al motor.

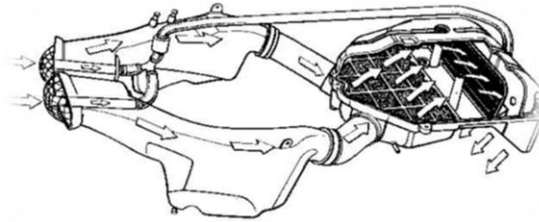


Ilustración 9: Sistema de admisión con airbox.

Los sistemas de admisión con airbox están compuestos por las siguientes 2 partes:

- **Conductos de entrada o Ram-Air:** Se encargan de coger el aire del exterior y de canalizarlo hasta la caja de remanso o airbox. Por el paso de este como se observará en los siguientes puntos, el área transversal irá aumentando a medida que va trascurriendo el conducto comportándose como un difusor.
- **Airbox o caja de remanso:** Sus principales funciones radican en acabar de generar una sobrepresión a la entrada del motor además de funcionar como si de un depósito se tratase, cumpliendo su cometido cuando a bajas velocidades los conductos no sean capaces de alimentar suficientemente al motor de aire.

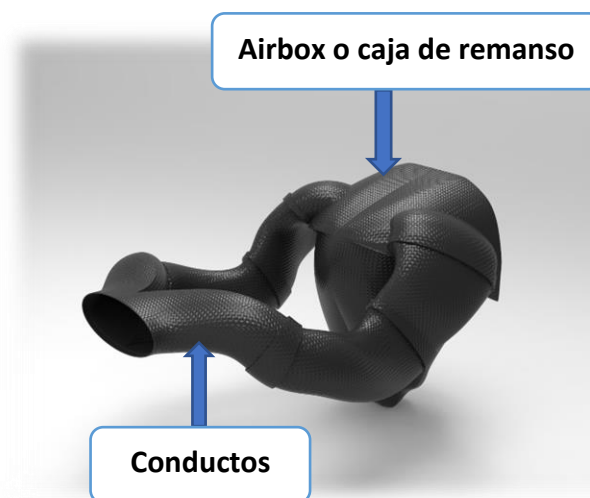


Ilustración 10: Partes sistema de admisión con airbox.

3.4 Fenómeno tobera/difusor

Antes de empezar a definir los conceptos de tobera y difusor se explicará a continuación el significado del número de Mach, ya que en función de su valor la geometría de ambos conceptos variará.

El número de mach es un parámetro adimensional que representa la relación entre la velocidad de un objeto y la velocidad de propagación del sonido en el medio en el que se mueve dicho objeto.

$$M = \frac{c}{a} \quad [F.2]$$

3.4.1 Tobera

Una tobera es un conducto que varía su sección transversal generando una aceleración progresiva del fluido que lo atraviesa a costa de reducir la presión a lo largo del mismo. En la actualidad este es el mejor sistema para lograr una un flujo a alta velocidad.

Para deducir cómo debe de ser la variación del área transversal para conseguir el efecto deseado, se recurrirá al número Mach. En función del valor de Mach se presentarán los siguientes casos:

- $M < 1 \rightarrow$ Flujo subsónico, el área transversal del conducto debe ir disminuyendo si se desea expandir el fluido, dando lugar a una tobera convergente.
- $M = 1 \rightarrow$ Flujo transónico, la sección del conducto alcanza un mínimo cuando $M = 1$, a esta sección se denomina garganta.
- $M > 1 \rightarrow$ Flujo supersónico, en las zonas donde el flujo sea supersónico, se debe de aumentar el área transversal de la tobera para continuar su expansión, llamándose zona divergente de la tobera.

3.4.2 Difusores

Un difusor es un conducto que varía su sección transversal provocando un aumento de la presión del fluido que lo atraviesa a costa de reducir su velocidad a lo largo del mismo. Para deducir cómo debe ser la variación del área transversal, se recurrirá al número de Mach. El diseño del sistema de admisión estará basado en el principio de los difusores ya que lo que se pretende obtener un aumento de presión a la entrada del motor.

Como se ha visto en el apartado anterior en los difusores también variarán su geometría en función del valor de Mach:

- $M < 1 \rightarrow$ Flujo subsónico. La variación del área transversal debe ser positiva, originando a un difusor divergente.
- $M = 0 \rightarrow$ Flujo transónico. Como se ha nombrado en el apartado de toberas, volvemos a tener una sección mínima por lo que tenemos una garganta en el difusor.
- $M > 1 \rightarrow$ Flujo supersónico. La variación del área transversal será negativa originando un difusor convergente.

3.4.3 Descripción del comportamiento de una tobera/difusor.

Si se aplica el principio de conservación de la masa y se considera el proceso adiabático en un conducto (tobera/difusor), se puede llegar a definir las características del fluido a lo largo del mismo como se describirá en los siguientes párrafos.

Definiendo la entrada de la tobera/difusor como estado 1 y la salida como estado 2, Se puede determinar la velocidad en la salida como:

$$c_2 = \sqrt{2 * (h_{00} - h_2) + c_1^2} \quad [F. 3]$$

Como se puede observar en la expresión anterior se ha introducido un estado llamado 00. A este se le conoce como condición de parada y corresponde a un estado hipotético en el que la velocidad es nula. Sería el estado que se alcanzaría si toda la energía cinética del fluido se transformase en entalpía. Por lo tanto, la entalpía en la parada se puede expresar en función de las condiciones de entrada del conducto como:

$$h_{00} = h_2 + \frac{c_1^2}{2} \quad [F. 4]$$

Partiendo de la relación entre la entalpía de parada y la energía de cada sección del conducto, se puede expresar la velocidad el fluido como:

$$c = \sqrt{2 * (h_{00} - h)} \quad [F. 5]$$

Ecuación válida para cualquier fluido que evolucione adiabáticamente a través de un conducto.

Para un gas ideal se cumple que:

$$p = \rho * R * T \quad [F. 6]$$

$$\Delta h = c_p * \Delta T \quad [F. 7]$$

$$c_p = \frac{\gamma * R}{\gamma - 1} \quad [F. 8]$$

Por considerarse el proceso como adiabático:

$$\frac{T}{T_{00}} = \left(\frac{p}{p_{00}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad [F. 9]$$

De la expresión [F. 9] despejando la presión en condiciones de parada obtenemos la siguiente fórmula:

$$p_{00} = p * \left(\frac{T}{T_{00}} \right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} \quad [F. 10]$$

La temperatura en condiciones de parada se puede obtener sustituyendo la expresión [F. 4] en [F. 7]:

$$T_{00} = T + \frac{c^2}{2 * c_p} \quad [F. 11]$$

Para obtener la velocidad en punto de una tobera/difusor se sustituye [F. 7] en [F. 5] dando lugar a:

$$c = \sqrt{2 * c_p * (T_{00} - T)} \quad [F. 12]$$

Incluyendo la ecuación [F. 8] en [F. 12] y operando se obtiene:

$$c = \sqrt{\frac{2 * \gamma}{\gamma - 1} * R * T_{00} * \left(1 - \frac{T}{T_{00}}\right)} \quad [F. 13]$$

Finalmente eliminando la división de temperaturas de [F. 13] con ayuda de la ecuación adiabática [F. 9] se logra conseguir la ecuación que se representa la velocidad en cualquier punto conociendo la presión en dicho punto y las condiciones de parada en la entrada:

$$c = \sqrt{\frac{2 * \gamma}{\gamma - 1} * R * T_{00} * \left(1 - \left(\frac{p}{p_{00}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right)} \quad [F. 14]$$

A la entrada y salida del conducto se debe de cumplir la ecuación de la continuidad, siempre que se cumpla la ley de la conservación de la energía y que el fluido evolucione de una manera isentrópica, por lo que el gasto másico del fluido a la entrada y a la salida ha de ser el mismo:

$$\dot{m} = A * c * \rho \quad [F. 15]$$

Por lo que en la entrada y a la salida de los conductos se cumplirá que:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$A_1 * c_1 * \rho_1 = A_2 * c_2 * \rho_2 \quad [F. 16]$$

A partir de la expresión anterior se podrá determinar la relación entre el área de entrada y el área de salida.

4. CÁLCULO

Antes de ejecutar el estudio del diseño de la pieza, se requiere determinar una serie de datos iniciales a partir de los cuales empezar a calcular. En este punto se explicarán los siguientes apartados:

- Estimación de una velocidad de entrada para el cálculo de relaciones de áreas.
- Determinación del régimen de giro óptimo para situarlo como referencia de consumo de aire por parte del motor.
- Cálculo del número de Mach.
- Aplicación de las ecuaciones planteadas para toberas y difusores.
- Cálculo de una relación de área para los conductos.

4.1 Determinación de la velocidad de entrada

Partiendo de los datos telemétricos que recogió el equipo *ETSEIB Racing* en anteriores ediciones, se procedió a interpretar a partir de dos gráficos qué velocidades eran las más comunes a lo largo del circuito, dado que nuestro equipo no obtuvo datos telemétricos como los siguientes que se van a presentar y también dada la similitud de los tiempos de vuelta de ambos equipos se decidió confiar con estos gráficos para de alguna manera poder justificar las condiciones representativas de entrada del aire al conducto de admisión. Cabe destacar que el prototipo del equipo *ETSEIB Racing* compitió con un motor con la misma arquitectura que el actual, además los datos recogidos son del mismo circuito en el que se competirá en la edición actual.

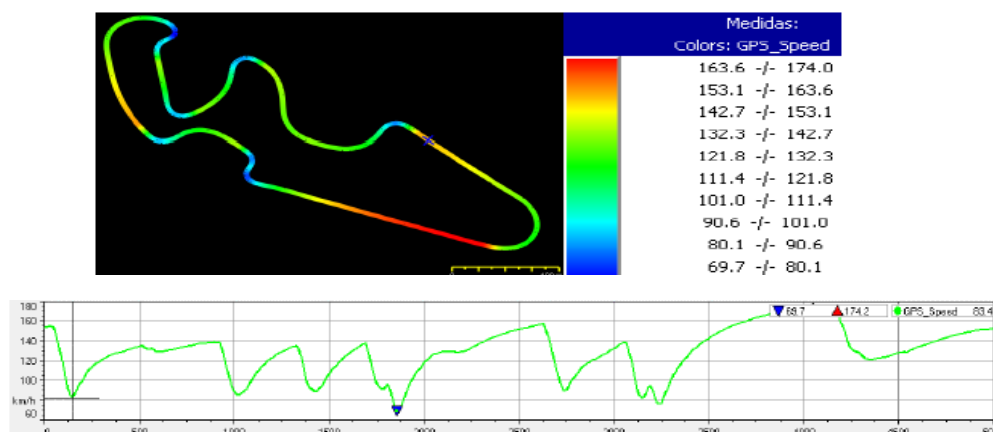


Ilustración 11: Datos telemétricos del equipo *ETSEIB Racing*.

A partir de los datos que nos proporciona el gráfico que representa las velocidades en función de los metros que contiene el trazado, se consigue obtener la siguiente gráfica que contrasta varios intervalos de velocidad con los metros recorridos de cada intervalo.

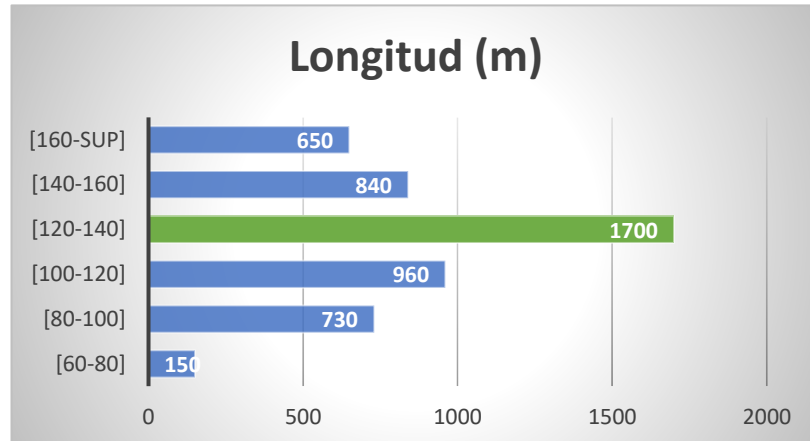


Ilustración 12: Gráfico metros recorridos en función de la velocidad

Como se puede observar el intervalo elegido será el de [120-140] Km/h. Dado que el intervalo abarca bastantes valores de velocidad, para los cálculos se seleccionará el valor intermedio \rightarrow 130 Km/h.

$$c_1 = 130 \text{ Km/h}$$

4.2 Determinación de un régimen de giro.

Necesariamente, se tiene que estimar un gasto másico de aire de referencia para poder definir el rendimiento volumétrico una vez se haya obtenido todos los datos finales de las simulaciones, y afirmar el correcto funcionamiento del sistema de admisión. A partir de las especificaciones técnicas del motor de podrá determinar el gasto másico.

D_p (mm)	72,00
$Carrera$ (mm)	61,10
V_t (cc ³)	248,80
R_a ($\frac{J}{KgK}$)	287,00
T (°C)	22,00
ρ_{aire} (Kg/m ³)	1,18
R_c	12,50
V_{cc} (cm ³)	19,98
η_v	1,00

← Ideal

Tabla 1: Diferentes datos de partida.

Para poder calcular el gasto másico se necesita determinar un régimen de vueltas en las que el motor consumirá una cantidad determinada de aire. A partir de la siguiente gráfica obtenida del mismo motor en un banco de potencia se puede observar la máxima potencia y al régimen de vueltas del motor a la que se obtiene. Como consecuencia si optimizamos el sistema de admisión para que pueda alimentar de aire el motor en el punto de mayor potencia, el aumento de los resultados puede ser aún más exponencial.

Cabe destacar que la potencia dada en el banco no concuerda con las características técnicas del motor que aporta la organización. Esto es debido a la implementación de un “race chip” en la ECU del prototipo que proporciona un extra de potencia y de par, así como un aumento del régimen de vueltas máximo del motor.

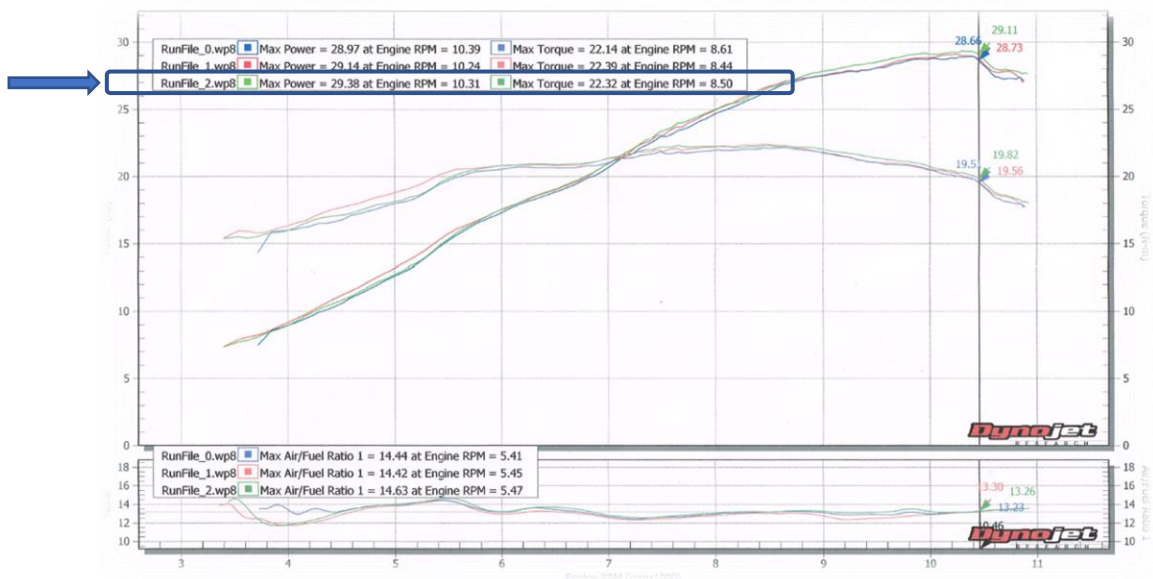


Ilustración 13: Gráfico curva potencia - par - revoluciones.

Observando el gráfico se obtiene que para un régimen de vueltas de 10310 rpm se logra una potencia de 29.38 hp. A partir de la relación de marchas calculada se puede observar que para el intervalo elegido se logra alcanzar las revoluciones de máxima potencia:

Marcha	Velocidad (km/h)	RPM
4	124,23	10000
	136,65	11000
5	126,17	8500
	141,012	9500
6	126,77	7500
	143,67	8500

Tabla 2: Relación de marchas

A partir de fórmula del rendimiento volumétrico se puede obtener el consumo de aire del motor a ese régimen de giro:

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_a}{\rho_{ref} * i * n * V_{total}} \quad [F. 1]$$

Aislando el gasto másico de aire se queda la siguiente expresión:

$$\dot{m}_a = \eta_v * \rho_{ref} * i * n * V_{total}$$

Una vez despejado el gasto másico se aplican todos los datos conocidos hallando el gasto másico de referencia que se buscaba:

$$\dot{m}_{aref} = 1 * 1.189 * 0.5 * \left(\frac{10310}{60}\right) * \left(\frac{248.8}{10^6}\right) = 0.0252 \text{ Kg/s}$$

Por lo que el motor a un régimen de 10310 rpm consumirá 0.0252 Kg/s de aire.

4.3 Cálculo del número Mach

Para conseguir un aumento de la presión en la admisión del motor y conseguir un mejor llenado de los cilindros, el sistema de admisión debe generar un aumento de presión en el aire. Esto se consigue empleando unos conductos con la geometría de un difusor. Por lo que se requiere del cálculo del número de Mach para poder determinar la geometría de estos:

$$M = \frac{c}{a} \quad [F. 2]$$

$a \rightarrow$ Velocidad de propagación del sonido en aire a 20°C $\rightarrow 343 \frac{m}{s}$

$$M = \frac{36.11}{343} = 0.108 < 1 \quad \leftarrow \text{Subsónico}$$

Siendo el número de Mach menor que la unidad se cumplirá que la variación del área transversal debe ser positiva, originando un difusor divergente.

4.4 Ecuaciones de toberas y difusores

Una estimación del valor buscado se puede obtener a partir de un experimento que realizaron los técnicos de Kawasaki, ya que estudiaron los beneficios que se obtenían con la aplicación de estos sistemas de admisión en sus motocicletas.



Ilustración 14: Realización de mediciones de presión.

Para estudiar los beneficios que aportaban estos sistemas idearon un sistema a partir del cual, con la ayuda de un ventilador con la capacidad de acelerar grandes cantidades de aire, se conectó a la entrada de los conductos de admisión simulando de esta manera el funcionamiento de la moto a diferentes velocidades. Con el uso de un manómetro se pudieron realizar mediciones de los niveles de presión a la salida de los conductos obteniendo el siguiente gráfico:



Ilustración 15: Gráfico presiones generadas - velocidad

Como se puede observar a medida que las velocidades aumentaban las presiones a la salida de los conductos también lo hacían por lo que teniendo en cuenta estos resultados y que las condiciones de contorno seleccionadas para diseñar el sistema de admisión, se estimó una ganancia de presión de unos 7 mbar al final de los conductos. Es importante informar que este valor se eligió mediante un proceso iterativo con las fórmulas que se van a mostrar en los siguientes apartados. Esto es debido a que considerando un incremento mayor al elegido supondría una relación final de áreas que originaría unas superficies que no se podría alojar en el interior en la moto, por lo que

se decidió ajustar este valor en función de los obstáculos geométricos que generaba los componentes de la moto.

Una vez se ha aclarado la elección del valor del incremento de presión se aplicarán los conceptos desarrollados previamente para poder caracterizar el comportamiento del difusor y, finalmente, determinar la relación que ha de existir entre el área de salida y el área de entrada.

Partiendo de los siguientes datos conocidos o calculados, se tiene:

- $\gamma = 1.4 \rightarrow$ Propiedades del aire
 - $R = 287 \text{ J/KgK}$
 - $T_{00} = 273 \text{ K} + 20 \text{ °C} = 293 \text{ K}$
 - $p_{00} = 1.013 \text{ bar}$
- } \rightarrow Condiciones ambientales
- $\Delta p = 7 \text{ mbar} \rightarrow$ Extraído de estudio de Kawasaki
 - $c_1 = 130 \frac{\text{Km}}{\text{h}} = 36.111 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

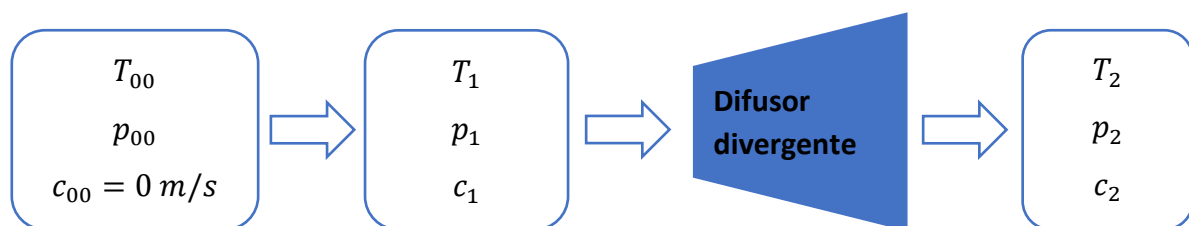


Ilustración 16: Diagrama con las condiciones de entrada, de parada y de salida de un difusor.

