



UNIVERSIDAD JAUME I
ESCUELA SUPERIOR DE TECNOLOGÍAS Y CIENCIAS
EXPERIMENTALES
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

DISEÑO, OPTIMIZACIÓN Y
FABRICACIÓN DE UN SISTEMA DE
ADMISIÓN PARA UN MOTOR MCIA DE
FORMULA STUDENT

AUTOR/A

David Nebot Ainsa

TUTOR/A

Raúl Martínez Cuenca

Salvador Torró Cueco

Castellón, Noviembre de 2018

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar las gracias a mi familia por todo el apoyo que me han dado durante todo este tiempo. A mi padre y mi madre por demostrarme su confianza y animarme siempre a seguir adelante sin rendirme y a mi hermano por introducirme en el mundo del automovilismo desde pequeño animándome siempre a realizar nuevos proyectos.

También quiero agradecer el apoyo recibido de mis amigos y profesores, en especial el apoyo de mis tutores Raúl Martínez Cuenca y Salvador Torró Cueco por el tiempo invertido en la realización de este proyecto, ya que sin ellos no podría haber sido posible.

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA.....	6
PLANOS.....	105
PLIEGO DE CONDICIONES.....	121
PRESUPUESTO	133

MEMORIA

ÍNDICE MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 Objeto y alcance	9
1.2 Antecedentes y justificación	9
1.2.1 Formula Student	9
2. EL ESTADO DEL ARTE	13
2.1 Tipos de motores	13
2.2 Ciclo Otto 4 tiempos	13
2.3 Funcionamiento del motor	16
2.4 Sistemas de Admisión	17
2.4.1 Aspiración Natural	17
2.4.2 Aspiración Forzada	17
2.5 Métodos de recarga de un motor de combustión interna	18
2.5.1 Método de carga por efecto inercial del fluido	18
2.5.2 Método de recarga con ondas de presión	19
2.5.3 Resonador Helmholtz	21
2.6 Sistemas de inyección	22
2.6.1 Carburación	23
2.6.2 Inyección directa	24
2.6.3 Inyección Indirecta	25
2.6.3.1 Monopunto	25
2.6.3.2 Multipunto	25
2.7 Ecuaciones	26
2.7.1 Ecuaciones para el cálculo iterativo en 1D	26
2.7.2 Ecuaciones utilizadas en el estudio mediante CFD	29
3 - ESTUDIO ITERATIVO DEL SISTEMA DE ADMISIÓN EN 1D	31
3.1 Introducción	31
3.1.1 Introducción de los parámetros geométricos del motor	31
3.2 Estudio del sistema de admisión original para el calibrado del programa	35
3.3 Estudio del nuevo sistema de admisión	37
3.4 Conclusión del cálculo iterativo	50
4. MODELADO DEL SISTEMA DE ADMISIÓN	53
4.1 Normativa y restricciones de diseño	53
4.2 Modelos iniciales	57
4.3 Preparación de la simulación en CFX	58
4.4 Resultados de los modelos iniciales	61

INDICE MEMORIA

4.5 Optimización del sistema original	66
4.6 Conclusión del estudio en CFD	72
5. FABRICACIÓN.....	75
5.1 Métodos de fabricación	75
5.2 Análisis estructural	76
5.3 Fabricación de los moldes y de la pieza	79
5.4 Preparación de los desarrollos en fibra de vidrio	81
5.5 Conclusión de la fase de fabricación del sistema de admisión	86
6. VIABILIDAD ECONÓMICA	87
7. CONCLUSIONES Y FUTUROS PROYECTOS.....	89
8. BIBLIOGRAFÍA	91
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	93
ÍNDICE DE TABLAS	97
ÍNDICE DE ECUACIONES	98
ANEXOS	99
Anexo 1: Cálculos de longitudes y diámetros de los colectores primarios	101
Anexo 2: Calculo del caudal máximo a través del restrictor	102
Anexo 3: Método de jerarquías analíticas para la elección del método de fabricación.....	103

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objeto y alcance

El objetivo de este trabajo de final de grado es el diseño, optimización y fabricación de un sistema de admisión para el equipo UJI Motorsport de un motor Suzuki SV650S con el que se participará en competiciones universitarias de Formula Student (FS).

El diseño comienza realizando los cálculos teóricos para obtener unos valores geométricos orientativos, a continuación mediante cálculo iterativo en 1D (Ricardo WAVE Software) se estudiará el rendimiento volumétrico a diferentes regímenes de giro y el efecto que este tiene sobre la curva de par motor y la curva de potencia de diferentes sistemas de admisión. Una vez obtenidos los datos geométricos optimizados se modelaran varias formas geométricas básicas que se simularan en ANSYS CFX, la que obtenga una mayor eficiencia volumétrica será optimizada para obtener el mayor rendimiento volumétrico posible. Una vez obtenido el diseño final de la admisión se dará paso a la fabricación donde se buscara el método de fabricación que mejor se adapte a los requisitos y condiciones del equipo.

1.2 Antecedentes y justificación

El equipo UJI Motorsport se fundó en 2015 por estudiantes de diferentes ingenierías con el fin de mejorar los conocimientos aprendidos durante la carrera y hacer uso del autoaprendizaje en los diferentes campos de la automoción. Tras proponer el proyecto a los directores de la Escuela Superior de Tecnologías y Ciencias Experimentales (ESTCE) se formó el primer equipo para representar a la Universidad Jaume I (UJI) en la competición Formula Student (FS). En la temporada 2015-2016 el UFS01 monto un motor Aprilia SXV 550 bicilíndrico en V con una admisión completamente fabricada en impresión 3D con entrada de aire lateral por encima del pontón derecho, no obstante para los modelos posteriores UFS02 y UFS03 se decidió cambiar el motor de Aprilia por el motor SV650S de Suzuki bicilíndrico en V por motivos de fiabilidad.

Por esa razón el siguiente proyecto se centra en el diseño optimizado y fabricación del nuevo sistema de admisión, a fin de conseguir la potencia de origen una vez introducidas las restricciones obligatorias de la competición.

En los siguientes apartados se explicará con más exactitud en que se basa la competición Formula Student, las pruebas que la componen.

1.2.1 Formula Student

La Formula Student también conocida como Formula SAE es una competición a nivel mundial donde estudiantes de ingeniería diseñan, desarrollan, construyen y compiten con un vehículo monoplace.

MEMORIA

En 1979 Mark Marshek Propuso una evolución de la competición BAJA SAE en la cual los estudiantes se encontraban muy limitados por la normativa, esta nueva competición debía dar un mayor margen de diseño, así fue como nació la Formula Student.

En 1981 se realizó la primera competición en la Universidad de Texas con 6 equipos y un total de 40 alumnos, pero no fue hasta 1998 cuando se celebró la primera edición Británica con 4 equipos, desde entonces la Formula Student ha crecido llegando a realizar competiciones por todo el mundo con más de 120 equipos y 2000 estudiantes por competición.

La competición se divide en tres categorías según el tipo de propulsión y manejo que tenga el monoplaça, estas son:

- **Combustión:** Se aplica a vehículos propulsados por motores de combustión interna alternativos de menos de 710cc.
- **Eléctricos:** Se aplica a vehículos propulsados por motores eléctricos que obtienen la energía de un sistema de baterías.
- **Driver-Less:** Esta categoría se creó en 2017 y se basa en la conducción de forma autónoma del vehículo ya esté dotado de un propulsor eléctrico o de combustión.

Estas tres categorías se someten a dos tipos de pruebas:

Pruebas estáticas: los equipos realizan pruebas que evalúan el diseño, la fabricación y el nivel organizativo del equipo.

Bussines Plan Presentación: Evalúa las competencias del equipo para presentar un plan de negocios que demuestre que su producto es un negocio económicamente viable.

Engineering Design: En esta prueba los jueces evalúan los conocimientos aplicados en el diseño y fabricación del monoplaça acorde con los principios de la competición, esta es la prueba estática más importante.

Cost and Manufacturing Event: Evalúa los conocimientos sobre los diferentes métodos de fabricación utilizados en el vehículo basándose en el precio, la duración y los recursos disponibles del equipo.

Pruebas Dinámicas: Se basan en la evaluación del vehículo durante su funcionamiento, para poder competir en las pruebas dinámicas antes hay que realizar las pruebas de seguridad donde se comprueba que el vehículo cumpla toda la normativa de la competición.

Skidpad: esta prueba se realiza en un circuito en forma de ocho y su objetivo es evaluar la respuesta que tiene el vehículo en el paso por curva.

Autocross: su objetivo es evaluar el comportamiento dinámico del vehículo en un circuito de 1km de longitud realizando una vuelta de reconocimiento y una vuelta lo más rápido posible.

Acceleration: se realiza en una recta de 75m de longitud y su objetivo es evaluar la respuesta del vehículo en una aceleración.

Endurance: consiste en dar vueltas al circuito del Autocross durante 22 km realizando un cambio de piloto en el ecuador de la prueba, esta prueba evalúa la resistencia del

MEMORIA

vehículo y la eficiencia del motor mediante su consumo de combustible, es la prueba más exigente de la competición.

PRUEBAS	PUNTOS
PRUEBAS ESTÁTICAS	
BUSSINES PLAN PRESENTATION	75 puntos
ENGINEERING DESIGN	150 puntos
COST AND MANUFACTURING EVENT	100 puntos
PRUEBAS DINÁMICAS	
SKID PAD	75 puntos
AUTOCROSS	100 puntos
ACCELERATION	75 puntos
ENDURANCE	325 puntos
EFFICIENCY	100 puntos
TOTAL	1000 puntos

Tabla 1: Puntuación de las pruebas de Formula Student

2. EL ESTADO DEL ARTE

2.1 Tipos de motores

El motor de combustión interna (CI) es una máquina que consigue el par de fuerza mediante la transformación de energía química del combustible en energía mecánica, esta transformación tiene lugar dentro de la cámara de combustión del cilindro debido a la oxidación del combustible.

Dentro del sector automovilístico actual se pueden diferenciar varios tipos de ciclos de motores, los más utilizados son: Ciclo Otto y Ciclo Diésel, y el tipo de motor más utilizado para el mundo del motorsport es el motor de combustión interna alternativo (MCIA) de Ciclo Otto 4 tiempos.

2.2 Ciclo Otto 4 tiempos

El ciclo Otto se utiliza en los motores de combustión interna con encendido provocado por chispa, como su propio nombre indica fue inventado por Nicolaus Otto en 1876, Alemania, basándose en el ciclo teórico de Alphonse Eugène Beau de Rochas.

El ciclo consta de seis procesos, dos de los cuales no participan en el ciclo termodinámico, pero son necesarios para la renovación de la carga.

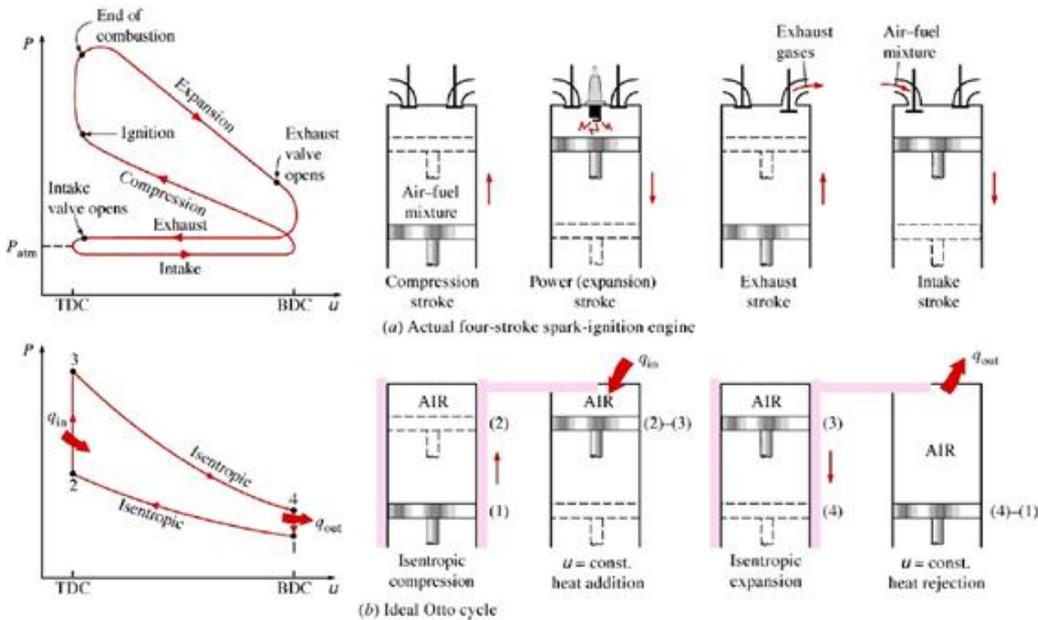


Ilustración 1: Ciclo Otto Real (superior), Ciclo Otto Ideal (inferior)

MEMORIA

El ciclo empieza con el pistón en el punto muerto inferior (PMI) y las válvulas de admisión y escape cerradas.

En la **fase de compresión** el pistón se desplaza hacia el punto muerto superior (PMS) comprimiendo de forma isentrópica la mezcla de aire-fuel dentro de la cámara de combustión del pistón.

A continuación una vez el pistón se encuentra en el PMS, la bujía emite una chispa que inicia la **combustión**, produciendo un aumento de la presión que inicia la fase de expansión.

En la **fase de expansión**, la combustión libera energía provocando la expansión isentrópica de los gases que desplazan el pistón hacia el PMI como consecuencia de la transformación de energía química en mecánica.

Fase de escape (isocora) (isobara) una vez el pistón se encuentra en el PMI se abre la válvula de escape produciéndose una pérdida de energía calorífica a volumen constante, acto seguido el pistón empieza a subir hacia el PMS y los gases de escape salen del cilindro a presión constante, finalmente la válvula de escape se cierra.

Fase de admisión, en la fase de admisión se abre la válvula de admisión y el pistón parte del PMS hacia el PMI llenando el cilindro de aire – fuel (renovación de la carga a presión constante).

Otro factor importante en la renovación de la carga que no se tiene en cuenta en el ciclo ideal es el cruce de válvulas entre la fase de escape y la fase de admisión, el cruce de válvulas es el instante en el que las válvulas de admisión y escape se encuentran abiertas al mismo tiempo.

El cruce de válvulas se produce por la ampliación del ciclo de actuación de las válvulas. En la válvula de escape el ciclo de apertura comienza un poco antes del punto muerto inferior al final de la fase de expansión y finaliza un poco después de sobrepasar el PMS, el avance permite que los gases salgan por diferencia de presión sin necesidad de realizar trabajo de bombeo, el retardo genera un vacío momentáneo en el puerto de escape permitiendo que la carga de mezcla aire- fuel entre más fácilmente nada más abrir la válvula de admisión, no obstante, si el retardo es demasiado grande, cuando el motor trabaja a pocas revoluciones la mezcla aire-fuel que entra por la válvula de admisión es atraída hacia el puerto de escape escapándose por los colectores de escape sin generar trabajo.

En la válvula de admisión se realiza un avance en el inicio del ciclo empezando antes de que el pistón llegue al PMS, con esto se consigue aprovechar la depresión generada en el puerto de salida para introducir la mayor cantidad posible de mezcla. Si hay un exceso de avance de apertura los gases de escape saldrán por el puerto de admisión produciendo una mala renovación de la carga. Al final de la etapa de admisión se realiza un retraso del cierre de la válvula para conseguir una mayor cantidad de aire mediante el efecto de inercia que se explicara más adelante.

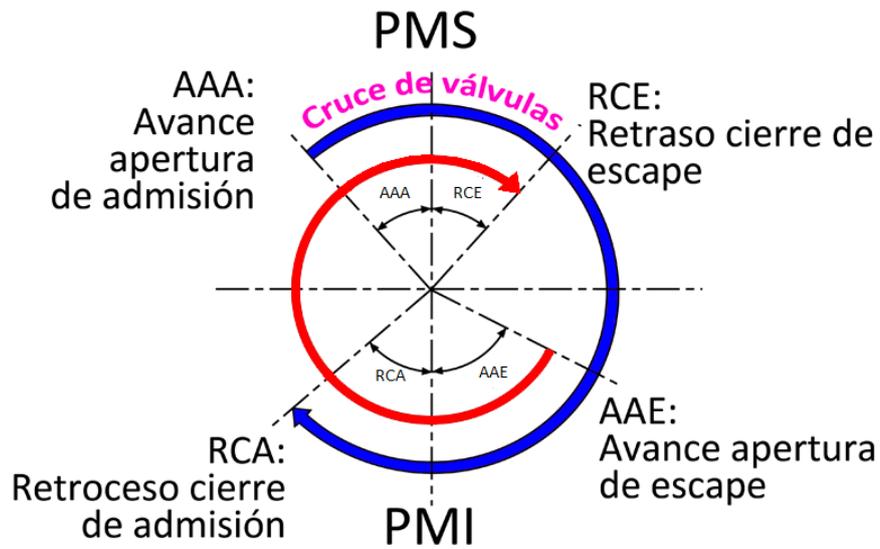


Ilustración 2: Apertura y cierre de válvulas durante el ciclo de combustión

A continuación se explicaran los diferentes componentes de un motor que hacen posible el realizamiento del ciclo termodinámico, además, se hará hincapié en los conceptos teóricos del sistema de admisión para posteriormente realizar el estudio.

Para realizar el estudio primero se realizaran los cálculos teóricos con las ecuaciones que se explicaran a continuación, una vez obtenidos los valores teóricos se introducirán en un simulador de motores 1D donde mediante calculo iterativo se optimizaran los valores teóricos, acto seguido se realizaran diferentes modelos acorde con la normativa y se simularan en CFD para optimizar la circulación del flujo.

2.3 Funcionamiento del motor



Ilustración 3: Componentes de un Motor de Combustión Interna Alternativo (MCI)

Un motor MCI de ciclo Otto 4 tiempos está formado por muchos componentes, durante su funcionamiento el aire entra por el sistema de admisión que se encarga de dirigir el aire hacia el cilindro, en el sistema de admisión atraviesa el filtro de aire limpiando el aire de partículas de polvo, arena., a continuación llega al plenum donde se almacena el aire limpio para proveer el motor en caso de un aumento de gasto de aire, finalmente el aire atraviesa los colectores de admisión donde se inyecta el combustible (en caso de ser un motor de inyección indirecta como se explicara más adelante) mediante el inyector creando la mezcla de aire que llega al puerto de admisión. Una vez en el puerto de admisión entra al cilindro a través de las válvulas de admisión las cuales se accionan utilizando una leva del árbol de levas, el árbol de levas es el encargado de desplazar de forma sincronizada las válvulas con el movimiento del pistón, para ello se encuentra conectado mediante una cadena o una correa al eje del cigüeñal. Una vez el aire entra en el cilindro la bujía es la encargada de crear la chispa que inicia la combustión, cuando finaliza, los gases de escape salen a través de las válvulas de escape hacia los colectores de escape, estos son los encargados de dirigir los gases hacia el silenciador, donde se reduce el ruido que genera el motor antes de salir al exterior. Por otro lado la energía generada por el combustible se transforma en energía mecánica gracias al pistón el cual recibe la presión de los gases empujando la biela hacia abajo, la biela transmite la energía mecánica al cigüeñal que transforma la energía lineal en energía de rotación, una vez transformada se dirige al embrague de forma directa o mediante un tren de engranajes. El embrague permite transmitir o interrumpir la transmisión de energía, permitiendo al conductor controlar el par motor. Gracias al embrague la caja de cambios puede engranar y desengranar las marchas que permiten variar la velocidad y par del vehículo, una vez seleccionada la marcha la energía se envía al diferencial o aun sistema de transmisión piño/cadena.

2.4 Sistemas de Admisión

2.4.1 Aspiración Natural

Un sistema de admisión de aspiración natural es aquel que no se encuentra sobrealimentado mediante un componente externo al motor, es decir el rendimiento volumétrico máximo que se puede obtener será de 1. Este sistema de admisión se optimiza utilizando diferentes efectos de recarga de aire que se explicaran en el siguiente apartado. La limitación que tiene este tipo de sistema es la altitud, cuanto mayor es la altitud a la que se trabaja menor rendimiento volumétrico tiene el sistema, lo que se traduce en una pérdida de potencia.

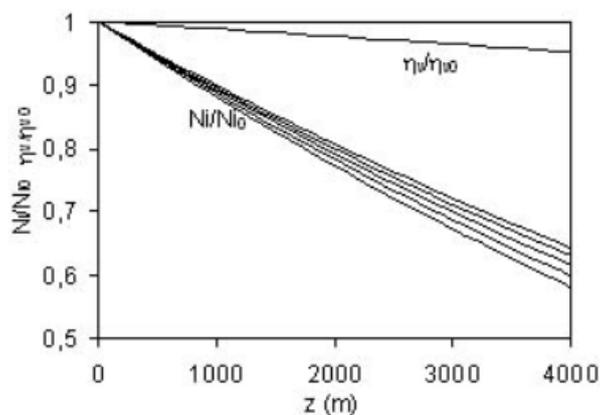


Ilustración 4: Efecto de la altitud sobre el rendimiento volumétrico y la potencia efectiva máxima de un motor de aspiración natural.

2.4.2 Aspiración Forzada

El sistema de admisión de aspiración forzada o sobrealimentado es aquel en el que se utiliza un supercargador o un turbocargador con la intención de aumentar la cantidad de aire capaz de entrar en el cilindro, de esta manera se pueden obtener rendimientos volumétricos mayores de 1, consiguiendo una potencia y eficiencia mayor, una reducción del consumo de combustible y una pérdida de potencia frente a la altitud menor.

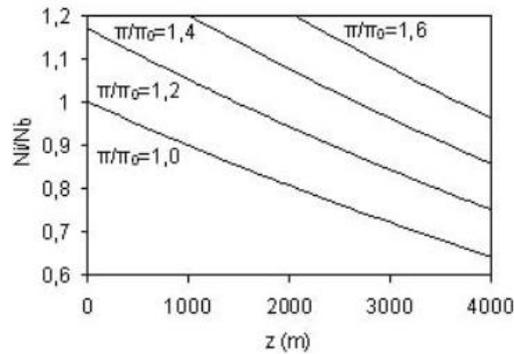


Ilustración 5: Potencia indicada en función de la altitud para diferentes grados de sobrealimentación (π/π_0).

2.5 Métodos de recarga de un motor de combustión interna

2.5.1 Método de carga por efecto inercial del fluido

El método de carga por efecto inercial del fluido, está relacionado con los efectos de inercia que influyen sobre el fluido en los momentos de llenado y vaciado del cilindro, este fenómeno se puede analizar utilizando el diagrama de distribución donde se determinan los momentos de apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape.

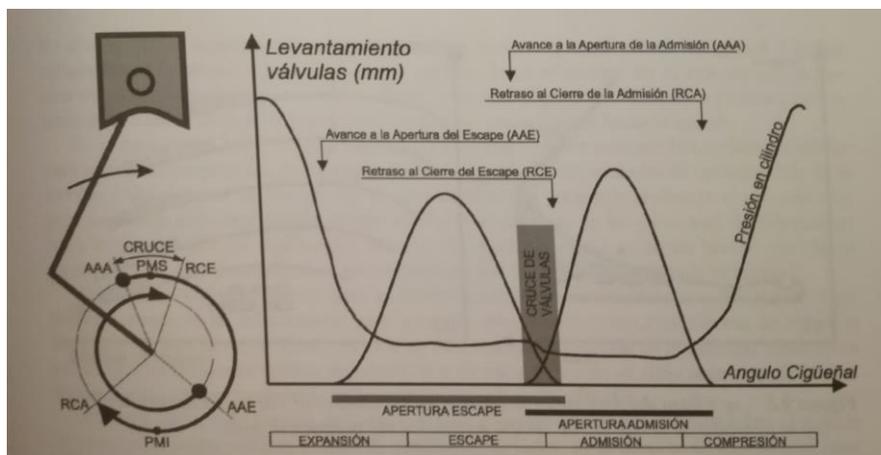


Ilustración 6: Diagrama de apertura de válvulas, y aumento de presión del cilindro.

El fluido que se encuentra en el colector de admisión adquiere un aumento de energía cinética al abrir la válvula de admisión debido a la depresión generada por el desplazamiento del pistón hacia el PMI, en este momento el aire entra dentro del cilindro a través de las válvulas de admisión comportándose como un fluido a alta velocidad a causa de la diferencia de sección entre el cilindro y la válvula. Posteriormente, en la fase de cierre de la válvula la energía cinética del fluido se convierte en energía de presión produciendo un aumento de presión y densidad

MEMORIA

del fluido, dicha energía permite la admisión de fluido en el pistón una vez sobrepasado el PMI inicializada así la fase de compresión.

El efecto de inercia dependerá de dos parámetros, el primero será el régimen de giro ya que el parámetro de inercia varía con el cuadrado de la velocidad lineal media del pistón, por este motivo el efecto de inercia será importante a alto régimen de vueltas, el segundo parámetro será la reducción de diámetro de las pipas de admisión lo cual producirá un aumento del parámetro de inercia.

Los efectos de inercia también afectan al aire del pleno, por ese motivo plenos pequeños permiten aceleraciones mayores pero puede causar problemas de llenado por falta de aire a altos regímenes, mientras que plenos grandes permiten solucionar esa falta de llenado pero se obtiene una respuesta más lenta del motor debido a la gran cantidad de fluido. El volumen debe de ser aproximadamente entre 4 y 6 veces el volumen total del motor, no obstante este parámetro se aproximara mejor en el cálculo iterativo partiendo de un volumen de 4 L.

Para calcular el diámetro teórico de los colectores primarios de admisión se utiliza la ecuación 2, como la eficiencia volumétrica varía en función de la geometría de todo el sistema de admisión se supondrá una eficiencia volumétrica del cien por cien, posteriormente se introducirá en el simulador de motores 1D para ajustarlo mediante cálculo iterativo.

$$D_{colector} = 25.4 \cdot \sqrt{\frac{RPM \cdot VH \cdot VE}{3330}}$$

Ecuación 1: Cálculo del diámetro del colector primario.

RPM= Revoluciones por minutos

VH = Cilindrada del motor en litros

VE = Eficiencia volumétrica en porcentaje

3330= Factor de conversión

25.4 = Factor de conversión pulgadas a milímetros

2.5.2 Método de recarga con ondas de presión

La recarga mediante ondas de presión se basa en la reflexión de las ondas de presión dentro del sistema de admisión.

El proceso de admisión de un motor genera una onda de rarefacción que viaja a través del conducto de admisión hasta encontrar una discontinuidad, en este momento se refleja como una onda de sobrepresión que se transmite hacia la válvula de admisión, si llega a la válvula antes de que se haya cerrado produce una sobrepresión durante el final de la carrera de admisión.

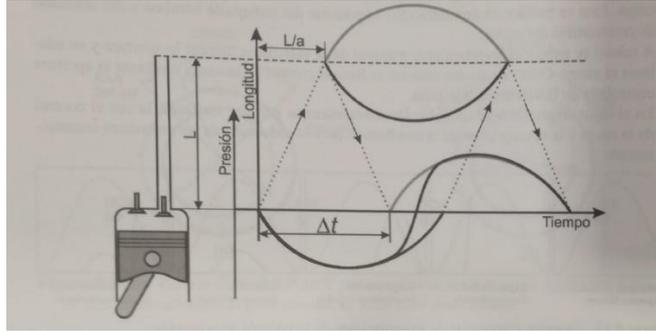


Ilustración 7: Desplazamiento de una onda de presión a través del colector primario.

Las ondas de sobrepresión son semejantes a las ondas de sonido pudiendo así calcular el desfase temporal (ecuación 3) y el desfase angular (ecuación 4).

$$\Delta t = \frac{2L}{a}$$

Ecuación 2: Calculo del desfase temporal

$$\theta = 360 n \Delta t$$

Ecuación 3: Calculo del desfase angular

Δt = Desfase temporal [s]

θ = Desfase angular [°]

L = Longitud del colector [m]

a = velocidad del sonido [$\frac{m}{s}$]

n = régimen de giro [$\frac{rev}{s}$]

El aprovechamiento máximo se produce cuando el pico de la onda de sobrepresión llega a la válvula alrededor del punto muerto inferior, esto equivale a un desfase angular de 90° entre la onda incidente y reflejada. Para conseguir la sintonización del conducto a un régimen de giro deseado se igualan las ecuaciones 2 y 3 añadiéndole el desfase de 90°.

$$L = \frac{a \Delta t}{2} = \frac{a \theta}{2 \cdot 360 n} = \frac{90a}{720n} = \frac{a}{8n}$$

Ecuación 4: Calculo de la longitud del colector primario.

MEMORIA

Para medir el retardo de la onda reflejada se utiliza un parámetro adimensional llamado parámetro de frecuencia, se define como la relación entre la frecuencia del motor y la frecuencia del sistema de admisión.

$$Q = \frac{f_{\text{motor}}}{f_{\text{conducto}}} = \frac{n/2}{a/4L} = \frac{2nL}{a} = \frac{360}{\theta}$$

Ecuación 5: Cálculo del parámetro de frecuencia para un conducto de extremo abierto

El cálculo del parámetro de frecuencia en el colector para motores de Z cilindros se realiza mediante la ecuación 5, donde el cálculo de la frecuencia de colector viene dada por la ecuación 6 donde el subíndice 1 hace referencia a los conductos primarios y el subíndice 2 hace referencia al conducto común o secundario.

$$Z \tan \frac{f_{\text{col}} L_1}{2 \pi a} = \frac{S_2}{S_1} \cot \frac{f_{\text{col}} L_2}{2 \pi a} - \frac{f_{\text{col}} V}{2 \pi a S_1}$$

Ecuación 6: Cálculo del parámetro de frecuencia del colector para motores de Z cilindros

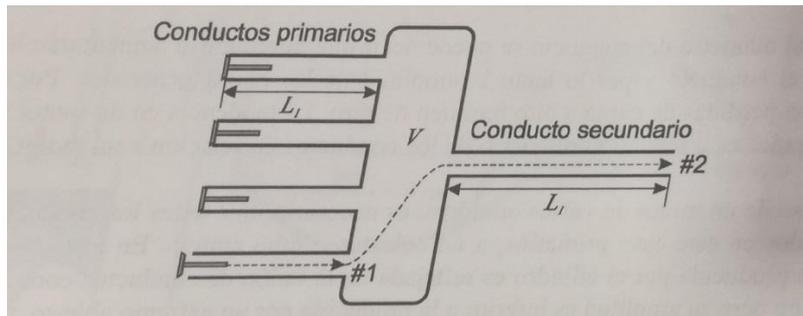


Ilustración 8: Ilustración de las variables de la ecuación 6 en un sistema de admisión tetra cilíndrico.