Cuando ya se tienen todos los parámetros iniciales se procede a calcular todo lo necesario para la obtención de la relación de áreas, partiendo del calor específico a presión constante (c_p):

$$c_p = \frac{\gamma * R}{\gamma - 1} \quad [F. 7]$$

$$c_p = \frac{1.4 * 287}{1.4 - 1} = 1004.5 \frac{\text{J}}{\text{KgK}}$$

Cuando se calcula c_p , ya se puede aplicar en la fórmula [F. 10] pudiendo hallar la temperatura de entrada de los conductos:

$$T_{00} = T + \frac{c^2}{2 * c_p} \quad [F. 10]$$

$$T_1 = T_{00} - \frac{c_1^2}{2 * c_p}$$

$$T_1 = 293 - \frac{36.111^2}{2 * 1004.5} = 292.351 \text{ K}$$

Obteniendo la temperatura a la entrada se puede proseguir con el cálculo de la presión a la entrada de los conductos:

$$p_{00} = p * \left(\frac{T}{T_{00}} \right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} \quad [F. 9]$$

$$p_1 = \frac{p_{00}}{\left(\frac{T_1}{T_{00}} \right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}}}$$

$$p_1 = \frac{1.013}{\left(\frac{292.351}{293} \right)^{\frac{1.4}{1-1.4}}} = 1.00517 \text{ bar}$$

A partir de la p_1 sumándole el Δp del estudio de Kawasaki se obtiene:

$$p_2 = p_1 + \frac{7}{1000} = 1.0122 \text{ bar}$$

Con el cálculo de la p_2 se da paso al cálculo de la velocidad de salida del conducto, por lo que se aplicará siguiente fórmula:

$$c_2 = \sqrt{\frac{2 * \gamma}{\gamma - 1} * R * T_{00} * \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_{00}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right)} \quad [F. 13]$$

$$c_2 = \sqrt{\frac{2 * 1.4}{1.4 - 1} * 287 * 293 * \left(1 - \left(\frac{1.0122}{1.013}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}}\right)} = 11.759 \text{ m/s}$$

Para finalizar, se calculará la temperatura de salida del difusor aplicando la siguiente expresión:

$$T_{00} = T_2 + \frac{c_2^2}{2 * c_p} \quad [F. 10]$$

$$T_2 = T_{00} - \frac{c_2^2}{2 * c_p}$$

$$T_2 = 293 - \frac{11.759^2}{2 * 1004.5} = 292.931 \text{ K}$$

4.5 Cálculo relación de áreas

Obteniendo todos los parámetros relacionados con la entrada y salida de los conductos del sistema de admisión, con ayuda de la ecuación de continuidad para los gases ideales se puede hallar la relación de áreas entre la entrada y salida de los conductos, partiendo de esta relación se podrá definir geoméricamente el sistema de admisión por completo.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$A_1 * c_1 * \rho_1 = A_2 * c_2 * \rho_2 \quad [F. 16]$$

Y aislando la densidad de la ecuación de los gases ideales y aplicándola en la ecuación de la continuidad se obtendrá la relación de áreas:

$$p = \rho * R * T \quad [F.6]$$

$$\rho = \frac{p}{R * T}$$

$$A_1 * c_1 * \frac{p_1}{R * T_1} = A_2 * c_2 * \frac{p_2}{R * T_2}$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{c_2}{c_1} * \frac{p_2}{p_1} * \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{11.759}{36.111} * \frac{1.0122}{1.00517} * \frac{292.351}{292.931}$$

$$\frac{A_1}{A_2} = 0.327$$

5. DISEÑO

5.1 Estudio del carenado

Antes de que se empiece a estipular un área de entrada del sistema de admisión para poder obtener la salida, se debe de realizar un estudio aerodinámico para poder ver los puntos donde el viento ejerce más fuerza, siendo ahí donde se colocará la entrada de nuestra admisión.

Partiendo del carenado que se va a presentar para un premio de un apartado de la competición se realizará un estudio CFD para comprobar los puntos con mayor incidencia de aire.

El análisis CFD se realizó mediante el software llamado Ansys con su módulo Fluid Flow CFX, por lo que antes de empezar con la simulación se preparó un archivo CAD que contuviera el carenado y las ruedas (Las demás partes como el chasis, basculante y demás, se suprimieron para que el análisis no fuera demasiado complejo).

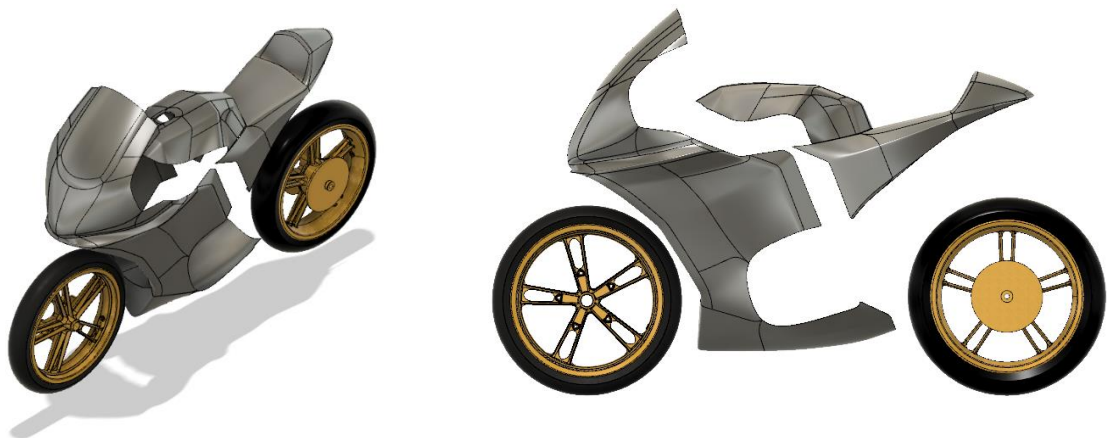


Ilustración 17: Preparación archivo CAD para simulación CFX.

5.1.1 Condiciones de contorno

Antes de ejecutar el análisis se deben definir las condiciones de contorno de la simulación, por lo que habrá que definir los siguientes puntos:

- Entrada
- Salida
- Espacio abierto

- Superficies de contacto
- Velocidad del aire → 130 Km/h

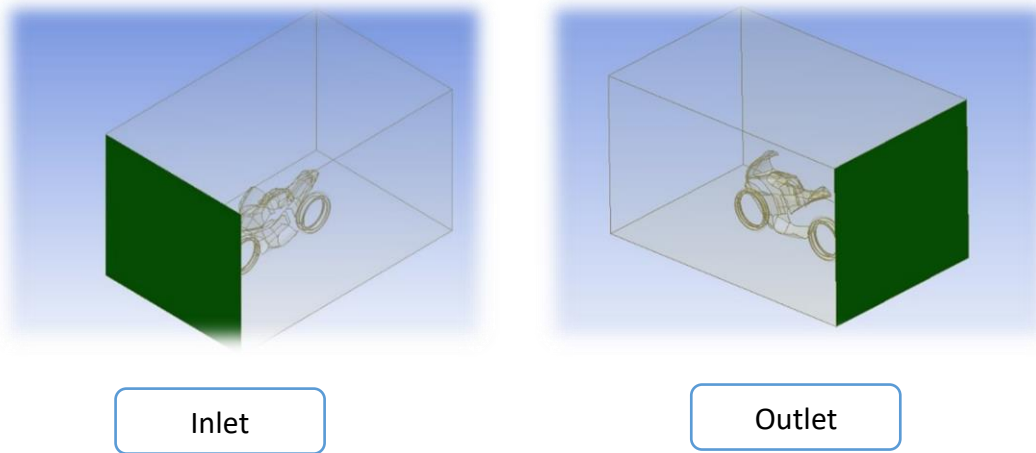


Ilustración 18: Asignación de la entrada y de la salida del sistema.

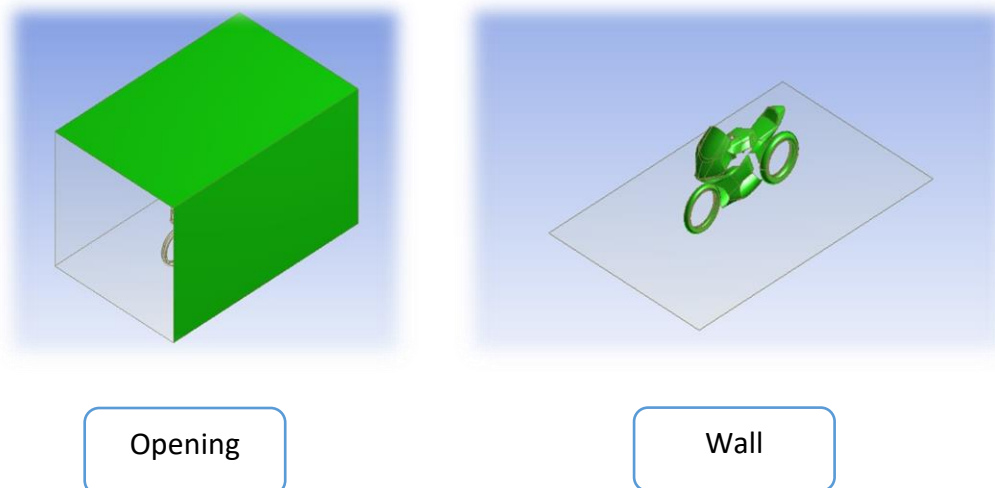


Ilustración 19: Asignación del espacio abierto y de las superficies de contacto.

5.1.2 Mallado

Una vez definidas las condiciones de contorno se procede a ejecutar el mallado de los elementos a analizar. Dado que no se necesita una alta precisión de análisis se ejecuta el mallado que recomienda Ansys con un tamaño máximo de celda de 200 mm. Cabe destacar que el programa detecta los puntos clave del análisis por lo que el tamaño de celda será mucho menor en la mayoría de las partes del objeto.

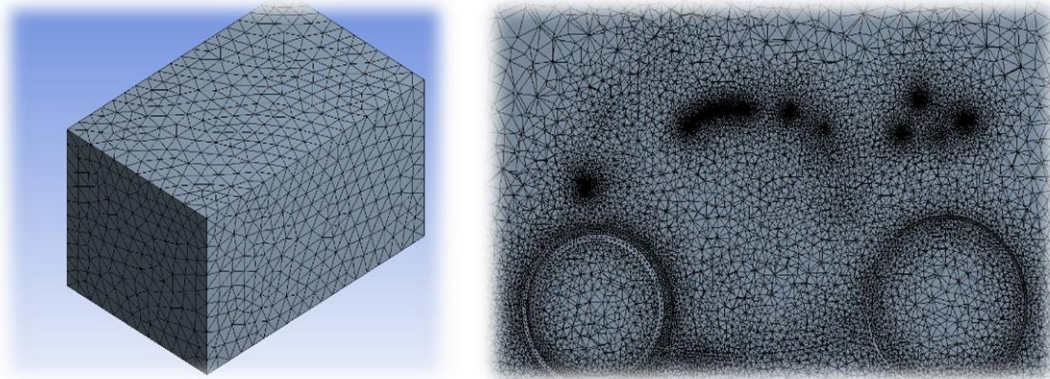


Ilustración 20: Mallado del objeto

5.1.3 Resultados del análisis

Realizados todos los pasos anteriores, se ejecuta el análisis y el programa nos proporciona los siguientes resultados mostrados en las imágenes:

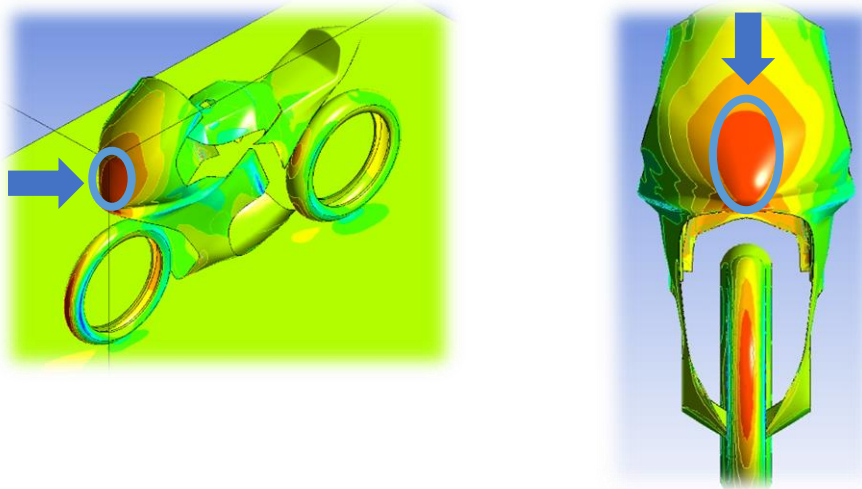


Ilustración 21: Puntos de mayor presión del carenado.

Como se puede observar en las imágenes las zonas rojas son los puntos donde mayor presión ejerce el aire sobre el carenado, mientras que las zonas azules es donde localizan las menores presiones, por lo que la entrada de los conductos estará situada en la zona de franjas rojas.

El programa también nos proporciona una representación gráfica de las líneas con la trayectoria del aire y su incidencia en el carenado.



Ilustración 22: Trayectorias del aire y su incidencia en el carenado

5.2 Diseño del sistema de admisión

Una vez conocida la posición de la entrada del sistema de admisión, se impondrá un área de entrada que se amolde a la geometría, por lo que teniendo en cuenta:

$$A_1 = 3900 \text{ mm}^2 \text{ aprox.}$$

Aplicando la relación de áreas, se obtiene un área de salida de:

$$A_2 = \frac{3900}{0.327} = 11926.606 \text{ mm}^2 \approx 12000 \text{ mm}^2$$

El diseño inicial se realizará mediante el software Fusion 360 de Autodesk, se eligió este programa por la facilidad del diseño de superficies que proporciona.

5.2.1 Limitaciones geométricas

A la hora de diseñar el sistema de admisión se tienen que tener en cuenta diversos aspectos que pueden afectar posteriormente en el funcionamiento de la moto, las principales restricciones fueron las siguientes:

- Se tiene que amoldar a la geometría del carenado lo máximo posible.
- El sistema de admisión no tiene que bloquear ni el giro de la horquilla (mínimo de 15° según especifica la normativa) ni la retracción durante la compresión de la misma.
- No tiene que interponerse con el sistema de suspensión trasero.
- Debe ajustarse a la entrada del motor y a su forma compleja.

- Obligatoriamente tiene que ser ergonómico para el piloto, no tiene que obstaculizar la posición natural de él.

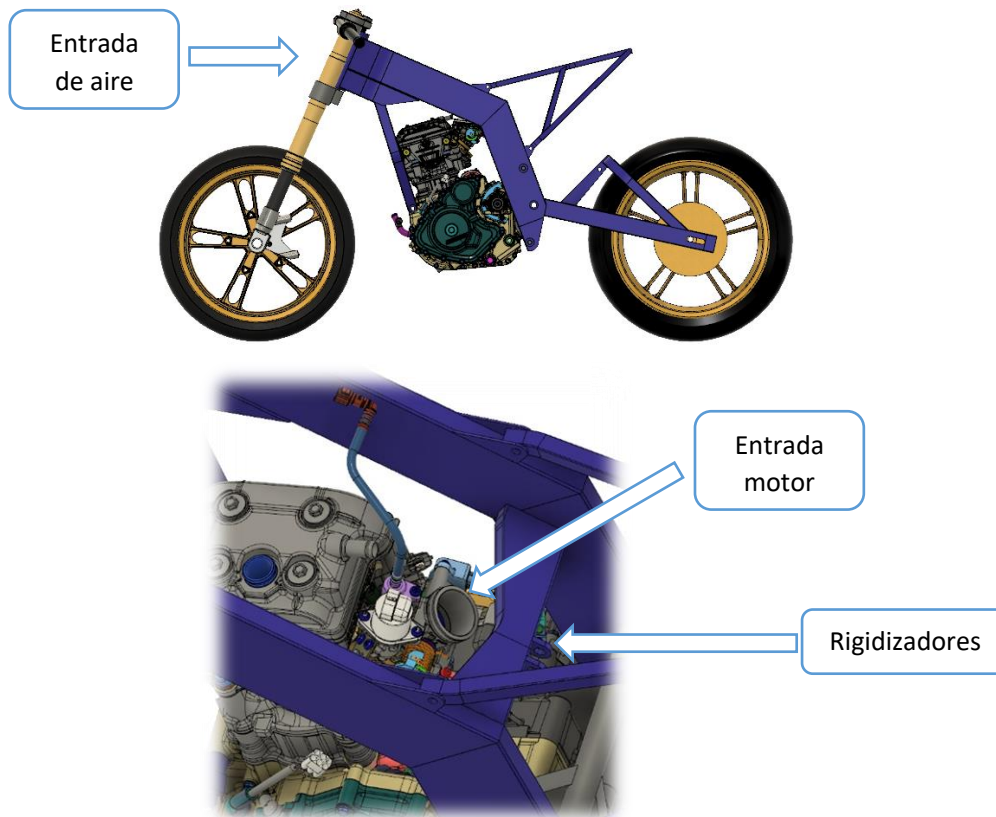


Ilustración 23: Ensamblaje de la moto y elementos que pueden causar interferencias.

5.2.2 Diseño preliminar

Teniendo en consideración todos los apartados anteriores con todas sus restricciones, se realizaron numerosos diseños hasta poder obtener uno que englobara todos los objetivos que se deseaban conseguir.

De todas las diferentes variantes que se podrían diseñar se eligió realizar dos conductos, uno a cada extremo de la moto, atravesándola por la parte superior del chasis. Se estudiaron diversas formas de realizarlo, pero se tenía claro que imperativamente el sistema debería de contener dos conductos para poder introducir la mayor cantidad de aire, por lo que no quedó otra posibilidad de diseño, ya que introducir los conductos por el interior del chasis era imposible dado que el motor está desplazado a la derecha.

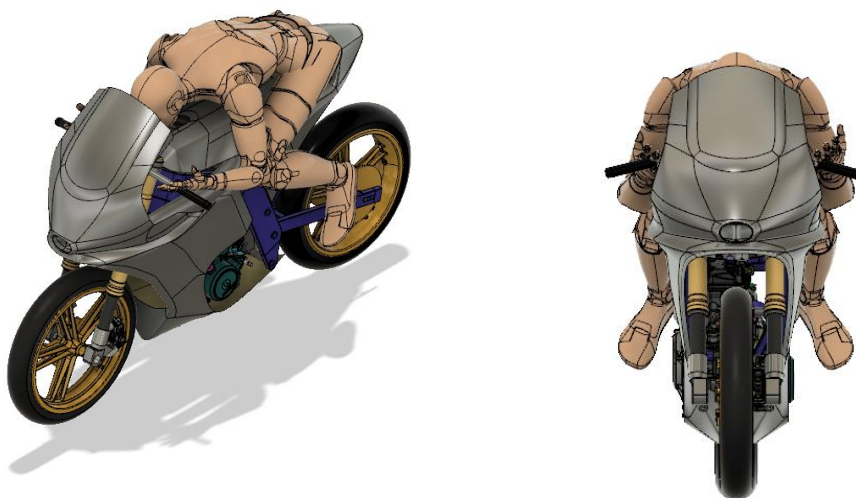
El diseño se realizó en dos partes, por una parte, se diseñaron la forma de los conductos con la relación de áreas calculada, siempre aumentando su área transversal de una manera continua y finalmente por otra parte se diseñó la caja de remanso o airbox.

A continuación, se muestran unas imágenes de dicho diseño y como se acomoda alrededor de toda la geometría de la moto:



Ilustración 24: Visualización del conjunto con el sistema de admisión.

Para comprobar que en el diseño cupiese el piloto se insertó un “dummy” con las dimensiones del piloto y con la posición que iba a adquirir en la moto. De esta manera se asegura que no haya interferencias entre la geometría del sistema de admisión y el piloto.



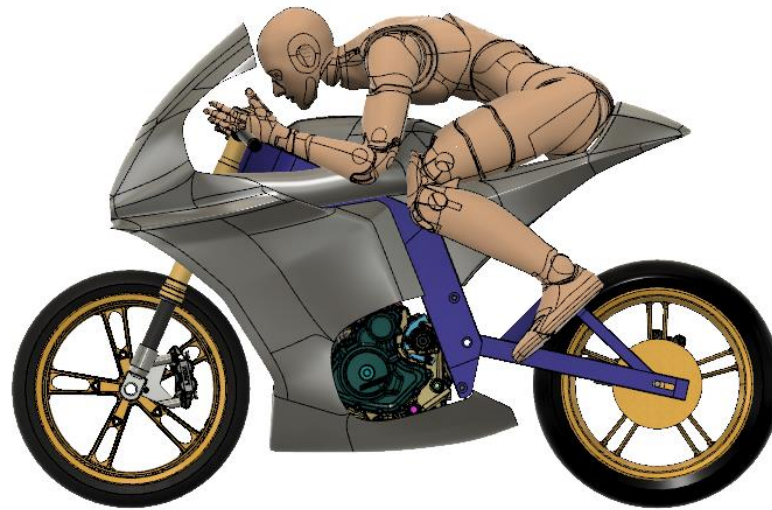


Ilustración 25: Ensamblaje de la moto con el “dummy”

Para llegar al diseño que se ha observado en las imágenes se realizaron numerosas pruebas. En un primer instante se intentó realizar un diseño por completo de ambos conductos, pero los resultados que se obtuvieron no fueron satisfactorios debido a la complejidad de poder controlar en todo momento que el fluido no generase turbulencias. Esto es debido al interés en que el aire se comporte de una manera lineal a lo largo de todo el sistema, evitando que origine presiones o pérdidas de presiones donde no se desea.

Por eso se planteó un sistema diferente el cual consistía en el diseño de los conductos por tramos, es decir, cuando se moldeaba el primer tramo se simulaba con el software y se modificaba la curvatura hasta conseguir que el fluido que iba a circular por su interior no causase turbulencias. Una vez realizado, se prolongaba el conducto y se volvía a repetir este proceso. Se repitió durante 8 tramos hasta llegar a la entrada de la caja de remanso. En las siguientes imágenes se puede observar el antes y el después de algunos tramos de los conductos:

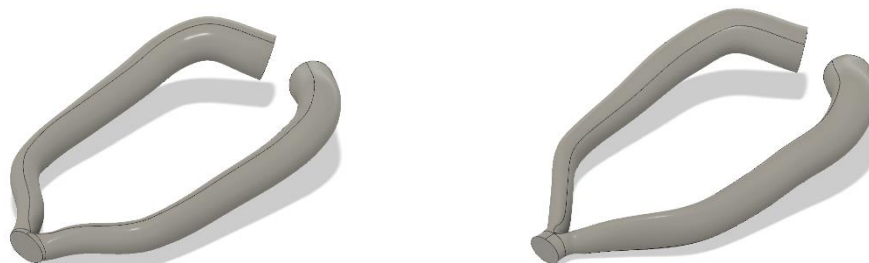


Ilustración 26: Antes (Izquierda) y después (Derecha) del primer método de diseño de conductos.

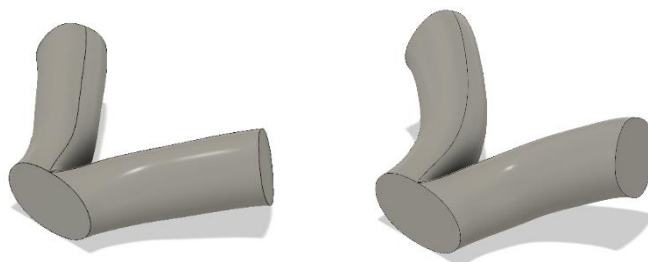


Ilustración 28: Tramo 1 antes (Izquierda) y después (Derecha).



Ilustración 27: Tramo 5 antes (Izquierda) y después (Derecha).



Ilustración 29: Tramo 8 antes (Izquierda) y después (Derecha).

Los resultados de las simulaciones de todos los conductos que se realizaron previos al que finalmente se fabricaría se encuentran en los anejos de simulaciones.

6. ANÁLISIS FLUIDO-MECÁNICO DEL SISTEMA DE ADMISIÓN

En este apartado se va a proceder al análisis del diseño preliminar para la simulación utilizando el software Ansys con el complemento Fluid Flow (Fluent), permitiendo resolver problemas relacionados con la dinámica y el movimiento de los fluidos que atraviesan interiormente el objeto. Como se ha comentado en capítulos anteriores este procedimiento se ejecutó en forma de bucle hasta dar con la solución correcta.

6.1 Condiciones de contorno

Partiendo del objeto macizo, se necesitan definir las condiciones de contorno para poderlas introducir en el programa y que este analice correctamente todo el conjunto, por lo que a continuación se muestran las condiciones de contorno que se introducirán en el programa a medida que el análisis avance:

- Definir la entrada, la salida y la pared de todo el objeto.
- Velocidad a la que entra el aire al sistema $\rightarrow 130 \text{ Km/h}$
- Temperatura del aire $\rightarrow 20^\circ\text{C}$
- Estimar el valor del número de Reynolds para estimar el tipo de modelo en el que se basará.

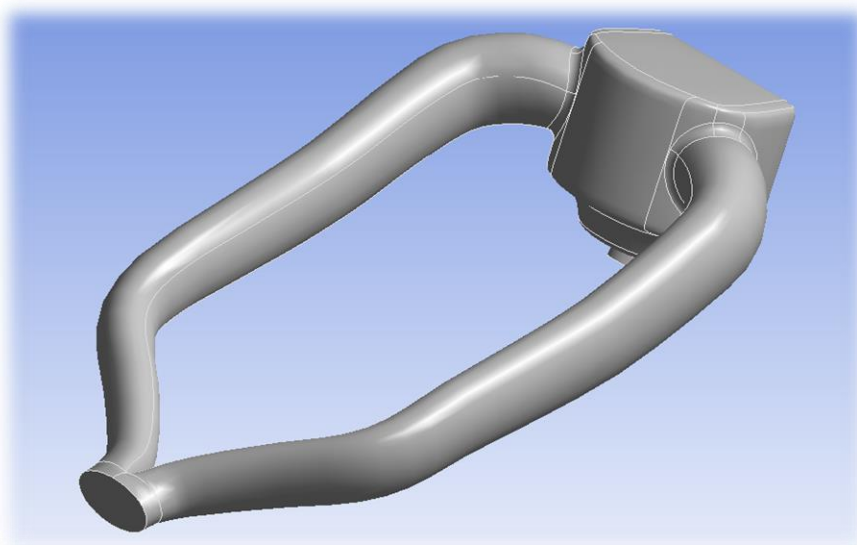


Ilustración 30: Visualización del sistema de admisión diseñado.

6.2 Mallado geométrico

Antes de ejecutar el mallado del objeto, será necesario determinar al programa la entrada, la salida y la pared del objeto.

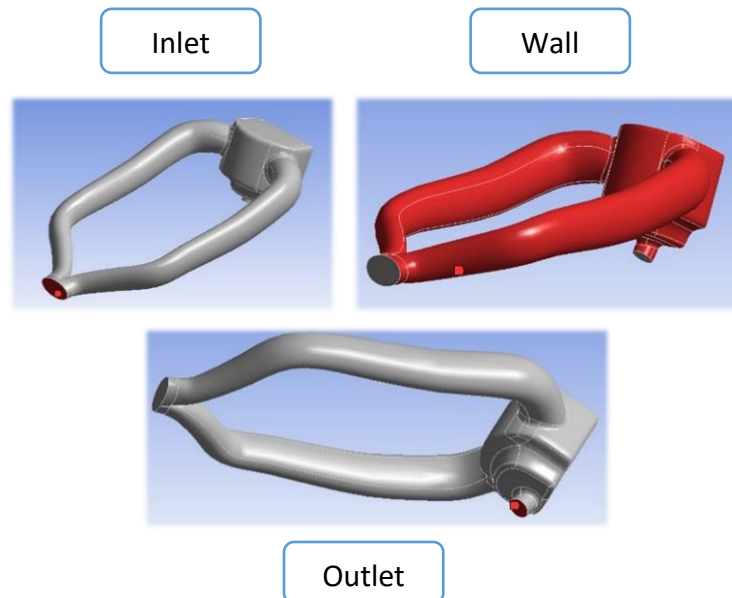


Ilustración 31: Condiciones de contorno del sistema de admisión.

Una vez definidas la entrada, la pared y la salida se procede a ejecutar el mallado del volumen de control. El tamaño de celda que genere el programa será de gran importancia debido a que este factor depende de la calidad de los resultados y del número de iteración que serán necesarias ejecutar para que los resultados sean los más fiables posibles. Tras realizar diversas pruebas se optó por un tamaño de grano de 15mm, estando activada la opción de la malla adaptativa generando automáticamente un tamaño de malla menor en los lugares donde el programa cree conveniente estudiar con mayor detalle. El tamaño de malla se vio afectado por el hardware en el que se ejecutaba el análisis, ya que con un tamaño menor de grano se provocarían tiempos excesivos en la resolución de las ecuaciones debido a un mayor número de celdas. Por lo que se generó la malla de la siguiente manera:

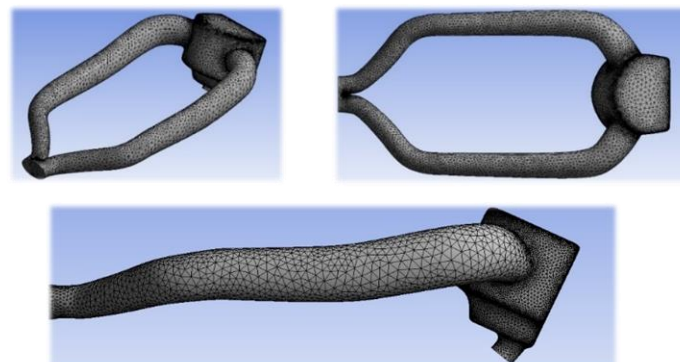


Ilustración 32: Mallado del sistema.

6.3 Set-up del análisis

Como se ha indicado a principio de este capítulo se debe determinar el número de Reynolds para poder elegir el modelo en que se base el análisis. Por lo que partiendo de la ecuación del número de Reynolds se sabrá si el fluido dentro del conducto se comportará como un flujo laminar ($R_e < 2300$) o como un flujo turbulento ($R_e > 2300$):

$$R_e = \frac{\rho * D * c}{\mu} \quad [F. 15]$$

$$R_e = \frac{1.189 * 0.045 * 36.111}{1.8 * 10^{-5}}$$

$$R_e = 107339.948 \gg 2300 \rightarrow \text{Flujo Turbulento}$$

Una vez corroborado que el fluido se va a comportar como un flujo turbulento se tiene que determinar selección del modelo correcto para obtener los resultados más semejantes a la realidad. En este caso se decidió emplear el modelo *k-epsilon* como modelo turbulento.

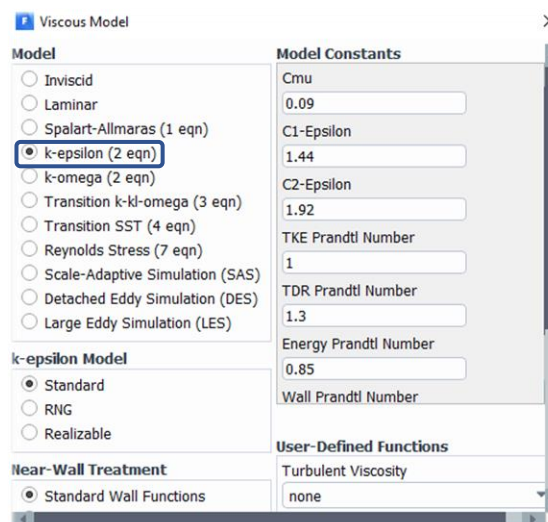


Ilustración 33: Modelo viscoso.

Cabe destacar que el programa asigna el valor de la densidad del aire como una constante, por lo que para que el fluido varíe su densidad se tiene establecer que actúe siguiendo el comportamiento de los gases ideales, de esta manera se logrará ver los puntos donde el fluido cambia su densidad como consecuencia de los incrementos de presión.

Para resolver el análisis se asignarán todas las condiciones de contorno en “*Boundary Conditions*”, dentro de esta opción se introducen todas las condiciones de contorno como pueden ser la velocidad de entrada y la temperatura a la que entra el aire, así como todas las condiciones de partida deseadas en las partes determinadas en el mallado (*inlet*, *outlet* y *wall*).

Finalmente, si se desea obtener los resultados con un alto grado de seguridad, antes de ejecutar el cálculo se deben cambiar los residuales, la función de los residuales es determinar un límite de fiabilidad de los resultados de las iteraciones que se realizan, de esta manera cuando los valores sobrepasan los límites que se han estipulado en los residuales, el resultado converge y el programa deja de iterar acabando el cálculo. En este caso se ha impuesto unos valores de residuales de $10e-6$.

En la siguiente imagen se puede observar el valor de los residuales, así como el número de iteraciones que se realizaron hasta obtener unos valores constantes de residuales.

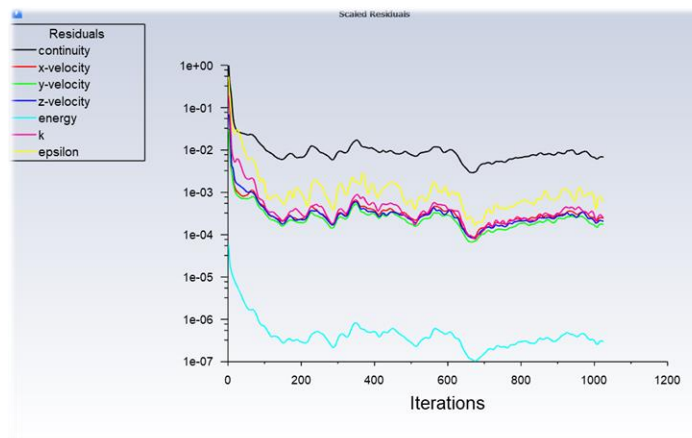


Ilustración 34: Valor de los residuales y número de iteraciones.

6.4 Resultados simulaciones

La sección 4 del capítulo 6 va a estar destinada para la parte correspondiente a la solución del diseño preliminar que posteriormente se rediseñará para su fabricación.

6.4.1 Resultado del diseño final

Cuando se ha completado todo el número de iteraciones deseado para cumplir un determinado grado de fiabilidad en los resultados, se procede a visualizar los resultados obtenidos en el análisis. Los objetivos que se desean conseguir son los siguientes:

- El fluido se debe comportar lo más lineal posible sin generar muchas turbulencias.

- Aumento de presión como consecuencia de una disminución de la velocidad.
- Aumento de densidad.
- La cantidad de aire que salga del sistema de admisión debe ser capaz de alimentar el motor con la cantidad de aire calculada en el apartado 4.2.

Comportamiento del aire en el interior del sistema de admisión.

Como se ha comentado, se buscó que la distribución de las velocidades fuera lo más lineal posible evitando todo tipo de turbulencia que se creara en el interior. Mediante la herramienta *Streamline* se puede obtener dicho recorrido del aire.

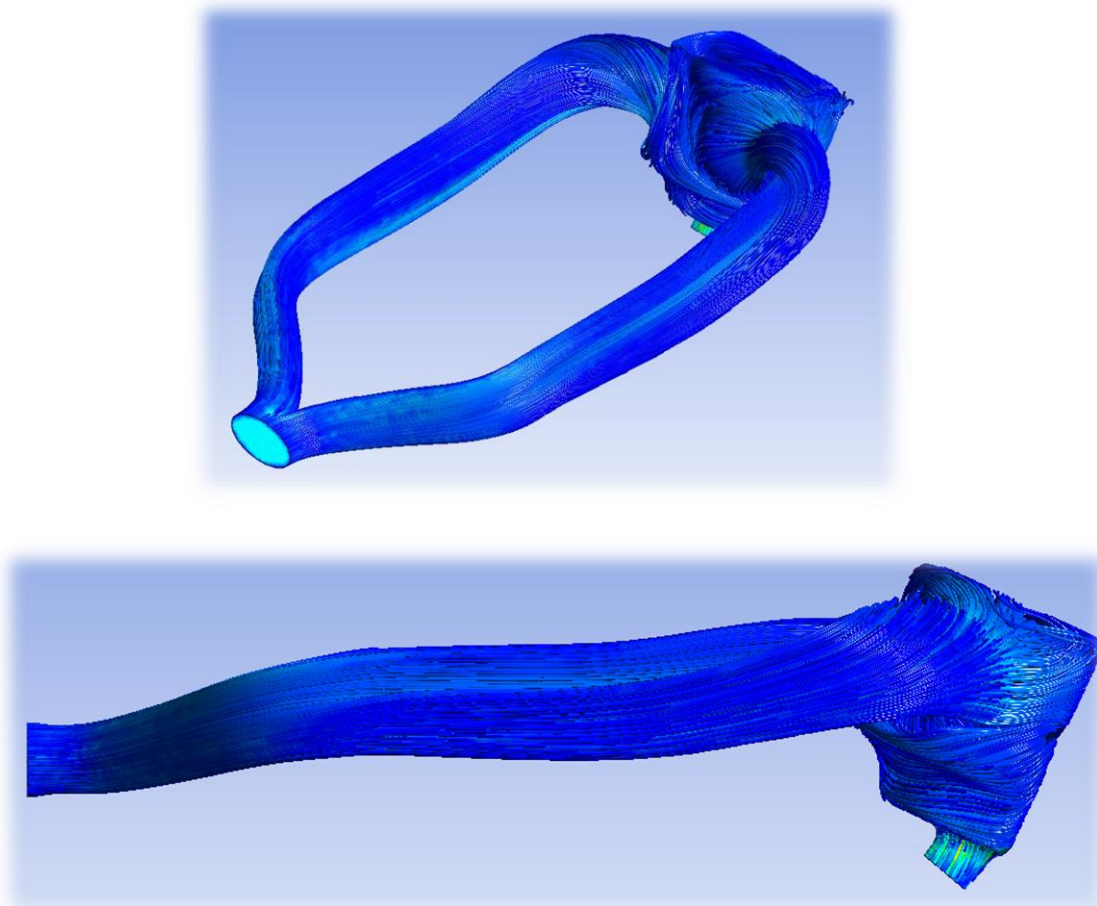


Ilustración 35: Visualización de las líneas de corriente a lo largo del sistema de admisión.

Observando las imágenes anteriores se puede ver que el fluido viaja a través de los conductos lo más lineal posible hasta llegar a la caja de remanso.

Presiones obtenidas

Con lo que respecta a las presiones obtenidas, en la siguiente imagen se puede observar la distribución de las presiones dentro del sistema de admisión, concentrándose los puntos de mayor presión en el interior de la caja de remanso. La escala de visualización se tuvo que ajustar debido a la gran diferencia de presión que existía entre la entrada y la salida.

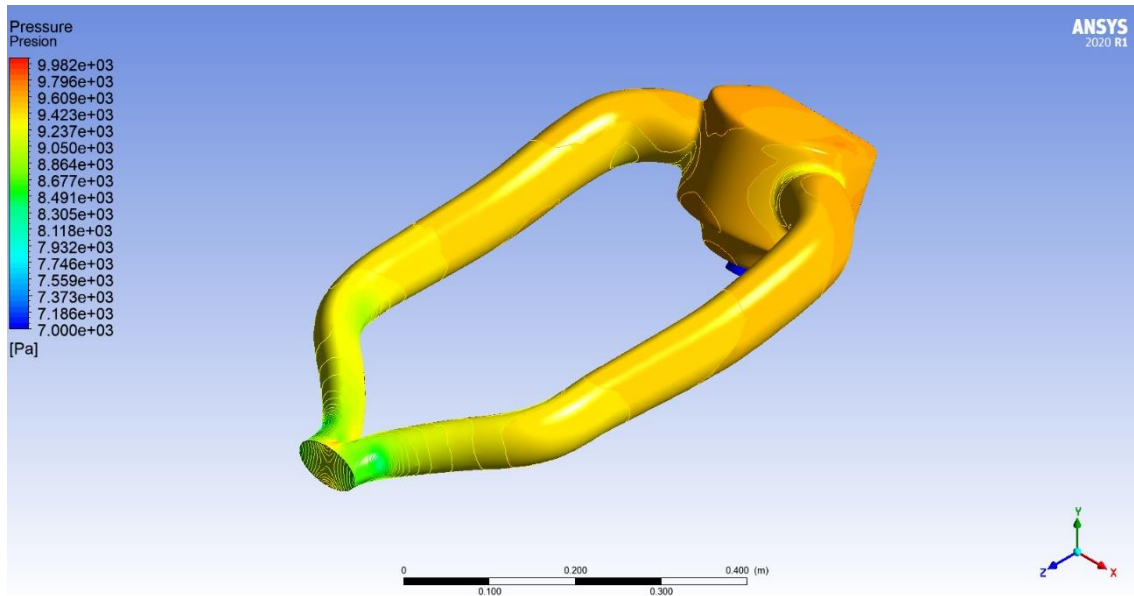


Ilustración 36: Presiones obtenidas con la escala ajustada.

Con la medición de las presiones en todo el sistema se puede comprobar si el cálculo que se ha realizado empleando las expresiones de toberas y difusores se cumplen. Por lo que si se realiza una medición de la presión que existe a la entrada los conductos y otra dentro de la caja de remanso se obtienen los siguientes valores:

$$p_e = 8855.47 \text{ Pa}$$

$$p_s = 9534.84 \text{ Pa}$$

$$\Delta p = p_s - p_e = 9534.84 - 8855.47 = 679.37 \text{ Pa}$$

$$\Delta p = 679.37 \text{ Pa} = 6.7937 \text{ mbar} \approx 7 \text{ mbar}$$

A partir de los cálculos de muestra que el incremento de presión con el que se ha definido las dimensiones del conjunto se cumple.