2.5.3 Resonador Helmholtz

El resonador tipo Helmholtz es un método alternativo de carga que mejora la eficiencia volumétrica a un rango estrecho de régimen de giro. Consiste en un depósito esférico conectado al colector mediante un conducto, cuando el fluido de su interior es perturbado por una vibración, el fluido oscila acuerdo a su frecuencia natural.

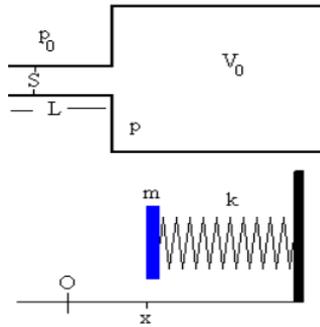


Ilustración 9: Resonador Helmholtz y su comportamiento físico.

Cuando el motor abre la válvula de admisión se genera una onda de presión negativa que perturba el aire contenido en el resonador, como consecuencia se genera un pulso de presión positiva. De este modo, si la velocidad de giro del motor aumenta hasta coincidir con la frecuencia natural del resonador, el aire de dentro del resonador se excita hasta llegar al punto de resonancia, emitiendo una serie de ondas de presión positivas sincronizadas con el periodo de admisión del motor.

Para calcular el volumen óptimo del resonador Helmholtz se utiliza la ecuación 7, donde la frecuencia de resonancia será la velocidad de giro en la cual se quiere conseguir un aumento de par motor. Teniendo en cuenta que el resonador trabaja junto con el método de recarga por efecto inercial, se deberá ajustar la longitud del resonador para que no interfiera en la carga del cilindro por método inercial.

$$n = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{LV}}$$

Ecuación 7: Calculo de la frecuencia de resonancia del resonador Helmholtz.

n = Frecuencia de resonancia [Hz]

c = velocidad del sonido [$m s^{-1}$]

A = Sección transversal del conducto del resonador [m^2]

L = Longitud del Conducto del resonador [m]

V = Volumen del resonador [m^3]

2.6 Sistemas de inyección

El sistema de inyección es el encargado de controlar la cantidad de combustible que se introduce en el motor, con los años se han desarrollado diferentes sistemas de inyección, desde los primeros sistemas mecánicos como los carburadores hasta los sistemas más avanzados como inyectores de alta presión con control electrónico.

2.6.1 Carburación

La inyección de combustible utilizando un carburador se remonta a 1850, era el mejor sistema ya que conseguía la pulverización del combustible de forma idónea y en la cantidad deseada para poder controlar la potencia desarrollada por el motor.

Su apogeo tecnológico fue en 1980 donde se desarrollaron grandes mejoras y diferentes tipos de carburadores, entre ellos:

Carburador compensado: La cuba del flotador descarga en el orificio de entrada de aire para compensar posibles obstrucciones en el filtro de aire.

Carburador de difusor variable: Este carburador está dotado de una abertura de combustible que aumenta o disminuye de tamaño mediante el control de una señal de vacío en el colector de admisión.

Carburador de aspiración ascendente: Carburador que posee un flujo de aire ascendente.

Carburador de calibre ensanchado: De cuatro cuerpos donde los dos primarios son pequeños y los dos secundarios grandes.

Carburador de diseño lateral: Carburador provisto de uno o varios cuerpos horizontales.

Carburador de tiro descendente: Carburador con flujo de aire descendente.

Carburador presurizado: Carburador de un motor sobrealimentado que mezcla combustible y aire bajo presión a través de un turbo.

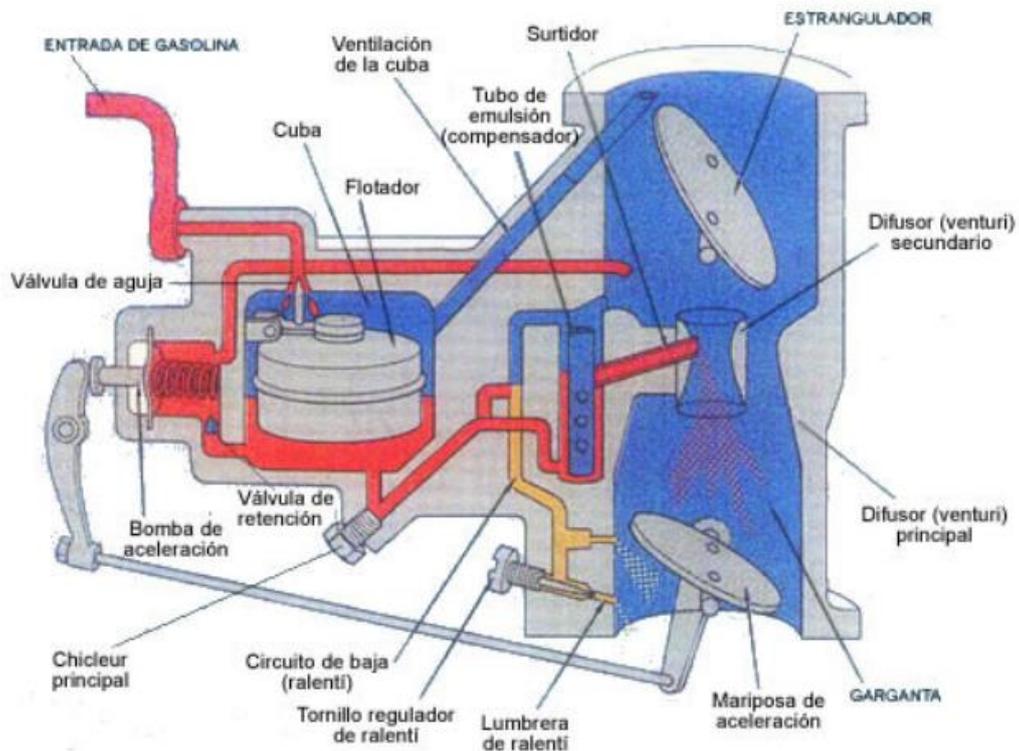


Ilustración 10: Componentes de un carburador

2.6.2 Inyección directa

Se dice que un motor es de inyección directa cuando el combustible se introduce directamente dentro de la cámara de combustión, los primeros vehículos que introdujeron esta tecnología fueron los modelos Superior y GP700E en 1952 con un sistema diseñado por la firma Bosch que más adelante perfeccionaría Mercedes-Benz en el modelo Gullwing.

Los inyectores se sitúan estratégicamente para inyectar el combustible cerca de la bujía con un efecto de turbulencia cilíndrica que permite obtener unas importantes ventajas de consumo de combustible, unas menores pérdidas de calor cedido a la pared del cilindro y permite trabajar con valores de λ de entre 1.6 y 3 para mezclas "estratificadas".

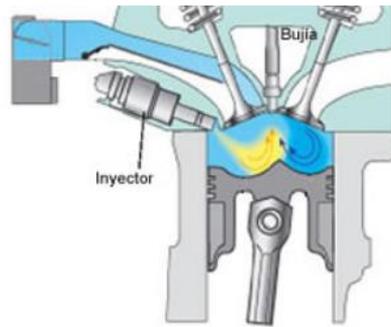


Ilustración 11: Sistema de inyección directa

2.6.3 Inyección Indirecta

Se dice que un motor es de inyección indirecta cuando el combustible se introduce fuera del motor en el sistema de admisión, este sistema es menos eficiente que la inyección directa, no obstante permite abaratar costes ya que las piezas son más simples y baratas.

2.6.3.1 Monopunto

El sistema de inyección mono punto se basa en la inyección de combustible para motores con más de un cilindro utilizando únicamente un inyector. El inyector está controlado por una unidad electrónica o ECU. Este sistema es menos eficiente ya que el combustible se distribuye en función de la aspiración de cada cilindro.

2.6.3.2 Multipunto

El sistema multipunto utiliza un inyector para cada cilindro alimentados mediante un rail común (common rail) y controlados al igual que el monopunto por un controlador electrónico o ECU, esto permite controlar mejor el ratio de mezcla de cada cilindro consiguiendo una mayor potencia.

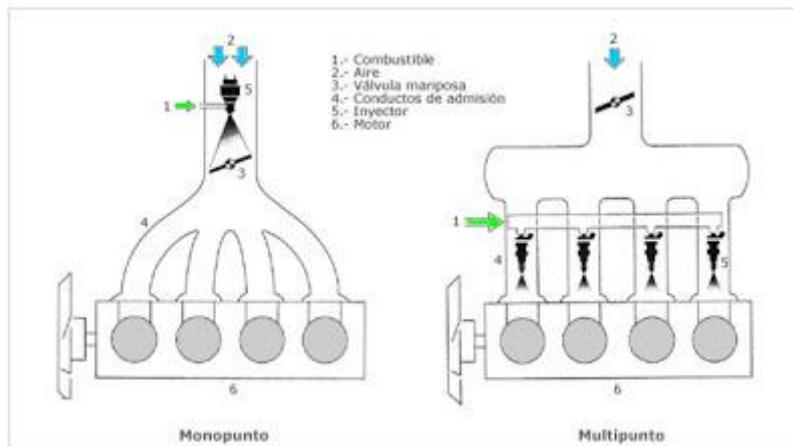


Ilustración 12: Posicionamiento de el/los inyectores en un sistema de inyección indirecta monopunto y multipunto.

2.7 Ecuaciones

2.7.1 Ecuaciones para el cálculo iterativo en 1D

Calculo de presiones, temperaturas y volúmenes específicos del ciclo Otto:

1- Aspiración

$$v_1 = \frac{R_{\text{aire}} \cdot T_1}{p_1}$$

Ecuación 8: Volumen específico al final de la etapa de admisión.

2- Inicio de absorción de calor

$$v_2 = v_1 - \frac{V_D}{m_a}$$

Ecuación 9: Volumen específico al final de la etapa de compresión.

Donde:

V_D = Volumen Unitario.

m_a = Masa de aire aspirada.

$$p_2 = p_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\gamma}$$

Ecuación 10: Presión al final de la etapa de compresión.

MEMORIA

Donde:

$$\gamma = 1.4$$

$$T_2 = \frac{p_2 \cdot V_2}{R_{\text{aire}}}$$

Ecuación 11: Temperatura al final de la etapa de compresión.

Donde:

$$R_{\text{aire}} = c_p - c_v$$

3- Final etapa de absorción

$$T_3 = T_2 + \frac{F_R \cdot F_e \cdot \text{PCI}}{c_v}$$

Ecuación 12: Temperatura al final de la fase de combustión.

Donde:

F_R = Dosado relativo.

F_e = Dosado estequiométrico.

PCI = Poder calorífico del combustible.

$$p_3 = \frac{R_{\text{aire}} \cdot T_3}{V_3}$$

Ecuación 13: Presión al final de la fase de combustión.

4- Final de la etapa de expansión

$$p_4 = p_3 \cdot \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^\gamma$$

Ecuación 14: Presión al final de la etapa de expansión.

$$T_4 = \frac{p_4 \cdot V_4}{R_{\text{aire}}}$$

Ecuación 15: Temperatura al final de la etapa de expansión.

MEMORIA

Calculo del trabajo y presión media indicada del ciclo:

$$w = c_v \cdot (T_3 - T_4 - T_2 + T_1)$$

Ecuación 16: Trabajo obtenido del ciclo.

$$pmi = \frac{w}{(v_2 - v_1)}$$

Ecuación 17: Presión media indicada del ciclo de aire.

Potencia neta indicada del motor en HP (IHP)

$$IHP = \sum_{\text{cilindros}} \oint PdV \frac{RPM}{60 * \frac{ISTROKE}{2} * 745.7}$$

Ecuación 18: Potencia neta indicada.

Donde:

ISTROKE = Numero de carreras por ciclo.

Par motor indicado (Mi)

$$Mi = \frac{i}{2\pi} pmi \cdot V_D \cdot z$$

Ecuación 19: Par motor Indicado.

Donde:

i = 0.5 para motores 4 tiempos

pmi = Presión media indicada.

V_D = Cilindrada unitaria.

z = número de cilindros.

Eficiencia volumétrica

$$\frac{\dot{m}_{\text{air intake}}}{D \cdot \rho_{\text{ref}}}$$

Ecuación 20: Eficiencia volumétrica.

MEMORIA

Donde:

$\dot{m}_{\text{air intake}}$ = Caudal másico de aire fresco que atraviesa las válvulas de admisión.

D = Desplazamiento del motor

ρ_{ref} = Densidad ambiental basada en la presión y temperatura de referencia introducida en el panel general del motor, Tabla de parámetros operacionales.

2.7.2 Ecuaciones utilizadas en el estudio mediante CFD

Ecuación de Navier Stokes:

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0\end{aligned}$$

Ecuación 21: Ecuaciones de Navier Stokes.

Las ecuaciones de Navier Stokes son un conjunto de ecuaciones derivadas no parciales que se obtienen aplicando los principios de la conservación de la mecánica y la termodinámica a un volumen fluido. No se dispone de una solución analítica por lo que se busca una solución aproximada mediante análisis numérico.

x, y, z = Coordenadas espaciales.

t = Coordenadas temporales.

u, v, w = Componentes del vector de velocidad.

Mu y Rho = Viscosidad y densidad del aire

P = presión.

3 - ESTUDIO ITERATIVO DEL SISTEMA DE ADMISIÓN EN 1D

3.1 Introducción

El estudio iterativo que se realiza a continuación tiene como objetivo optimizar los parámetros geométricos del sistema de admisión de aspiración natural e inyección indirecta del vehículo, partiendo de los datos obtenidos anteriormente (ANEXO 1) se va a estudiar: en primer lugar el uso de uno o varios plenums de aire, seguidamente se optimizara el volumen para el sistema que obtenga un mayor rendimiento volumétrico, una vez optimizado el volumen, se estudiaran las longitudes y el diámetro del colector primario y finalmente las longitudes de entrada y salida del restrictor.

3.1.1 Introducción de los parámetros geométricos del motor

En este apartado se explica cómo se han obtenido los valores geométricos, y como se han introducido en el programa.

En primer lugar se introducen los valores geométricos del motor:

PARÁMETROS GEOMÉTRICOS	VALOR (UNIDADES)
CILINDROS	2 cilindros
CICLO	4 tiempos
TIPO DE MOTOR	Ignición por chispa
DEFASE ENTRE CILINDROS	90º
DIÁMETRO PISTÓN	81 mm
CARRERA	62.6 mm
ALTURA CÁMARA DE COMBUSTIÓN	6 mm
LONGITUD BIELA	120.55 mm
DESPLAZAMIENTO DEL PIN DE LA MUÑECA DEL PISTÓN	0.8 mm
RATIO DE COMPRESIÓN	11.5:1
VÁLVULAS DE ADMISIÓN	2
VÁLVULAS DE ESCAPE	2
MODELO DE COMBUSTIÓN	Siwiebe
MODELO DE TRANSFERENCIA DE CALOR	Woschni

Tabla 2: Parámetros geométricos generales del motor Suzuki SV650

MEMORIA

A continuación se crean las válvulas de admisión, escape y la válvula de regulación de aire (Mariposa).

Las válvulas de admisión y escape son del tipo válvulas de elevación (lift valve), en este tipo de válvulas se define un perfil de elevación, y un perfil de coeficiente de flujo.

Mientras que la válvula de regulación es de tipo mariposa, este tipo de válvula es una placa giratoria que rota respecto a un eje central mediante un actuador externo, en este caso de tipo mecánico.

Debido a la falta de herramienta especializada y de un banco de flujo para la obtención experimental de los perfiles de elevación y los perfiles de flujo, se ha decidido utilizar perfiles de elevación proporcionados por el programa, posteriormente se han ajustado a las medidas originales del motor. Para los perfiles de flujo se han utilizado perfiles experimentales proporcionados por el programa.

- Válvula de admisión

PARÁMETROS GEOMÉTRICOS	VALORES (UNIDADES)
DIÁMETRO	31 mm
AAA	33º
RCA	66º
ELEVACIÓN MÁXIMA	8.7 mm

Tabla 3: Parámetros geométricos de la válvula de admisión

AAA: Avance a la apertura de admisión respecto del punto muerto superior (BTDC)

RCA: Retraso al cierre de la admisión respecto del punto muerto inferior (ABDC)

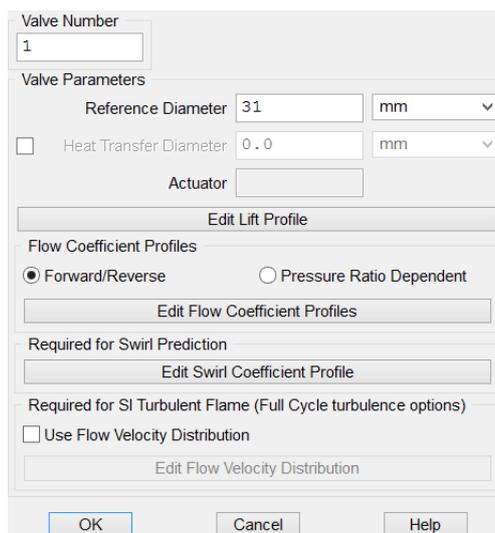


Ilustración 13: Pantalla general de la válvula de admisión.

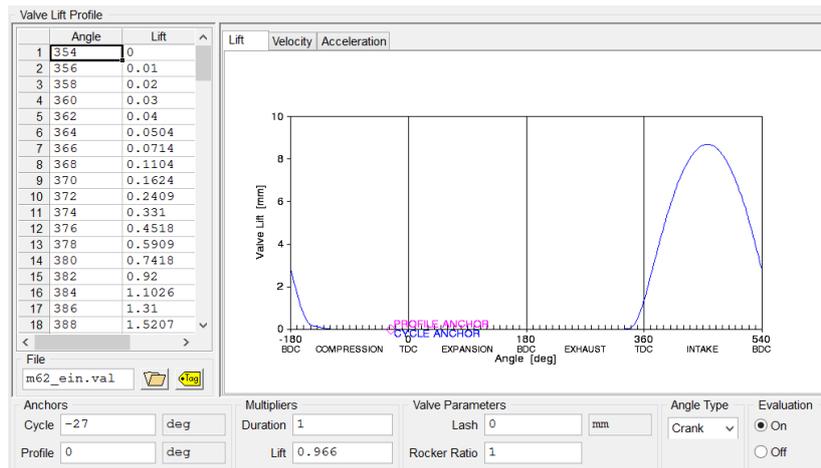


Ilustración 14: Pantalla de edición del perfil de elevación de la válvula de admisión.

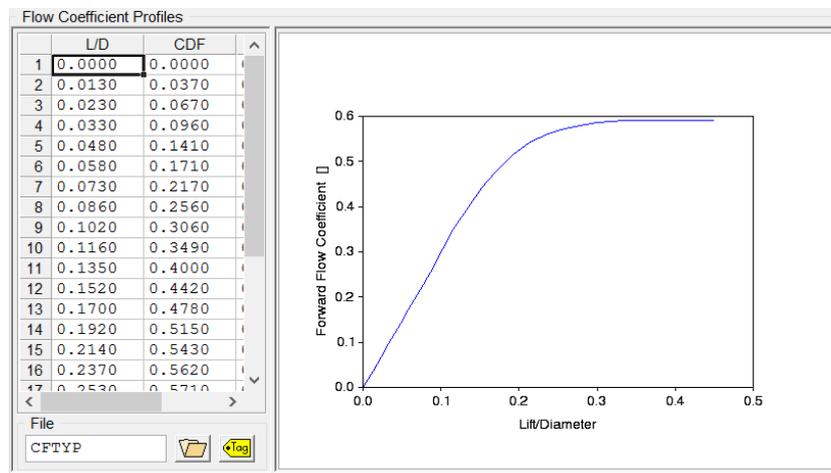


Ilustración 15: Pantalla de edición del perfil de coeficiente de flujo de la válvula de admisión.

- Válvula de escape

PARÁMETROS GEOMÉTRICOS	VALORES (UNIDADES)
DIÁMETRO	25.5 mm
AAA	55°
RCA	28°
ELEVACIÓN MÁXIMA	7.3 mm

Tabla 4: Parámetros geométricos de la válvula de escape.

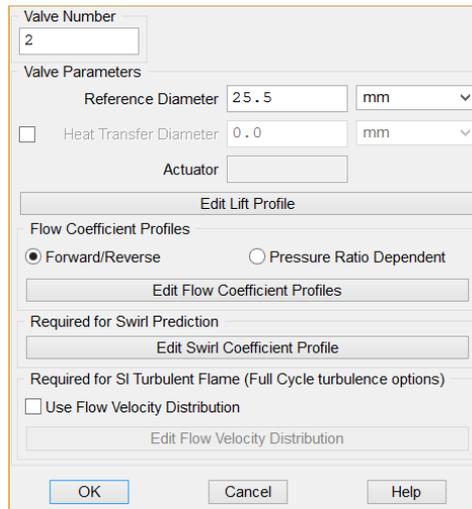


Ilustración 16: Pantalla general de la válvula de escape.

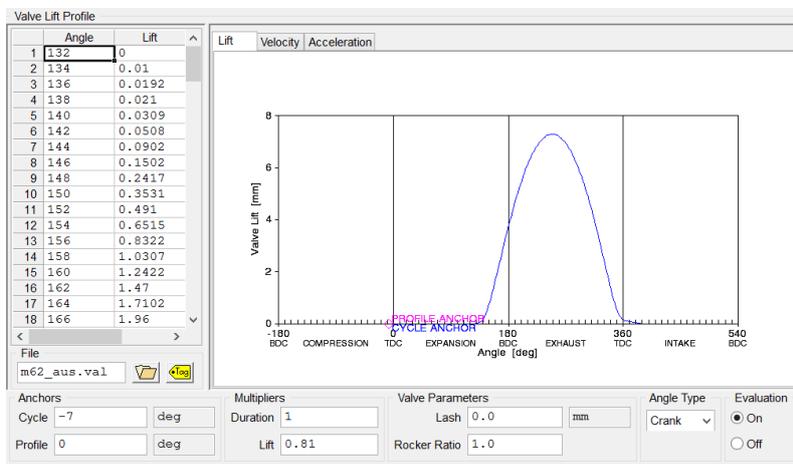


Ilustración 17: Pantalla de edición del perfil de elevación de la válvula de escape.

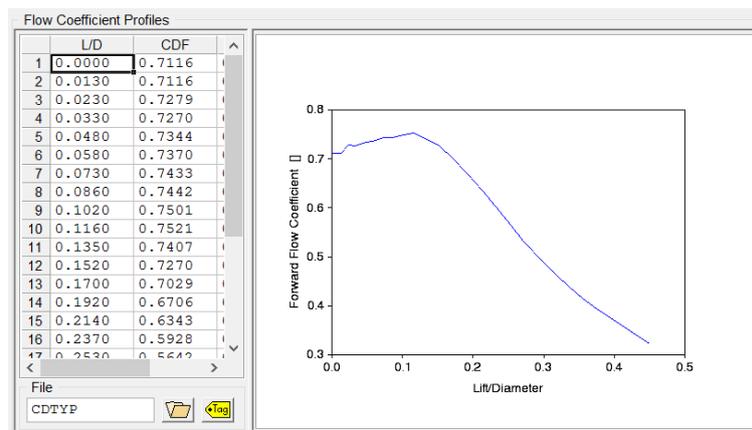


Ilustración 18: Pantalla de edición del perfil de coeficiente de flujo de la válvula de escape.

MEMORIA

-Válvula de mariposa

PARÁMETROS GENERALES	VALOR (UNIDADES)
DIÁMETRO VÁLVULA	40 mm
DIÁMETRO EJE	3 mm
ANGULO MÍNIMO DE APERTURA	0 °

Tabla 5: Parámetros geométricos de la válvula de mariposa.

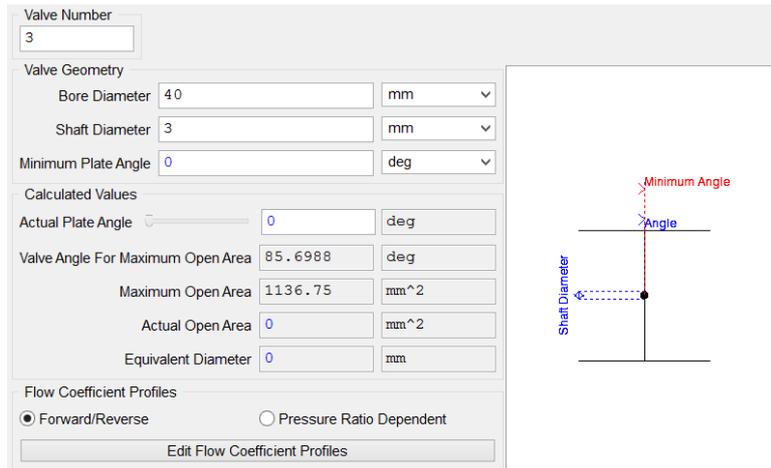


Ilustración 19: Pantalla general de la válvula de mariposa.

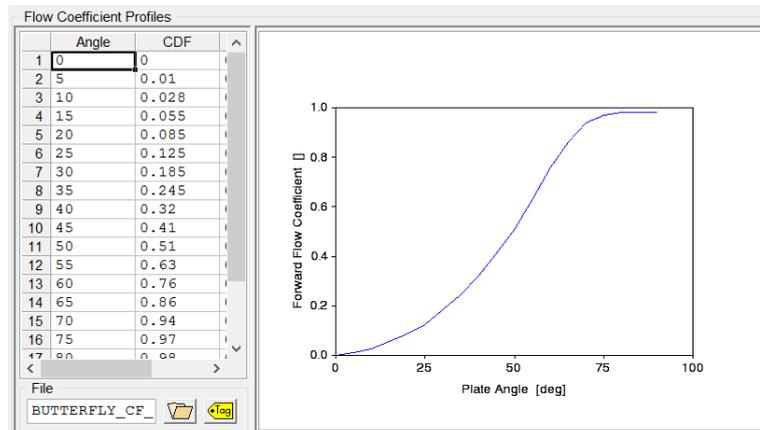


Ilustración 20: Pantalla de edición del perfil de coeficientes de flujo de la válvula de mariposa.

3.2 Estudio del sistema de admisión original para el calibrado del programa

En primer lugar, se ha calibrado el programa utilizando el sistema de admisión original y las curvas de par potencia del motor originales.

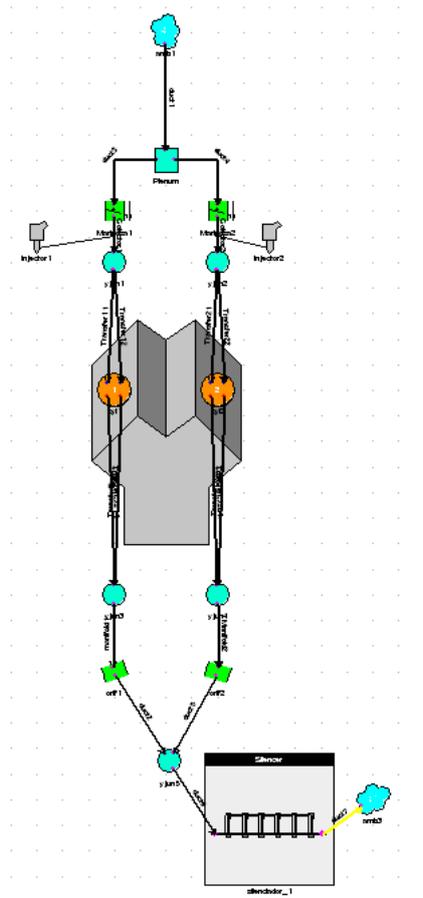


Ilustración 21: Esquema motor original Suzuki SV650S

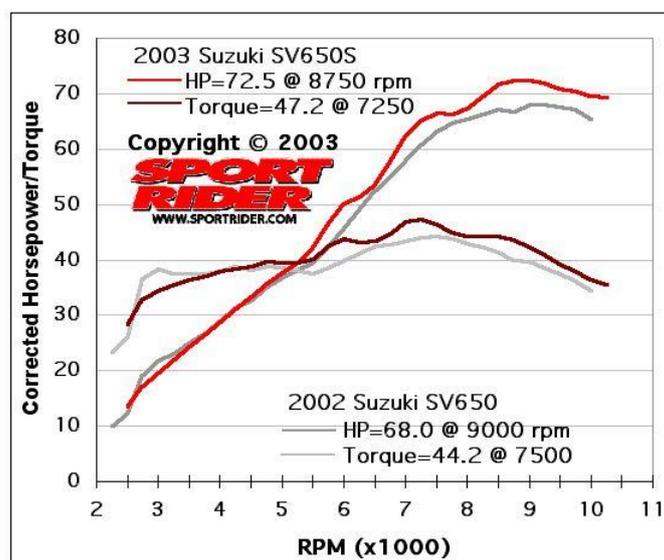


Ilustración 22: Curvas de par (lb-ft) y potencia (HP) del motor SV650S Suzuki obtenidas de la página web Sport Rider.com

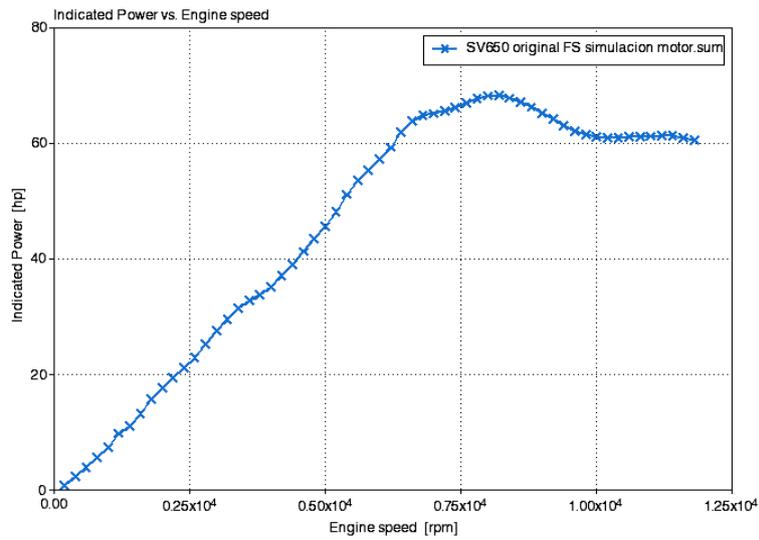


Ilustración 23: Curva de potencia obtenida con el programa

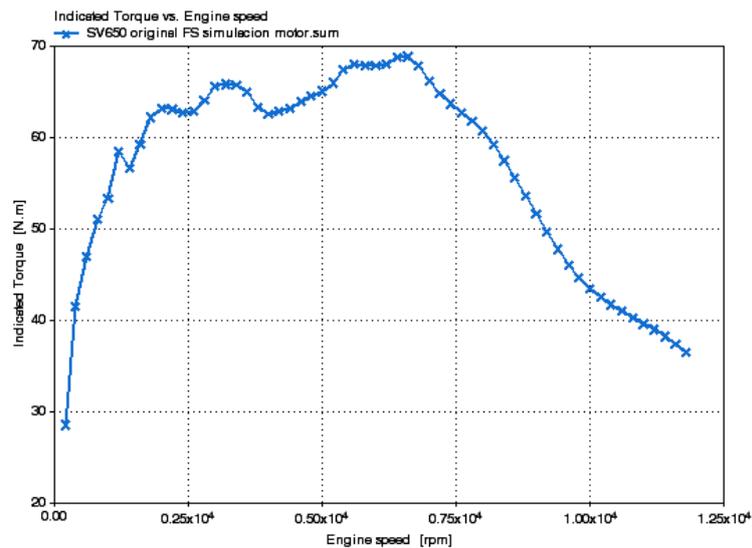


Ilustración 24: Curva de par motor neto obtenido con el programa

3.3 Estudio del nuevo sistema de admisión

Una vez calibrado se ha retirado el sistema de admisión original y se ha introducido el sistema de admisión acorde a la normativa de la competición, como se comentó anteriormente los parámetros iniciales son los calculados en el anexo 1 y la disposición que se debe utilizar se encuentra reflejada en la ilustración 47.

MEMORIA

PARÁMETROS GENERALES	VALOR (UNIDADES)
DIÁMETRO COLECTOR PRIMARIO	21 mm
LONGITUD COLECTOR PRIMARIO	305 mm
VOLUMEN	4L

Tabla 6: Parámetros iniciales obtenidos de los cálculos teóricos anexo 1.

En primer lugar se va a realizar el estudio del número de volúmenes que debe tener la admisión, dado que el motor es un motor bicilindrico se estudiara un sistema sin plenums, otro con un plenums y otro con dos plenums uno para cada cilindro, la distribución del sistema será la siguiente:

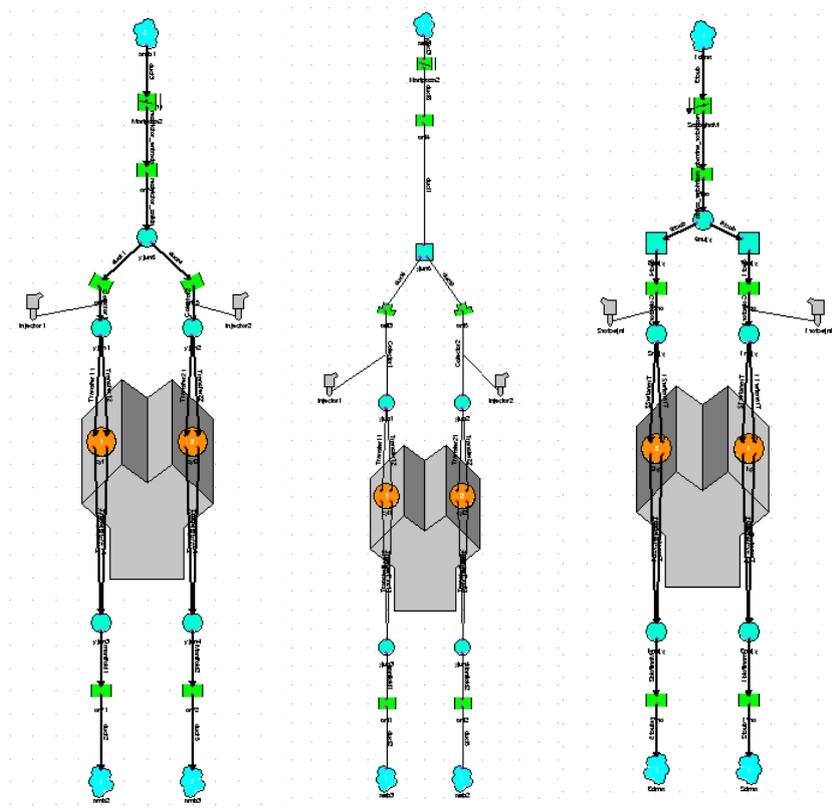


Ilustración 25: Sistema sin plenum, con un plenum, con dos plenums.

Una vez analizados, se han obtenido las siguientes graficas de rendimiento volumétrico, par y potencia.

MEMORIA

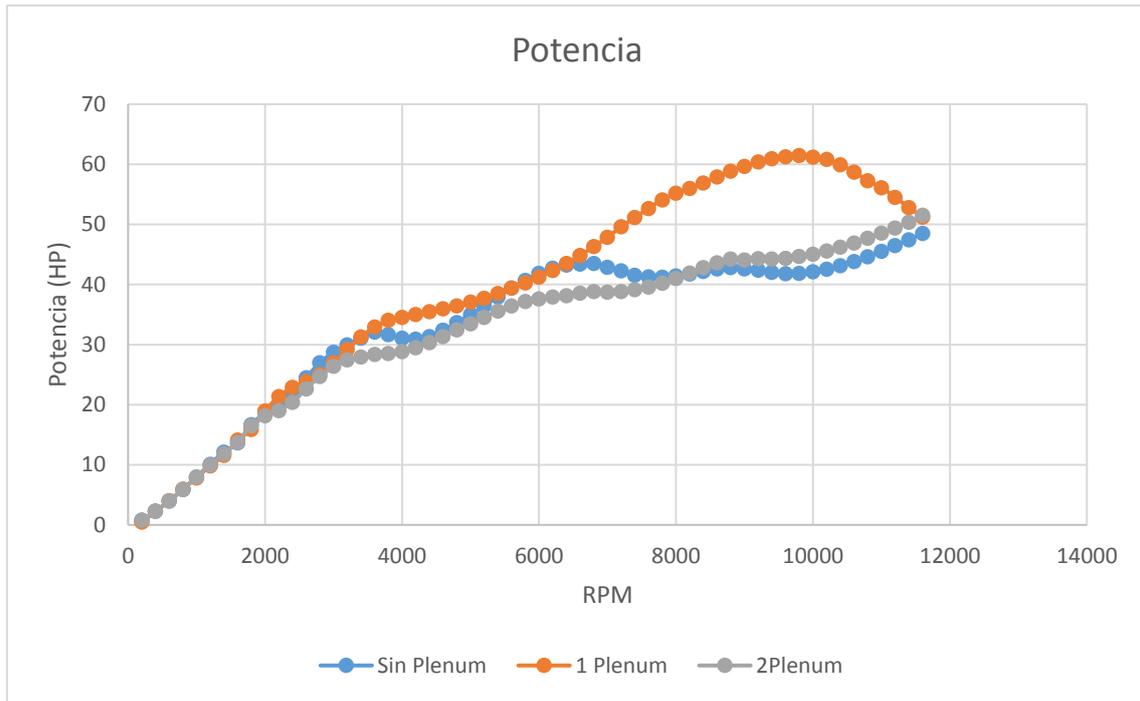


Ilustración 25: Grafica de la curva de potencia motor con diferentes sistemas.

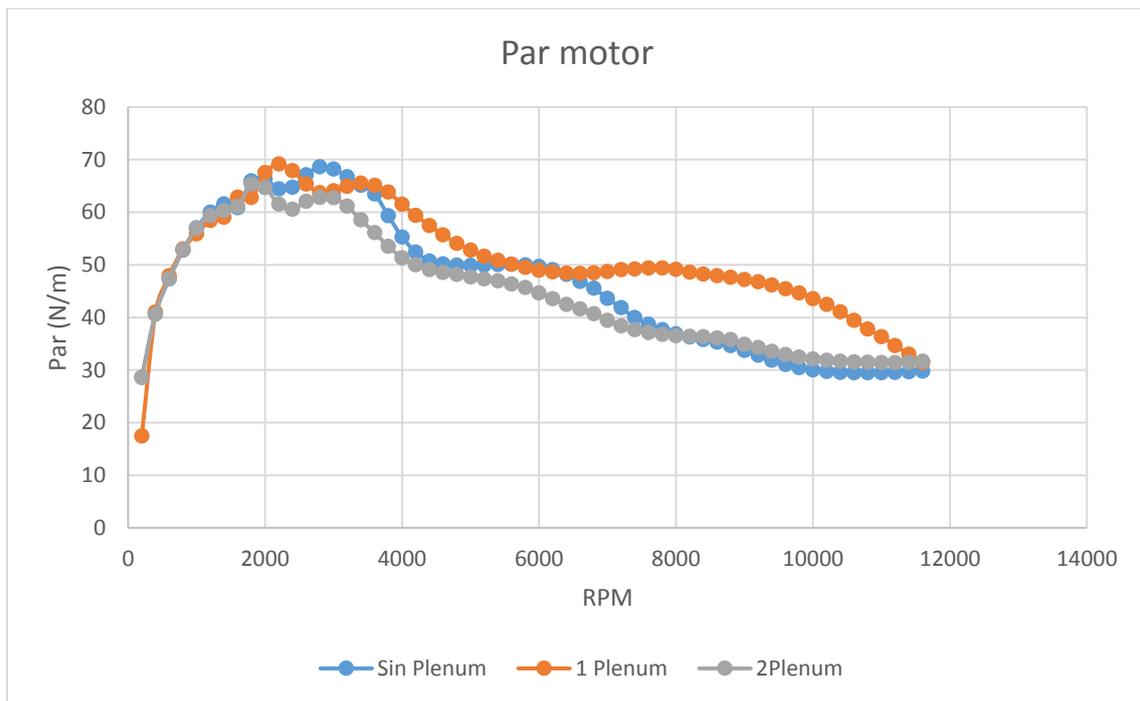


Ilustración 26: Grafica de la curva de par motor con diferentes sistemas.

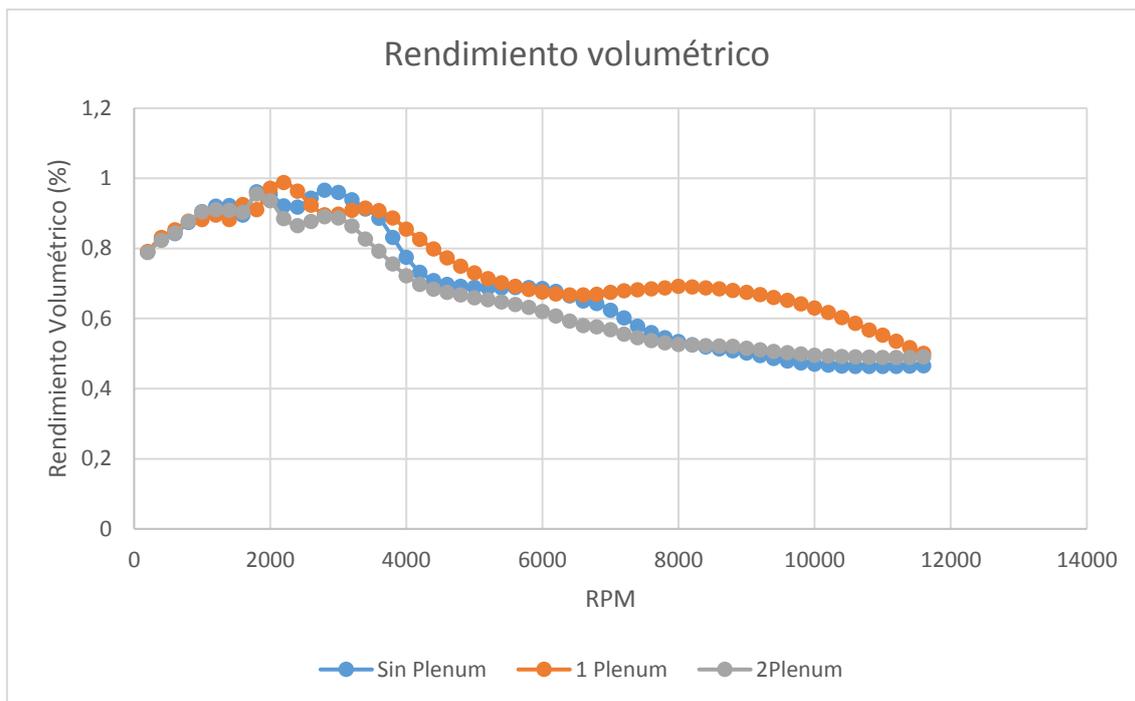


Ilustración 27: Gráfica de la curva de rendimiento volumétrico con diferentes sistemas.

Como se puede observar en las ilustraciones 25, 26 y 27 el sistema con un solo plenum de aire obtiene un mayor rendimiento volumétrico en regímenes medios (3500 – 4500 rpm) y en regímenes altos (7000- 11000 rpm), esto se traduce en un mayor par motor y una curva de potencia mayor que las demás a partir de 6000 rpm, por este motivo se ha elegido el sistema de admisión de un plenum para seguir con el estudio. A continuación se ha estudiado el volumen óptimo para plenums de entre 1 litro y 13 litros.

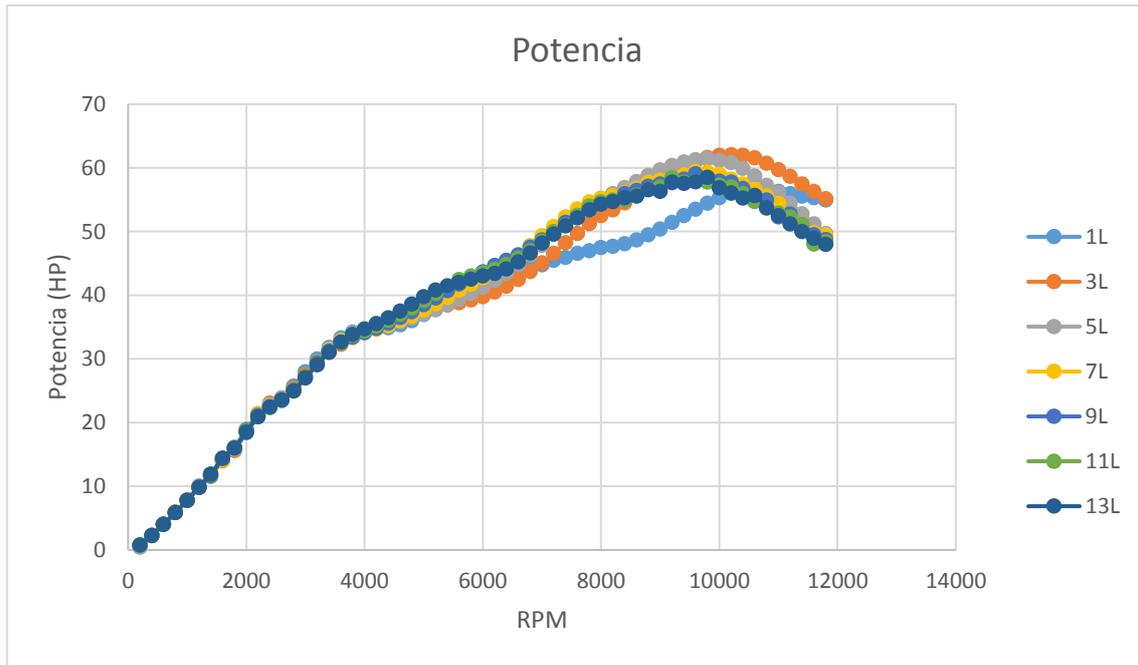


Ilustración 28: Grafica de la curva de potencia motor con diferentes volúmenes

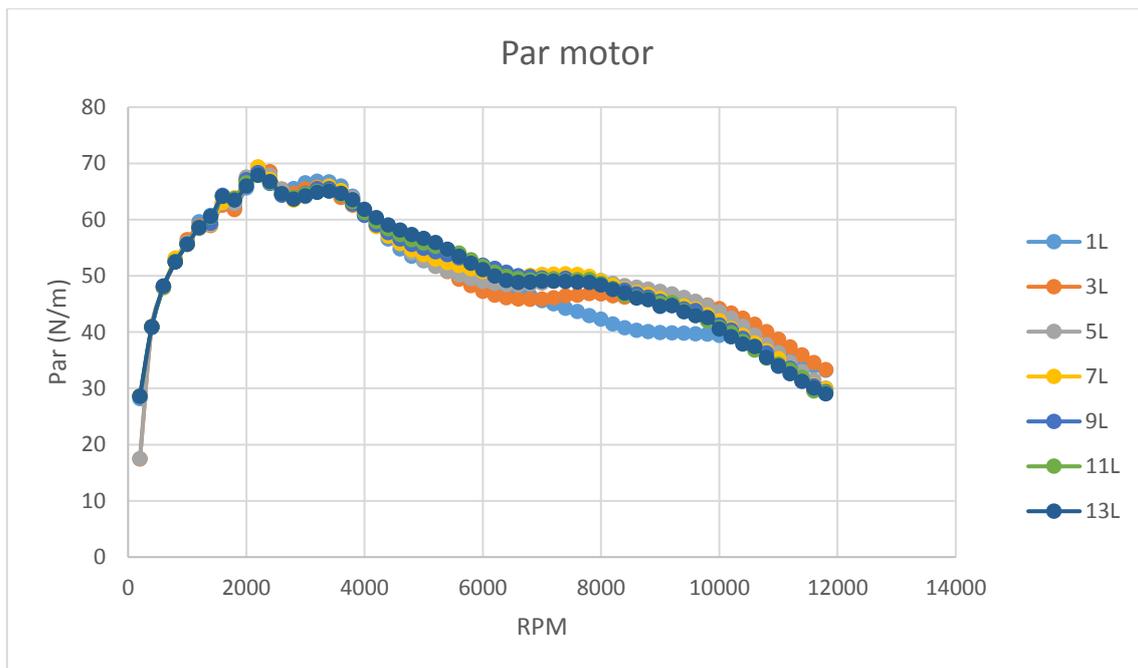


Ilustración 29: Grafica de la curva de par motor con diferentes volúmenes

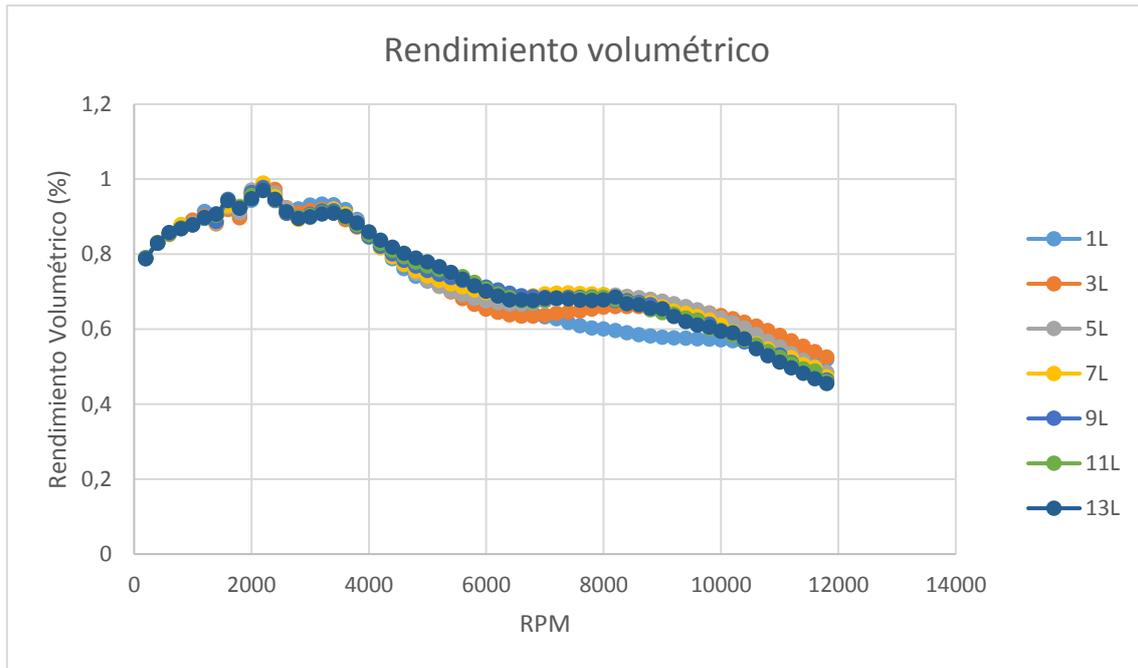


Ilustración 30: Gráfica de la curva de rendimiento volumétrico con diferentes volúmenes.

Como se observa en las ilustraciones 28, 29 y 30 dependiendo del régimen de vueltas que se desea optimizar se debe elegir un volumen u otro, para este caso donde se busca la optimización en 7000 rpm y donde el régimen de trabajo del motor es de 7000 rpm a 10000 rpm se ha elegido el volumen de 5 litros ya que tiene un mayor rendimiento volumétrico entre 8000 rpm y 10000 rpm y relativamente la misma potencia que los volúmenes mayores a 7000 rpm.

El siguiente paso es seleccionar la longitud óptima de los colectores primarios, sabiendo que para regímenes altos se necesitan colectores cortos y para regímenes bajos colectores largos, se ha partido de la longitud teórica, a la cual se le ha restado la longitud fija de las pipas de admisión y los cuerpos de los inyectores, realizando el estudio para el régimen de 7000 rpm.

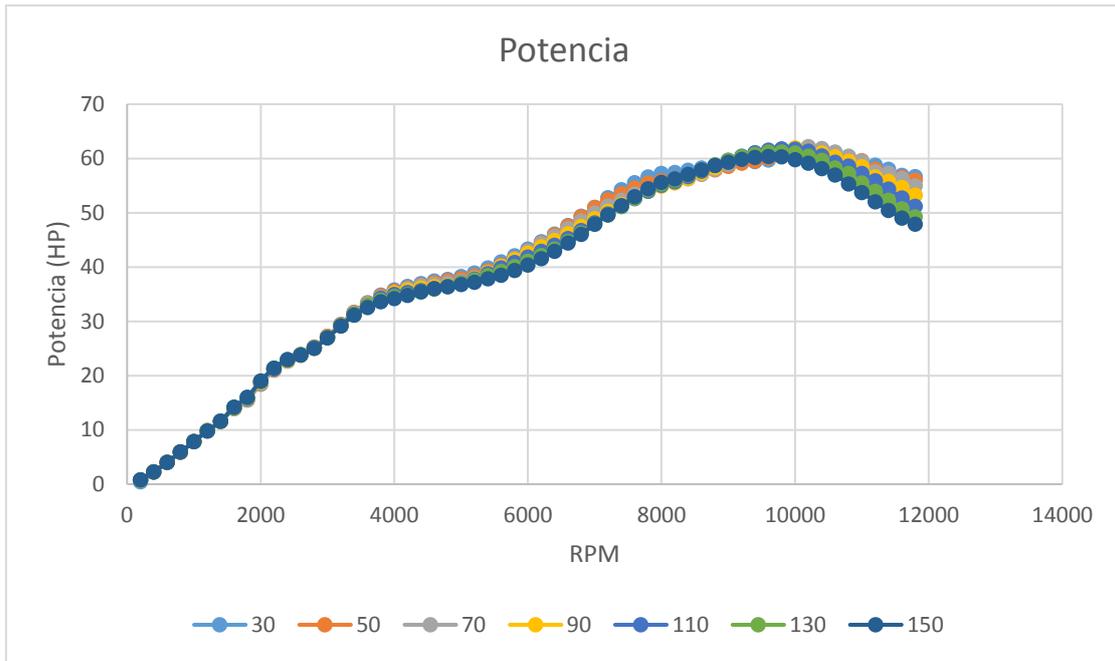


Ilustración 31: Grafica de la curva de potencia motor con diferentes longitudes de colector primario

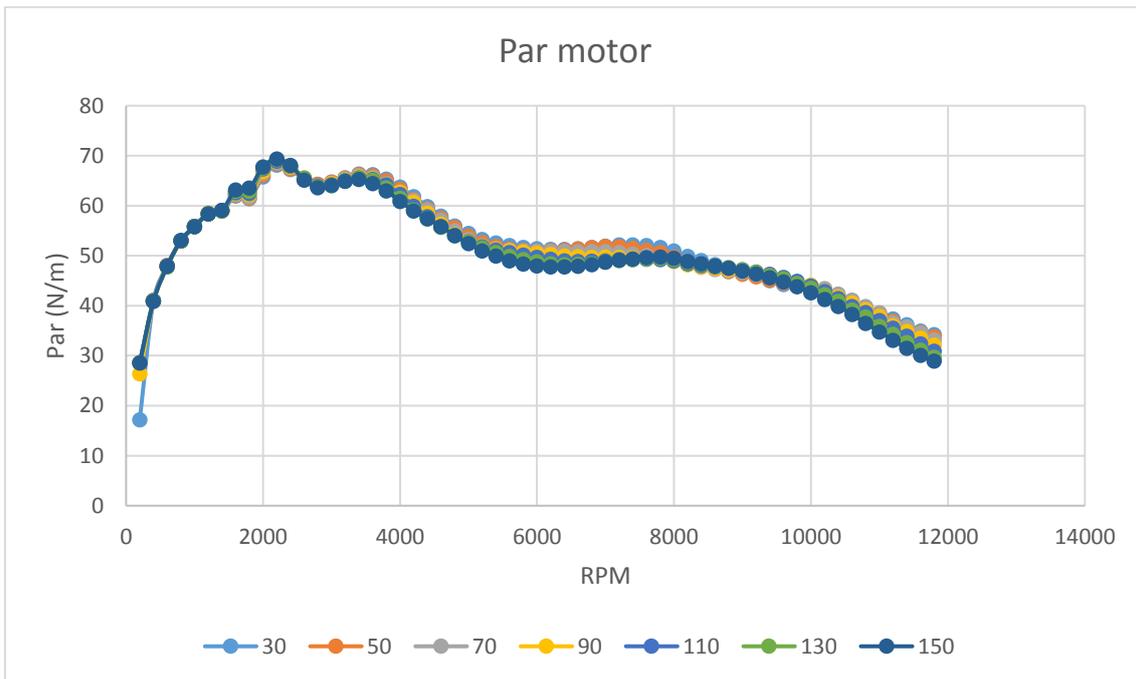


Ilustración 32: Grafica de la curva de par motor con diferentes longitudes de colector primario

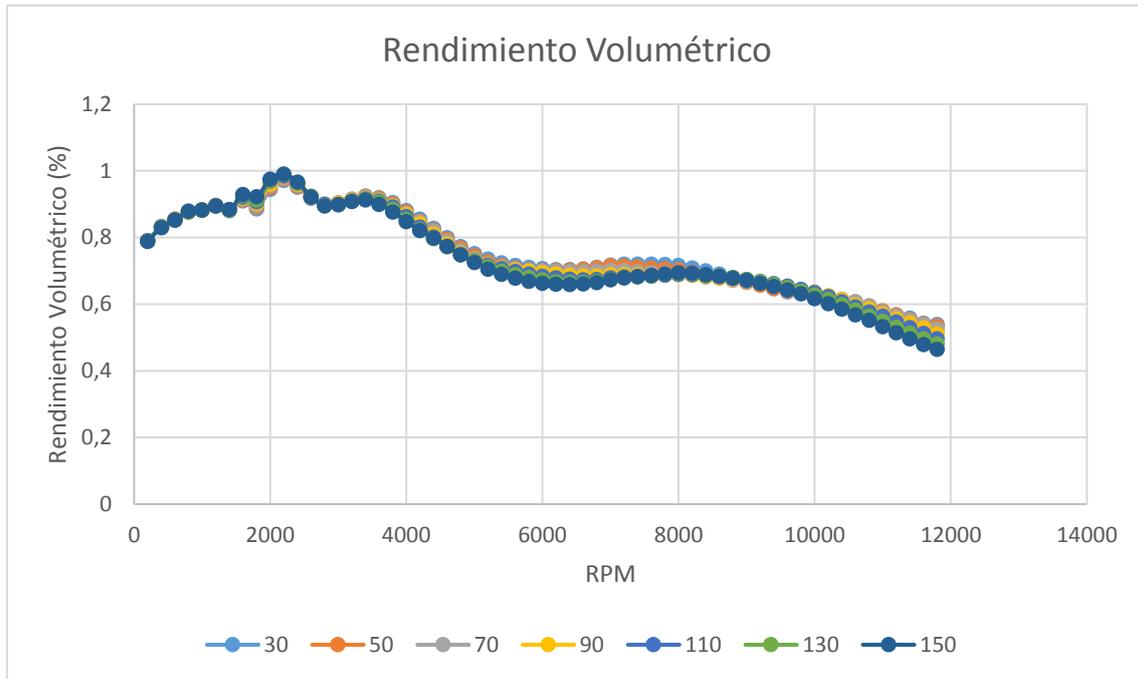


Ilustración 33: Gráfica de la curva de rendimiento volumétrico con diferentes longitudes de colector primario.

Como se puede observar en la gráfica de potencia, cuanto más largo es el colector la cima de la curva de potencia se dirige a regímenes menores, no obstante para conseguir tener la cima de la curva a 7000 rpm los colectores deberían de ser excesivamente largos produciendo mayores pérdidas de flujo y potencias ligeramente menores que se aprecia en la gráfica de potencia, además, por motivos de espacio en el vehículo no se puede alcanzar este objetivo. Sabiendo esto se ha decidido utilizar el colector de 30 mm de longitud, aunque tiene la cima de la curva de potencia sobre 10200 rpm se consigue más par motor a medio y alto régimen de vueltas entre 4000 y 8000 rpm.

Una vez obtenida la longitud del colector se busca el diámetro óptimo de los colectores, unos colectores con diámetro muy pequeño generaran perdidas de flujo debido al aumento de velocidad en regímenes altos, pero por otro lado, diámetros muy grandes empeoran la recarga del motor por efectos inerciales, también es más difícil diseñar una conexión entre el motor y los colectores que no tenga perdidas por estrangulación.