Incremento de densidad

Dado que se genera una sobrepresión en el interior del sistema de admisión, también se originará un aumento de densidad en todo el sistema, en especial en la caja de remanso. Teniendo en cuenta las grandes diferencias entre densidad de entrada y la de salida, se volvió a ajustar la escala para poder observar los puntos con mayores densidades, localizándose de nuevo en el interior de la caja de remanso:

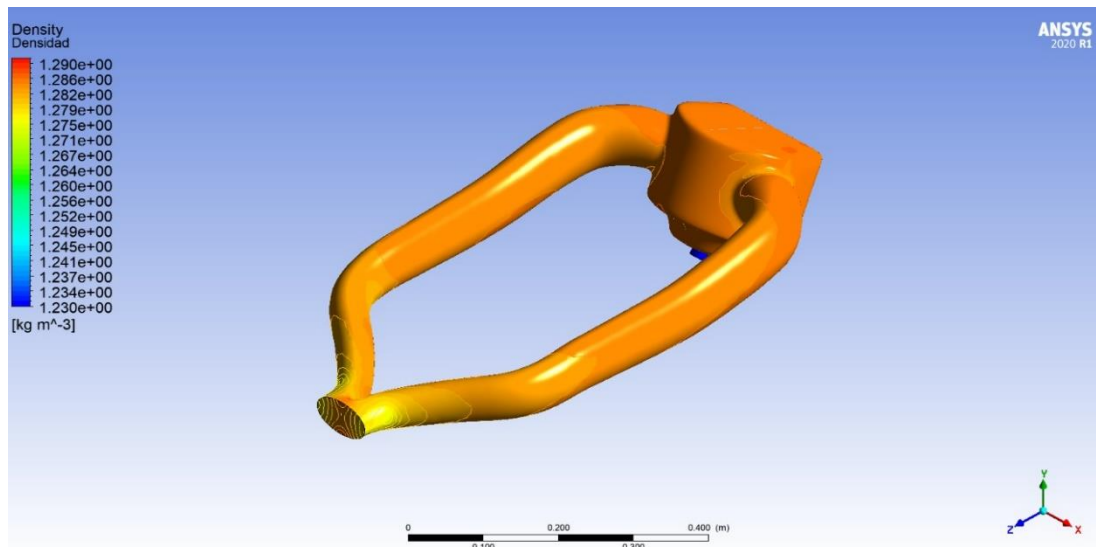


Ilustración 37: Densidad en el interior del sistema.

Pero lo realmente interesante es observar el aumento de densidad en el interior de la caja de remanso o airbox, además de saber si el fluido sale con una densidad mayor a la que entra. Creando un plano en el interior de la caja de remanso y estudiando las densidades que se generan en ese plano se puede visualizar que dentro de ella se localizan los puntos con mayor densidad de todo el sistema de admisión:

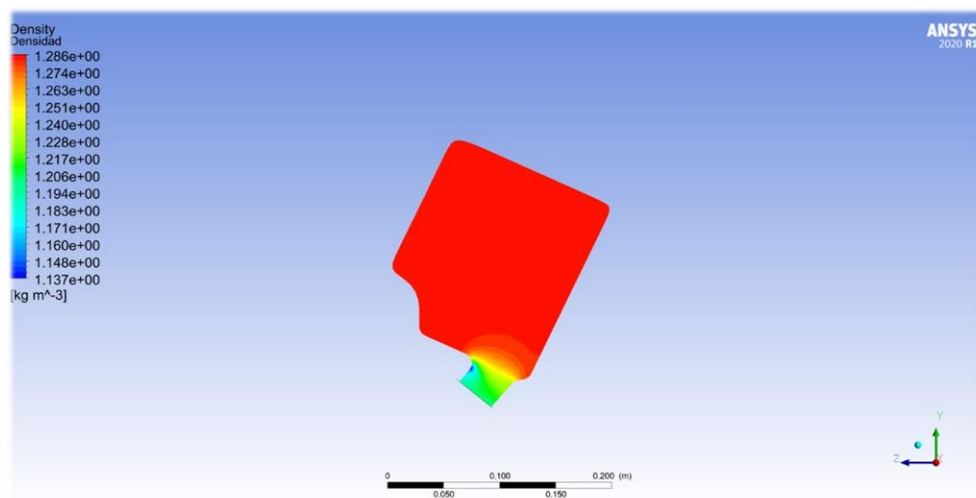
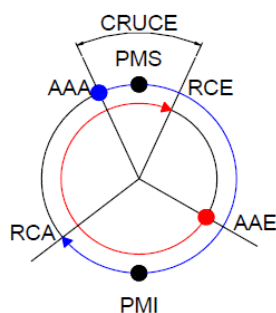


Ilustración 38: Densidad en el interior de la caja de remanso o airbox.

Observando el interior de la caja se localizan unas densidades bastante altas respecto a las de entrada $\rho = 1.285 \text{ Kg/m}^3$ mientras que, a la salida del conjunto se obtiene una densidad de $\rho = 1.202 \text{ Kg/m}^3$. La diferencia de densidad entre el interior de la caja de remanso y la salida es debida al estrechamiento que se produce en la entrada del motor.

Finalmente, para comprobar el funcionamiento de todo el sistema habrá que determinar el gasto másico que le va a llegar al motor comparándolo con el que necesita el motor (ya calculado en el apartado 4.2), de esta manera se obtendrá un rendimiento volumétrico comparando lo que el motor necesita como mínimo y la cantidad que recibe.

Sabiendo la cantidad de aire que sale del sistema, gracias a que el programa es capaz de proporcionarte dicha variable, se obtiene que $m_{a \text{ salida}} = 0.1805 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$. Pero dicha cantidad de aire que sale de la admisión no es el que le llegará realmente al motor ya que depende de otros factores como el régimen de vueltas, el avance de apertura de válvula de admisión y del retraso del cierre de válvula de admisión, velocidad en la que gira el cigüeñal, etc. Por lo que se tendrán que realizar los siguientes cálculos:



$AAA = 40^\circ \rightarrow$ Avance de apertura de válvulas de admisión (Antes de PMS).

$RCA = 80^\circ \rightarrow$ Retraso de apertura de válvulas de admisión (Después de PMI).

Datos sacados de un motor MEP de competición.

Ilustración 39: Diagrama de distribución.

$\text{Grados de Apertura} = 180^\circ + 40^\circ + 80^\circ = 300^\circ \rightarrow$ Grados de cigüeñal que dura la apertura de válvula

$$\text{Velocidad de giro del cigüeñal} \rightarrow \omega = 10310 * \frac{2\pi}{60} = 1079.661 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$t_{\text{apertura}} = \frac{\text{Grados apertura}}{\omega} = \frac{\left(\frac{300 * \pi}{180}\right)}{1079.661} = 0.00485 \text{ s}$$

Cuando ya se han calculado todos los parámetros anteriores se puede calcular el aire que entra en el cilindro en cada proceso de admisión partiendo de la cantidad de aire que sale de nuestro sistema de admisión y del tiempo de apertura.

$$m_a = \dot{m}_{a \text{ salida}} * t_{\text{apertura}} = 0.1805 * 0.00485 = 0.00875 \text{ Kg}$$

Obtenido la cantidad de aire que entra al cilindro en cada proceso se puede hallar el gasto másico que entra al motor desde la admisión teniendo en cuenta los ciclos por segundo.

$$\dot{m}_a = m_a * n * i = 0.00875 * \frac{10310}{60} * 0.5 = 0.752 \text{ Kg/s}$$

Por último, se procede a comparar los gastos másicos de aire que necesita el motor con los que hemos obtenido después del análisis con ANSYS y teniendo en cuenta los ciclos por segundo del motor.

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_{a \text{ de referencia}}} = \frac{0.0752}{0.0254} = 2.96$$

Con el resultado obtenido del rendimiento volumétrico se puede concluir que, para un mismo determinado régimen de vueltas, que en este caso es el punto de máxima potencia, el motor recibe una cantidad de aire mayor a necesaria para su correcto funcionamiento, por lo que se está sobrealimentado el motor.

7. ELECCIÓN DE MATERIAL Y PROCESO DE FABRICACIÓN

La elección de material y el proceso de fabricación están entrelazados entre sí debido a que en función del tipo de material o el tipo de proceso de fabricación que se vaya a realizar variará uno o el otro, por lo que a continuación se van a mostrar una selección de materiales compatibles para el uso que se le va dar al objeto del proyecto y además se va a especificar mediante qué proceso se va a fabricar.

7.1 Elección de material

Para la selección de material de nuestro proyecto emplearemos el software “CES EduPack” en su versión 2019, dicho software te proporciona cual es el material correcto para emplear en función de las propiedades que se desea que el material sea capaz de absorber.

Los principales aspectos que los materiales deben de cumplir son los siguientes: limite elástico con un valor reducido ya que, no va a estar sometido a ningún tipo de esfuerzo, deberá soportar temperaturas máximas de funcionamiento aproximadas a los 70 °C además, es indispensable que el material posea una baja densidad y una alta capacidad de moldeabilidad.

Por lo que, atendiendo a los requisitos nombrados anteriormente, con la ayuda del software “CES Edupack” se obtiene una lista de cuatro materiales que son capaces de pasar todas las restricciones anteriores, que son: Material compuesto de fibra de carbono (CFRP), Polímero ABS, Polímero PEEK y Polímero POM o Acetal. En la siguiente tabla se puede observar las propiedades a destacar de los materiales propuestos:

	Límite elástico (MPa)	Densidad (Kg/m ³)	Temperatura máxima de servicio (°C)
Material compuesto de fibra de carbono	550-1050	1,5-1,6e3	140-220
Polímero ABS	34,5-49.6	1,03-1,06e3	62,9-76,9
Polímero PEEK	65-95	1,3-1,32e3	239-260
Polímero POM o Acetal	48.6-72.4	1,39-1,43e3	76.9-96.9

Tabla 3: Tabla comparativa de los Límites elásticos, Densidades y Temperaturas máx. de servicio de los diferentes materiales.

A partir de la tabla anterior se puede mostrar gráficamente todas las propiedades de los materiales para poder obtener una visualización más clara de la comparativa. Por lo que se obtienen los siguientes gráficos:

Comparativa límite elástico vs Densidad

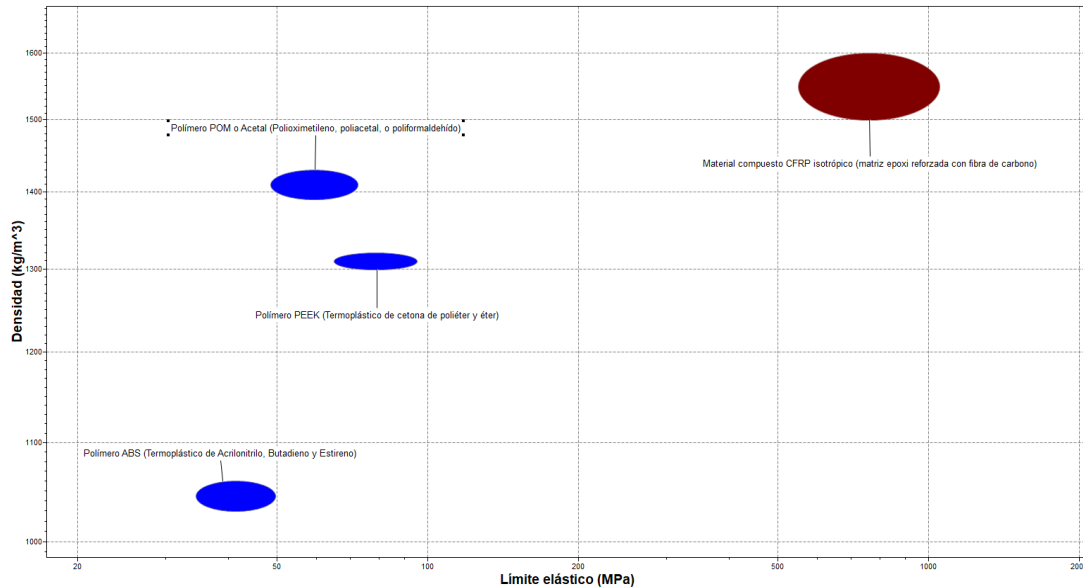


Ilustración 40: Gráfico comparativo entre el límite elástico y la densidad de los materiales.

Como se puede observar en la tabla los tres polímeros tienen un límite elástico similar mientras que la fibra de carbono se distancia bastante con un elevado límite elástico. Cabe destacar que como el objeto de estudio del proyecto no va a estar sometido a esfuerzos elevados primará el factor de la densidad frente al límite elástico.

Comparativa densidad vs Temperatura máxima de servicio

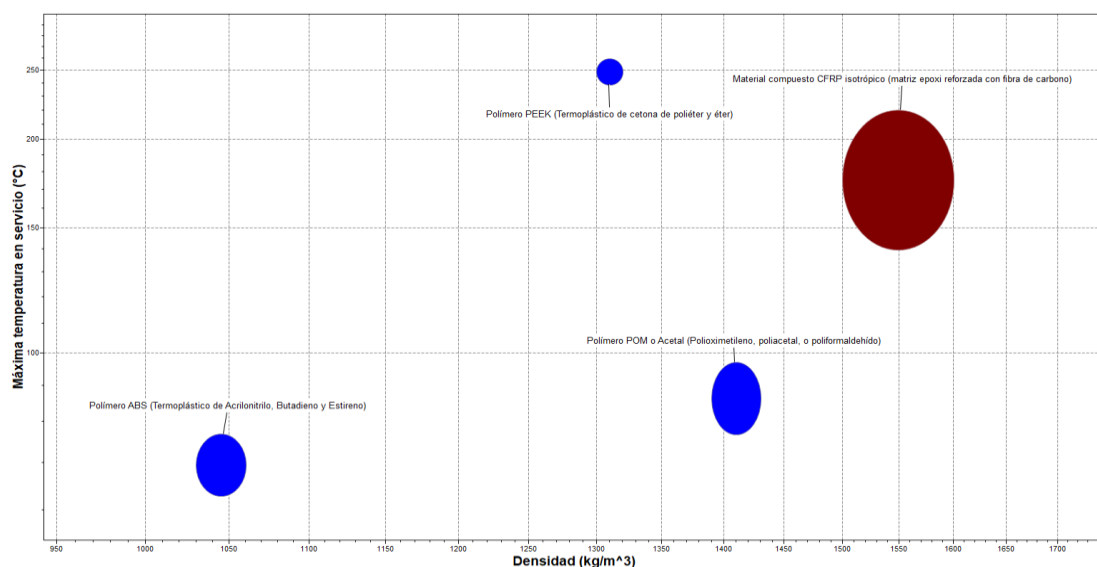


Ilustración 41: Gráfico comparativo entre la Temperatura máxima de servicio y la densidad de los materiales.

Si se compara la densidad frente a la temperatura máxima de servicio podemos observar que los tres materiales más densos tienen un comportamiento más positivo frente a las máximas temperaturas de servicio, estando en cabeza en cuanto a temperaturas se refiere el Polímero PEEK, mientras que el ABS con una densidad menor se sitúa en unas temperaturas que rondan de los 75°C .

Comparativa densidad vs Precio

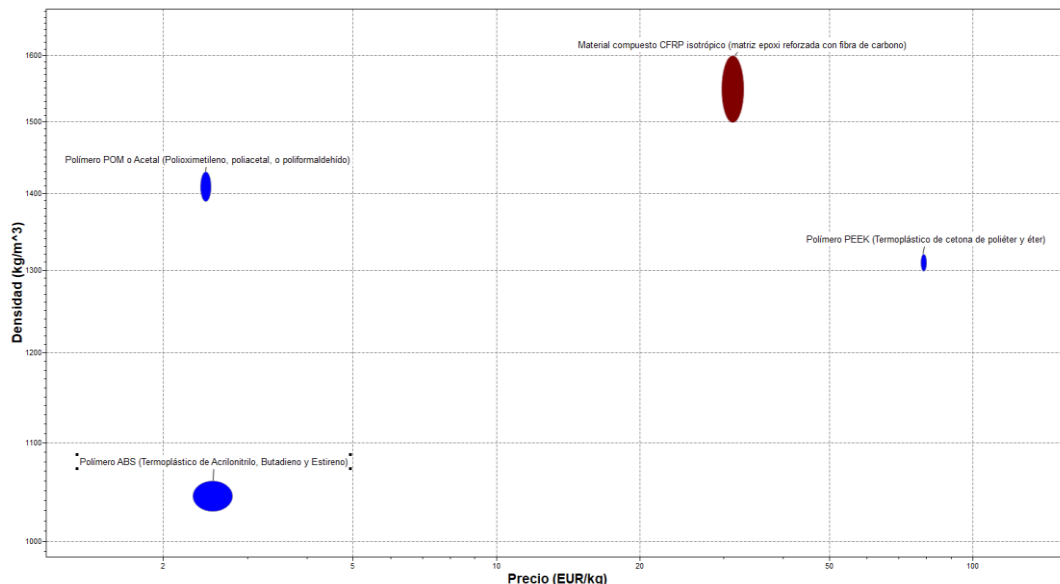


Ilustración 42: Gráfico comparativo entre la densidad y el precio de los materiales.

Observando la tabla anterior donde se visualiza la comparación entre la densidad y el precio se aprecia que elementos que son más baratos, en este caso el ABS y el POM, mientras que la fibra de carbono y el polímero PEEK se distancian bastante en cuanto a precio se refiere. Cabe destacar que el precio será orientativo, en función de la cantidad que se compre y en la forma que se suministre podrá variar significativamente.

7.2 Proceso de fabricación

Se han analizado todas las diferentes alternativas para poder fabricar el sistema de admisión, pero dado que solamente se va a elaborar una única unidad, se contempló como única opción la fabricación del prototipo mediante impresión 3D, de esta manera se puede conseguir elaborarlo de una manera más sencilla y económica que los demás procesos.

Aprovechando que la universidad disponía de una gran cantidad impresoras 3D se seleccionó *Stratasys Dimension 1200* debido a la gran calidad que posee la impresora capaz de ofrecer unos acabados de calidad industrial. Para la selección de la impresora se tuvo en cuenta el complejo diseño del proyecto, por lo que tenía poder realizar la impresión con unos grandes niveles de acabados para que luego no se tuvieran posteriores errores referidos a las tolerancias de impresión, además de poder imprimir

con dos materiales a la vez, uno para la composición de todos los componentes y otro para generar las estructuras auxiliares para su construcción.



Ilustración 43: Impresora Stratasys Dimension 1200.

Características de la impresora 3D

A continuación, se muestran las principales características que se tuvieron en cuenta:

- Material de modelado: ABSplus.
- Medidas: 254 x 254 x 305 mm (10 x 10 x 12 pulg.).
- Grosor de la capa: 0,254 mm (0,010 pulg.) o 0,330 mm (0,013 pulg.) de material de soporte y de modelado ABSplus depositado con precisión.
- Dos cabezales.

7.3 Conclusión

Tras analizar las propiedades de cada material y de presentar el sistema mediante el cual se fabricará el objeto, se ha decidido emplear el material ABS para conformar el conjunto del sistema de admisión. Principalmente se ha elegido este material por su facilidad de impresión 3D ya que el polímero POM o el polímero PEEK se pueden imprimir, pero su uso está mucho menos extendido que el ABS, además los precios son muchísimo más elevados y la impresora elegida sólo imprime en ABS.

Por otra parte, también se planteó la construcción de la admisión con materiales compuestos (Fibra de carbono), ya que es el que posee mejores propiedades mecánicas respecto al resto de opciones expuestas, pero ha sido descartado principalmente por su elevado precio ya que se requeriría de moldes para poder fabricar las piezas y a su vez habría que imprimir los moldes, por lo que el presupuesto del conjunto se elevaría demasiado para la producción de una única unidad.

8. DISEÑO FINAL

Una vez definido todo el sistema de admisión geoméricamente, así como el material y el proceso de fabricación mediante el cual se va a llevar a cabo, se elaboró un diseño final fraccionando todo el conjunto del sistema de admisión en piezas de un tamaño menor al de la base con la que se iban a imprimir. Todo este proceso se realizó mediante el Software SolidWorks que es una herramienta de diseño CAD mucho más avanzada en diseño mecánico que el Fusion 360, el cual ha sido empleado para el modelado del sistema de admisión (modelado de superficies).

A la hora de empezar a fraccionar todo el conjunto se tuvieron que tener en cuenta las siguientes condiciones:

- Tamaño de impresión → No tiene que exceder el tamaño de la base de impresión.
- Diseño sencillo → Ahorrarse futuros problemas a la hora de ensamblar el conjunto.
- Número de piezas → Intentar realizar el menor número de piezas.
- Tolerancia de impresión → Problemas de unión mediante el tipo macho-hembra.
- Conexión del sistema al motor → Conectar la salida de la admisión a la entrada del motor.

Cuando se analizaron todas las condiciones propuestas se empezó con el diseño para el montaje de todo el ensamblaje quedando de la siguiente manera:

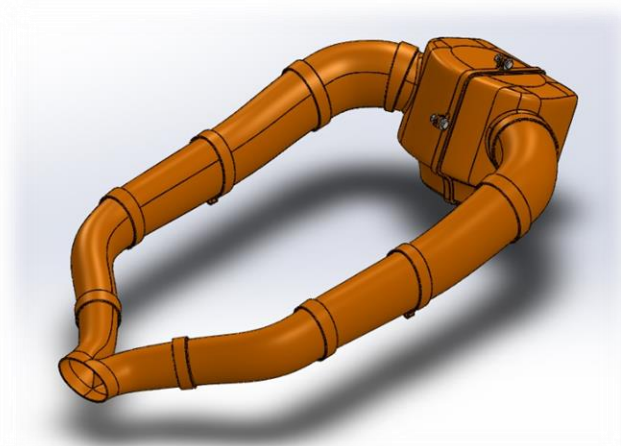


Ilustración 44: Diseño final del sistema de admisión

A continuación, se explicará el procedimiento propuesto para la unión de los conductos, de las dos partes de la caja de remanso, así como la unión de todo el sistema de admisión con la moto.