MEMORIA

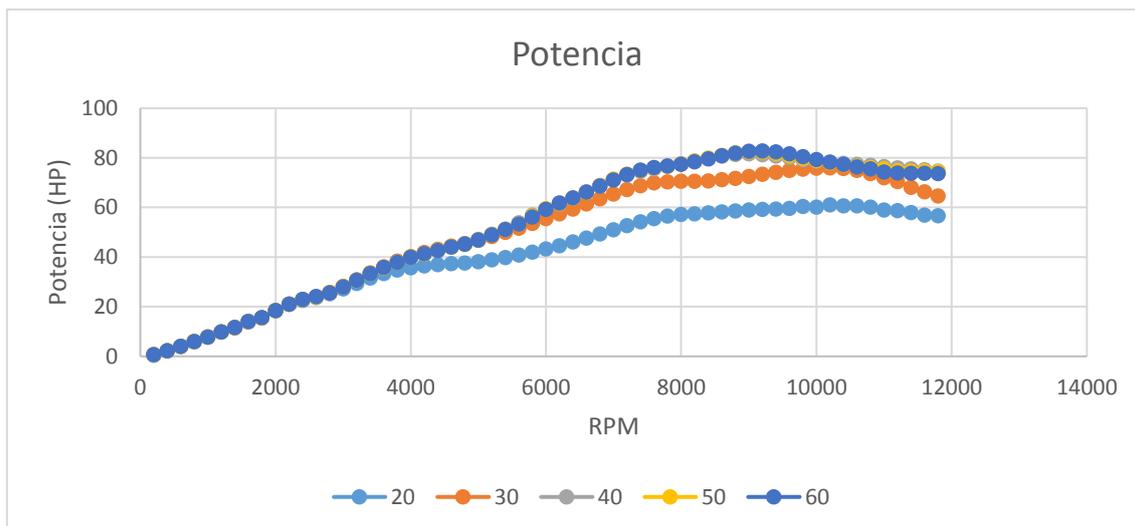


Ilustración 34: Grafica de la curva de potencia motor con diferentes diámetros de colector primario

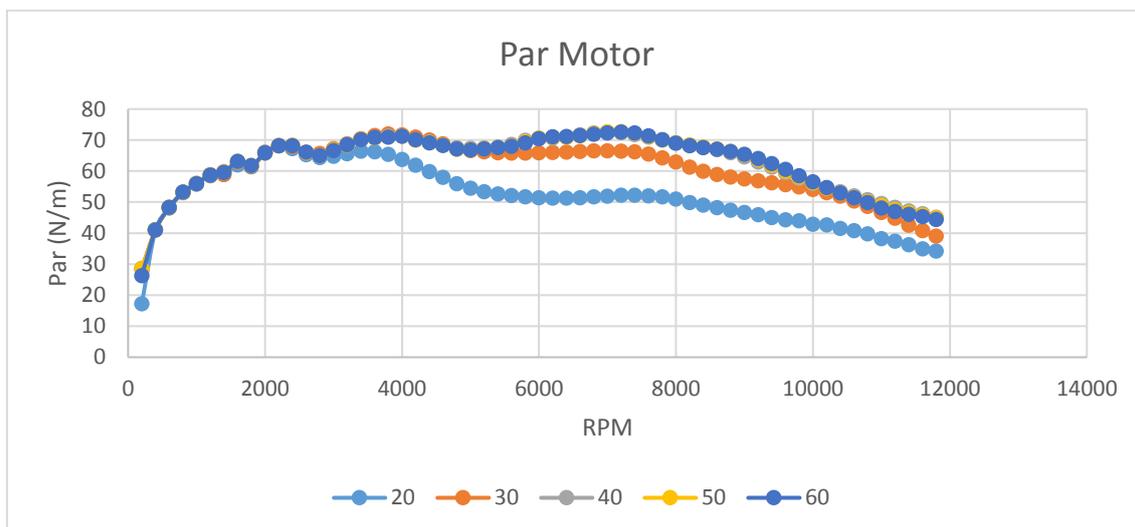


Ilustración 35: Grafica de la curva de par motor con diferentes diámetros de colector primario

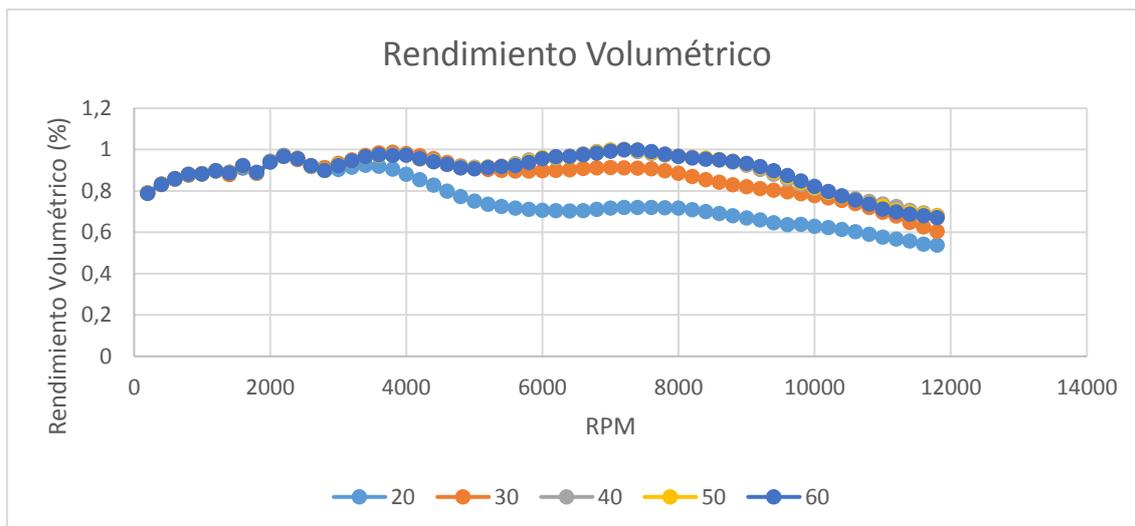


Ilustración 36: Gráfica de la curva de rendimiento volumétrico con diferentes diámetros de colector primario.

Como se puede observar en las gráficas anteriores la potencia, par y rendimiento volumétrico máximo se obtiene estabilizado para diámetros de entre 40 y 60 mm, pero como se ha comentado anteriormente, para conseguir un valor inercial mayor se ha seleccionado un diámetro de 40 mm.

Los siguientes parámetros a optimizar son las longitudes de entrada y salida del restrictor, para ello se mantendrá el diámetro de restricción de 20 mm, el diámetro de entrada es de 40 mm, valor de salida de la válvula de mariposa y el diámetro de salida del restrictor será igual que el de entrada. Posteriormente se realizara un estudio en CFD más efectivo del sistema de restricción.

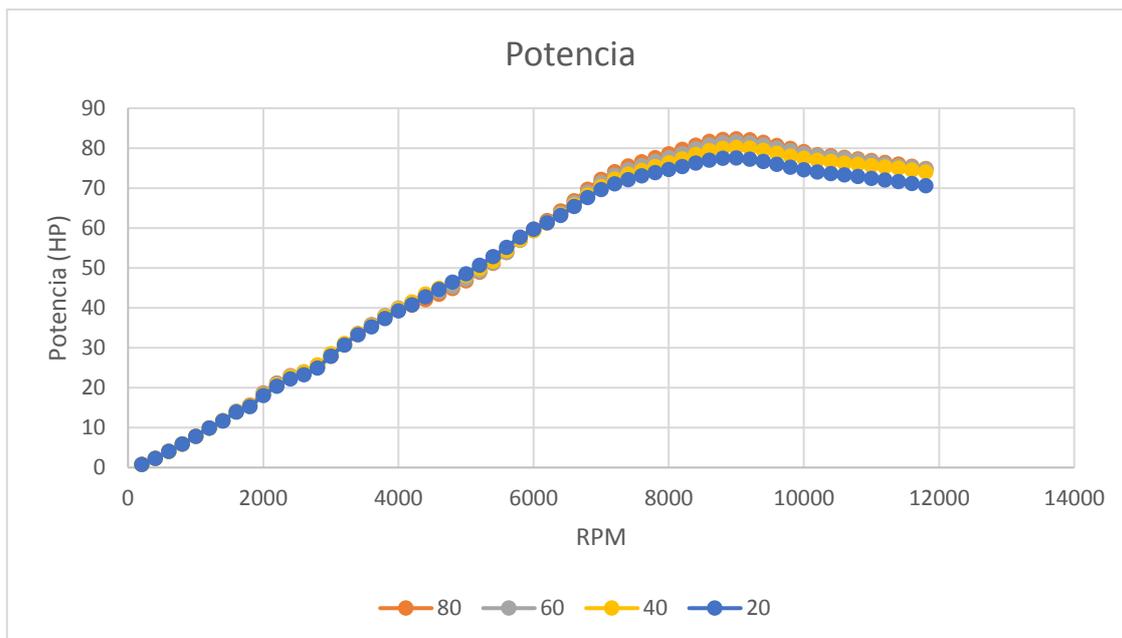


Ilustración 37: Grafica de la curva de potencia motor con diferentes longitudes de entrada del restrictor

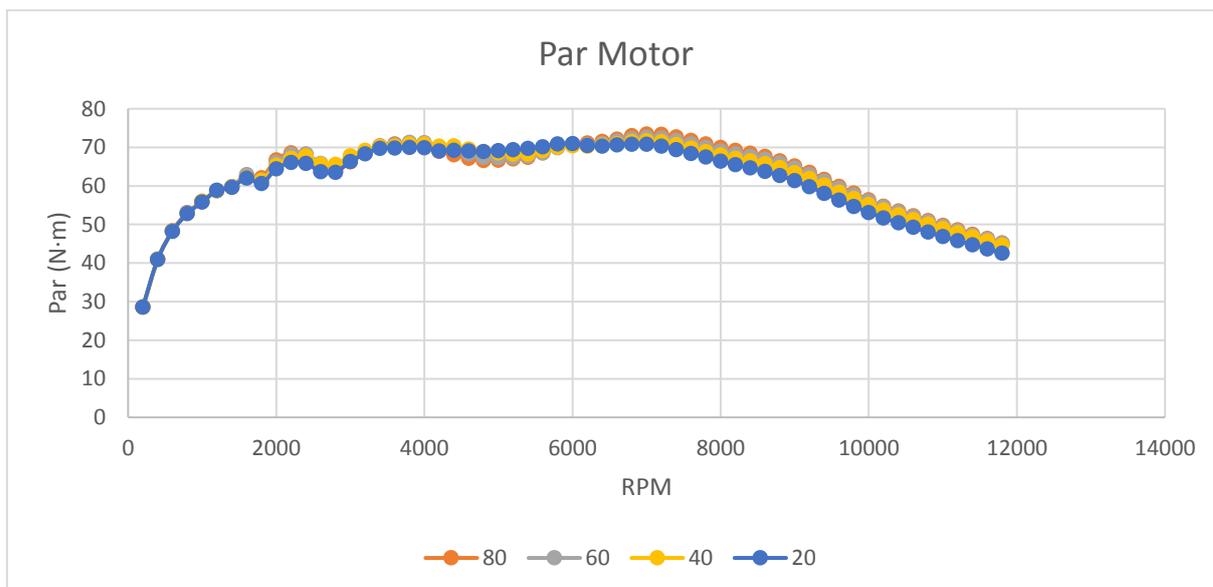


Ilustración 38: Grafica de la curva de par motor con diferentes longitudes de entrada del restrictor

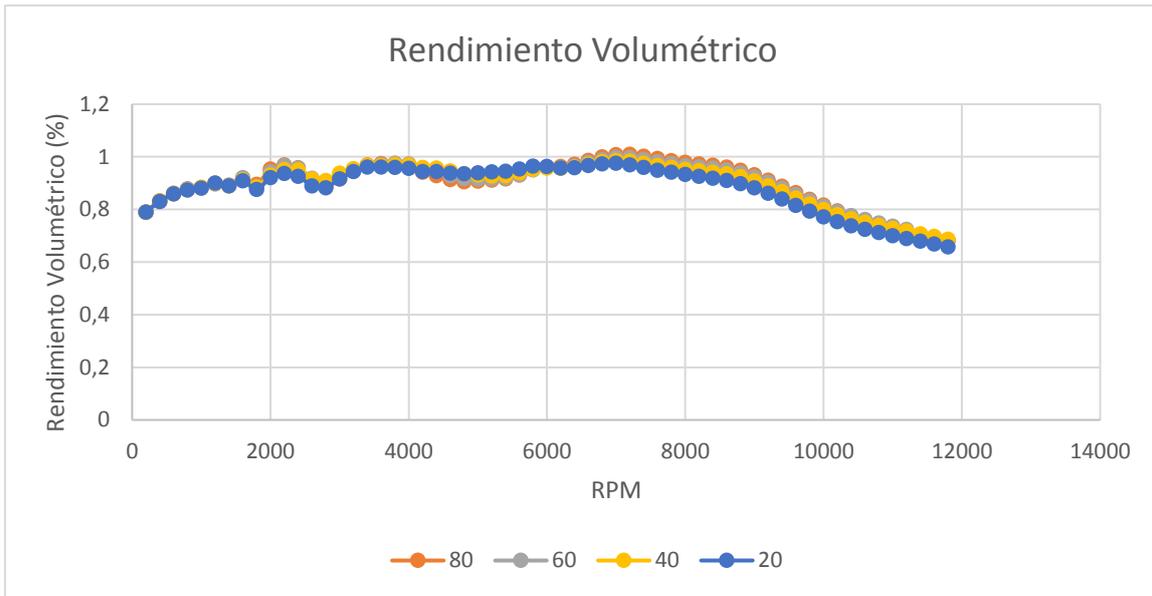


Ilustración 39: Gráfica de la curva de rendimiento volumétrico con diferentes longitudes de entrada del restrictor.

Como se puede observar en las gráficas anteriores una entrada corta consigue un mayor rendimiento volumétrico en regímenes bajos, mientras que una entrada larga mejora ligeramente la potencia en regímenes altos, de los valores analizados se ha decidido elegir el de 60 mm, ya que de los dos valores que más eficiencia volumétrica consiguen es el que menos reduce la eficiencia volumétrica en rangos bajos-medios.

Finalmente se han obtenido las gráficas para la longitud de salida:

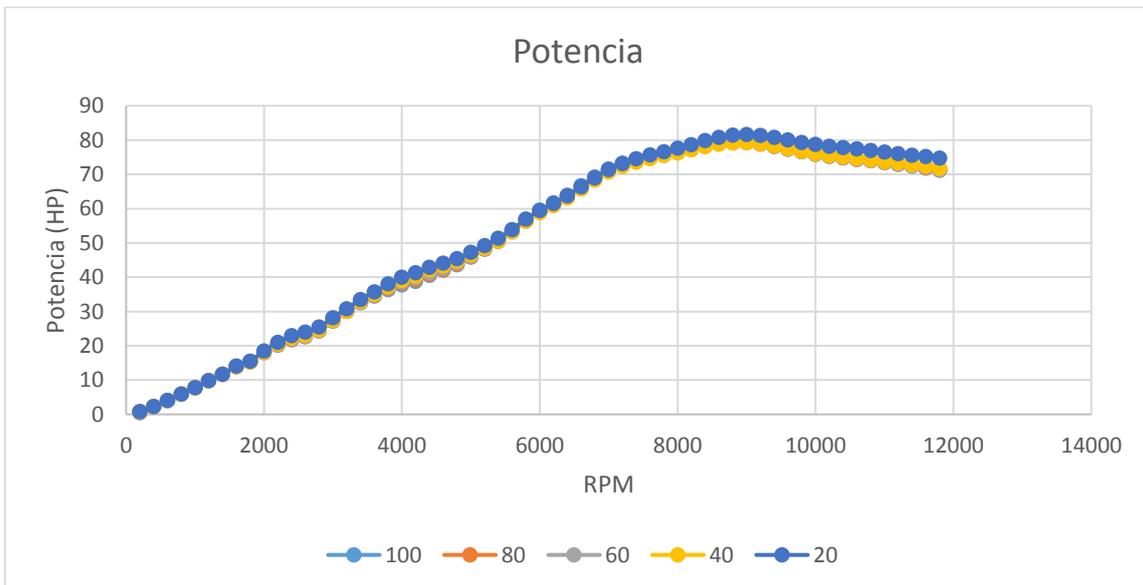


Ilustración 40: Gráfica de la curva de potencia motor con diferentes longitudes de salida del restrictor

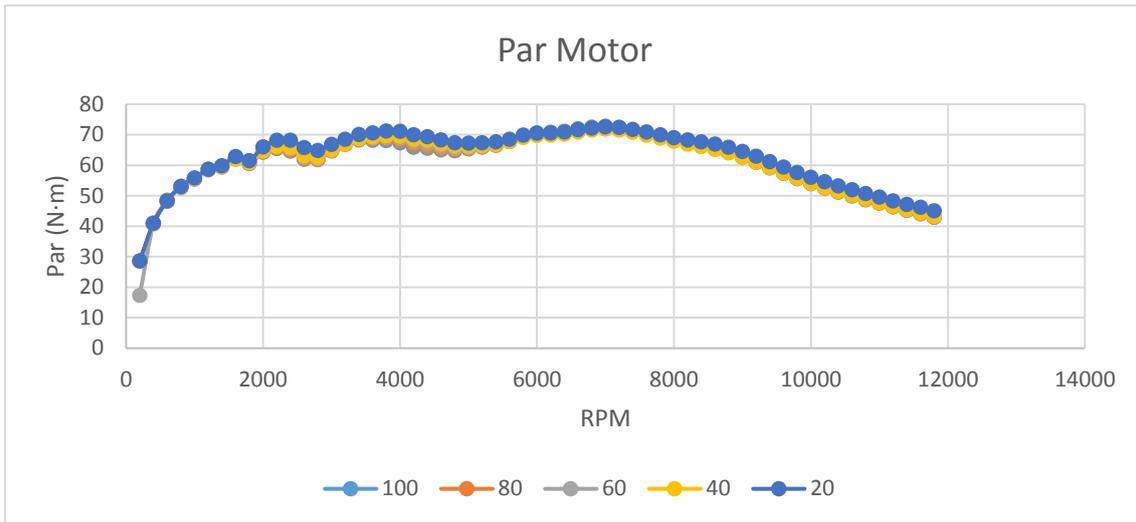


Ilustración 41: Gráfica de la curva de par motor con diferentes longitudes de salida del restrictor.

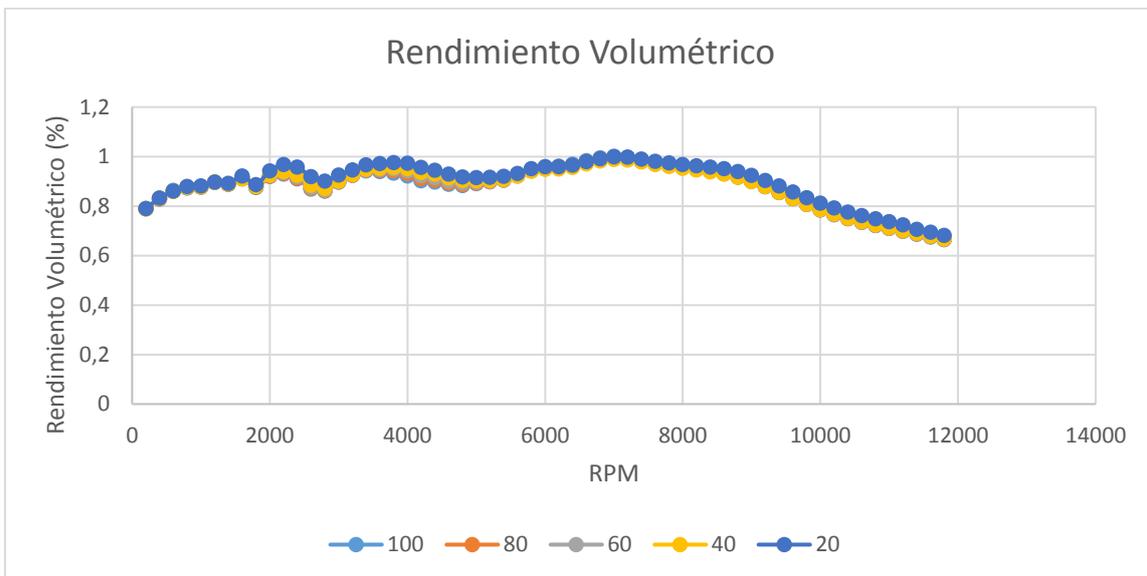


Ilustración 42: Gráfica de la curva de rendimiento volumétrico con diferentes longitudes de salida del restrictor.

Como se puede observar las longitudes de salida cortas consiguen mejores rendimientos volumétricos que las largas, por ese motivo se ha seleccionado una salida de 20 mm de longitud.

3.4 Conclusión del cálculo iterativo

Tras haber realizado el estudio se ha conseguido pasar de un sistema con un rendimiento volumétrico máximo de 0.77 a 7000 rpm y 53 HP, a un sistema con 71 HP a 7000 rpm y una eficiencia máxima de 0.99, con lo cual se ha conseguido obtener la máxima eficiencia volumétrica para un sistema de admisión con aspiración natural en el régimen deseado. También se ha conseguido aumentar las curvas de par y potencia, consiguiendo una curva de par más plana para todo el régimen de vueltas.

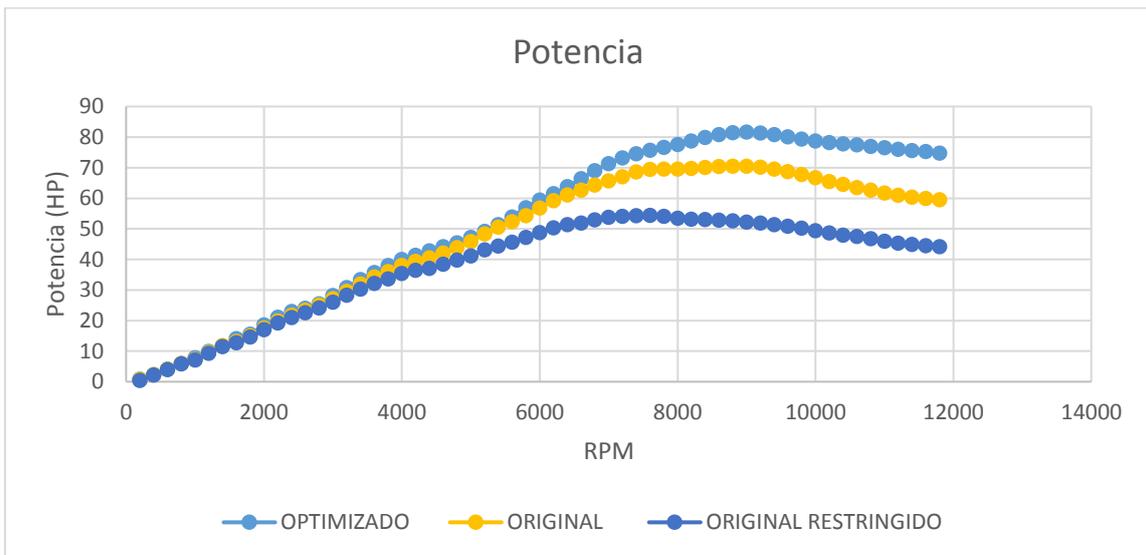


Ilustración 43: Grafica de potencia con los resultados.

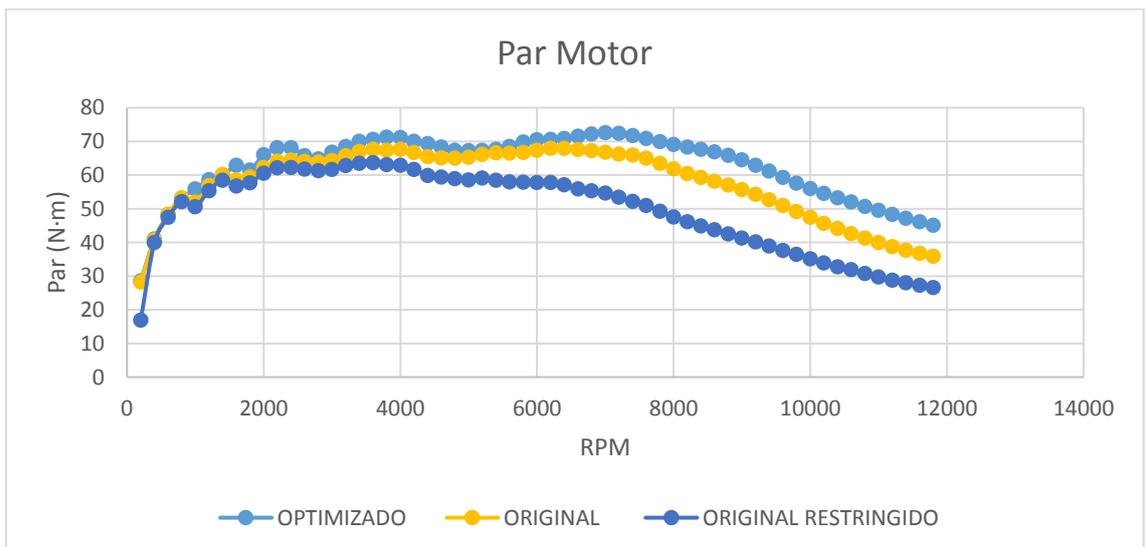


Ilustración 44: Grafica de par motor con los resultados.

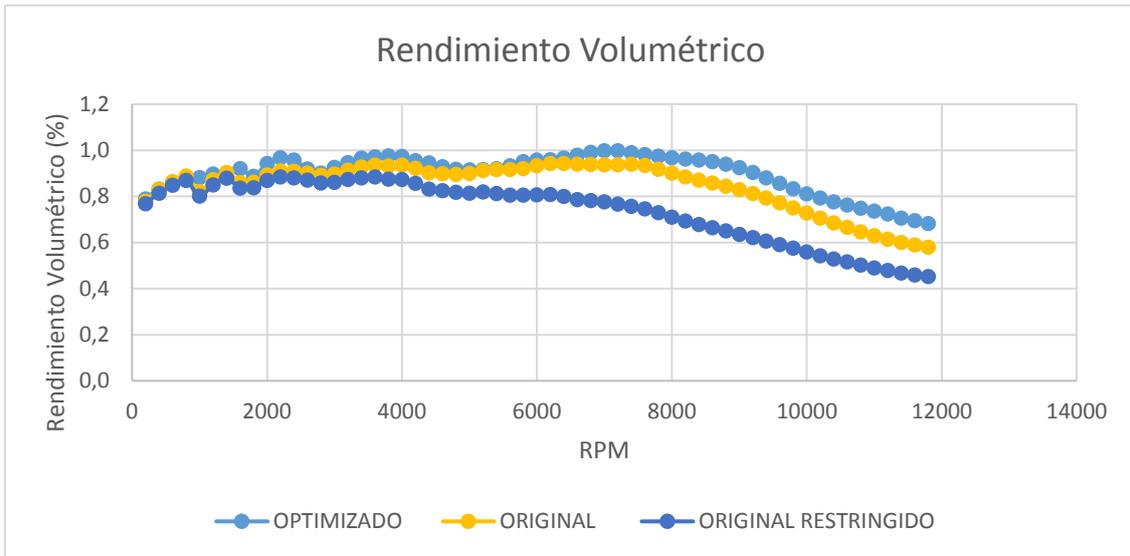


Ilustración 45: Grafica de rendimientos volumétrico con los resultados.

4. MODELADO DEL SISTEMA DE ADMISIÓN

4.1 Normativa y restricciones de diseño

Para realizar el modelado de la admisión se han aplicado los siguientes artículos de la normativa de la competición, una vez cumplidos se ha adecuado la admisión al espacio disponible en el interior del vehículo.

- **CV1.3 Sistema de admisión.**
- CV1.3.1 Todas las partes de los sistemas de control de aire y combustible del motor (incluido el acelerador, el sistema de admisión, el filtro de aire y cualquier caja de aire), debe estar dentro de la superficie definida por la parte superior de la barra antivuelco y el borde exterior de los cuatro neumáticos. (Ver ilustración 46).
- CV1.3.2 Cualquier parte del sistema de admisión de aire que esté a menos de 350 mm sobre el suelo debe estar protegido de colisiones de impacto laterales o traseras por estructura construida a T2.16.
- CV1.3.3 El colector de admisión debe estar firmemente sujeto al bloque del motor o culata con soportes y cierres mecánicos. Los sujetadores roscados utilizados para asegurar el colector de admisión se consideran sujetadores críticos y deben cumplir con T9.



Ilustración 46: Zona de restricción del sistema de admisión y combustible.

- CV1.3.4 Los sistemas de admisión con masa significativa o voladizo deben ser soportados desde la culata para evitar el estrés en el sistema de admisión. Los soportes al motor deben ser rígidos. Los soportes a chasis deben incorporar aislamiento para permitir el movimiento del motor y la torsión del chasis.
- **CV1.4 Cuerpo de acelerador**
- CV1.4.1 El vehículo debe estar equipado con un cuerpo de acelerador. El cuerpo del acelerador puede ser de cualquier tamaño o diseño.

MEMORIA

- CV1.4.2 El acelerador debe ser accionado mecánicamente por un pedal, es decir, a través de un cable o un sistema de varilla, ver CV1.5, o por un sistema ETC, ver CV1.6.
- CV1.4.3 La posición del acelerador se define como el porcentaje de recorrido desde completamente cerrado hasta completamente abierto donde 0% está completamente cerrado y 100% está completamente abierto. La posición inactiva es la posición media del cuerpo del acelerador mientras el motor está al ralentí.
- CV1.4.4 El mecanismo del sistema de aceleración debe estar protegido de la entrada de residuos para evitar atascos.
- **CV1.5 Actuación mecánica del cuerpo de admisión.**
- CV1.5.1 CV1.5 solo se aplica si no se utiliza ningún sistema ETC.
- CV1.5.2 El sistema de accionamiento del acelerador debe usar al menos dos resortes de retorno ubicados en el cuerpo del acelerador, de modo que el fallo de cualquiera de los dos resortes no evitará que el acelerador regrese a la posición inactiva.
- CV1.5.3 Cada resorte de retorno debe ser capaz de devolver el acelerador a la posición de ralentí con el otro desconectado.
- CV1.5.4 Los resortes en el sensor de posición del acelerador (TPS) no son aceptables como resortes de retorno.
- CV1.5.5 Los cables del acelerador deben ubicarse al menos a 50 mm de cualquier componente del sistema de escape y estar fuera de la corriente de escape.
- CV1.5.6 Los cables o varillas del acelerador deben tener un funcionamiento suave y no deben tener la posibilidad de atarse o pegarse. Deben estar protegidos contra el doblado o la torcedura del pie del conductor durante la operación o al entrar al vehículo.
- CV1.5.7 Debe incorporarse un tope de pedal positivo en el pedal del acelerador para evitar el estrés excesivo del cable del acelerador o el sistema de accionamiento.
- **CV1.6 Restricción del sistema de admisión.**
- CV1.7.1 Si se usa más de un motor, el aire de todos los motores debe pasar por una sola toma de aire de restricción.
- CV1.7.2 Con el fin de limitar la capacidad de potencia del motor, un solo restrictor circular debe ser colocado en el sistema de admisión y todo el flujo de aire del motor debe pasar a través del restrictor. La única secuencia permitida de componentes son las siguientes:

MEMORIA

- (a) Para los motores de aspiración natural, la secuencia debe ser: cuerpo del acelerador, restrictor y motor. (Ver ilustración 47)

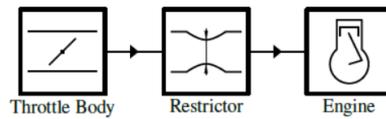


Ilustración 47: Configuración de un sistema de admisión de aspiración natural.

- (b) Para motores turboalimentados o sobrealimentados, la secuencia debe ser: restrictor, compresor, cuerpo del acelerador, motor. (Ver Ilustración 48)

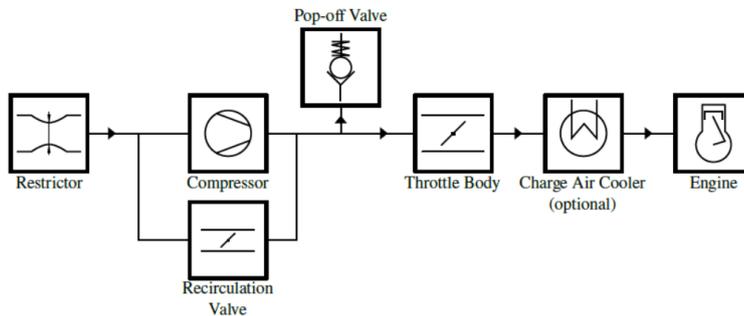


Ilustración 48: Configuración de un sistema de admisión con turbocargador o supercargador.

- CV1.7.3 Los diámetros de restricción máximos que deben respetarse en todo momento durante la competición son:
 - (a) Vehículos a gasolina - 20mm
 - (b) E-85 vehículos de combustible - 19 mm
- CV1.7.4 El restrictor debe estar ubicado para facilitar la medición durante el proceso de inspección.
- CV1.7.5 La sección transversal de restricción circular no puede ser móvil ni flexible de ninguna manera, por ejemplo, el restrictor no debe formar parte de la parte móvil de un cuerpo de acelerador de barril.

El espacio disponible dentro del vehículo es el especificado en las ilustraciones 49, 50 y 51, por detrás del mainhoop (arco de protección de la cabeza del piloto), encima del motor y la restricción del artículo CV1.3.1. Las líneas rojas hacen referencia al artículo CV1.3.1 mientras que las líneas azules hacen referencia a criterios de diseño y distribución de espacio del equipo.

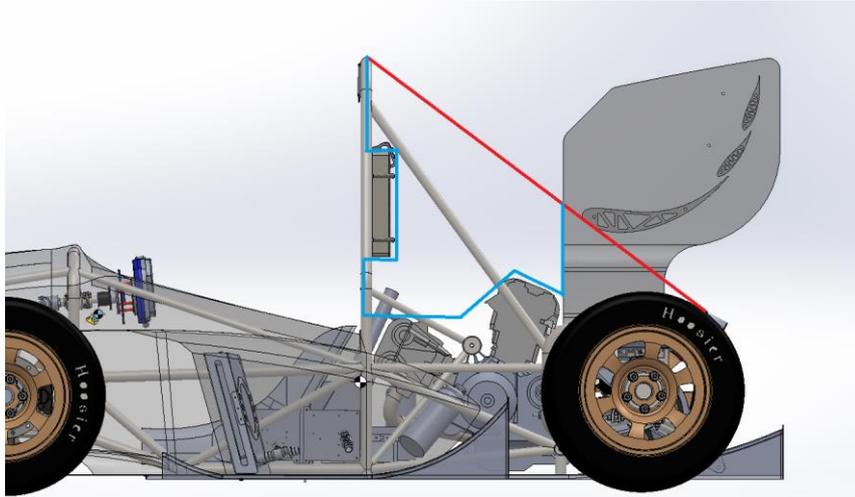


Ilustración 49: Espacio libre en el vehículo para la admisión Vista lateral

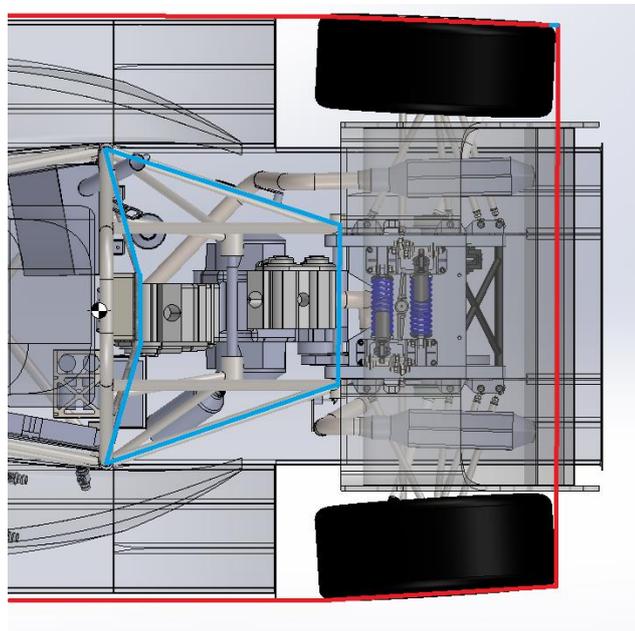


Ilustración 50: Espacio libre en el vehículo para la admisión vista superior

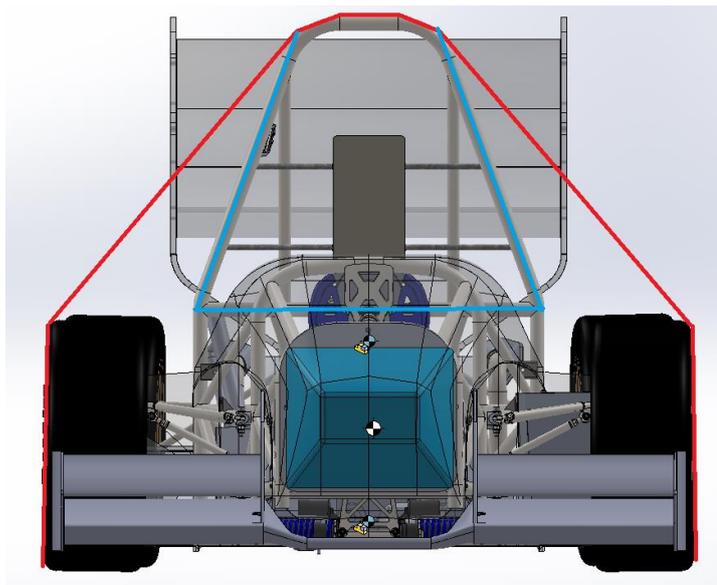


Ilustración 51: Espacio libre en el vehículo para la admisión vista frontal

4.2 Modelos iniciales

Como forma inicial se ha decidido utilizar 2 formas, una cubica y una esférica, a partir de estas dos se seleccionara la más eficiente y se optimizara la dirección de flujo.

En primer lugar se ha modelado la forma cubica, con los datos obtenidos del estudio anterior, generando el siguiente sistema de admisión. En segundo lugar se ha modelado la forma esférica de la misma manera obteniendo el siguiente sistema:

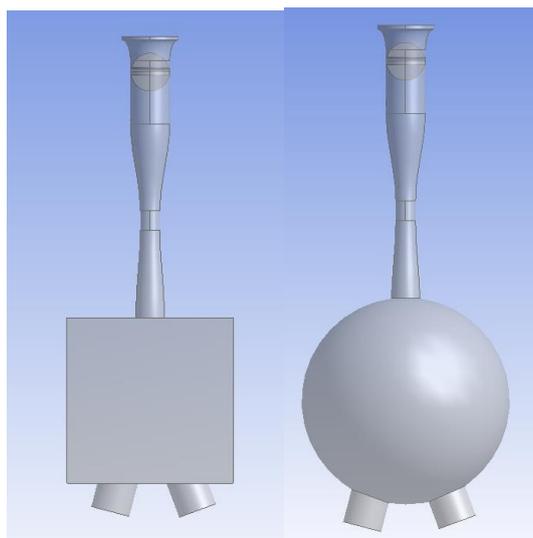


Ilustración 52: Modelado del sistema cuadrado y modelado del sistema esférico.

4.3 Preparación de la simulación en CFX

Para analizar el flujo se ha decidido realizar una simulación transitoria en la que se simulan varios ciclos del sistema de admisión, con este tipo de simulación se consigue obtener las curvas instantáneas de presión y caudal introducido dentro del motor, también se pueden observar las turbulencias y su evolución a través del sistema de admisión de aire.

El ciclo de admisión del motor Suzuki SV 650 partiendo del estado de admisión es el mostrado en la ilustración 53. El sistema de admisión tiene una entrada de aire la cual se nombrara como "Inlet" y dos salidas hacia el motor, la salida del cilindro delantero "Outlet 1" y la salida del cilindro trasero "Outlet 2". Durante el ciclo hay lapsos de tiempo en los que las válvulas de admisión se encuentran cerradas, para simular este efecto se realizaron varios estudios transitorios unidos entre sí, mientras la válvula de admisión este abierta las salidas tendrán una condición de contorno de tipo "Outlet", de la misma forma cuando estén cerradas tendrán una condición de contorno de tipo "Wall", simulando así una pared.

A continuación se definirán los estados transitorios del ciclo del motor, con el fin de obtener un inicio de simulación transitoria más real y más estable se ha realizado un primer estudio en estado estacionario.

Estado estacionario: se utiliza para estabilizar el flujo en el interior del sistema reduciendo el tiempo de cálculo posterior, las condiciones utilizadas se describen a continuación en las tablas siguientes.

PARÁMETROS GENERALES	VALOR (UNIDADES)
MATERIAL	Gas Ideal
PRESIÓN DE REFERENCIA	1 atm
GRAVEDAD	-9.81 $m s^{-2}$ eje Y
TRANSFERENCIA TÉRMICA	Isotermo
TEMPERATURA FLUIDO	25 °C
TURBULENCIA	Shear Stress Transport
CONDICIONES INICIALES: VELOCIDAD	[0,0,0] $m s^{-1}$
CONDICIONES INICIALES: PRESIÓN ESTÁTICA	94800 Pa

Tabla 7: Parámetros generales del estado estacionario.

PARÁMETROS INLET	VALOR (UNIDADES)
CONDICIÓN DE CONTORNO TIPO	Inlet
RÉGIMEN DE FLUJO	Subsónico
TIPO DE INLET	Total Pressure (Stable)
TOTAL PRESSURE	94800

Tabla 8: Parámetros generales de la entrada en el estado estacionario

MEMORIA

PARÁMETROS SALIDA DELANTERA	VALOR (UNIDADES)
CONDICIÓN DE CONTORNO TIPO	Outlet
RÉGIMEN DE FLUJO	Subsónico
TIPO DE INLET	Mass flow rate
CAUDAL MÁSIKO	0.0193

Tabla 9: Parámetros generales de la salida delantera en el estado estacionario.

PARÁMETROS SALIDA TRASERA	VALOR (UNIDADES)
CONDICIÓN DE CONTORNO TIPO	Outlet
RÉGIMEN DE FLUJO	Subsónico
TIPO DE INLET	Mass flow rate
CAUDAL MÁSIKO	0.0193

Tabla 10: Parámetros generales de la salida trasera en el estado estacionario.

PARÁMETROS PAREDES	VALOR (UNIDADES)
CONDICIÓN DE CONTORNO TIPO	Wall
TIPO DE PARED	No Slip Wall
RUGOSIDAD DE LA PARED	Smooth wall

Tabla 11: Parámetros generales de las paredes en el estado estacionario.

Se ha ajustado la malla y el time step para que el valor máximo del $yplus$ sea próximo a 1 y el valor máximo de número de Courant sea de entre 1 y 10, no obstante por condiciones de la versión utilizada y la potencia de cálculo de la que se dispone los valores finales de $Yplus$ máximo será de 10 y el Número de Courant será de entre 1 y 20

Estados transitorios: Se utilizan nueve estados transitorios unidos entre sí, con esto se consigue simular dos ciclos y medio de admisión del motor a una velocidad de rotación de 7000 rpm, el primer ciclo y medio se utilizara para estabilizar el flujo utilizando el segundo para realizar el estudio.

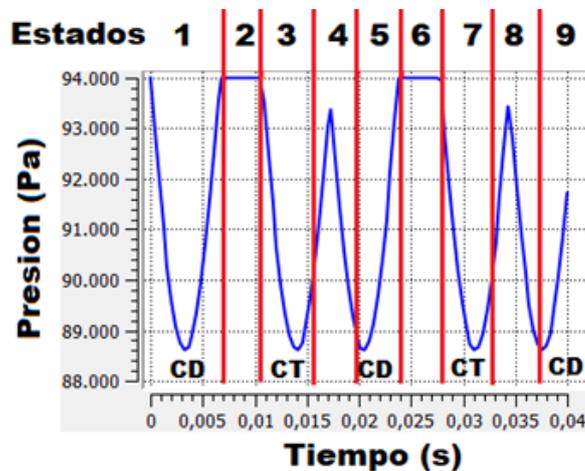


Ilustración 53: Figura de los diferentes estados transitorios y el ciclo de admisión.

MEMORIA

CD: Cilindro delantero. Out1

CT: Cilindro trasero. Out2

ESTADO	SALIDA DELANTERA	SALIDA TRASERA
TRANSITORIO 1	Abierto	Cerrado
TRANSITORIO 2	Cerrado	Cerrado
TRANSITORIO 3	Cerrado	Abierto
TRANSITORIO 4	Abierto	Abierto
TRANSITORIO 5	Abierto	Cerrado
TRANSITORIO 6	Cerrado	Cerrado
TRANSITORIO 7	Cerrado	Abierto
TRANSITORIO 8	Abierto	Abierto
TRANSITORIO 9	Abierto	Cerrado

Tabla 12: Estado de las salidas en cada estado transitorio.

Los parámetros generales serán iguales en todos los casos, a excepción de las condiciones iniciales que se cogerán del caso anterior.

PARÁMETROS INLET	VALOR (UNIDADES)
CONDICIÓN DE CONTORNO TIPO	Inlet
RÉGIMEN DE FLUJO	Subsónico
TIPO DE INLET	Mass flow rate
CAUDAL MÁSSICO	$0.0645155 \text{ Kg s}^{-1}$

Tabla 13: Parámetros generales de la entrada en el estado transitorio.

PARÁMETROS SALIDA DELANTERA	VALOR (UNIDADES)
CONDICIÓN DE CONTORNO TIPO	Outlet
RÉGIMEN DE FLUJO	Subsónico
TIPO DE INLET	Static Pressure
PRESIÓN ESTÁTICA	Ecuación presión / Wall

Tabla 14: Parámetros generales de la salida delantera en el estado transitorio.

PARÁMETROS SALIDA TRASERA	VALOR (UNIDADES)
CONDICIÓN DE CONTORNO TIPO	Outlet
RÉGIMEN DE FLUJO	Subsónico
TIPO DE INLET	Static Pressure
PRESIÓN ESTÁTICA	Ecuación presión / Wall

Tabla 15: Parámetros generales de la salida trasera en el estado transitorio.

MEMORIA

	DURACIÓN (S)	INICIO (S)	FINAL (S)
TRANSITORIO 1	0.00664175	0	0.00664175
TRANSITORIO 2	0.00407075	0.00664175	0.0107125
TRANSITORIO 3	0.0064275	0.0107125	0.01714
TRANSITORIO 4	0.00021425	0.01714	0.01735425
TRANSITORIO 5	0.0064275	0.01735425	0.02378175
TRANSITORIO 6	0.00407075	0.02378175	0.0278525
TRANSITORIO 7	0.0064275	0.0278525	0.03428
TRANSITORIO 8	0.00021425	0.03428	0.03449425
TRANSITORIO 9	0.0064275	0.03449425	0.04092175

Tabla 16: Tiempos y duraciones de los estados transitorios.

4.4 Resultados de los modelos iniciales

Del sistema cubico se ha obtenido los siguientes valores:

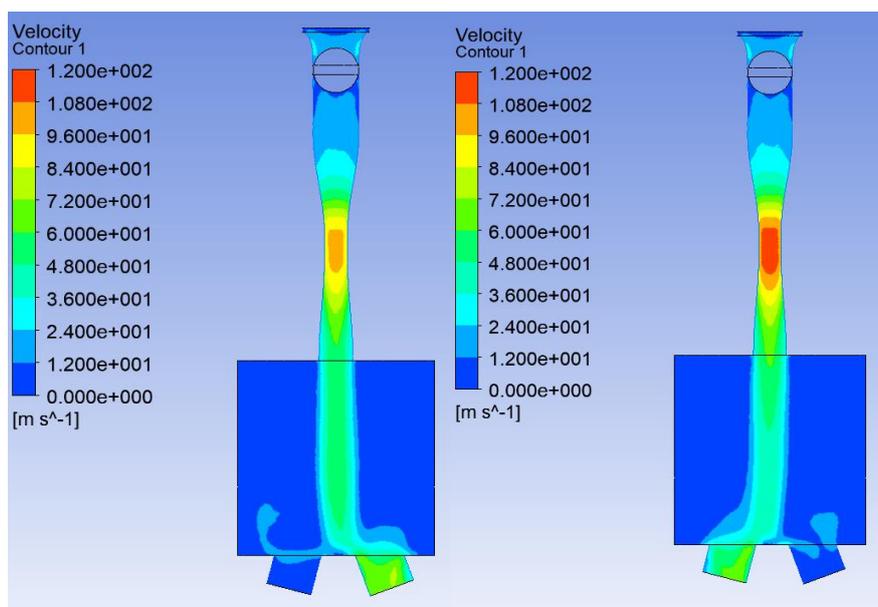


Ilustración 54: Velocidad del flujo en el punto máximo de depresión del cilindro trasero y del cilindro delantero del sistema de admisión cubico.

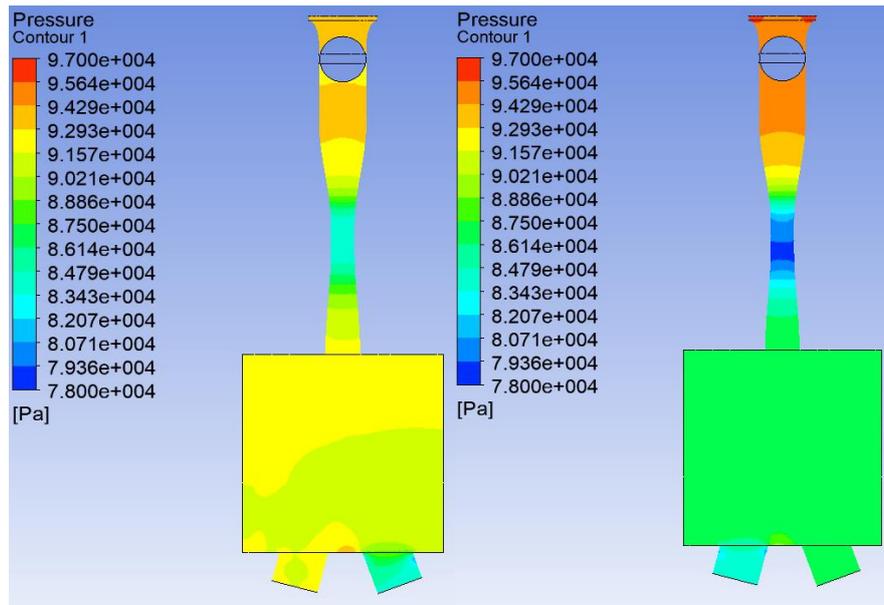


Ilustración 55: Presión dentro del sistema cubico en el punto máximo de depresión del cilindro trasero y del cilindro delantero.

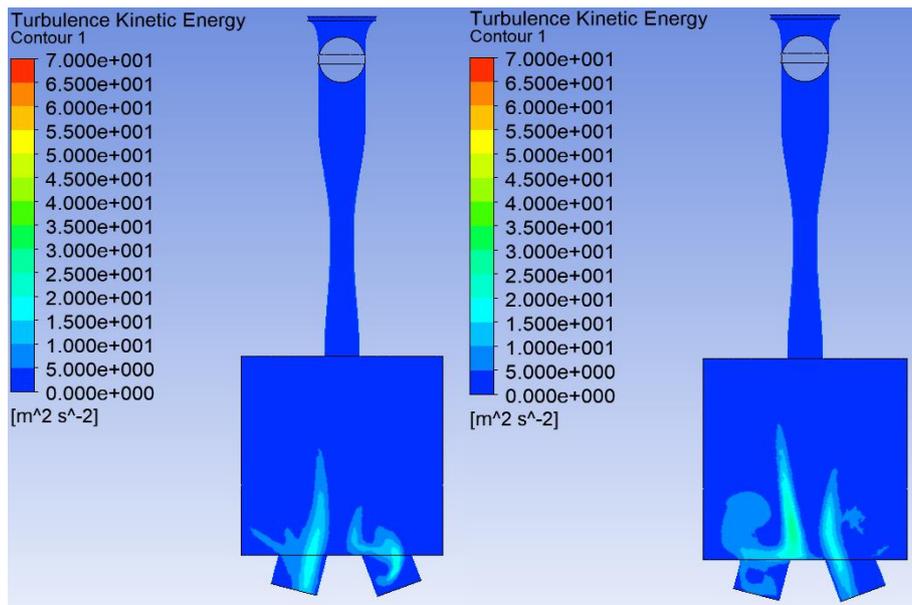


Ilustración 56: Turbulencia Generada en el sistema cubico en el punto máximo de depresión del cilindro trasero y del cilindro delantero.

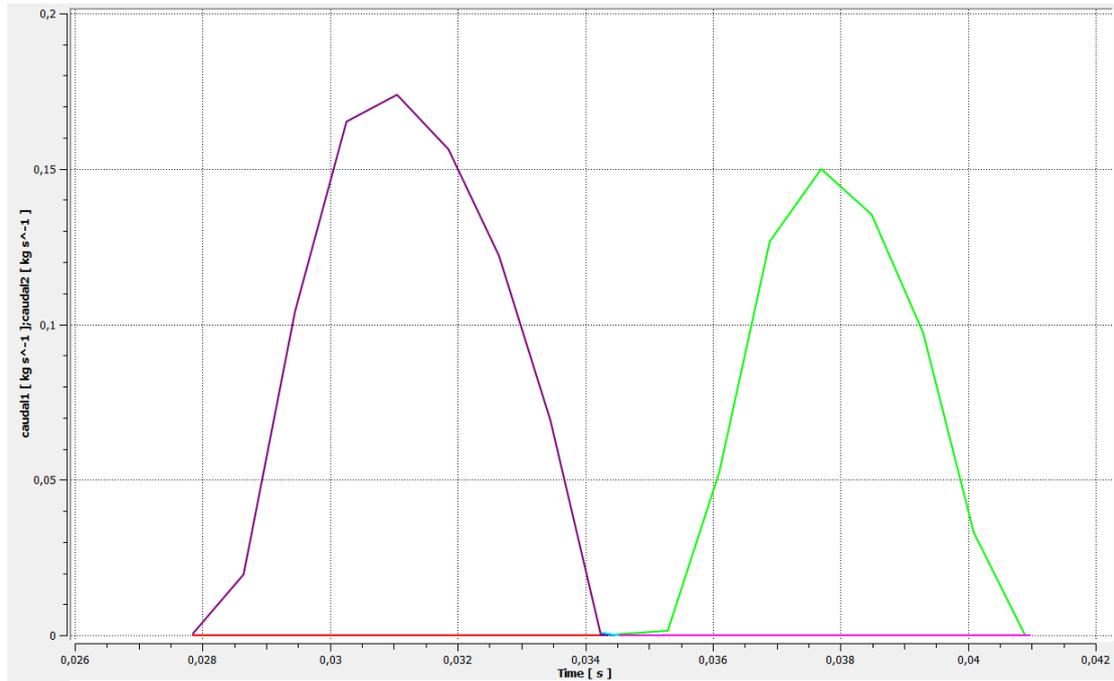


Ilustración 57: Grafica de caudal instantáneo del cilindro trasero (morado) y el cilindro delantero (verde) del sistema cubico.

Del sistema esférico se han obtenido los siguientes valores:

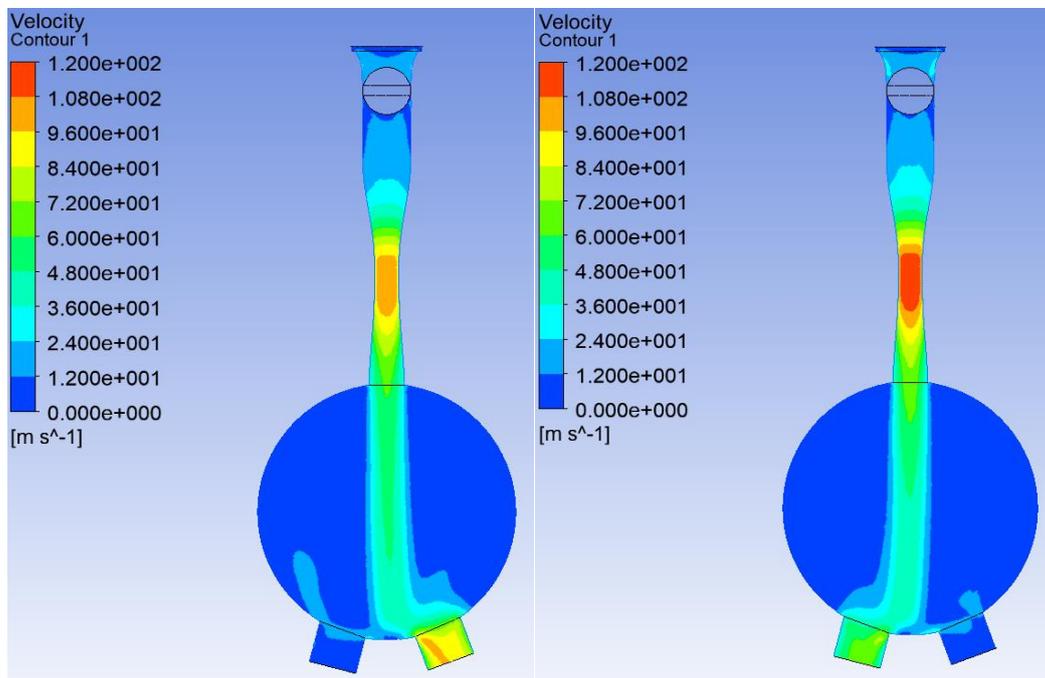


Ilustración 58: Velocidad del flujo en el punto máximo de depresión del cilindro trasero y del cilindro delantero del sistema esférico.

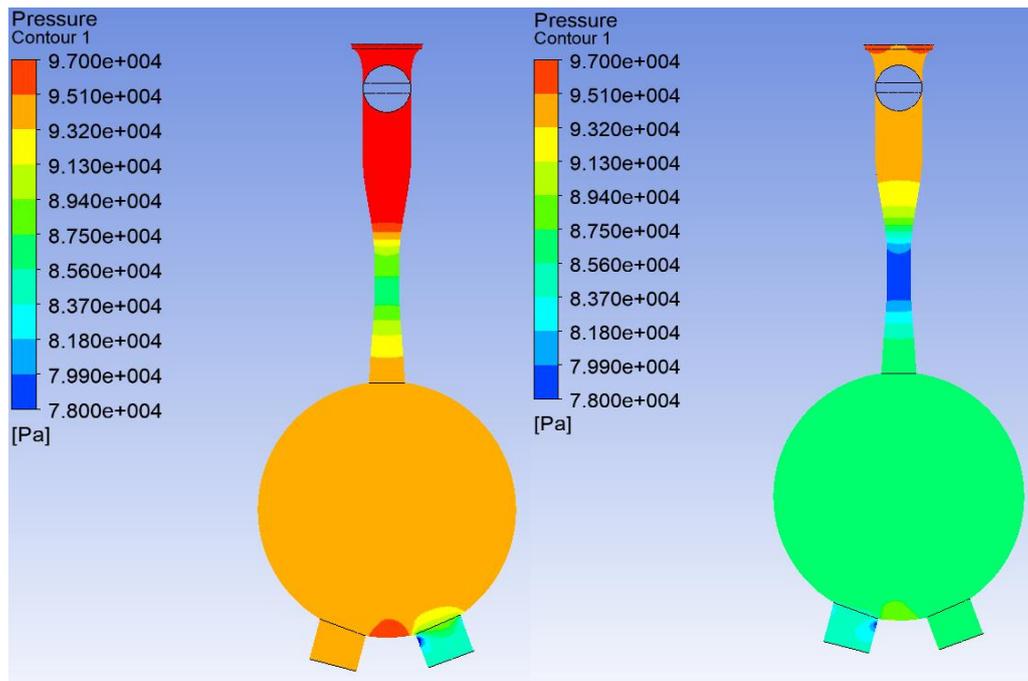


Ilustración 59: Presión dentro del sistema esférico en el punto máximo de depresión del cilindro trasero y del cilindro delantero.

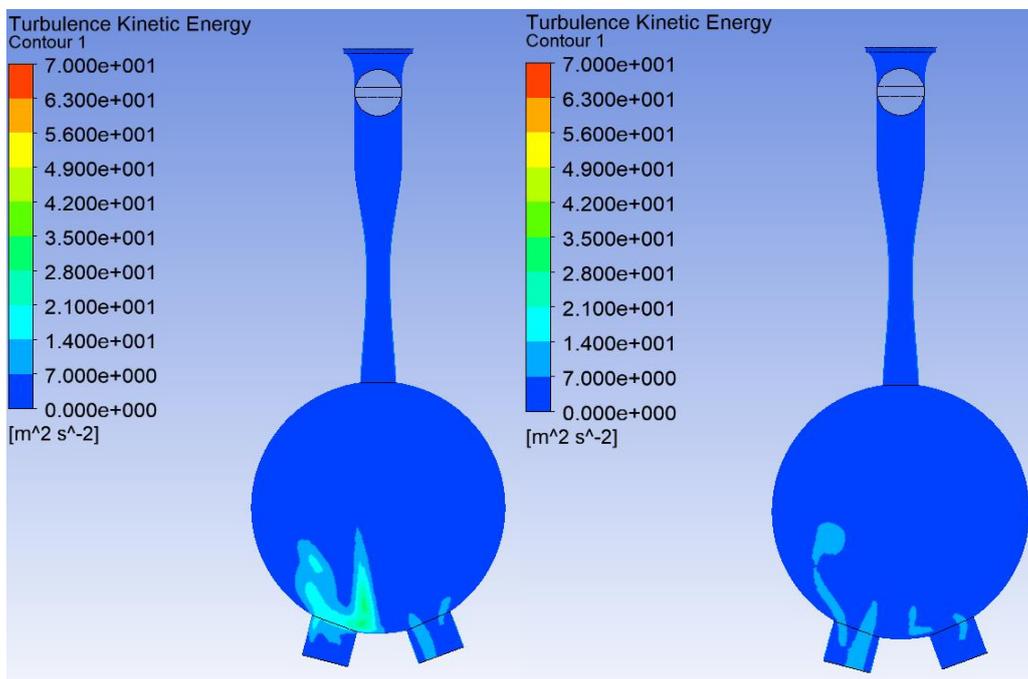


Ilustración 60: Turbulencia Generada en el sistema esférico en el punto máximo de depresión del cilindro trasero y del cilindro delantero.