8.1 Unión conductos

Los conductos se han unido mediante una conexión macho y hembra, de esta manera se facilitará el montaje entre ellos. Una vez montados estarán unidos mediante adhesivo (Pattex Extreme Pro), en la siguiente imagen se puede contemplar la unión y el encaje de dos conductos:



Ilustración 45: Unión de conductos.

En la vista seccionada se observa como un conducto encaja con el otro, además se ha dejado una holgura entre el macho y la hembra de 1 mm, de esta manera se asegura que, aunque haya una desviación por la tolerancia de la impresora 3D, los conductos sigan encajando igual (Tolerancias entre 0.15 mm y 0.25 mm).

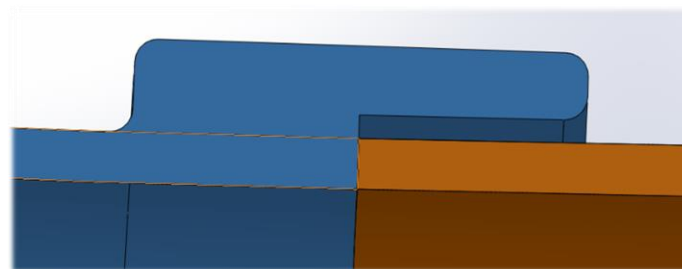


Ilustración 46: Encaje entre conductos.

8.2 Unión caja de remanso/Airbox

Para la unión de la caja de remanso o airbox se ha planteado el mismo método de unión que para los conductos, pero además se la han incluido unas orejas para poder unir las dos partes que la forman mediante tornillos de M6. Esto es debido a que en la caja se van a localizar las mayores presiones de todo el sistema, por lo que la unión mediante adhesivo puede quedar débil requiriendo el empleo de los tornillos para que el conjunto sea más robusto. En las siguientes imágenes se puede contemplar el resultado final.

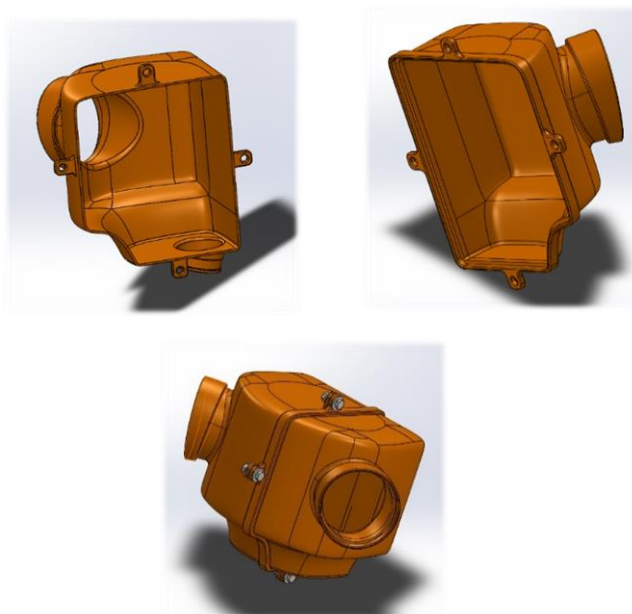


Ilustración 47: Visualización de la caja de remanso y sus partes.

8.3 Conexión del sistema de admisión el con el motor y con la moto

Para la conexión de todo el sistema de admisión con el motor se ha planteado el uso de tubo de silicona para introducirlo en ambos orificios, por lo que a la salida de la caja de remanso se le ha labrado la forma de una abrazadera de 10 mm de ancho, para poder abrazar un tubo de silicona de 48 mm de diámetro.

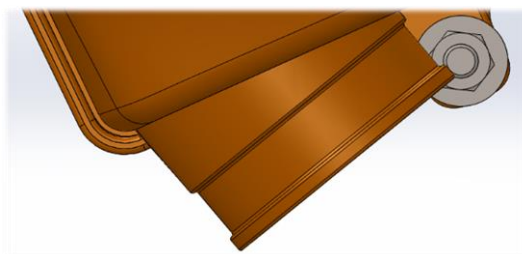


Ilustración 48: Ranura para abrazadera.

Por último, para la conexión de todo el conjunto con la moto se han vuelto a diseñar unas orejas en los conductos para poder sujetar todo el conjunto al chasis de la moto, de esta manera el sistema quedará sujeto pudiendo soportar todos los movimientos que realizará la moto.

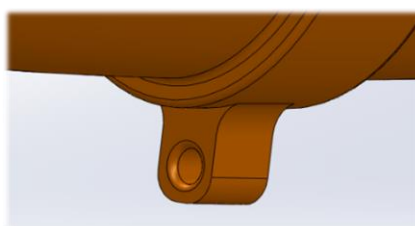


Ilustración 49: Oreja para sujeción a la araña

9. PRESUPUESTO

Para elaborar el presupuesto del proyecto se ha requerido del software *Ultimaker Cura*, para que nos muestre los tiempos de fabricación de cada componente, así como de la cantidad de material empleada para generar la estructura y los soportes.

Dado que la propia impresora ya contaba con su propio software, para simular el proceso comentado en el párrafo anterior se han introducido en el programa todas las características técnicas de la impresora elegida (*Stratasys Dimension 1200*). Cabe destacar, que hay parámetros que la propia documentación de la máquina no lo proporcionaba por lo que estos valores se han estimado acorde a la máquina de impresión que se ha elegido. En el anejo se podrán observar las imágenes que ha proporcionado el programa representando el proceso de impresión 3D de todas las piezas, viendo toda la soportería que ha generado para la construcción de ellos.

En la tabla que se va a mostrar a continuación contendrá los tiempos de impresión de cada elemento y la cantidad de material empleada para su construcción:

	Tiempo de impresión	Material de conformado ABS (g)	Material auxiliar HIPS (g)
Conducto 1	13 h 40 min	89	9
Conducto 2	12 h 45 min	95	3
Conducto 3	13 h 42 min	101	4
Conducto 4	15 h 47 min	118	4
Conducto 5	13 h 49 min	100	10
Conducto 2 simétrico	12 h 45 min	95	3
Conducto 3 simétrico	13 h 42 min	101	4
Conducto 4 simétrico	15 h 47 min	118	4
Conducto 5 simétrico	13 h 49 min	100	10
Airbox 1	1 día 16 h 27 min	229	88
Airbox 2	1 día 12 h 49 min	194	119

Tabla 4: Desglose de horas y cantidad de material empleado por pieza.

	Tiempo de impresión	Material de conformado ABS (g)	Material auxiliar HIPS (g)
TOTAL	8 días 11 h 2min	1340	258

Tabla 5: Total de tiempo y de cantidad de material empleado.

Una vez se tiene el total de horas y de material empleado se procede al cálculo del total de gasto en material sabiendo que tanto la bobina de ABS como la de HIPS cuesta 256 €/Kg, se obtiene el siguiente presupuesto para el conformado de todo el sistema de admisión:

	Cantidad (g)	Precio (€)
ABS	1340	343.04
HIPS	358	91.65

Tabla 6: Material empleado y su precio.

	Precio (€)
Material	434.69
Adhesivo (Pattex Extreme Pro)	8.95
TOTAL	443.64

Tabla 7: Coste total del sistema de admisión.

10. CONCLUSIONES

Se ha diseñado un sistema de admisión en el que el punto de partida ha sido elaborar un prediseño a partir de ecuaciones de termodinámica y de unas condiciones de operación representativas, definiendo el comportamiento que debe tener el sistema de admisión.

Con esto se realizó un diseño preliminar del sistema que ha sido evaluado gracias a la herramienta Ansys. Los criterios que se siguieron fueron un aumento de la presión y de la densidad, así como asegurar el trasiego de aire suficiente para alimentar el cilindro del motor.

Finalmente, con el diseño definitivo y una vez seleccionado el material y el proceso de fabricación, se elaboró un diseño final en el que el sistema se divide en piezas imprimibles y ensamblables entre ellas mediante la fijación por tornillos y adhesivo. Resultando una solución bastante más barata que si se hubiese optado por la fabricación con materiales compuestos y fibra.

11. BIBLIOGRAFÍA

11.1 Libros

- Torregrosa Huguet, A., Galindo Lucas, J. and Climent Puchades, H., 2001. *Ingeniería Térmica, Fundamentos De La Termodinámica*. 1st ed. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Broatch Jacobi, A., Galindo Lucas, J. and Payri Marín, R., 1998. *Problemas De Ingeniería Térmica*. 3rd ed. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Chen, X. and Liu, Y., 2019. *Finite Element Modeling And Simulation With ANSYS Workbench*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Payri González, F., & Desantes Fernández, J. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Barcelona: Reverte.

11.2 Proyectos de fin de grado

- Carbajo Moraira, R., 2016. *Diseño, Estudio Y Fabricación De Un Sistema Ram-Air Para Una Moto3*. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería.
- Fernández Pastor, C., 2010. *Estudio De La Frecuencia Crítica Del Air-Box Perteneciente A La Moto2*. Leganés: Universidad Carlos III de Madrid.
- Ferrer Ballester, M., 2017. *Diseño De Un Chasis De Motocicleta De Competición Tipo Moto3 Con Un Sistema De Regulación De La Rigidez Lateral*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.

11.3 Páginas web

- Usrengineering.com. 2014. *¿Qué Es El Airbox?*. [online] Available at: <<http://www.usrengineering.com/post/2014/12/07/-qu%C3%A9-es-el-airbox>> [Accessed 1 July 2020].
- Alejandro Berrocal Sigüero. 2020. *Análisis De Fluidos Para El Desarrollo De Un Airbox*. [online] Available at: <<https://berrocalengineering.wordpress.com/2015/01/28/analisis-de-fluidos-para-el-desarrollo-de-un-airbox/>> [Accessed 9 May 2020].

- Sánchez, D., 2020. *El Conducto De Admisión Del Airbox*. | *Bottpower*. [online] Bottpower.com. Available at: <<https://bottpower.com/el-conducto-de-admision-del-airbox/>> [Accessed 20 May 2020].
- Es.wikipedia.org. 2020. *Número Mach*. [online] Available at: <https://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_Mach> [Accessed 12 June 2020].
- Motociclismo.es. 2020. *Sistema Aerodinámico Ram-Air: Funcionamiento*. [online] Available at: <<https://www.motociclismo.es/noticias/industria/articulo/el-ram-air>> [Accessed 4 April 2020].

11.4 Normativa

- 2019. *Reglamento De La Competición*. VI Competición Internacional MotoStudent.

12. ANEJOS

12.1 Cálculos

Gasto másico en diferentes rpm

RPM	RPS	ma (kg/s)
2000	33,33	0,0049
2200	36,67	0,0054
2400	40,00	0,0059
2600	43,33	0,0064
2800	46,67	0,0069
3000	50,00	0,0074
3200	53,33	0,0079
3400	56,67	0,0084
3600	60,00	0,0089
3800	63,33	0,0094
4000	66,67	0,0099
4200	70,00	0,0104
4400	73,33	0,0108
4600	76,67	0,0113
4800	80,00	0,0118
5000	83,33	0,0123
5200	86,67	0,0128
5400	90,00	0,0133
5600	93,33	0,0138
5800	96,67	0,0143
6000	100,00	0,0148
6200	103,33	0,0153
6400	106,67	0,0158
6600	110,00	0,0163
6800	113,33	0,0168
7000	116,67	0,0173
7200	120,00	0,0177
7400	123,33	0,0182
7600	126,67	0,0187
7800	130,00	0,0192
8000	133,33	0,0197
8200	136,67	0,0202
8400	140,00	0,0207
8600	143,33	0,0212
8800	146,67	0,0217
9000	150,00	0,0222

En la siguiente tabla se puede observar los diferentes gastos másicos en función del régimen de giro del motor.

RPM	RPS	ma (kg/s)
9200	153,33	0,0227
9400	156,67	0,0232
9600	160,00	0,0237
9800	163,33	0,0242
10000	166,67	0,0246
10200	170,00	0,0251
10310	171,83	0,0254

Tabla 8: Gastos másicos para diferentes rpm.

12.2 Resultado simulaciones previas

Resultados simulación ilustración 26

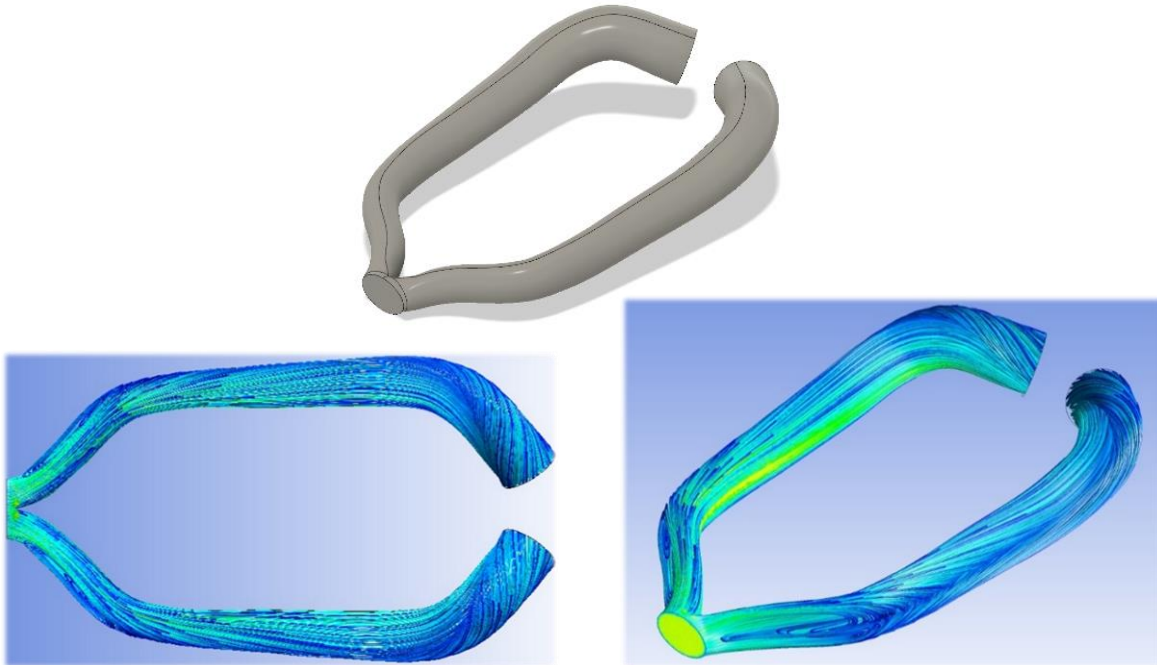


Ilustración 50: Resultados primer diseño.

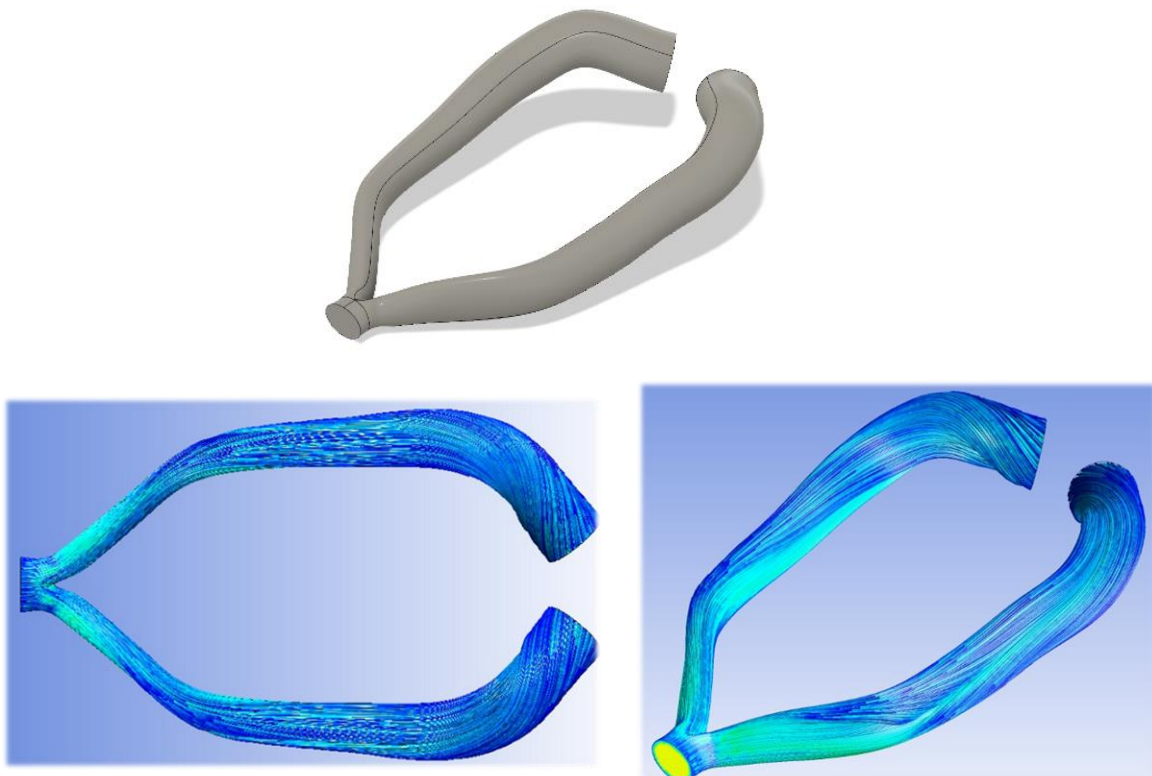


Ilustración 51: Resultados segundo diseño.

Resultados simulación ilustración 27

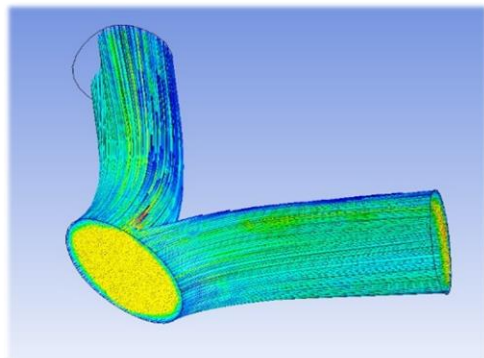
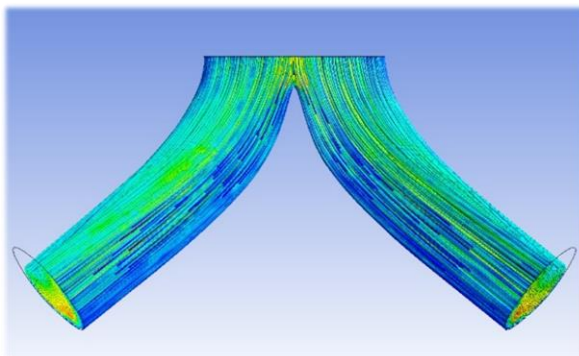


Ilustración 52: Resultados parte 1 inicial.

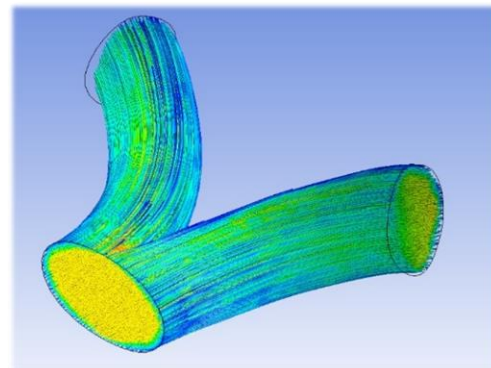
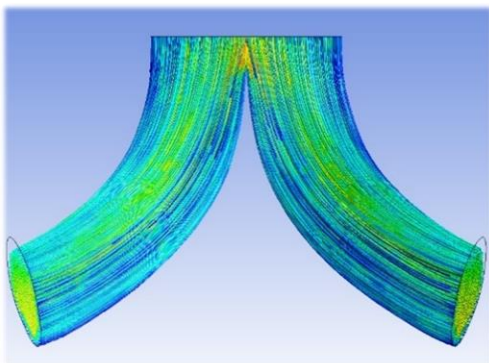
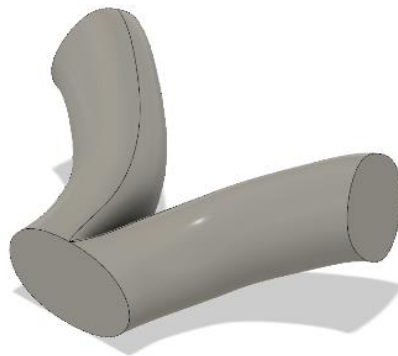


Ilustración 53: Resultados parte 1 final.