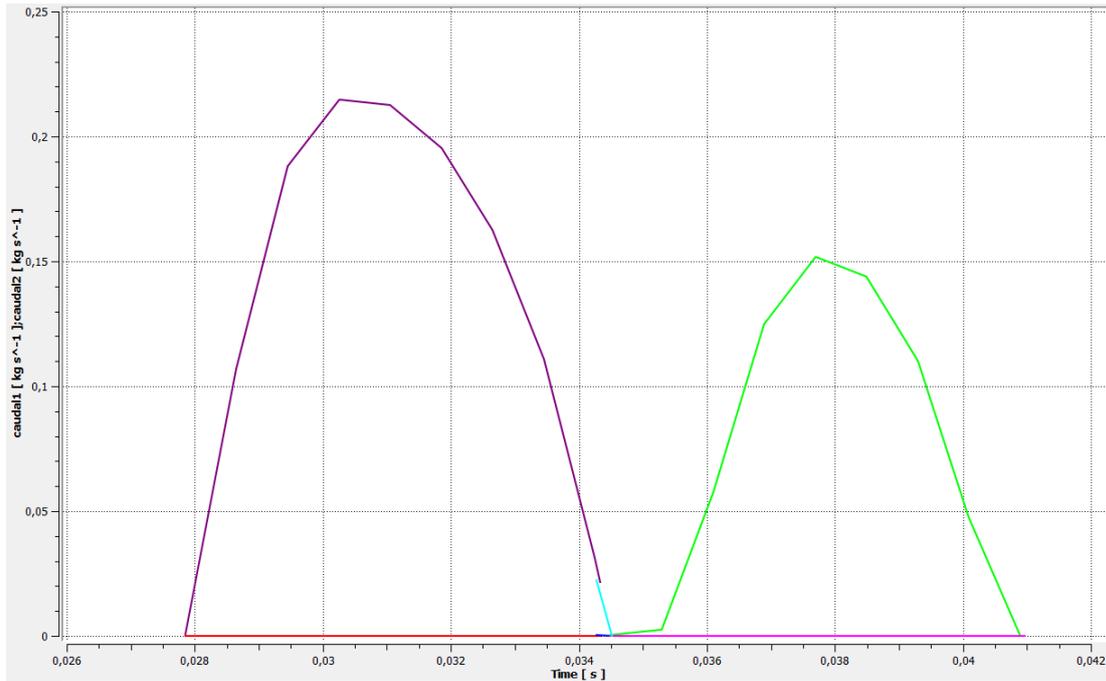


Ilustración 61: Grafica de caudal instantáneo del cilindro trasero (morado) y el cilindro delantero (verde) del sistema esférico.

Como se puede observar el sistema de admisión de aire esférico permite una transmisión del flujo más eficiente con menores turbulencias y generación de vórtices, mantiene una mayor presión en el plenum respecto del cubico y consigue velocidades de flujo más altas en los colectores, estas conclusiones se verifican en las gráficas de caudal instantáneo que demuestra una mayor curva de caudal másico del cilindro delantero y un ligero aumento del cilindro trasero. Este efecto se debe al ciclo de apertura de válvulas de admisión, ya que la válvula de admisión del cilindro delantero se abre antes del cierre de la válvula del cilindro trasero, mientras que la válvula del cilindro trasero se abre estando el sistema en reposo. Por lo tanto el cilindro trasero tiene el sistema de admisión con mayor presión en su interior a la apertura, mientras que el delantero a su apertura tiene el sistema de aire con el nivel de presión que ha dejado el cilindro delantero.

PARÁMETROS	CUBICO	ESFÉRICO
PRESIÓN MAX	94266.1 [Pa]	93205.7 [Pa]
PRESIÓN MIN	74844.7 [Pa]	77589 [Pa]
VELOCIDAD MAX	111.115 [$m s^{-1}$]	106.66 [$m s^{-1}$]
TURBULENCIA MAX	66.51 [$m^2 s^{-2}$]	59.434 [$m^2 s^{-2}$]

Tabla 17: Resultados de los sistemas de admisión cuadrado y esférico.

4.5 Optimización del sistema original

Una vez se ha escogido el plenum esférico se va a estudiar cómo reducir la turbulencia que se produce en las conexiones de los colectores, para ello se ha añadido dos trompetas alargadas que dirijan el flujo hacia el colector evitando la turbulencia generada al chocar el flujo contra la superficie inferior del plenum.

El modelo con trompetas que se ha analizado es el que se puede observar en la ilustración 62 y ha dado como resultados los valores de las ilustraciones siguientes.

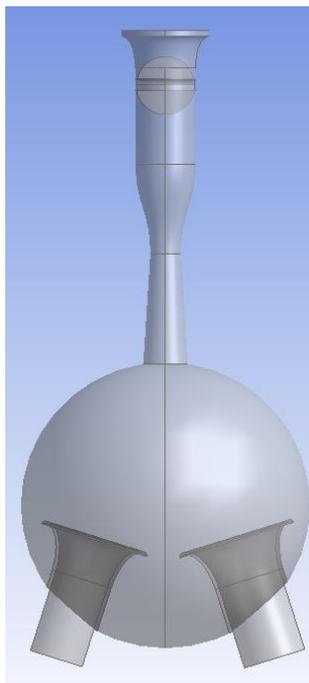


Ilustración 62: Modelado con trompetas.

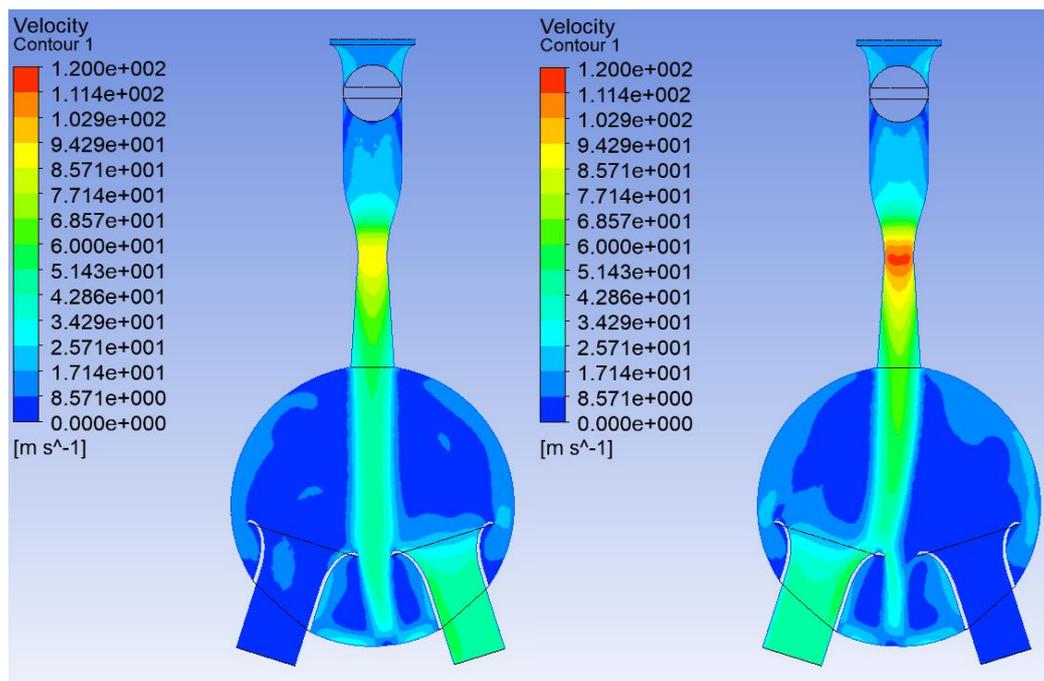


Ilustración 63: Velocidad del flujo en el punto máximo de depresión del cilindro trasero y del cilindro delantero del sistema esférico con trompetas.

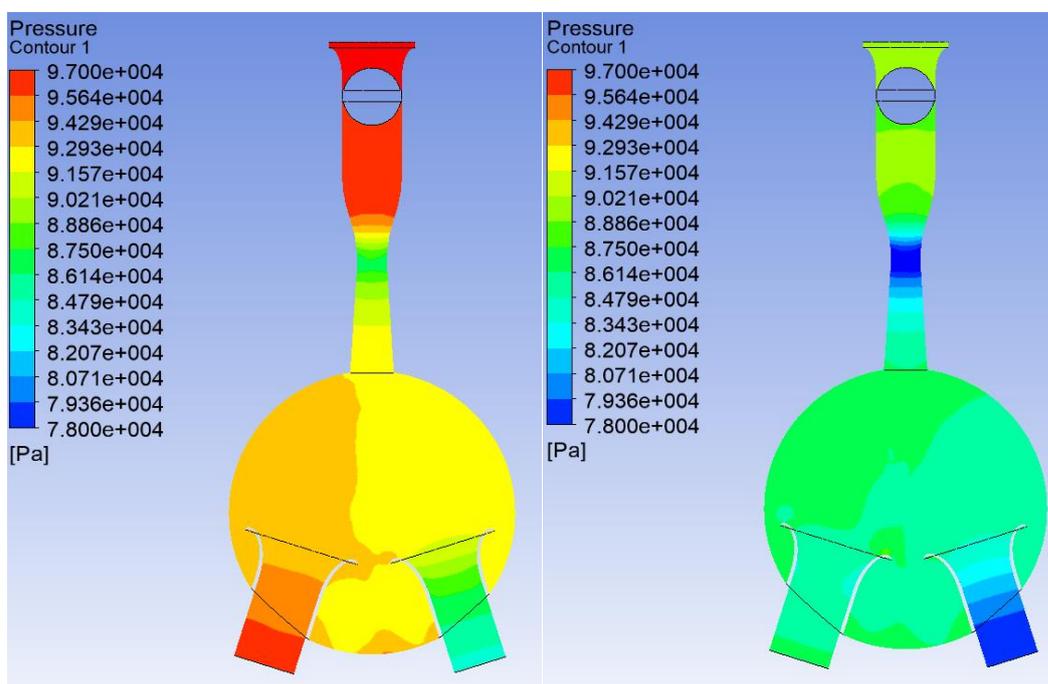


Ilustración 64: Presión dentro del sistema esférico con trompetas en el punto máximo de depresión del cilindro trasero y del cilindro delantero.

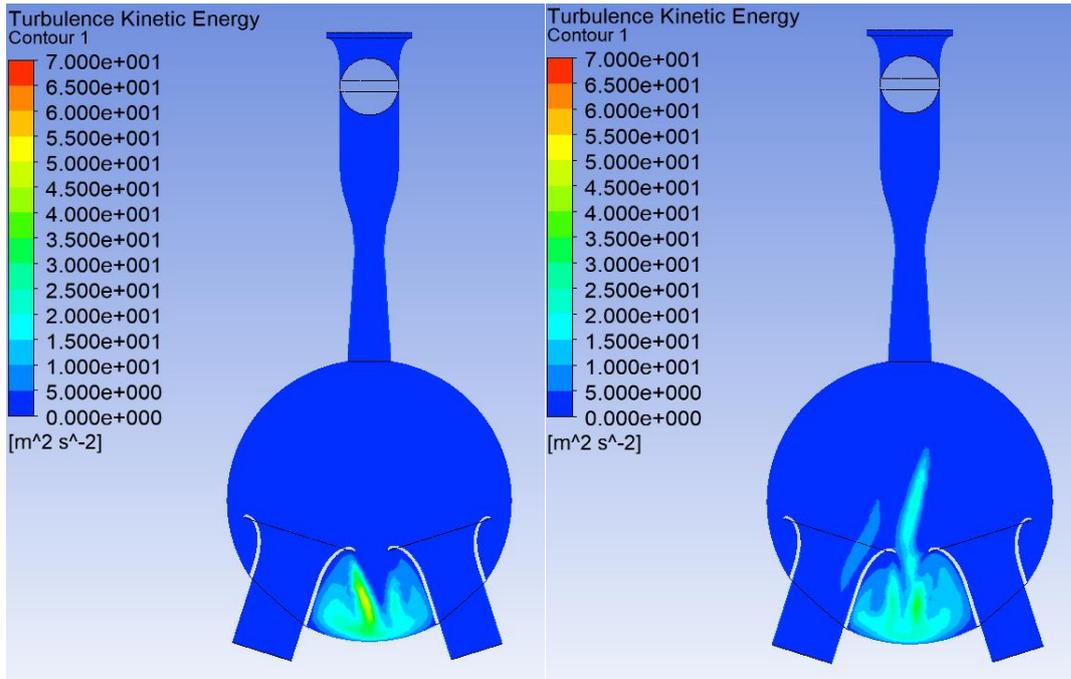


Ilustración 65: Turbulencia Generada en el sistema esférico con trompetas en el punto máximo de depresión del cilindro trasero y del cilindro delantero.

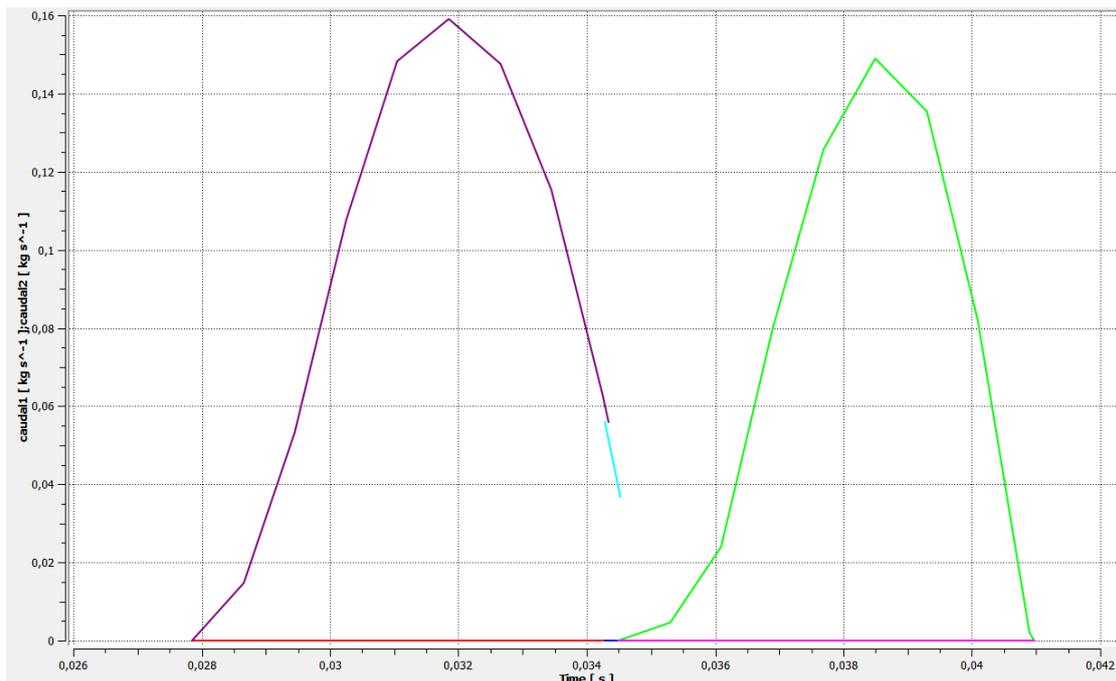


Ilustración 66: Grafica de caudal instantáneo del cilindro trasero (morado) y el cilindro delantero (verde) del sistema esférico con trompetas.

Como se puede observar con el modelo de admisión esférica con trompetas se consigue reducir la turbulencia en la entrada del colector, la turbulencia se genera en la zona inferior de las trompetas dejando la zona superior limpia durante el ciclo de admisión del cilindro trasero, no obstante se observa como la turbulencia se genera en el centro del plenum durante la admisión

MEMORIA

del cilindro delantero, esto se debe al cambio de sentido de flujo de una trompeta a otra y a la velocidad del fluido al chocar contra las trompetas.

También se puede observar como el perfil de presiones en los colectores de admisión es más regular que en el primer diseño y menos brusco.

Con el fin de reducir esa turbulencia en el centro del plenum se va a introducir un difusor en la zona superior para que el cambio de sección sea menos brusca entre el restrictor y el plenum produciendo una rotura de la capa límite más suave y haciendo que la velocidad del fluido que incide contra las trompetas de admisión sea inferior.



Ilustración 67: Modelado con trompeta y difusor

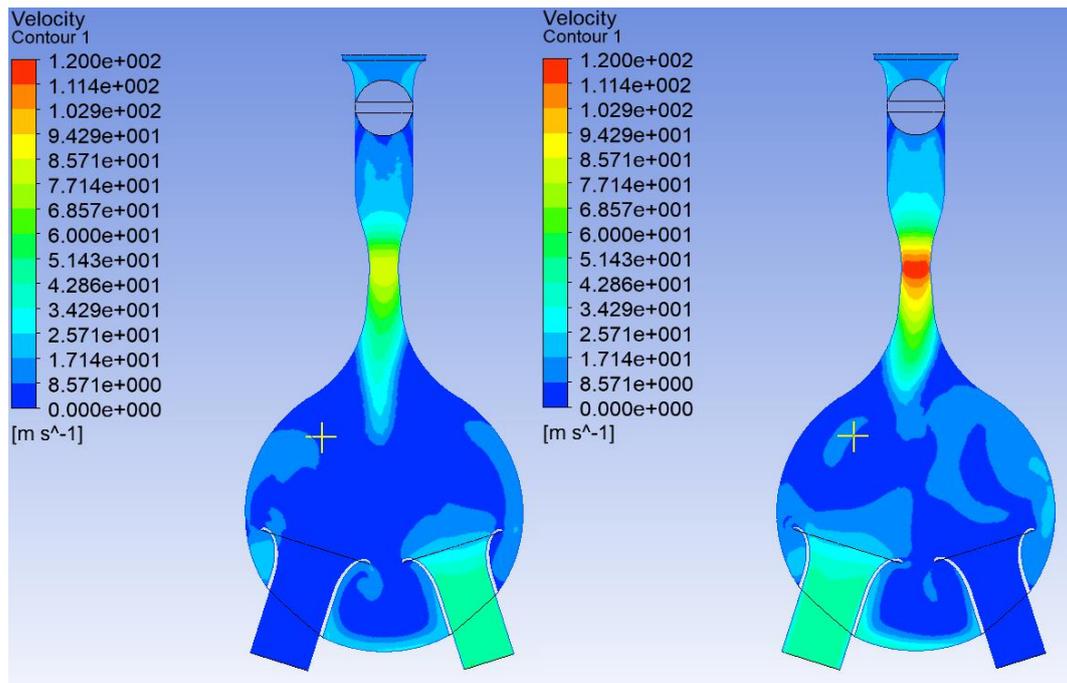


Ilustración 68: Velocidad del flujo en el punto máximo de depresión del cilindro trasero y del cilindro delantero sistema esférico con trompetas y difusor.

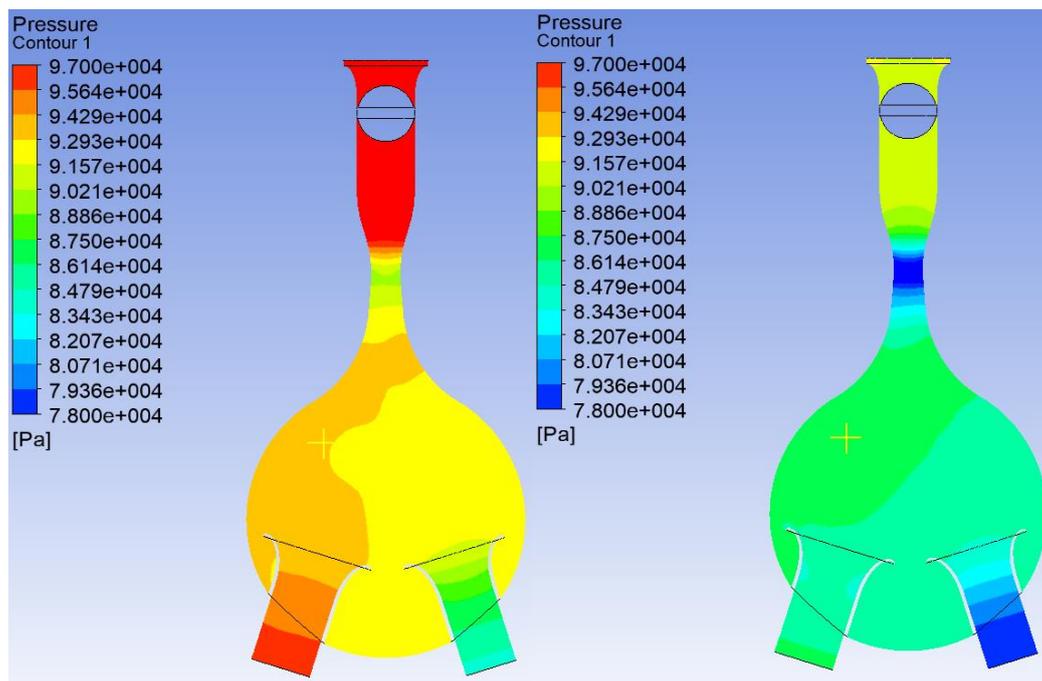


Ilustración 69: Presión dentro del sistema esférico con trompetas y difusor en el punto máximo de depresión del cilindro trasero y del cilindro delantero.

MEMORIA

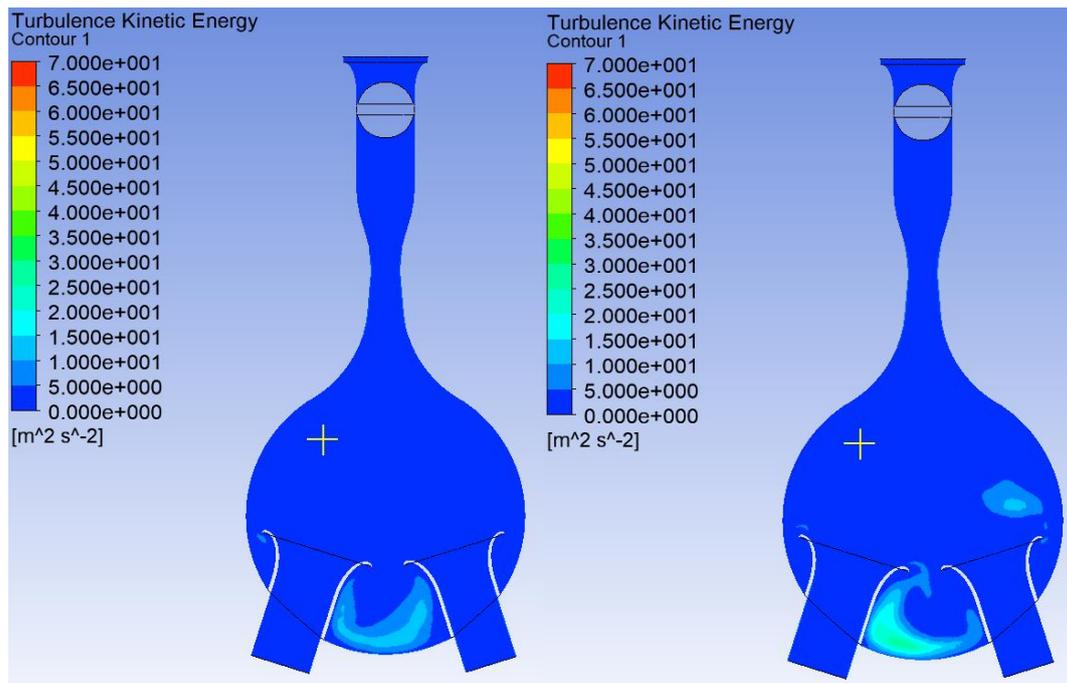


Ilustración 70: Turbulencia Generada en el sistema esférico con trompetas y difusor en el punto máximo de depresión del cilindro trasero y del cilindro delantero.

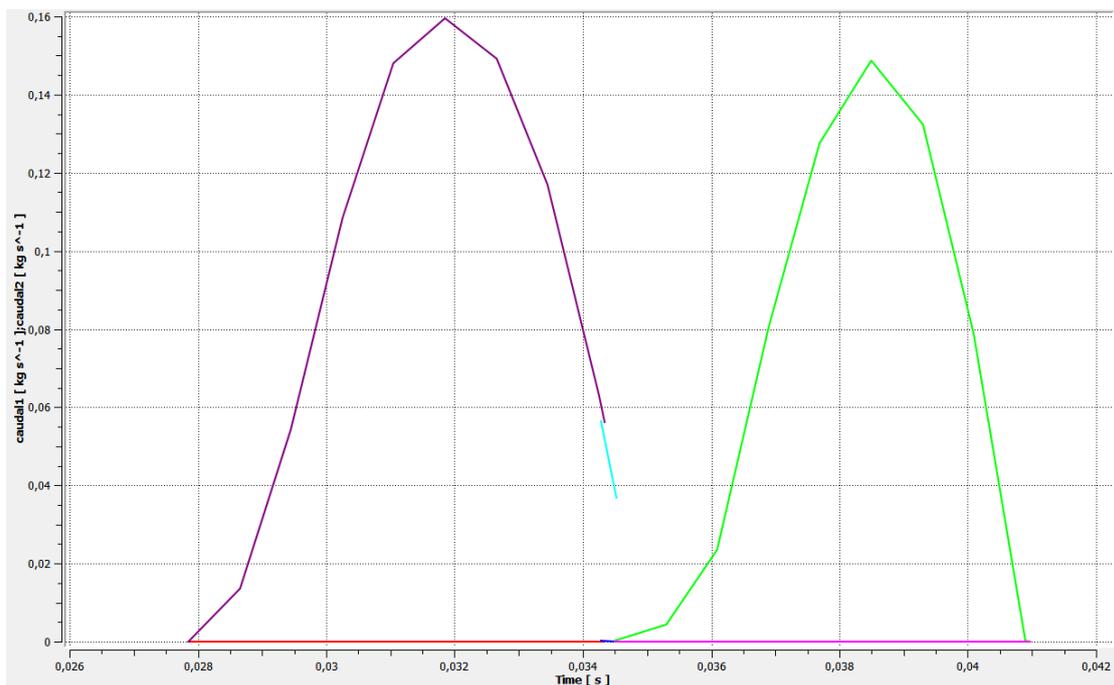


Ilustración 71: Grafica de caudal instantáneo del cilindro trasero (morado) y el cilindro delantero (verde) del sistema esférico con trompetas y difusor.

4.6 Conclusión del estudio en CFD

Como se esperaba se ha conseguido eliminar la turbulencia en el centro de la admisión y reducir la cantidad de turbulencia generada en la zona inferior de la admisión. También se tiene un perfil de presiones menos brusco y ligeramente mayor que la del modelo inicial.

En cuanto a las curvas de caudal instantáneo una vez comparadas se ha conseguido que ambos cilindros tengan aproximadamente el mismo caudal de aire como muestra la tabla 18 evitando así que uno de los cilindros tenga mezclas de combustible excesivamente pobres o excesivamente ricas ya que el mapa de combustión que se utiliza es el mismo para ambos cilindros.

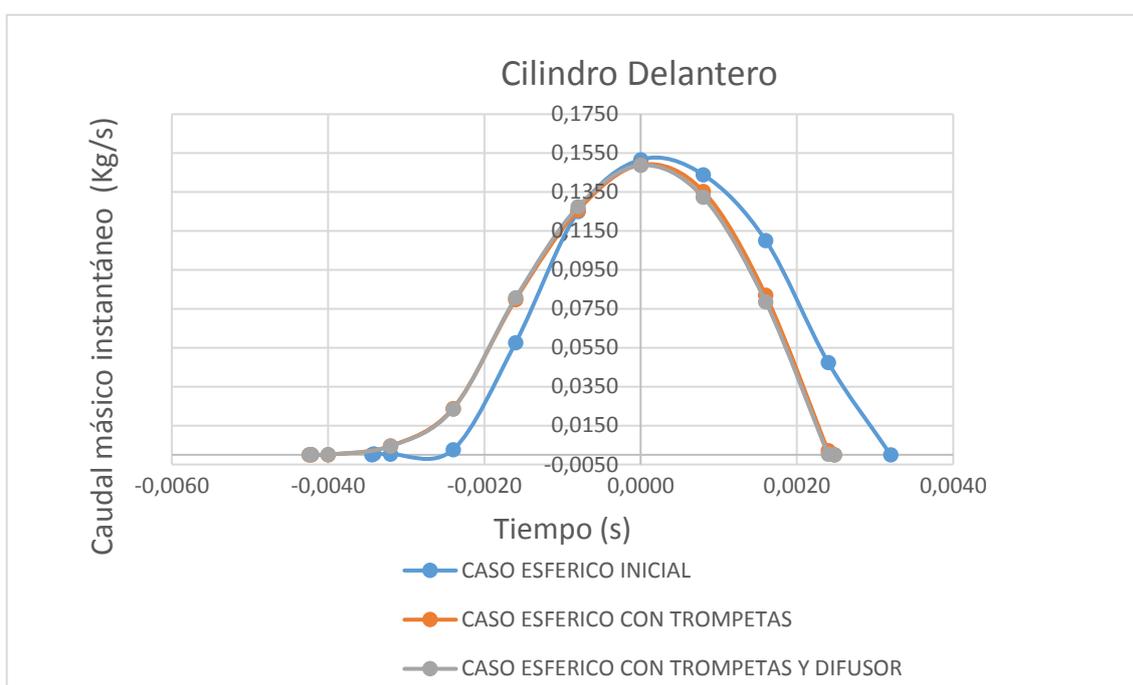


Ilustración 72: Curvas de caudal másico instantáneo del cilindro delantero de los diferentes casos analizados.