Resultados simulación ilustración 28

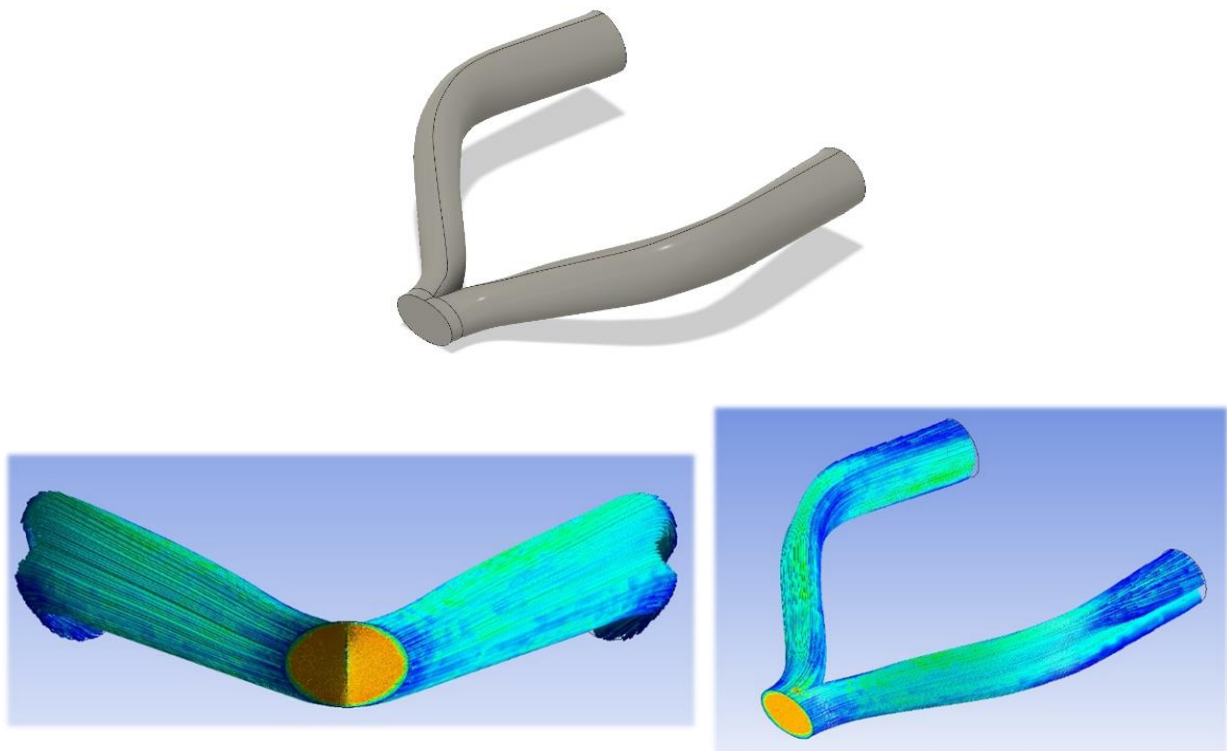


Ilustración 54: Resultados parte 5 inicial.

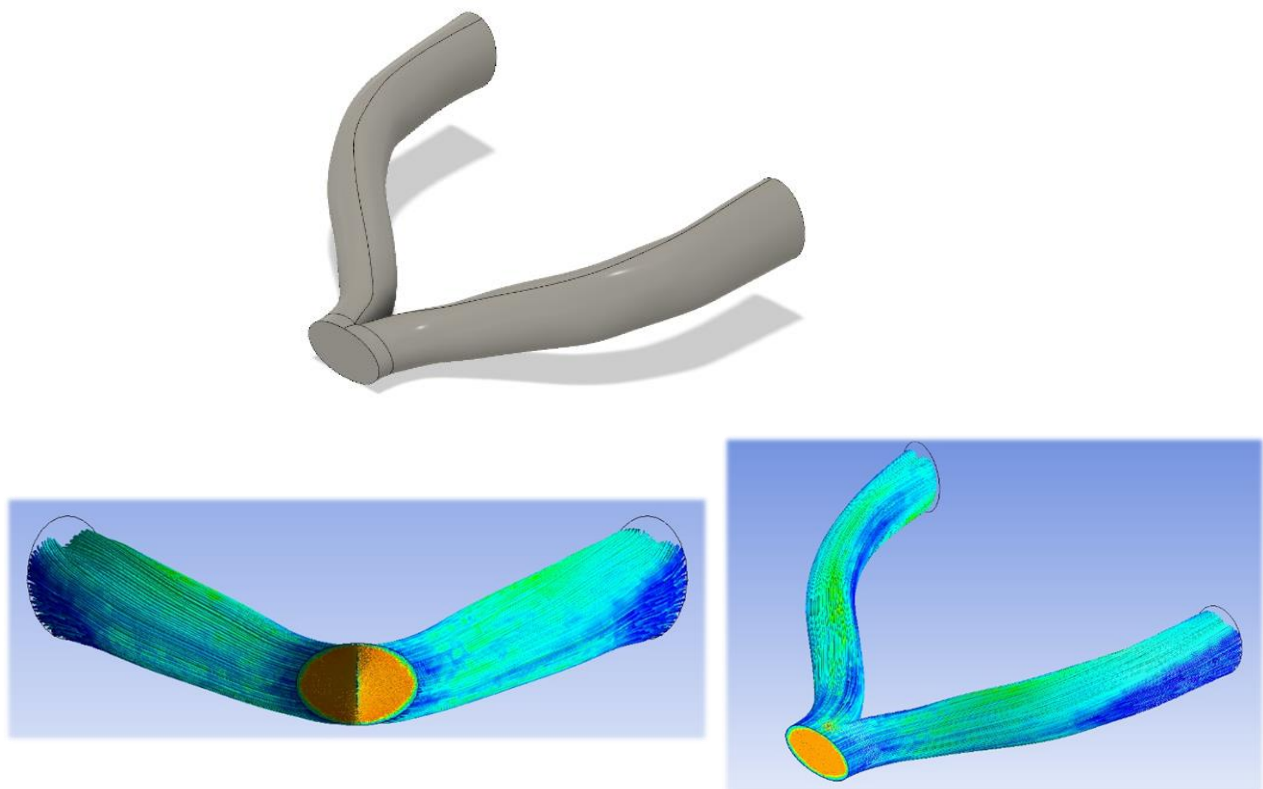


Ilustración 55: Resultados parte 5 final.

Resultados simulación ilustración 29

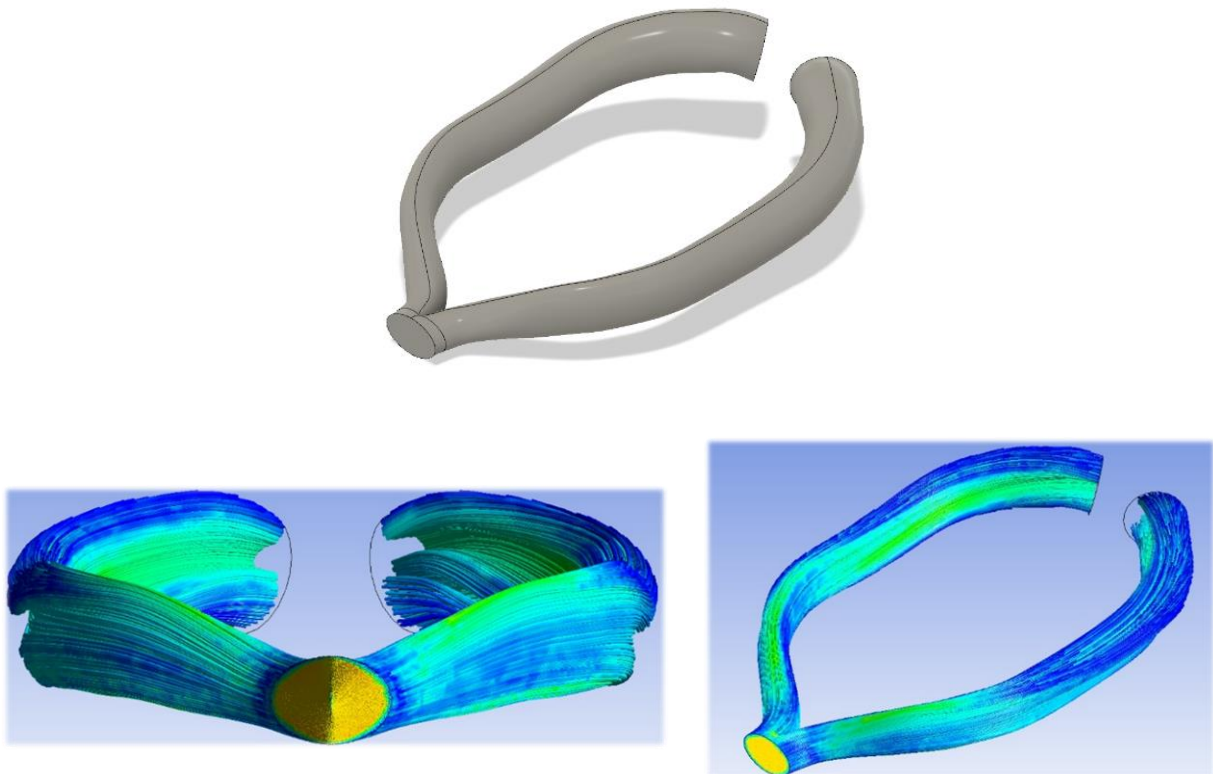


Ilustración 56: Resultados parte 8 inicial.

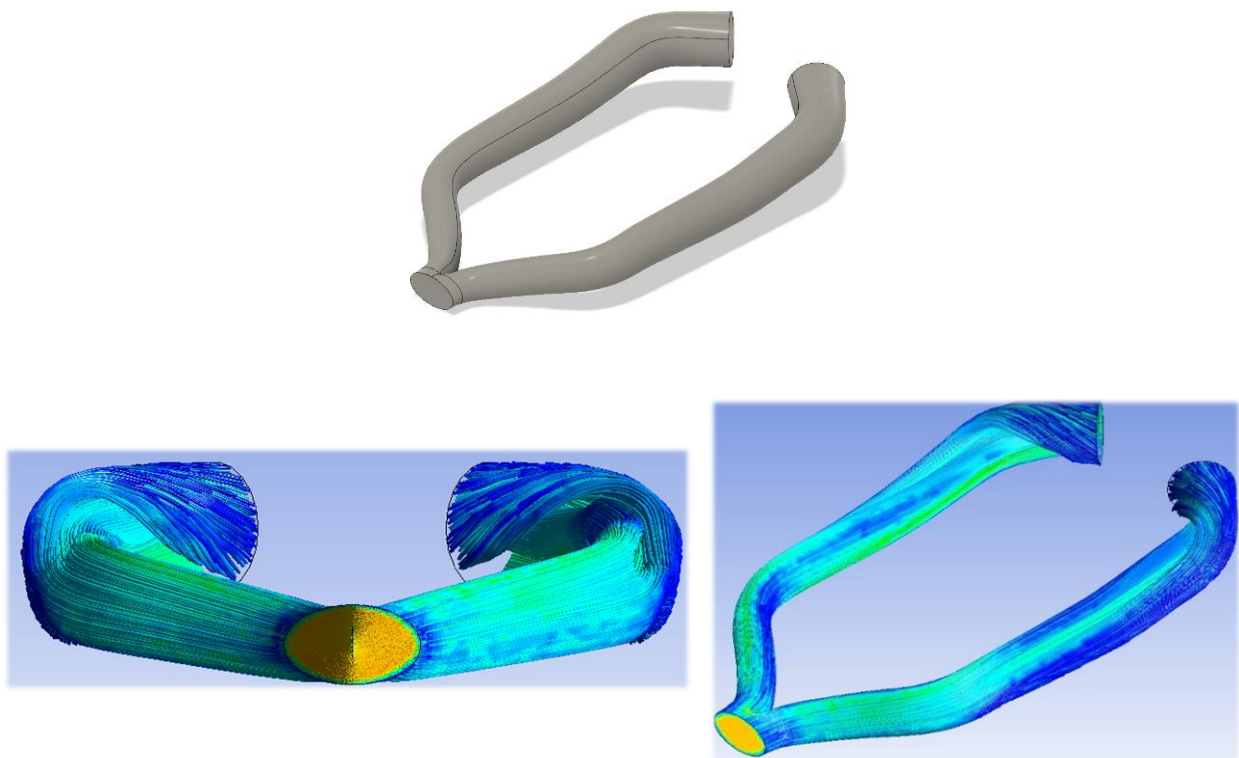


Ilustración 57: Resultados parte 8 final.

12.3 Proceso impresión Ultimaker Cura

Antes de visualizar el proceso de impresión se muestra la configuración de la impresora para su fabricación:

- Perfil de impresión → 0.15 mm
- Relleno → 95 %
- Velocidad de impresión → 60 mm/s
- Grosor → 1 mm

Conducto 1

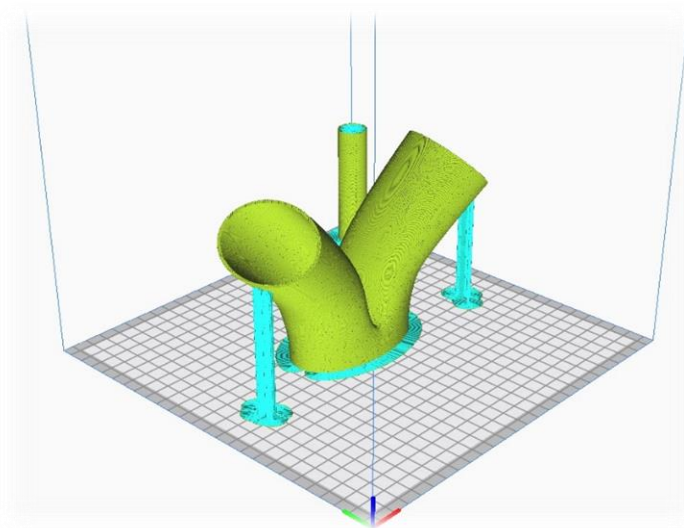


Ilustración 58: Proceso impresión conducto 1.

Conducto 2 y simétrico

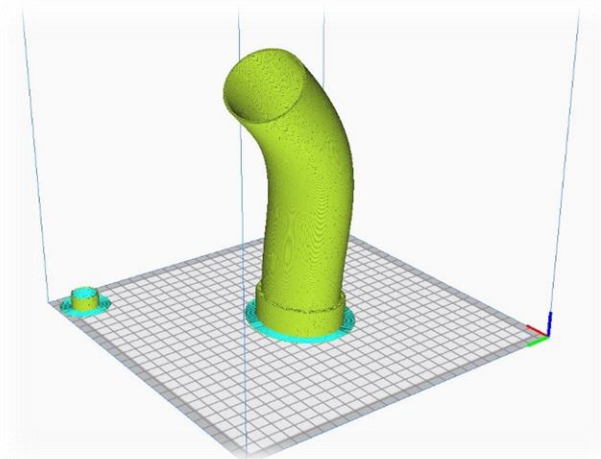


Ilustración 59: Proceso impresión conducto 2 y simétrico.

Conducto 3 y simétrico

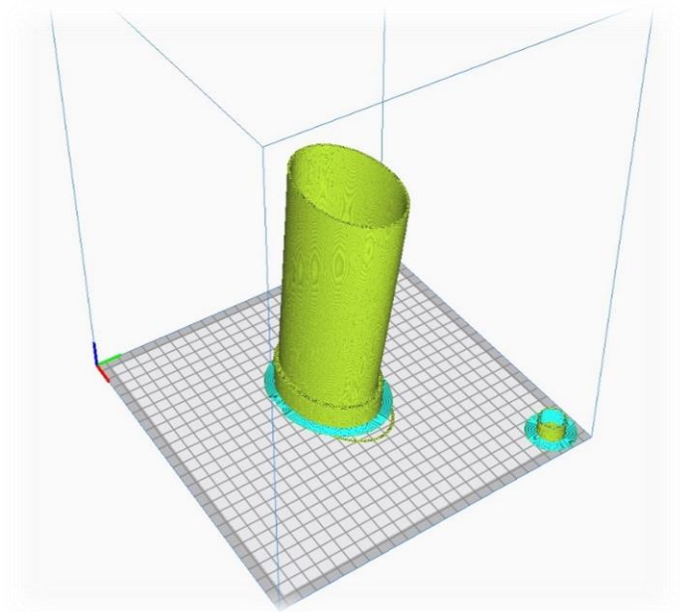


Ilustración 60: Proceso impresión conducto 3 y simétrico.

Conducto 4 y simétrico

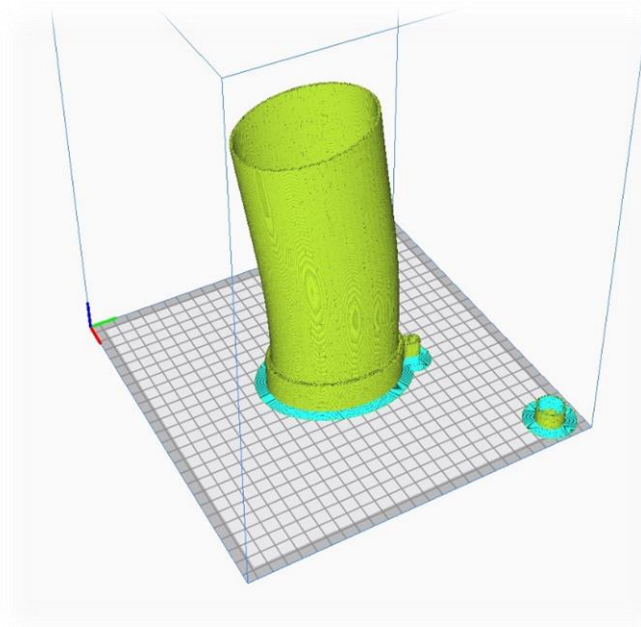


Ilustración 61: Proceso impresión conducto 4 y simétrico.

Conducto 5 y simétrico

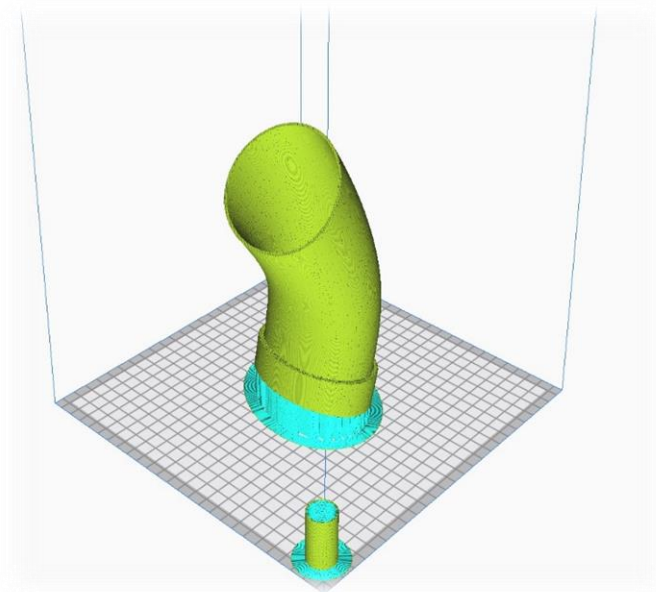


Ilustración 62: Proceso impresión conducto 5 y simétrico.

Airbox 1

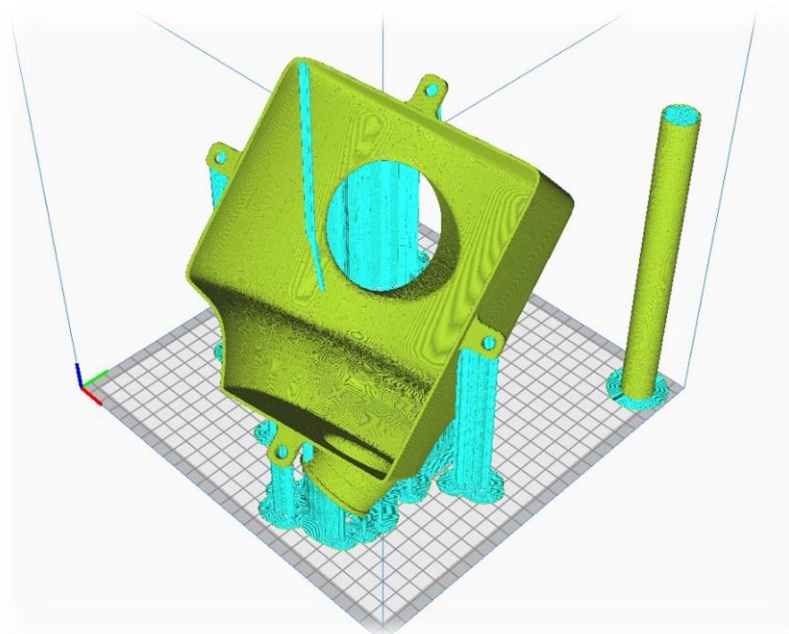


Ilustración 63: Proceso impresión Airbox parte 1.