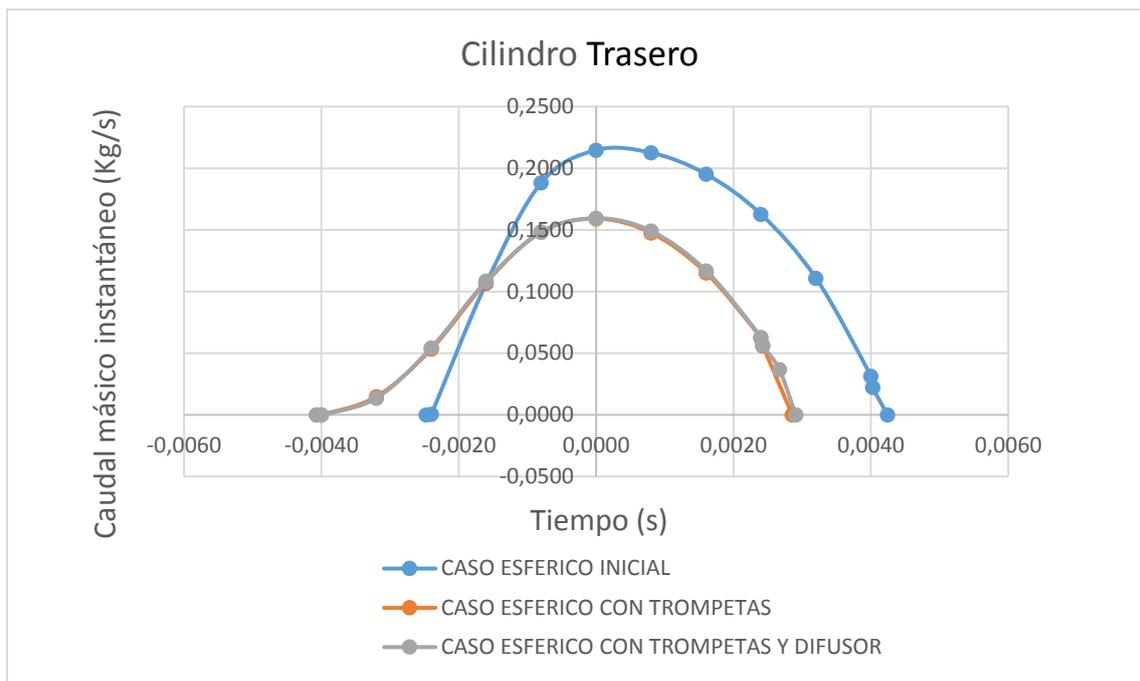


Ilustración 73: Curvas de caudal másico instantáneo del cilindro trasero de los diferentes casos analizados.

	Cilindro Delantero	Cilindro Trasero	
CASO REDONDO INICIAL	0,00051620	0,00098580	Kg/ciclo
CASO REDONDO CON TROMPETAS	0,00044150	0,00054260	Kg/ciclo
CASO REDONDO CON TROMPETAS Y DIFUSOR	0,00044730	0,00054860	Kg/ciclo

Tabla 18: Gráfica de caudales finales de los diferentes casos.

5. FABRICACIÓN

5.1 Métodos de fabricación

El objetivo principal del método de fabricación ha sido la obtención de un sistema de admisión ligero y resistente estructuralmente, en segundo lugar se ha buscado que el método de fabricación sea lo más económicamente y simple posible.

En primer lugar se realizó un estudio de los diferentes métodos de fabricación posibles, de todos los existentes los que mejor se adaptaban a la empresa fueron: fabricación en impresión 3D, inyección de plástico, laminación de materiales compuestos (laminado manual asistido por vacío y/o laminación manual con pre-impregnados parciales) y finalmente mecanizados mediante fresadora con control numérico.

Tras realizar una valoración aproximada de los diferentes sistemas utilizando el método de las jerarquías analíticas (ANEXO 3), se ha decidido utilizar la laminación asistida por vacío en fibra de vidrio, ya que es un método de los más sencillos, permite obtener una pieza ligera y no es relativamente caro de fabricar.

Sin embargo como la pieza fabricada se utiliza para prototipaje se ha decidido modificar el material de los colectores, utilizando impresión 3D en ABS en vez de fibra de vidrio, esto permitirá posteriormente ajustar más fácilmente el ángulo de anclaje de los colectores al motor a la hora de fabricar la admisión, una sustitución más rápida en caso de rotura del componente durante el test o la competición y abaratará ligeramente los costes, ya que se evita la fabricación y pos tratamiento de 2 moldes complejos.

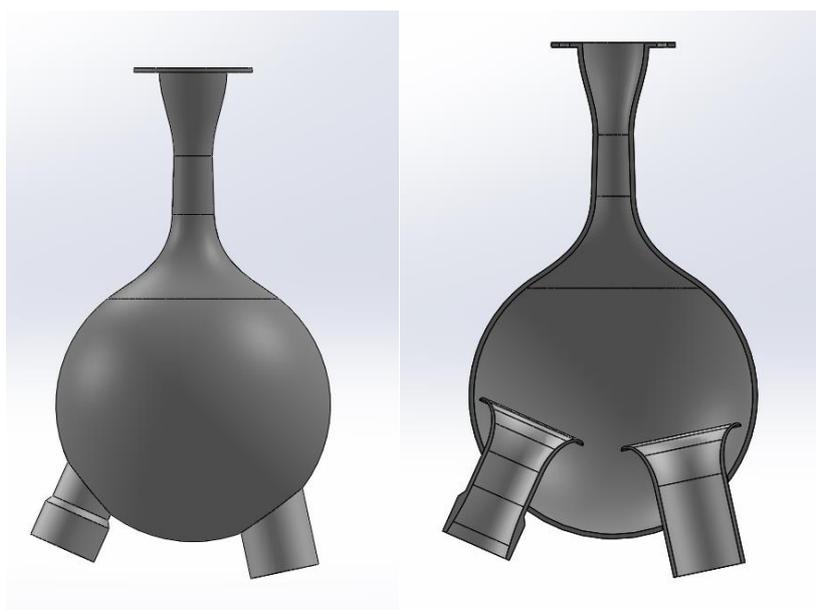


Ilustración 74: Vista lateral de la admisión final y vista seccionada.

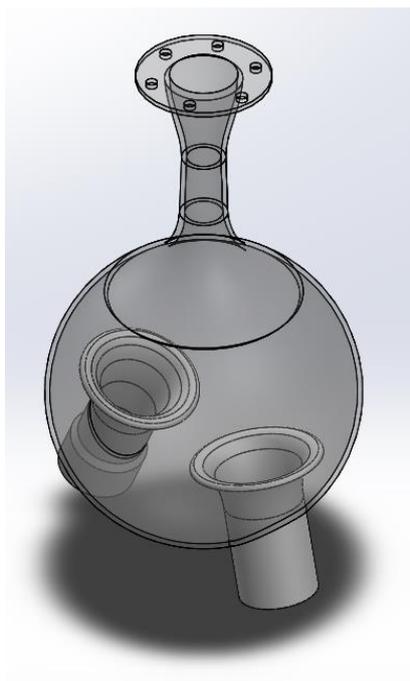


Ilustración 75: Vista general de la admisión final.

5.2 Análisis estructural

Para realizar el análisis estructural se ha utilizado el módulo de simulación estructural de Solidworks, en primer lugar se han introducido los materiales a utilizar, fibra de vidrio con matriz de epoxi para el plenum y plástico ABS para las trompetas y colectores.

PARÁMETROS	FIBRA DE VIDRIO CON MATRIZ EPOXI	ABS
MÓDULO ELÁSTICO ($N\ mm^{-2}$)	45000	2000
COEF. DE POISSON (N/D)	0.19	0.394
DENSIDAD DE MASA ($Kg\ m^3$)	2520	1020
LÍMITE ELÁSTICO ($N\ mm^{-2}$)	125	30

Tabla 19: Propiedades físicas de los materiales utilizados para la simulación.

A continuación se han aplicado las fuerzas: gravedad, presión y depresión generada por el fluido interno del aire y aprietes de los elementos de sujeción.

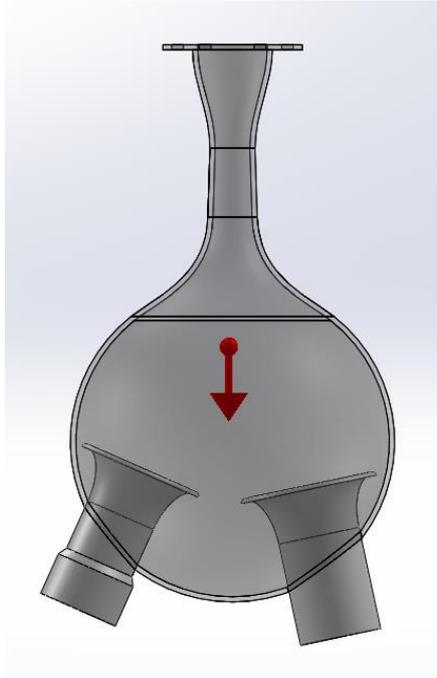


Ilustración 76: Aplicación de la gravedad en el sistema de aire de admisión.

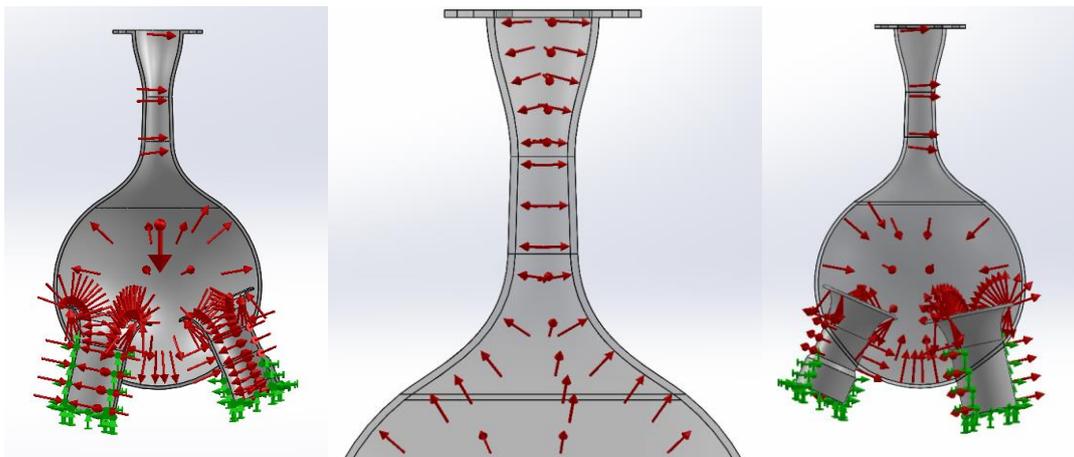


Ilustración 77: Aplicación de presiones producidas por el fluido dentro del sistema de aire.

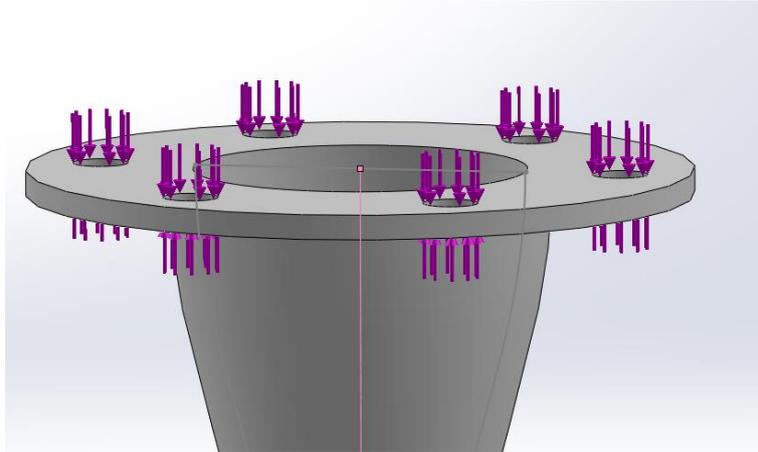


Ilustración 78: Aplicación de las fuerzas producidas por el apriete de los tornillos.

PARÁMETROS	VALORES (UNIDADES)
GRAVEDAD	9.81 ($m s^{-2}$)
PRESIÓN INTERNA	40000 (Pa)
APRIETE DE LOS TORNILLOS	10 ($N m^{-1}$)

Tabla 20: Parámetros utilizados para el análisis estructural.

Los resultados del análisis estructural con sobrepresión y depresión son los siguientes:

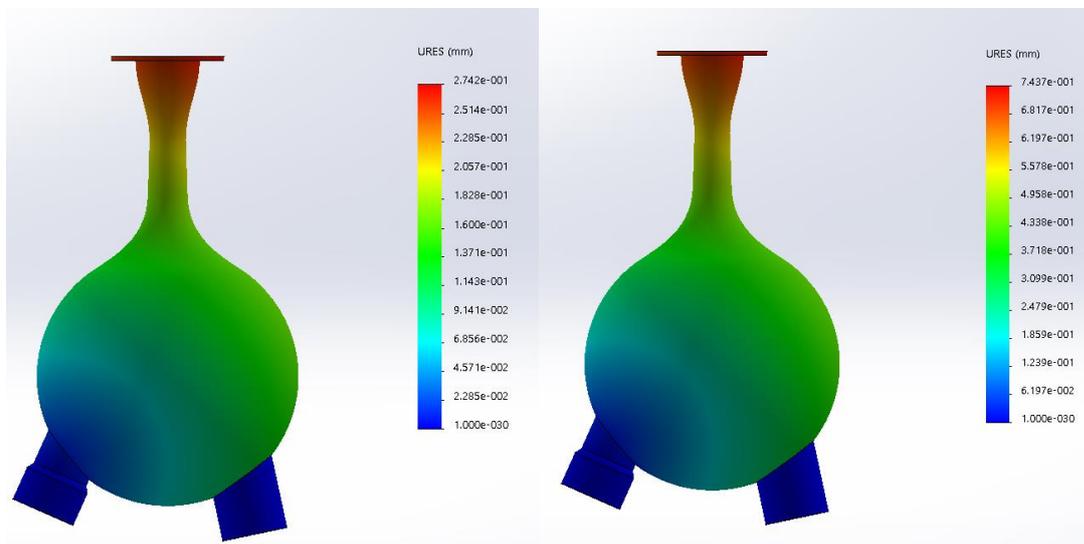


Ilustración 79: Desplazamientos de la deformada. Caso con presión, caso con depresión.

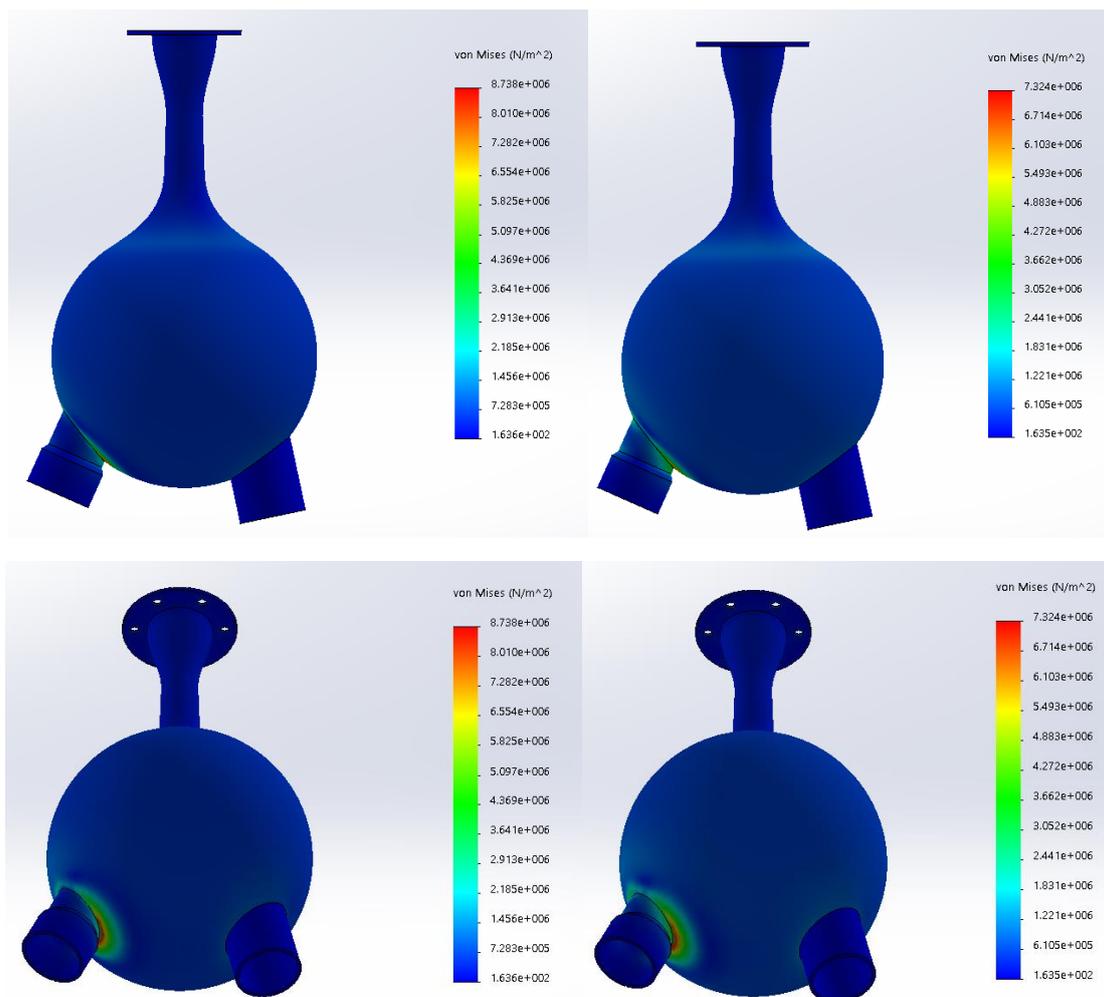


Ilustración 80: Tensiones (vonMises). Caso con presión, Caso con depresión.

Una vez comprobado que el material soporta los esfuerzos generados y que la tensión máxima es inferior a la de rotura se da por valido el modelado, a continuación se prepararan los moldes para la fabricación y se sacaran los desarrollos para recortar las fibras.

5.3 Fabricación de los moldes y de la pieza

En primer lugar se prepararán los moldes que se pueden observar en la ilustración 81.

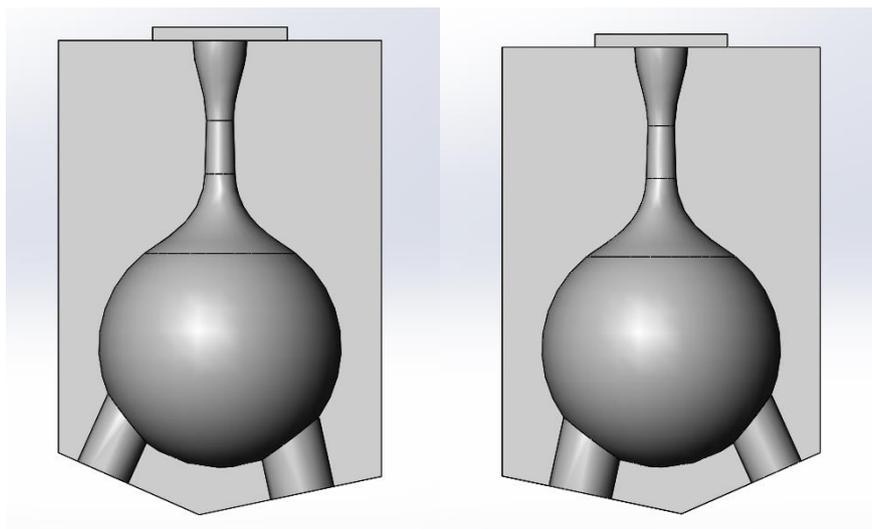


Ilustración 81: Vista planta del molde y del molde simétrico de la admisión.

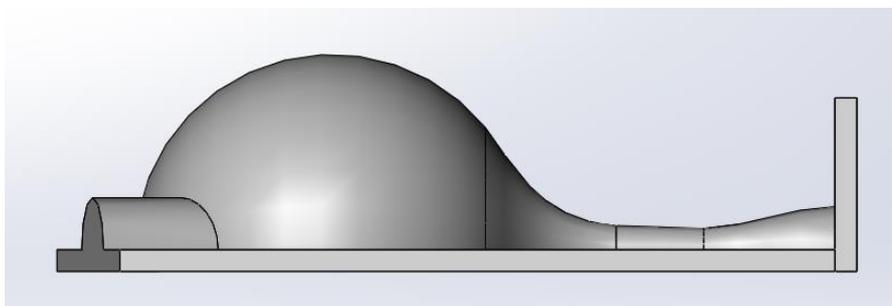


Ilustración 82: Vista lateral del molde de la admisión.

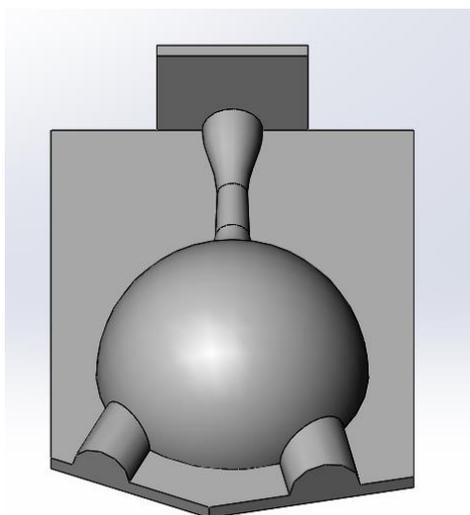


Ilustración 83: Vista general del molde de la admisión.

Los moldes se fabricaran con planchas de madera DM de 40 mm, el material bruto que se mecanizará será de las medidas especificadas en los planos, siendo necesarios 3 planchas de maderas que se pegaran entre sí con cola para madera, la base superior para la laminación del

MEMORIA

anclaje será de madera aglomerada de 10mm de espesor, esta base se utilizara para la fabricación de la pieza completa de fibra. La otra mitad de la admisión se laminara en un molde simétrico fabricado con el mismo método.

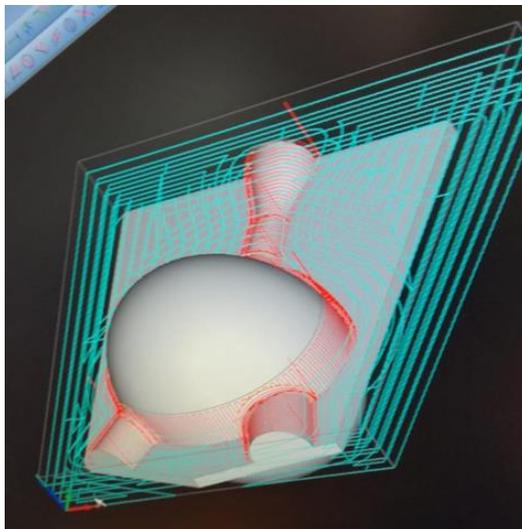


Ilustración 84: Preparación del CAM para su posterior mecanizado.

Para la mecanización del molde se han realizado varias operación, primero operaciones de desbaste de material con una velocidad de avance rápida (líneas en azul) y posteriormente operaciones de acabado (líneas en color rojo) a velocidades más bajas para obtener buenos acabados.

Una vez mecanizados los moldes se realizó un pos tratamiento de lijado y aparejado para dejar una superficie completamente lisa que diera un buen acabado superficial interno a la pieza.

5.4 Preparación de los desarrollos en fibra de vidrio

Una vez finalizados los moldes se han imprimido las trompetas y se ha preparado el material para la laminación. Para laminar la admisión en primer lugar se prepararon las plantillas en Solidworks para posteriormente recortarlas en plástico, para ello primero se realizó el estudio de deformaciones de los desarrollos con el fin de evitar el deslizamiento excesivo de las fibra que posteriormente puede dar problemas estructurales.

En las siguientes figuras se observan las deformaciones producidas en los desarrollos de las superficies las cuales se han utilizado para obtener los recortes de las fibras.

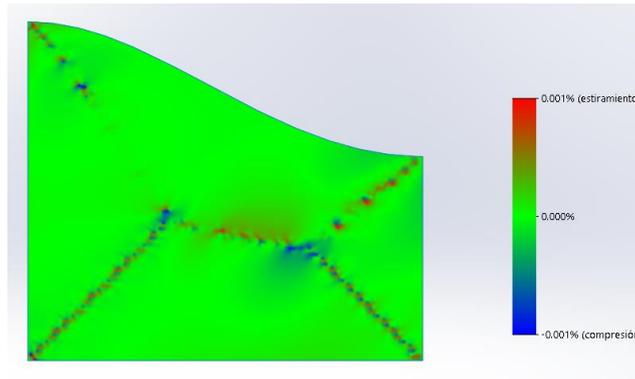


Ilustración 85: Mapa de deformaciones del desarrollo del colector pequeño

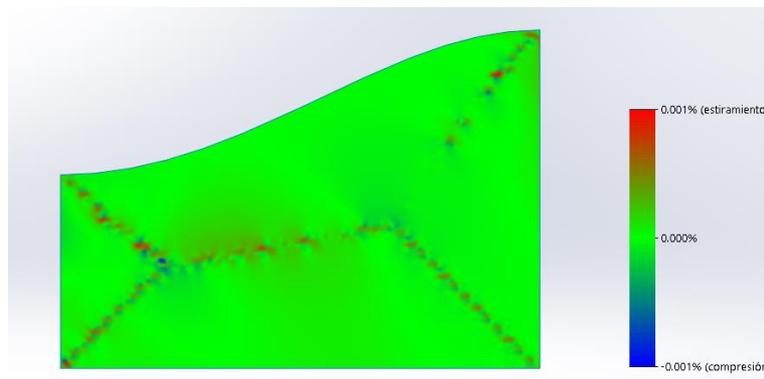


Ilustración 86: Mapa de deformaciones del desarrollo del colector grande.

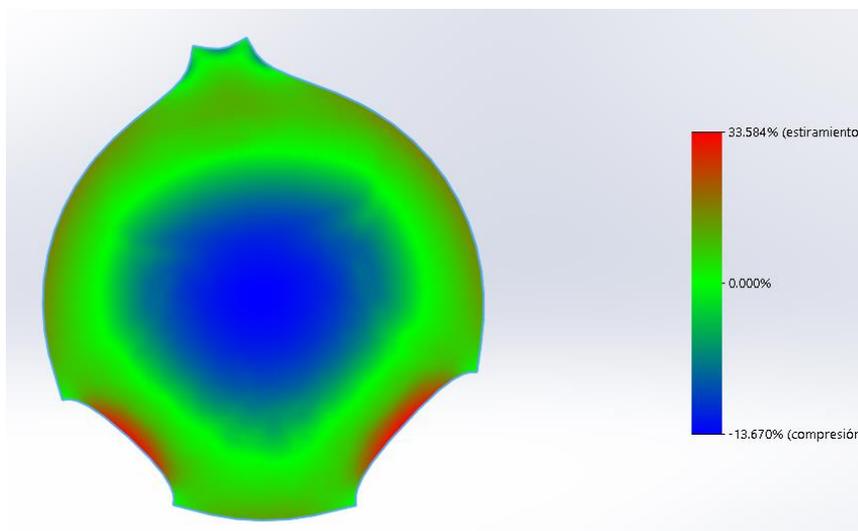


Ilustración 87: Mapa de deformaciones del desarrollo del plenum y difusor.

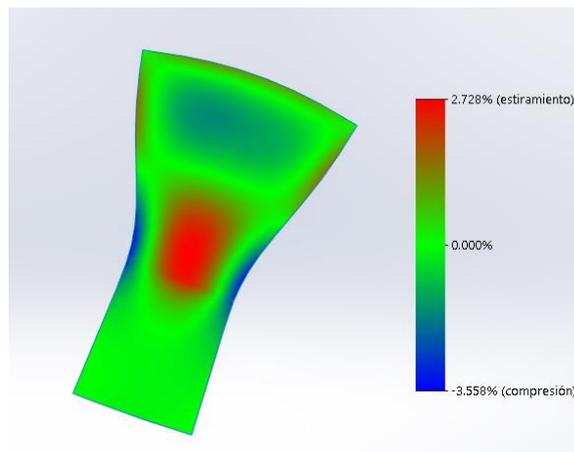


Ilustración 88: Mapa de deformaciones del desarrollo del restrictor

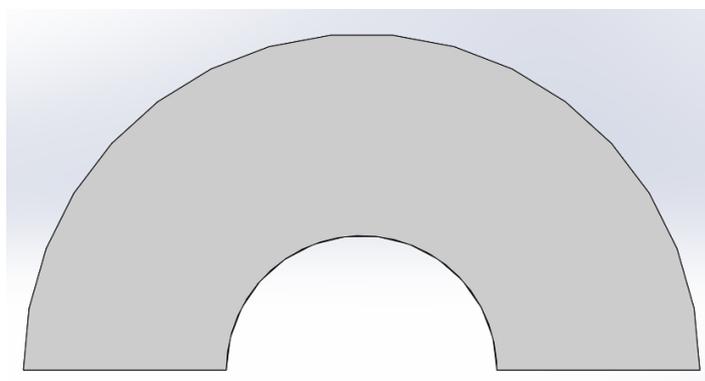


Ilustración 89: Mapa de deformaciones del desarrollo del Soporte superior (superficie plana).

Como se ha observado el único desarrollo que podrá dar problemas de laminación será la parte esférica del plenum, por ese motivo se ha dividido en dos piezas consiguiendo reducir la deformación a compresión en un 6% y la de tracción en un 3%. El resto de piezas se encuentran por debajo de un 10% de deformación por lo que no generaran problemas de laminado.

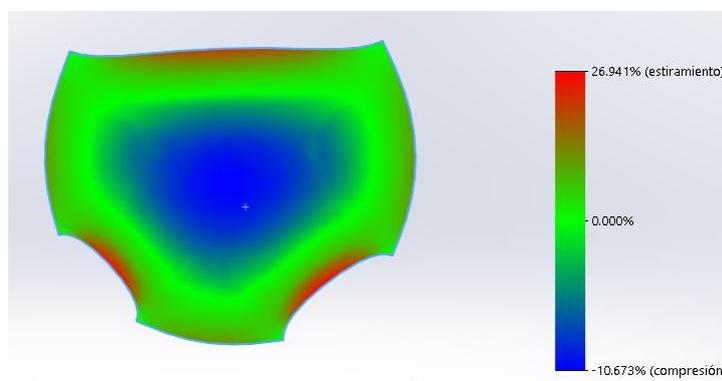


Ilustración 90: Mapa de deformaciones del desarrollo del plenum.

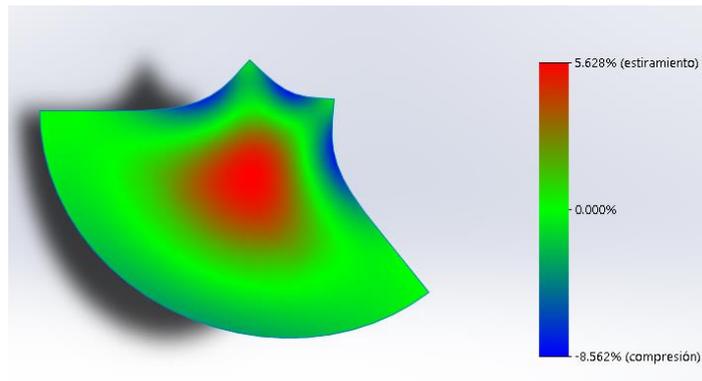


Ilustración 91: Mapa de deformaciones del desarrollo del difusor.