Airbox 2

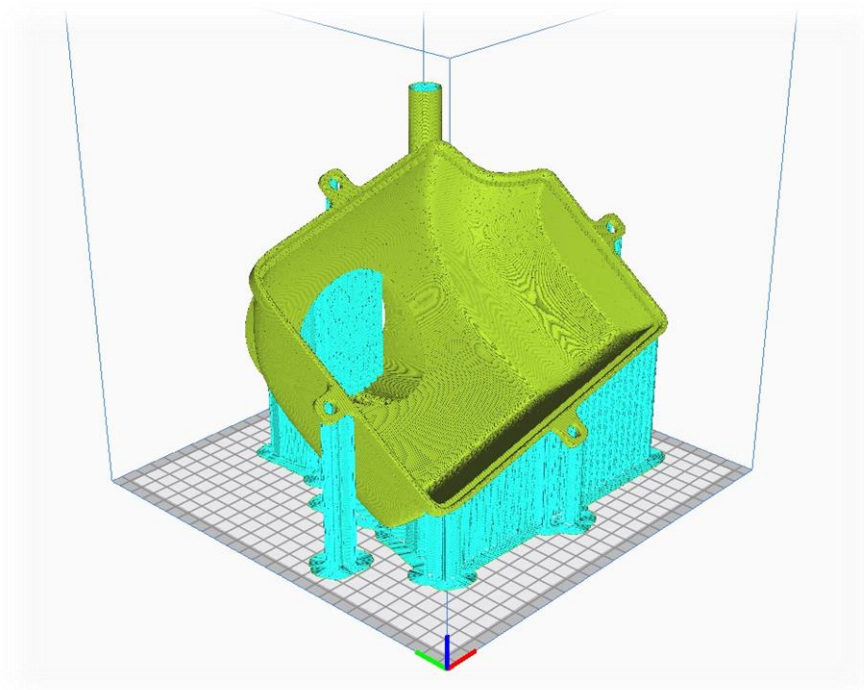
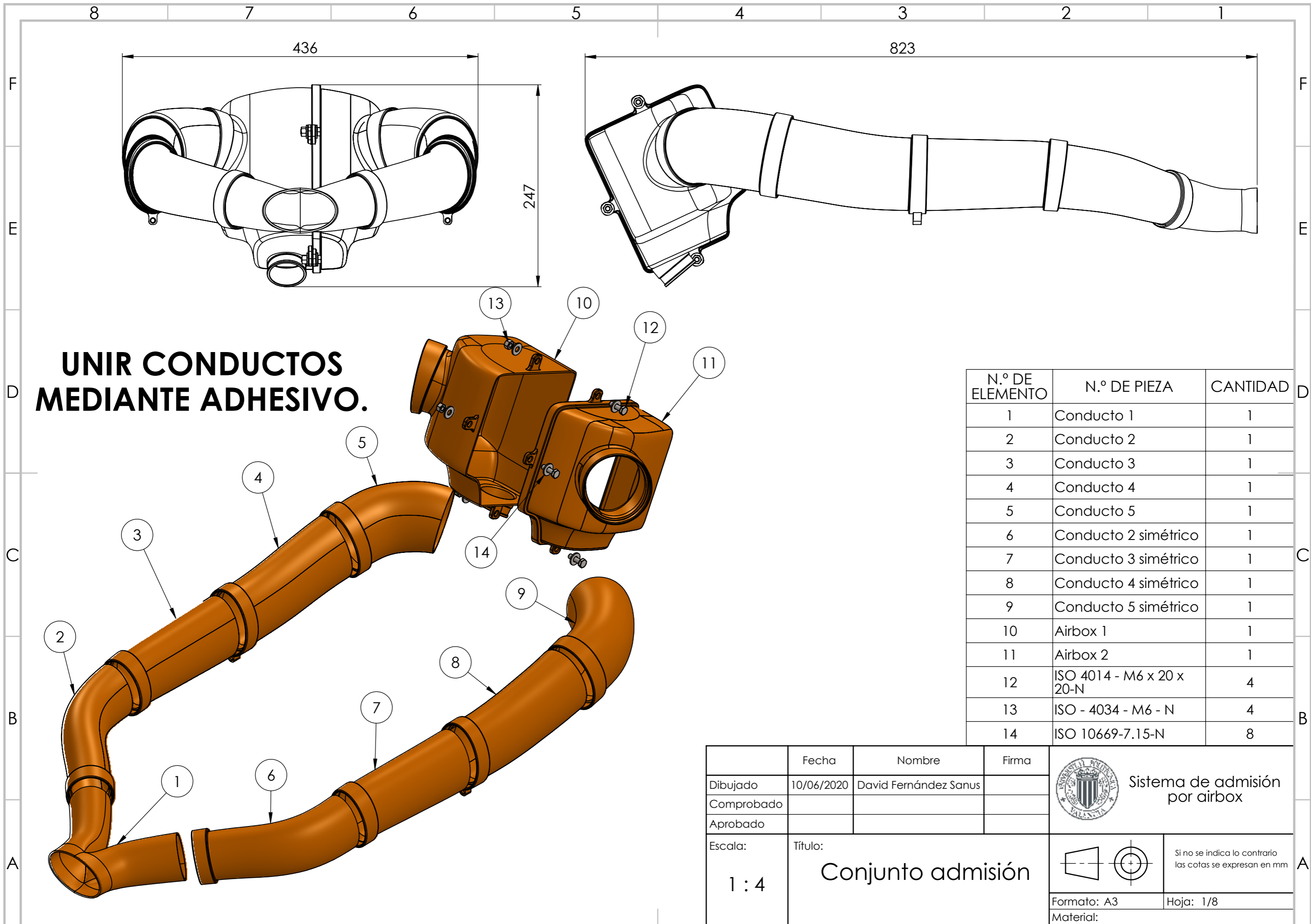


Ilustración 64: Proceso impresión Airbox parte 2.

12.4 Planos acotados



UNIR CONDUCTOS MEDIANTE ADHESIVO.

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Conducto 1	1
2	Conducto 2	1
3	Conducto 3	1
4	Conducto 4	1
5	Conducto 5	1
6	Conducto 2 simétrico	1
7	Conducto 3 simétrico	1
8	Conducto 4 simétrico	1
9	Conducto 5 simétrico	1
10	Airbox 1	1
11	Airbox 2	1
12	ISO 4014 - M6 x 20 x 20-N	4
13	ISO - 4034 - M6 - N	4
14	ISO 10669-7.15-N	8

	Fecha	Nombre	Firma
Dibujado	10/06/2020	David Fernández Sanus	
Comprobado			
Aprobado			
Escala:	Título:		
1 : 4	Conjunto admisión		

Sistema de admisión por airbox

Si no se indica lo contrario las cotas se expresan en mm

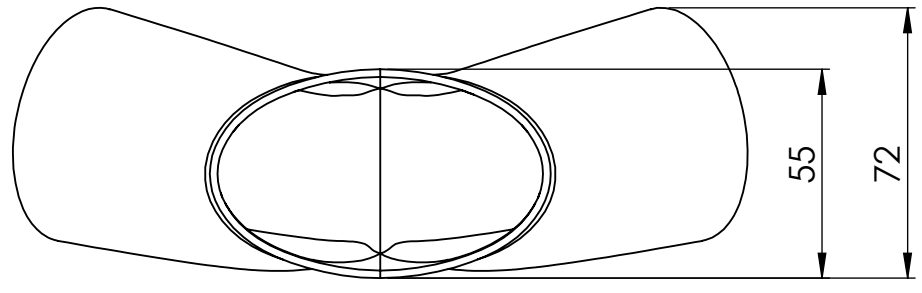
Formato: A3
Hoja: 1/8

Material:

4 3 2 1

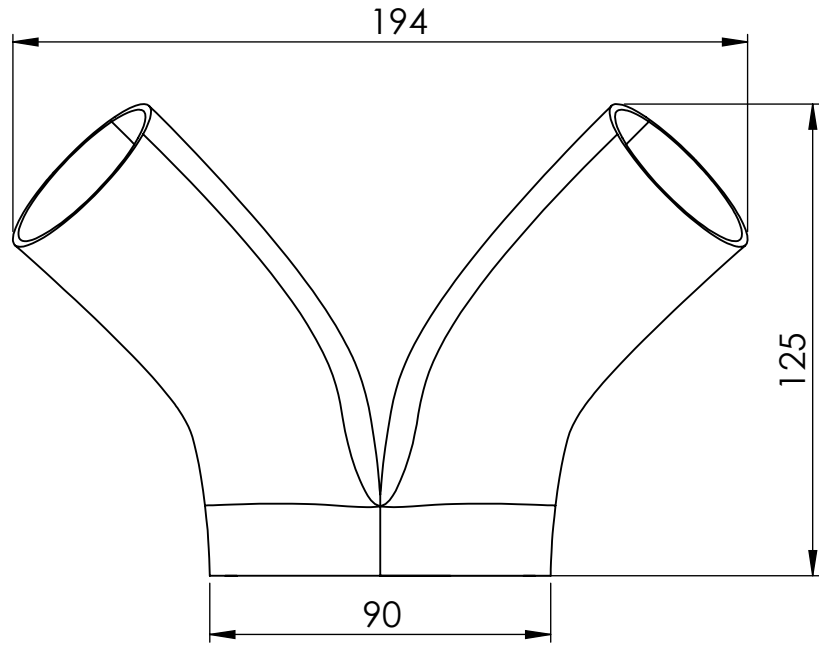
F

F



E

E

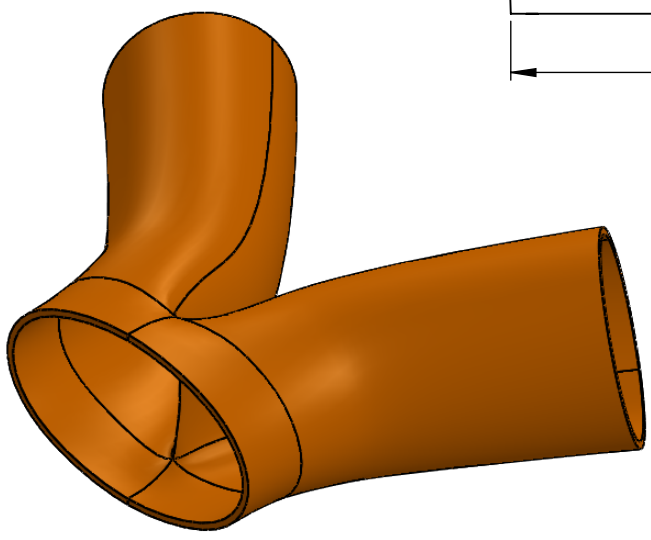


D

D

C

C



IMPRIMIR EN 3D

B

B

	Fecha	Nombre	Firma
Dibujado	10/06/2020	David Fernández Sanus	
Comprobado			
Aprobado			

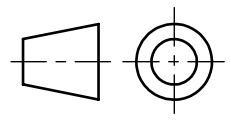


Sistema de admisión por airbox

A

A

Escala: 1 : 2	Título: Conducto 1
-------------------------	------------------------------

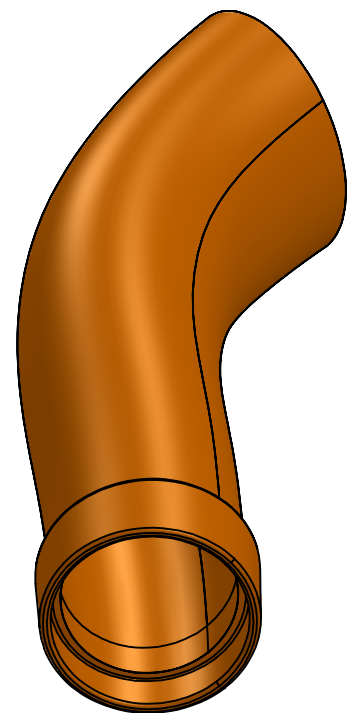
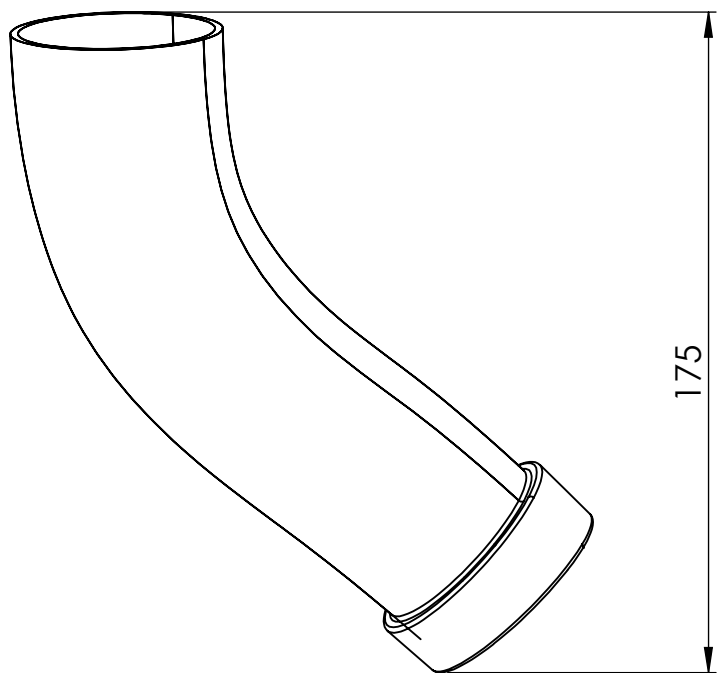
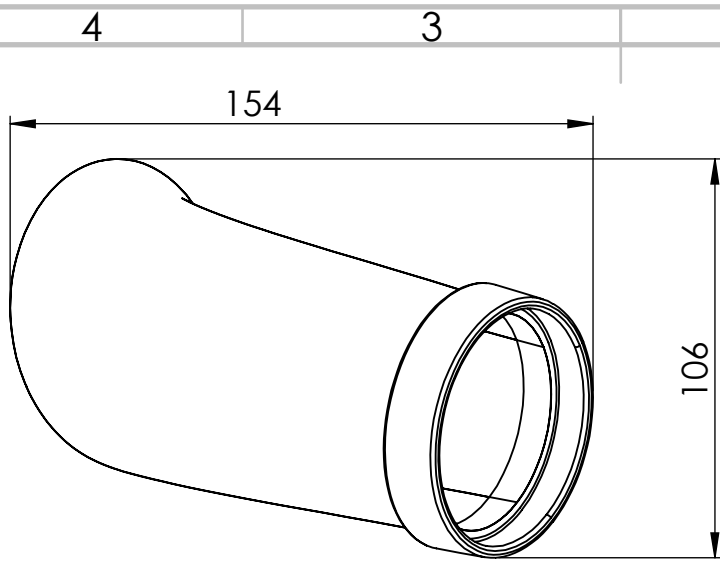


Si no se indica lo contrario las cotas se expresan en mm


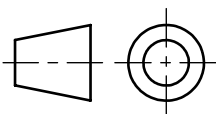
Formato: A4
Material: ABS

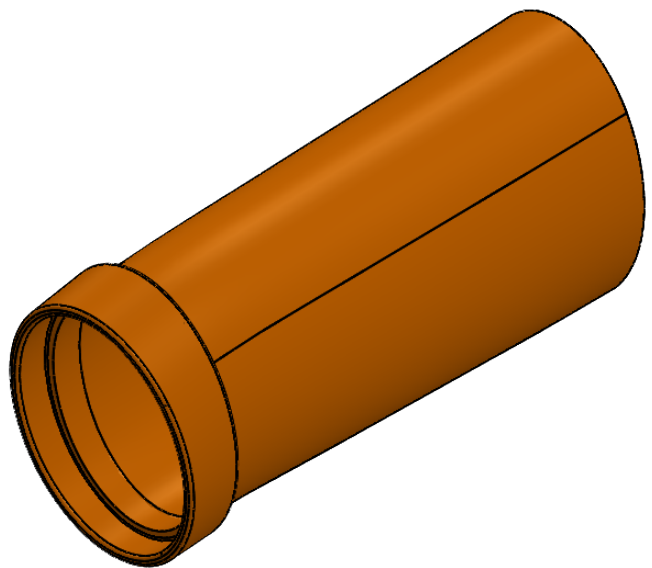
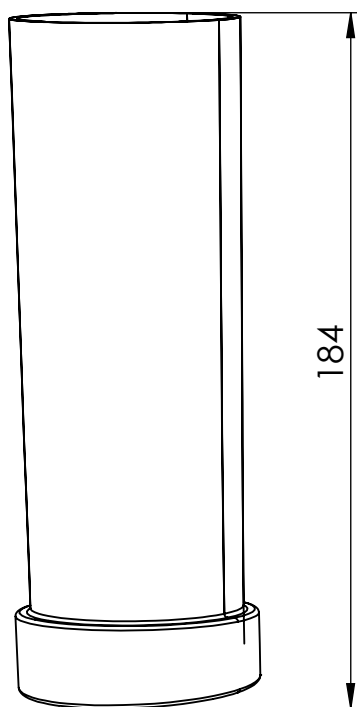
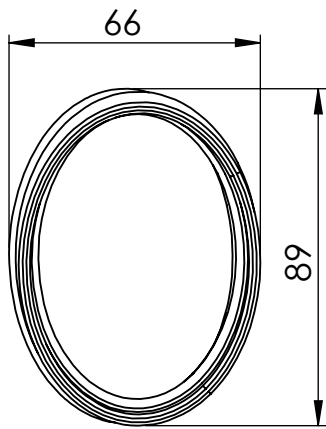
Hoja: 2/8

4 3 2 1


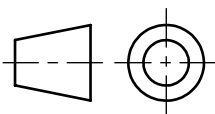


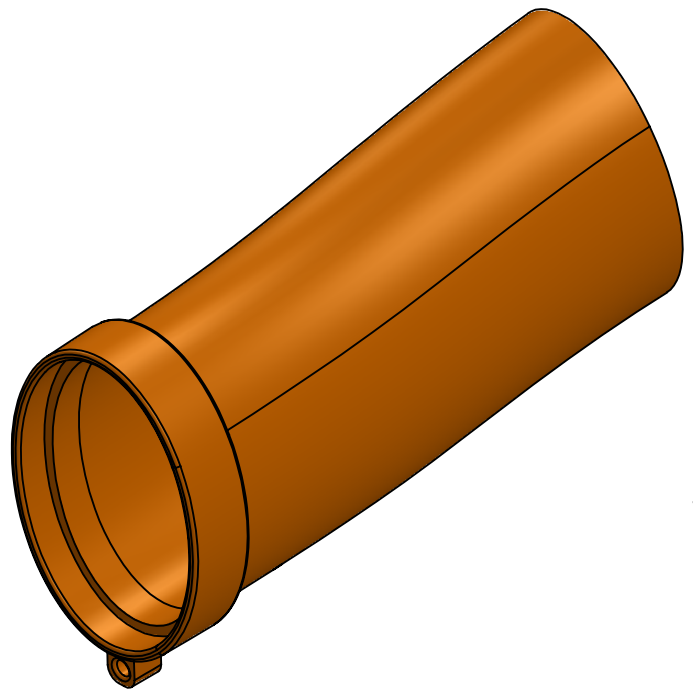
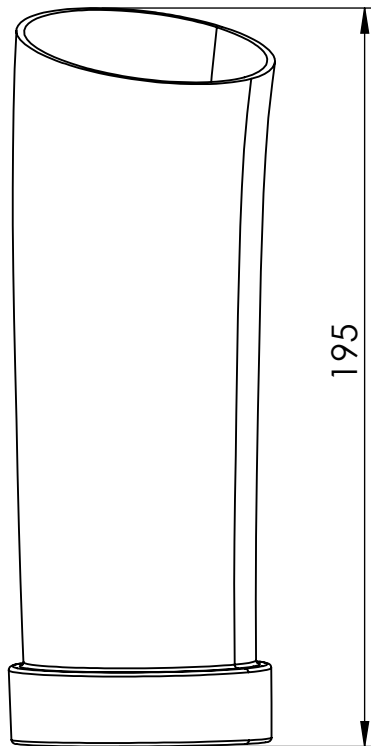
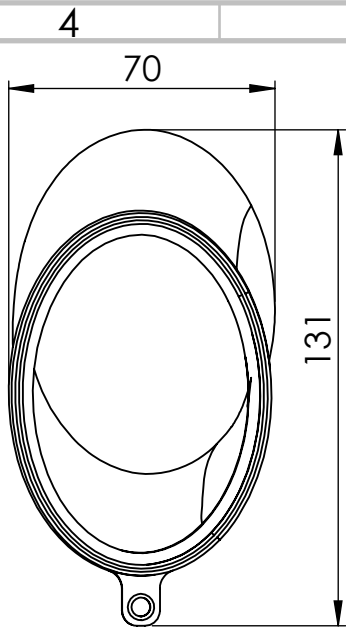
IMPRIMIR EN 3D.
Total 1+1, imprimir su simétrica.

	Fecha	Nombre	Firma		
Dibujado	10/06/2020	David Fernández Sanus		 Sistema de admisión por airbox	
Comprobado					
Aprobado					
Escala: 1:2	Título: Conducto 2				Si no se indica lo contrario las cotas se expresan en mm
				Formato: A4 Material: ABS	Hoja: 3/8


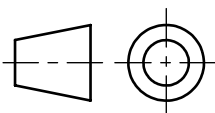


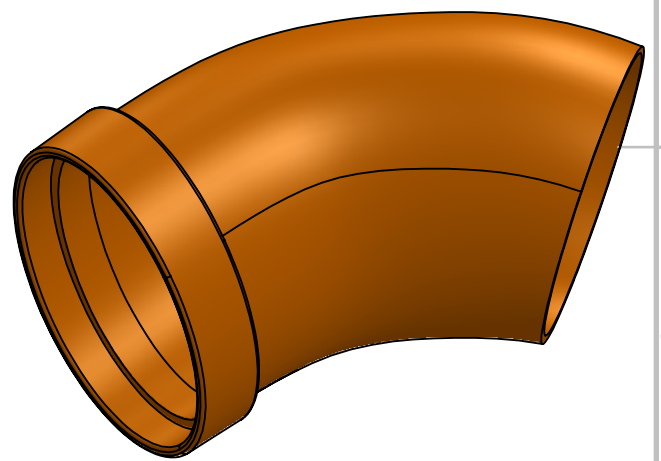
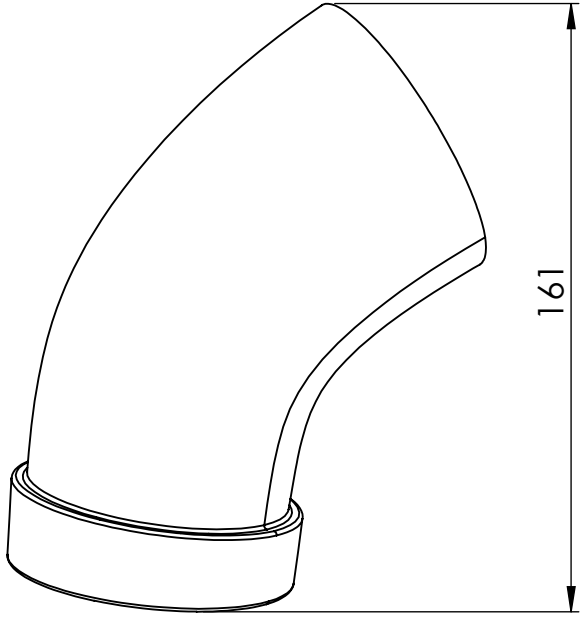
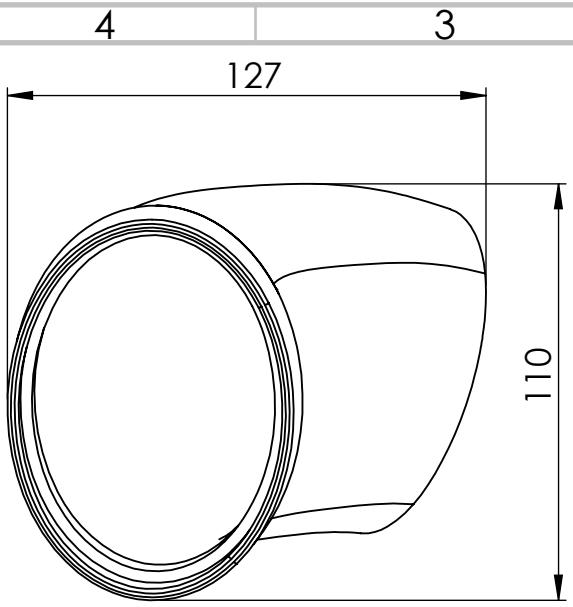
IMPRIMIR EN 3D.
Total 1+1, imprimir su simétrica.

	Fecha	Nombre	Firma		
Dibujado	10/06/2020	David Fernández Sanus		 Sistema de admisión por airbox	
Comprobado					
Aprobado					
Escala: 1 : 2	Título: Conducto 3				Si no se indica lo contrario las cotas se expresan en mm
				Formato: A4	Hoja: 4/8
				Material: ABS	


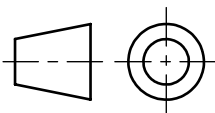


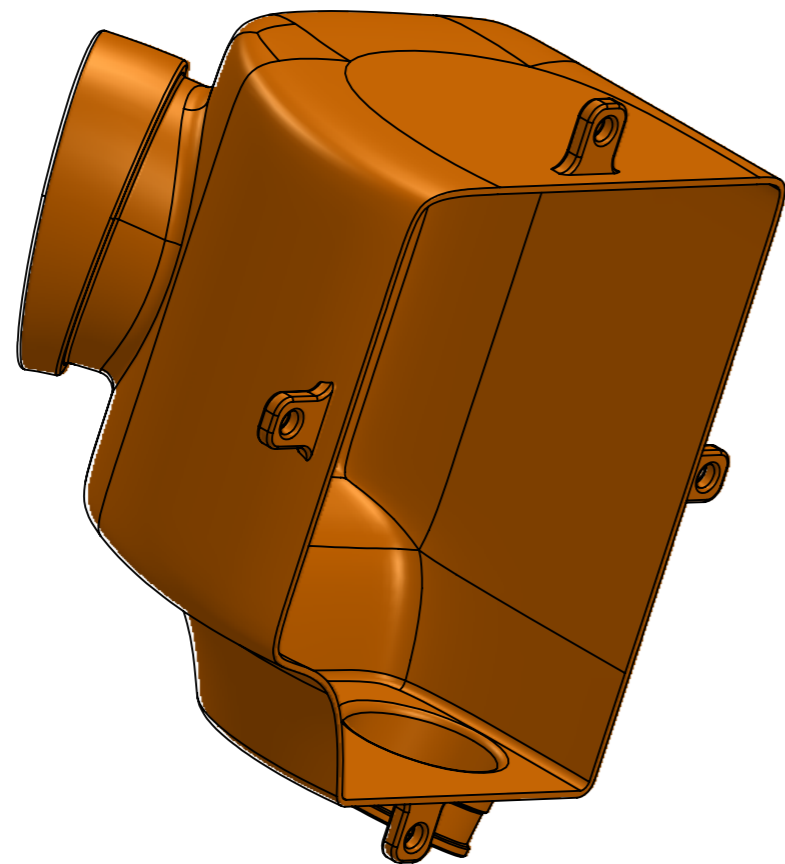
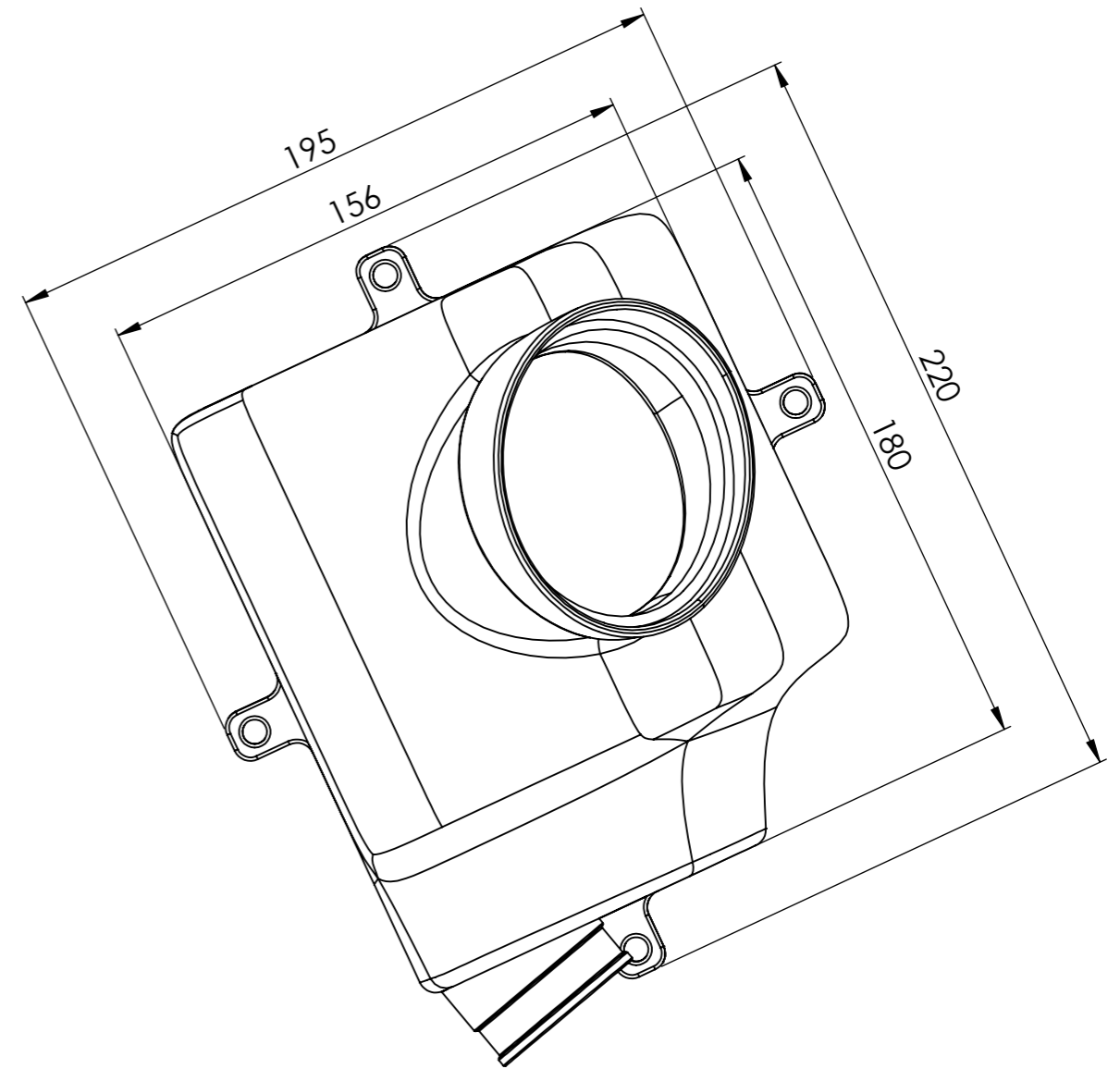
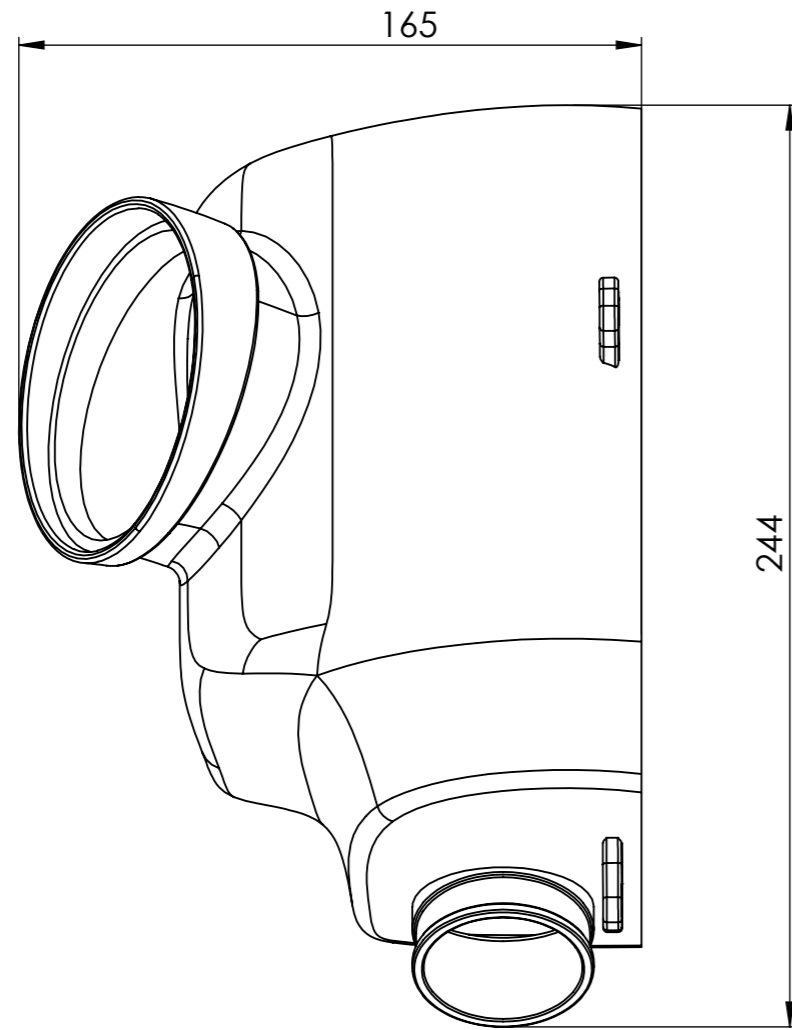
**IMPRIMIR EN 3D.
Total 1+1, imprimir su simétrica.**

	Fecha	Nombre	Firma		
Dibujado	10/06/2020	David Fernández Sanus		 Sistema de admisión por airbox	
Comprobado					
Aprobado					
Escala: 1 : 2	Título: Conducto 4				Si no se indica lo contrario las cotas se expresan en mm
				Formato: A4 Material: ABS	Hoja: 5/8


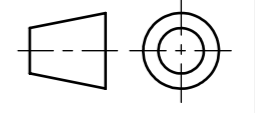


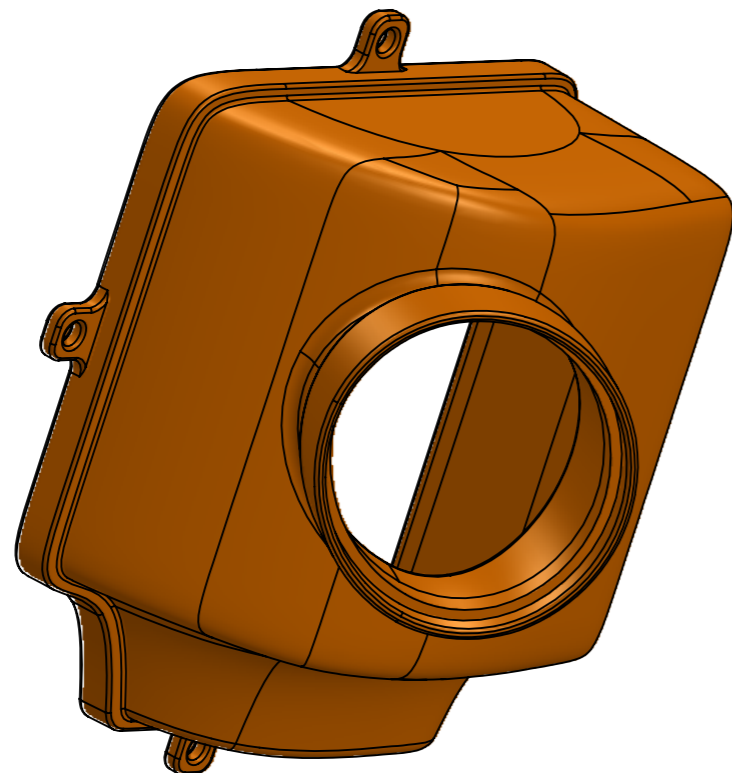
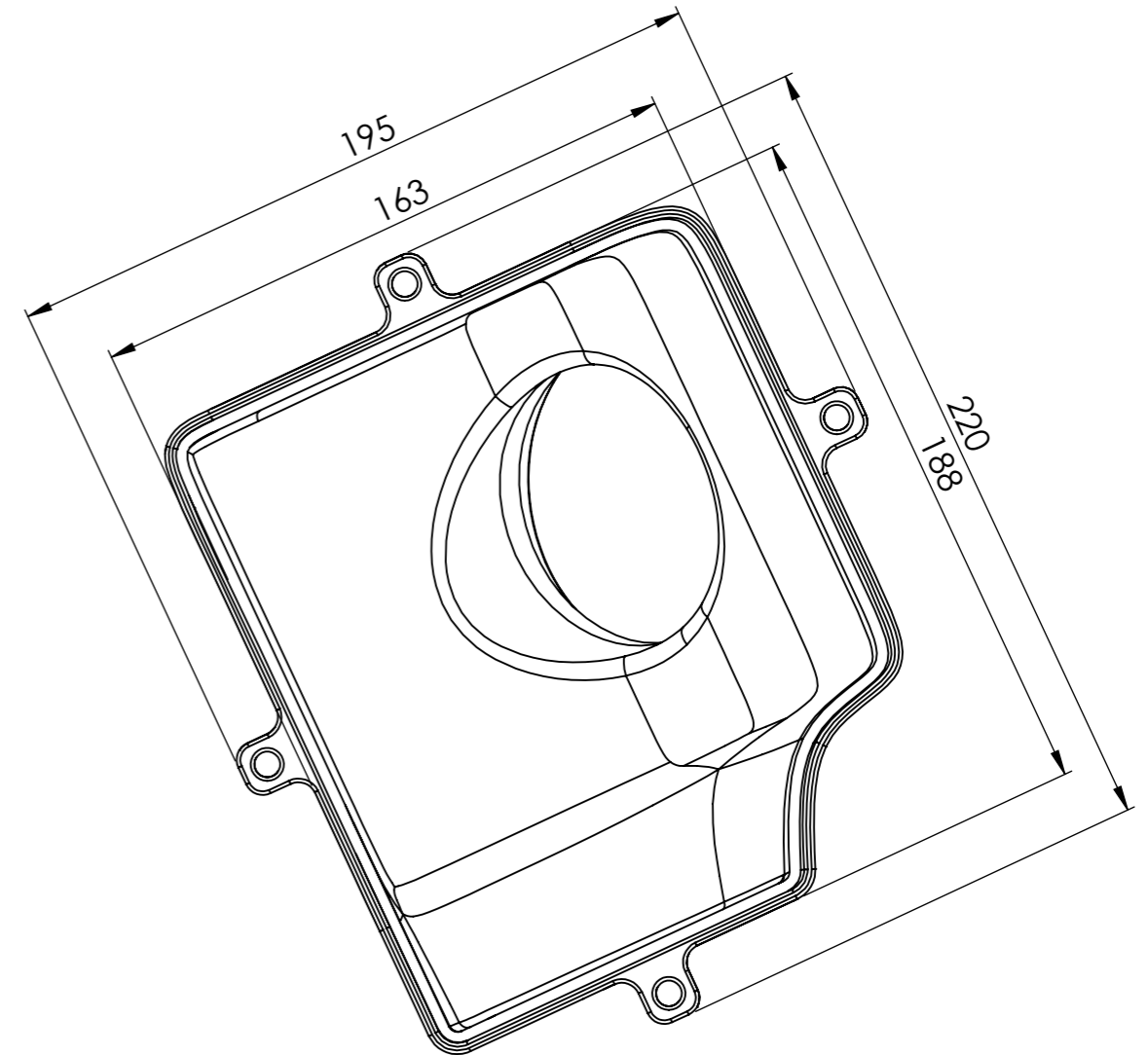
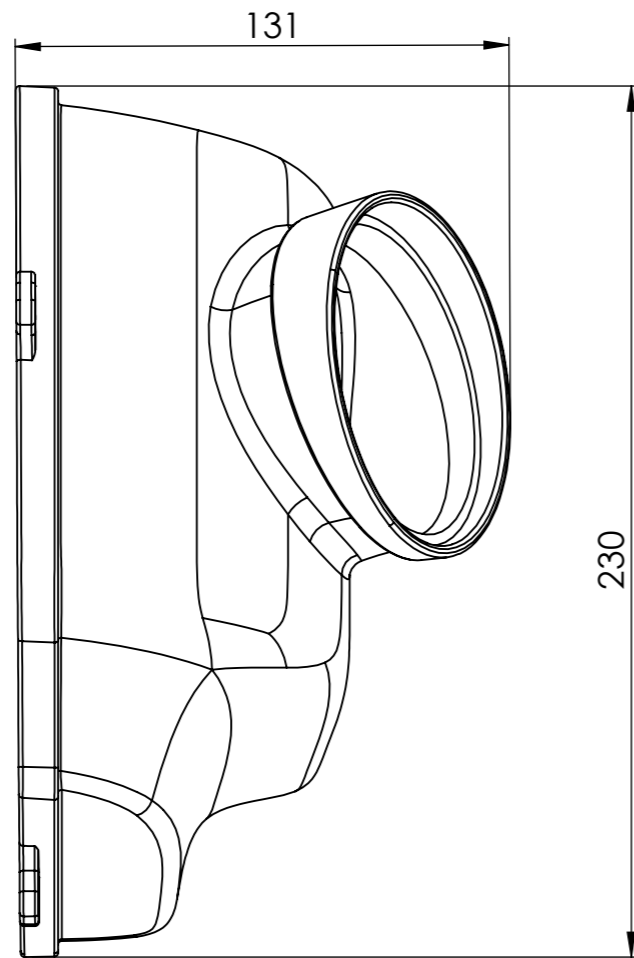
IMPRIMIR EN 3D.
Total 1+1, imprimir su simétrica.

	Fecha	Nombre	Firma		
Dibujado	10/06/2020	David Fernández Sanus		 Sistema de admisión por airbox	
Comprobado					
Aprobado					
Escala: 1 : 2	Título: Conducto 5				Si no se indica lo contrario las cotas se expresan en mm
				Formato: A4 Material: ABS	Hoja: 6/8


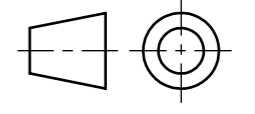


IMPRIMIR EN 3D

	Fecha	Nombre	Firma	 Sistema de admisión por airbox
Dibujado	10/06/2020	David Fernández Sanus		
Comprobado				
Aprobado				
Escala:	Título:			 Si no se indica lo contrario las cotas se expresan en mm
1 : 2	Airbox 1			
Formato: A3			Hoja: 7/8	
Material: ABS				



IMPRIMIR EN 3D

	Fecha	Nombre	Firma	 Sistema de admisión por airbox
Dibujado	10/06/2020	David Fernández Sanus		
Comprobado				
Aprobado				
Escala: 1 : 2	Título: Airbox 2			 Si no se indica lo contrario las cotas se expresan en mm
			Formato: A3 Material: ABS	Hoja: 8/8