Como la laminación se va a realizar en fibra de vidrio se pueden permitir deformaciones de hasta un 30% aproximadamente ya que la fibra se adapta con mayor facilidad que si fuera fibra de carbono RC, no obstante para futuras admisiones, o la reducción de peso de esta mediante el uso de fibras de carbono se deberá reducir la deformación hasta un máximo de un 20 % aproximadamente para evitar pliegues y deslizamientos extremos de las fibras.

Para realizar el laminado se aplican tres capas de fibra de vidrio con resina de epoxi, a continuación se tapa con una capa de peelplay (tejido que aporta rugosidad al acabado superficial de la pieza permitiendo lijarla sin dañar las fibras), el film sangrador (plástico semiperforado que permite el paso de la resina sobrante para reducir peso) y una capa de manta absorbente (material lanoso que almacena la resina sobrante), una vez aplicadas se meten los moldes dentro de la bolsa de vacío y se introduce una malla de distribución de vacío entre la manta y la bolsa de vacío, se cierra la bolsa y se deja al vacío a una temperatura de 40°C durante 10 horas.

Una vez se han laminado las dos partes de la admisión se introducen los colectores en el interior de una mitad, se posiciona y se pega con resina epoxi, posteriormente se cierra la admisión con la otra mitad, una vez cerrada se realiza un laminado externo para fijar y sellar bien las juntas evitando así fugas de aire. Finalmente se lija, apareja y pinta la admisión, el resultado es el mostrado en la ilustración 92.



Ilustración 92: Admisión acabada.

Finalmente se fabricaron los soportes de la admisión que evitan la vibración y su posible desplazamiento conforme al artículo CV1.3.4 de la normativa, para ello se ha fabricado un soporte rígido en aluminio desde la culata del motor hasta el soporte superior de la admisión y un soporte (flexible) desde la parte superior del mainhoop hasta los anclajes del cuerpo de la mariposa aprovechando los perforados para roscar que trae de origen.



Ilustración 93: Soporte de aluminio.



Ilustración 94: Soporte de acero

5.5 Conclusión de la fase de fabricación del sistema de admisión

Tras haber realizado la fabricación de la pieza se realizó un testeo de la admisión para comprobar la estanqueidad del sistema introduciendo aire a presión con todos los orificios sellados y bañando la admisión con agua jabonosa, la admisión paso la prueba y fue montada en el vehículo, tras realizar 200 kilómetros de testeo en diferentes pruebas fue desmontada y supervisada para verificar el correcto aguante de la pieza, esta no mostro signos de fugas, grietas ni porosidades por lo que fue dado el visto bueno y montada de nuevo para su posterior uso.

6. VIABILIDAD ECONÓMICA

La viabilidad económica no se ha analizado ya que se trata de un proyecto para el diseño y fabricación de una pieza prototipada que se va a utilizar en la competición Formula Student, no se pretende vender ni se espera obtener un beneficio económico.

No obstante si se ha analizado los costes del proyecto en base a tablas de fabricación proporcionadas por la competición para realizar la partida presupuestaria del departamento de la unidad de potencia. Sin embargo hay que tener en cuenta que gran parte de la partida presupuestaria se obtendrá de diversas empresas colaboradoras y/o patrocinadoras que pueden provocar una reducción notable del precio final.

El precio final para la partida presupuestaria de la fase de diseño y la fase de fabricación es de:

Costes totales	
Costes de diseño	11.784,00 €
Costes de fabricación	469,80 €
Total	12.253,80 €

Tabla 21: Costes totales del proyecto

7. CONCLUSIONES Y FUTUROS PROYECTOS

En este proyecto se ha estudiado el diseño de un nuevo sistema de admisión para un motor de Suzuki SV650S utilizando herramientas computacionales, gracias a estas herramientas se ha conseguido evitar la pérdidas de potencia producida por las restricciones que exige la normativa de la competición.

Además de evitar la pérdida de potencia se ha conseguido aumentar el par motor al régimen de 7000 rpm como se deseaba en un 9%, permite obtener potencias máximas de hasta un 14% superior que la admisión de origen a 9000 rpm y la eficiencia volumétrica ha llegado a su límite de 100% para motores atmosféricos en rangos de 6000 rpm a 1000 rpm.

Respecto a la fabricación se ha obtenido un sistema de admisión rígido, resistente a fatiga y a las temperaturas del motor que cumple con todas las restricciones pertinentes exigidas por la normativa y ha permitido aumentar la potencia del vehículo mediante la modificación de los mapas de inyección del motor, el peso final del conjunto ha sido de 1.8 kg entre la admisión cuerpo de mariposa y soportes.

Tras la fabricación, testeo de la admisión y las posteriores competiciones en las que se ha competido se puede concluir que las futuras mejoras para los próximos proyectos se centraran en los siguientes aspectos.

- Debido a que el rango de giro más aprovechable ya se encuentra en una eficiencia volumétrica de 1, se debería estudiar la opción de cambiar de un sistema de aspiración natural a un sistema sobrealimentado.
- En el caso de mantener el sistema de aspiración natural analizar las ventajas y desventajas de añadir un sistema de admisión de longitud de colector variable con el objetivo de poder modificar el pico de la curva de potencia para diferentes regímenes de giro, la inserción de una curva en la parte superior de la admisión para encarar la entrada de aire con la dirección del viento permitiendo así una mayor presión de entrada cuando el vehículo se desplace a altas velocidades.
- Introducción de más sensores (presión, temperatura, caudal...) para la obtención de mejores datos para su posterior tratamiento, uso en los programas de simulación y verificación de su correcto funcionamiento.
- En el campo de la fabricación hacer uso de fibras de carbono o fibras de carbono pre impregnadas para conseguir una admisión más ligera, eliminar los cuerpos de los inyectores para ganar espacio y reducir peso fabricándolos directamente en los colectores de admisión y finalmente diseñar el cuerpo de admisión permitiendo así un aligerado mayor de la pieza.

8. BIBLIOGRAFÍA

Prof.F.Payri y Prof.J.M.Desantes. (2015). Motores de combustión interna alternativos. Valencia: Reverte. (Ilustración 6, 7, 8).

Versteeg, H.K. and Malalasekera, W. (1995) An Introduction to Computational Fluid Dynamics the Finite Volume Method. Longman Scientific and Technical, England.

Shinde, P. (2014). Research and optimization of intake restrictor for Formula SAE car engine. VIT University.

John B. Heywood, "Internal Combustion Engine Fundamentals", Ed: McGraw-Hill.

Hinojosa, D. Piña, D. Erazo, G. Salazar, F. (2014) Diseño y construcción del sistema de control de ingreso y salida de gases del motor honda CBR600 F4i para el prototipo SAE 2014. Universidad de las fuerzas armadas ESPE.

OH YIDE, A. (2012). Design and analysis of the intake system of a formula SAE car. Universidad de Singapur.

Manual de taller Suzuki SV650S K7.

Bibliografía Electrónica:

Guía de usuario de Ricardo Software WAVE.

Guía de usuario de ANSYS Workbench.

Guía de usuario de ANSYS CFX.

Historia de la inyección:

<https://es.scribd.com/doc/65804518/HISTORIA-Y-EVOLUCION-DE-LA-INYECCION-ELECTRONICA-TAREA>

Foto ciclo Otto 4 tiempos (Ilustración 1):

<https://jasf1961.wordpress.com/tag/ciclo-otto/>

Ilustración del diagrama de válvulas (Ilustración 2):

<http://www.moto125.cc/f125cc/reportajes/tenica/item/746-tecnica-distribucion>

Componentes de un motor MCIA (Ilustración 3):

<http://www.areatecnologia.com/TUTORIALES/MOTOR%20DE%20COMBUSTION.htm>

Información sobre motores de aspiración natural (Ilustración 4 y 5):

https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000500005

MEMORIA

Resonador Helmholtz (Ilustración 9)

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/ondas/acustica/resonador/resonador.htm>

Información de sistemas de carburación (Ilustración 10):

<http://www.bolsamania.com/kmph/la-historia-del-carburador-tipos-y-utilidades-del-mismo/>

<http://www.aficionadosalamecanica.net/carburador2.htm>

Información sobre inyección directa (Ilustración 11):

https://es.wikipedia.org/wiki/Inyecci%C3%B3n_directa

<http://www.aficionadosalamecanica.net/inyec-gasoli-direc.htm>

Información sobre Inyección indirecta (Ilustración 12):

<http://mecatronic-mecatronica.blogspot.com/2009/03/inyeccion-electronica-introduccion-los.html>

Historia de la Formula Student:

https://es.wikipedia.org/wiki/F%C3%B3rmula_Student

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: CICLO OTTO REAL (SUPERIOR), CICLO OTTO IDEAL (INFERIOR)	13
ILUSTRACIÓN 2: APERTURA Y CIERRE DE VÁLVULAS DURANTE EL CICLO DE COMBUSTIÓN	15
ILUSTRACIÓN 3: COMPONENTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO (MCIA)	16
ILUSTRACIÓN 4: EFECTO DE LA ALTITUD SOBRE EL RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO Y LA POTENCIA EFECTIVA MÁXIMA DE UN MOTOR DE ASPIRACIÓN NATURAL.....	17
ILUSTRACIÓN 5: POTENCIA INDICADA EN FUNCIÓN DE LA ALTITUD PARA DIFERENTES GRADOS DE SOBREALIMENTACIÓN (P_i/P_{i0}).....	18
ILUSTRACIÓN 6: DIAGRAMA DE APERTURA DE VÁLVULAS, Y AUMENTO DE PRESIÓN DEL CILINDRO.....	18
ILUSTRACIÓN 7: DESPLAZAMIENTO DE UNA ONDA DE PRESIÓN ATRAVÉS DEL COLECTOR PRIMARIO.....	20
ILUSTRACIÓN 8: ILUSTRACIÓN DE LAS VARIABLES DE LA ECUACIÓN 6 EN UN SISTEMA DE ADMISIÓN TETRA CILÍNDRICO.....	21
ILUSTRACIÓN 9: RESONADOR HELMHOLTZ Y SU COMPORTAMIENTO FÍSICO.....	22
ILUSTRACIÓN 10: COMPONENTES DE UN CARBURADOR.....	24
ILUSTRACIÓN 11: SISTEMA DE INYECCIÓN DIRECTA.....	25
ILUSTRACIÓN 12: POSICIONAMIENTO DE EL/LOS INYECTORES EN UN SISTEMA DE INYECCIÓN INDIRECTA MONOPUNTO Y MULTIPUNTO.....	26
ILUSTRACIÓN 13: PANTALLA GENERAL DE LA VÁLVULA DE ADMISIÓN.....	32
ILUSTRACIÓN 14: PANTALLA DE EDICIÓN DEL PERFIL DE ELEVACIÓN DE LA VÁLVULA DE ADMISIÓN.....	33
ILUSTRACIÓN 15: PANTALLA DE EDICIÓN DEL PERFIL DE COEFICIENTE DE FLUJO DE LA VÁLVULA DE ADMISIÓN.....	33
ILUSTRACIÓN 16: PANTALLA GENERAL DE LA VÁLVULA DE ESCAPE.....	34
ILUSTRACIÓN 17: PANTALLA DE EDICIÓN DEL PERFIL DE ELEVACIÓN DE LA VÁLVULA DE ESCAPE.....	34
ILUSTRACIÓN 18: PANTALLA DE EDICIÓN DEL PERFIL DE COEFICIENTE DE FLUJO DE LA VÁLVULA DE ESCAPE.....	34
ILUSTRACIÓN 19: PANTALLA GENERAL DE LA VÁLVULA DE MARIPOSA.....	35
ILUSTRACIÓN 20: PANTALLA DE EDICIÓN DEL PERFIL DE COEFICIENTES DE FLUJO DE LA VÁLVULA DE MARIPOSA.....	35
ILUSTRACIÓN 21: ESQUEMA MOTOR ORIGINAL SUZUKI SV650S.....	36
ILUSTRACIÓN 22: CURVAS DE PAR (LB·FT) Y POTENCIA (HP) DEL MOTOR SV650S SUZUKI OBTENIDAS DE LA PÁGINA WEB SPORT RIDER.COM.....	36
ILUSTRACIÓN 23: CURVA DE POTENCIA OBTENIDA CON EL PROGRAMA.....	37

ILUSTRACIÓN 24: CURVA DE PAR MOTOR NETO OBTENIDO CON EL PROGRAMA.....	37
ILUSTRACIÓN 25: SISTEMA SIN PLENUM, CON UN PLENUM, CON DOS PLENUMS.....	38
ILUSTRACIÓN 25: GRAFICA DE LA CURVA DE POTENCIA MOTOR CON DIFERENTES SISTEMAS.	39
ILUSTRACIÓN 26: GRAFICA DE LA CURVA DE PAR MOTOR CON DIFERENTES SISTEMAS.	39
ILUSTRACIÓN 27: GRÁFICA DE LA CURVA DE RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO CON DIFERENTES SISTEMAS.....	40
ILUSTRACIÓN 28: GRAFICA DE LA CURVA DE POTENCIA MOTOR CON DIFERENTES VOLÚMENES	41
ILUSTRACIÓN 29: GRAFICA DE LA CURVA DE PAR MOTOR CON DIFERENTES VOLÚMENES	41
ILUSTRACIÓN 30: GRÁFICA DE LA CURVA DE RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO CON DIFERENTES VOLÚMENES	42
ILUSTRACIÓN 31: GRAFICA DE LA CURVA DE POTENCIA MOTOR CON DIFERENTES LONGITUDES DE COLECTOR PRIMARIO	43
ILUSTRACIÓN 32: GRAFICA DE LA CURVA DE PAR MOTOR CON DIFERENTES LONGITUDES DE COLECTOR PRIMARIO.....	43
ILUSTRACIÓN 33: GRÁFICA DE LA CURVA DE RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO CON DIFERENTES LONGITUDES DE COLECTOR PRIMARIO.	44
ILUSTRACIÓN 34: GRAFICA DE LA CURVA DE POTENCIA MOTOR CON DIFERENTES DIÁMETROS DE COLECTOR PRIMARIO	45
ILUSTRACIÓN 35: GRAFICA DE LA CURVA DE PAR MOTOR CON DIFERENTES DIÁMETROS DE COLECTOR PRIMARIO.....	45
ILUSTRACIÓN 36: GRÁFICA DE LA CURVA DE RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO CON DIFERENTES DIÁMETROS DE COLECTOR PRIMARIO.....	46
ILUSTRACIÓN 37: GRAFICA DE LA CURVA DE POTENCIA MOTOR CON DIFERENTES LONGITUDES DE ENTRADA DEL RESTRICTOR.....	47
ILUSTRACIÓN 38: GRAFICA DE LA CURVA DE PAR MOTOR CON DIFERENTES LONGITUDES DE ENTRADA DEL RESTRICTOR	47
ILUSTRACIÓN 39: GRÁFICA DE LA CURVA DE RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO CON DIFERENTES LONGITUDES DE ENTRADA DEL RESTRICTOR.....	48
ILUSTRACIÓN 40: GRAFICA DE LA CURVA DE POTENCIA MOTOR CON DIFERENTES LONGITUDES DE SALIDA DEL RESTRICTOR.....	48
ILUSTRACIÓN 41: GRAFICA DE LA CURVA DE PAR MOTOR CON DIFERENTES LONGITUDES DE SALIDA DEL RESTRICTOR.	49
ILUSTRACIÓN 42: GRÁFICA DE LA CURVA DE RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO CON DIFERENTES LONGITUDES DE SALIDA DEL RESTRICTOR.....	49
ILUSTRACIÓN 43: GRAFICA DE POTENCIA CON LOS RESULTADOS.	50
ILUSTRACIÓN 44: GRAFICA DE PAR MOTOR CON LOS RESULTADOS.....	50
ILUSTRACIÓN 45: GRAFICA DE RENDIMIENTOS VOLUMÉTRICO CON LOS RESULTADOS.	51
ILUSTRACIÓN 46: ZONA DE RESTRICCIÓN DEL SISTEMA DE ADMISIÓN Y COMBUSTIBLE.	53

ILUSTRACIÓN 47: CONFIGURACIÓN DE UN SISTEMA DE ADMISIÓN DE ASPIRACIÓN NATURAL.	55
ILUSTRACIÓN 48: CONFIGURACIÓN DE UN SISTEMA DE ADMISIÓN CON TURBOCARGADOR O SUPERCARGADOR.	55
ILUSTRACIÓN 49: ESPACIO LIBRE EN EL VEHÍCULO PARA LA ADMISIÓN VISTA LATERAL.....	56
ILUSTRACIÓN 50: ESPACIO LIBRE EN EL VEHÍCULO PARA LA ADMISIÓN VISTA SUPERIOR	56
ILUSTRACIÓN 51: ESPACIO LIBRE EN EL VEHÍCULO PARA LA ADMISIÓN VISTA FRONTAL.....	57
ILUSTRACIÓN 52: MODELADO DEL SISTEMA CUADRADO Y MODELADO DEL SISTEMA ESFÉRICO.	57
ILUSTRACIÓN 53: FIGURA DE LOS DIFERENTES ESTADOS TRANSITORIOS Y EL CICLO DE ADMISIÓN.	59
ILUSTRACIÓN 54: VELOCIDAD DEL FLUJO EN EL PUNTO MÁXIMO DE DEPRESIÓN DEL CILINDRO TRASERO Y DEL CILINDRO DELANTERO DEL SISTEMA DE ADMISIÓN CUBICO.....	61
ILUSTRACIÓN 55: PRESIÓN DENTRO DEL SISTEMA CUBICO EN EL PUNTO MÁXIMO DE DEPRESIÓN DEL CILINDRO TRASERO Y DEL CILINDRO DELANTERO.....	62
ILUSTRACIÓN 56: TURBULENCIA GENERADA EN EL SISTEMA CUBICO EN EL PUNTO MÁXIMO DE DEPRESIÓN DEL CILINDRO TRASERO Y DEL CILINDRO DELANTERO.....	62
ILUSTRACIÓN 57: GRAFICA DE CAUDAL INSTANTÁNEO DEL CILINDRO TRASERO (MORADO) Y EL CILINDRO DELANTERO (VERDE) DEL SISTEMA CUBICO.....	63
ILUSTRACIÓN 58: VELOCIDAD DEL FLUJO EN EL PUNTO MÁXIMO DE DEPRESIÓN DEL CILINDRO TRASERO Y DEL CILINDRO DELANTERO DEL SISTEMA ESFÉRICO.	63
ILUSTRACIÓN 59: PRESIÓN DENTRO DEL SISTEMA ESFÉRICO EN EL PUNTO MÁXIMO DE DEPRESIÓN DEL CILINDRO TRASERO Y DEL CILINDRO DELANTERO.....	64
ILUSTRACIÓN 60: TURBULENCIA GENERADA EN EL SISTEMA ESFÉRICO EN EL PUNTO MÁXIMO DE DEPRESIÓN DEL CILINDRO TRASERO Y DEL CILINDRO DELANTERO.	64
ILUSTRACIÓN 61: GRAFICA DE CAUDAL INSTANTÁNEO DEL CILINDRO TRASERO (MORADO) Y EL CILINDRO DELANTERO (VERDE) DEL SISTEMA ESFERICO.....	65
ILUSTRACIÓN 62: MODELADO CON TROMPETAS.....	66
ILUSTRACIÓN 63: VELOCIDAD DEL FLUJO EN EL PUNTO MÁXIMO DE DEPRESIÓN DEL CILINDRO TRASERO Y DEL CILINDRO DELANTERO DEL SISTEMA ESFÉRICO CON TROMPETAS.....	67
ILUSTRACIÓN 64: PRESIÓN DENTRO DEL SISTEMA ESFÉRICO CON TROMPETAS EN EL PUNTO MÁXIMO DE DEPRESIÓN DEL CILINDRO TRASERO Y DEL CILINDRO DELANTERO.....	67
ILUSTRACIÓN 65: TURBULENCIA GENERADA EN EL SISTEMA ESFÉRICO CON TROMPETAS EN EL PUNTO MÁXIMO DE DEPRESIÓN DEL CILINDRO TRASERO Y DEL CILINDRO DELANTERO.	68
ILUSTRACIÓN 66: GRAFICA DE CAUDAL INSTANTÁNEO DEL CILINDRO TRASERO (MORADO) Y EL CILINDRO DELANTERO (VERDE) DEL SISTEMA ESFÉRICO CON TROMPETAS.....	68
ILUSTRACIÓN 67: MODELADO CON TROMPETA Y DIFUSOR.....	69
ILUSTRACIÓN 68: VELOCIDAD DEL FLUJO EN EL PUNTO MÁXIMO DE DEPRESIÓN DEL CILINDRO TRASERO Y DEL CILINDRO DELANTERO SISTEMA ESFÉRICO CON TROMPETAS Y DIFUSOR.....	70

ILUSTRACIÓN 69: PRESIÓN DENTRO DEL SISTEMA ESFÉRICO CON TROMPETAS Y DIFUSOR EN EL PUNTO MÁXIMO DE DEPRESIÓN DEL CILINDRO TRASERO Y DEL CILINDRO DELANTERO.	70
ILUSTRACIÓN 70: TURBULENCIA GENERADA EN EL SISTEMA ESFÉRICO CON TROMPETAS Y DIFUSOR EN EL PUNTO MÁXIMO DE DEPRESIÓN DEL CILINDRO TRASERO Y DEL CILINDRO DELANTERO.	71
ILUSTRACIÓN 71: GRAFICA DE CAUDAL INSTANTÁNEO DEL CILINDRO TRASERO (MORADO) Y EL CILINDRO DELANTERO (VERDE) DEL SISTEMA ESFÉRICO CON TROMPETAS Y DIFUSOR.	71
ILUSTRACIÓN 72: CURVAS DE CAUDAL MÁXICO INSTANTÁNEO DEL CILINDRO DELANTERO DE LOS DIFERENTES CASOS ANALIZADOS.....	72
ILUSTRACIÓN 73: CURVAS DE CAUDAL MÁXICO INSTANTÁNEO DEL CILINDRO TRASERO DE LOS DIFERENTES CASOS ANALIZADOS.....	73
ILUSTRACIÓN 74: VISTA LATERAL DE LA ADMISIÓN FINAL Y VISTA SECCIONADA.....	75
ILUSTRACIÓN 75: VISTA GENERAL DE LA ADMISIÓN FINAL.	76
ILUSTRACIÓN 76: APLICACIÓN DE LA GRAVEDAD EN EL SISTEMA DE AIRE DE ADMISIÓN.	77
ILUSTRACIÓN 77: APLICACIÓN DE PRESIONES PRODUCIDAS POR EL FLUIDO DENTRO DEL SISTEMA DE AIRE.....	77
ILUSTRACIÓN 78: APLICACIÓN DE LAS FUERZAS PRODUCIDAS POR EL APRIETE DE LOS TORNILLOS.....	78
ILUSTRACIÓN 79: DESPLAZAMIENTOS DE LA DEFORMADA. CASO CON PRESIÓN, CASO CON DEPRESIÓN.	78
ILUSTRACIÓN 80: TENSIONES (VONMISES). CASO CON PRESIÓN, CASO CON DEPRESIÓN.	79
ILUSTRACIÓN 81: VISTA PLANTA DEL MOLDE Y DEL MOLDE SIMÉTRICO DE LA ADMISIÓN.....	80
ILUSTRACIÓN 82: VISTA LATERAL DEL MOLDE DE LA ADMISIÓN.	80
ILUSTRACIÓN 83: VISTA GENERAL DEL MOLDE DE LA ADMISIÓN.	80
ILUSTRACIÓN 84: PREPARACIÓN DEL CAM PARA SU POSTERIOR MECANIZADO.	81
ILUSTRACIÓN 85: MAPA DE DEFORMACIONES DEL DESARROLLO DEL COLECTOR PEQUEÑO ...	82
ILUSTRACIÓN 86: MAPA DE DEFORMACIONES DEL DESARROLLO DEL COLECTOR GRANDE.	82
ILUSTRACIÓN 87: MAPA DE DEFORMACIONES DEL DESARROLLO DEL PLENUM Y DIFUSOR.	82
ILUSTRACIÓN 88: MAPA DE DEFORMACIONES DEL DESARROLLO DEL RESTRICTOR.....	83
ILUSTRACIÓN 89: MAPA DE DEFORMACIONES DEL DESARROLLO DEL SOPORTE SUPERIOR (SUPERFICIE PLANA).	83
ILUSTRACIÓN 90: MAPA DE DEFORMACIONES DEL DESARROLLO DEL PLENUM.	83
ILUSTRACIÓN 91: MAPA DE DEFORMACIONES DEL DESARROLLO DEL DIFUSOR.	84
ILUSTRACIÓN 92: ADMISIÓN ACABADA.....	85
ILUSTRACIÓN 93: SOPORTE DE ALUMINIO. ILUSTRACIÓN 94: SOPORTE DE ACERO.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: PUNTUACIÓN DE LAS PRUEBAS DE FORMULA STUDENT	11
TABLA 2: PARÁMETROS GEOMÉTRICOS GENERALES DEL MOTOR SUZUKI SV650	31
TABLA 3: PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE LA VÁLVULA DE ADMISIÓN	32
TABLA 4: PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE LA VÁLVULA DE ESCAPE.....	33
TABLA 5: PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE LA VÁLVULA DE MARIPOSA.....	35
TABLA 6: PARÁMETROS INICIALES OBTENIDOS DE LOS CÁLCULOS TEÓRICOS ANEXO 1.	38
TABLA 7: PARÁMETROS GENERALES DEL ESTADO ESTACIONARIO.	58
TABLA 8: PARÁMETROS GENERALES DE LA ENTRADA EN EL ESTADO ESTACIONARIO.....	58
TABLA 9: PARÁMETROS GENERALES DE LA SALIDA DELANTERA EN EL ESTADO ESTACIONARIO.	59
TABLA 10: PARÁMETROS GENERALES DE LA SALIDA TRASERA EN EL ESTADO ESTACIONARIO.	59
TABLA 11: PARÁMETROS GENERALES DE LAS PAREDES EN EL ESTADO ESTACIONARIO.....	59
TABLA 12: ESTADO DE LAS SALIDAS EN CADA ESTADO TRANSITORIO.	60
TABLA 13: PARÁMETROS GENERALES DE LA ENTRADA EN EL ESTADO TRANSITORIO.....	60
TABLA 14: PARÁMETROS GENERALES DE LA SALIDA DELANTERA EN EL ESTADO TRANSITORIO.	60
TABLA 15: PARÁMETROS GENERALES DE LA SALIDA TRASERA EN EL ESTADO TRANSITORIO....	60
TABLA 16: TIEMPOS Y DURACIONES DE LOS ESTADOS TRANSITORIOS.	61
TABLA 17: RESULTADOS DE LOS SISTEMAS DE ADMISIÓN CUADRADO Y ESFÉRICO.	65
TABLA 18: GRÁFICA DE CAUDALES FINALES DE LOS DIFERENTES CASOS.	73
TABLA 19: PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA LA SIMULACIÓN.	76
TABLA 20: PARÁMETROS UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	78
TABLA 21: COSTES TOTALES DEL PROYECTO.....	87

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1: CALCULO DEL DIÁMETRO DEL COLECTOR PRIMARIO.....	19
ECUACIÓN 2: CALCULO DEL DESFASE TEMPORAL	20
ECUACIÓN 3: CALCULO DEL DESFASE ANGULAR	20
ECUACIÓN 4: CALCULO DE LA LONGITUD DEL COLECTOR PRIMARIO.	20
ECUACIÓN 5: CALCULO DEL PARÁMETRO DE FRECUENCIA PARA UN CONDUCTO DE EXTREMO ABIERTO.....	21
ECUACIÓN 6: CALCULO DEL PARÁMETRO DE FRECUENCIA DEL COLECTOR PARA MOTORES DE Z CILINDROS	21
ECUACIÓN 7: CALCULO DE LA FRECUENCIA DE RESONANCIA DEL RESONADOR HELMHOLTZ. .	22
ECUACIÓN 8: VOLUMEN ESPECIFICO AL FINAL DE LA ETAPA DE ADMISIÓN.....	26
ECUACIÓN 9: VOLUMEN ESPECIFICO AL FINAL DE LA ETAPA DE COMPRESIÓN.....	26
ECUACIÓN 10: PRESIÓN AL FINAL DE LA ETAPA DE COMPRESIÓN.....	26
ECUACIÓN 11: TEMPERATURA AL FINAL DE LA ETAPA DE COMPRESIÓN.	27
ECUACIÓN 12: TEMPERATURA AL FINAL DE LA FASE DE COMBUSTIÓN.	27
ECUACIÓN 13: PRESIÓN AL FINAL DE LA FASE DE COMBUSTIÓN.....	27
ECUACIÓN 14: PRESIÓN AL FINAL DE LA ETAPA DE EXPANSIÓN.	27
ECUACIÓN 15: TEMPERATURA AL FINAL DE LA ETAPA DE EXPANSIÓN.....	27
ECUACIÓN 16: TRABAJO OBTENIDO DEL CICLO.....	28
ECUACIÓN 17: PRESIÓN MEDIA INDICADA DEL CICLO DE AIRE.....	28
ECUACIÓN 18: POTENCIA NETA INDICADA.....	28
ECUACIÓN 19: PAR MOTOR INDICADO.....	28
ECUACIÓN 20: EFICIENCIA VOLUMÉTRICA.....	28
ECUACIÓN 21: ECUACIONES DE NAVIER STOKES.....	29

ANEXOS

Anexo 1: Cálculos de longitudes y diámetros de los colectores primarios

Rpm	Longitud colector (mm)	Diametro colector (mm)	Caudal Volumetrico (m3/s) unitario	Caudal masico (Kg/s) unitario	Caudal Volumetrico (m3/s) total	Caudal masico (Kg/s) total
500	4267,2	5,610974339	0,001354167	0,001630552	0,002708333	0,003261104
1000	2133,6	7,935116008	0,002708333	0,003261104	0,005416667	0,006522208
1500	1422,4	9,718492635	0,0040625	0,004891656	0,008125	0,009783313
2000	1066,8	11,22194868	0,005416667	0,006522208	0,010833333	0,013044417
2500	853,44	12,54652004	0,006770833	0,00815276	0,013541667	0,016305521
3000	711,2	13,74402409	0,008125	0,009783313	0,01625	0,019566625
3500	609,6	14,84524271	0,009479167	0,011413865	0,018958333	0,022827729
4000	533,4	15,87023202	0,010833333	0,013044417	0,021666667	0,026088833
4500	474,1333333	16,83292302	0,0121875	0,014674969	0,024375	0,029349938
5000	426,72	17,7434588	0,013541667	0,016305521	0,027083333	0,032611042
5500	387,9272727	18,60949659	0,014895833	0,017936073	0,029791667	0,035872146
6000	355,6	19,43698527	0,01625	0,019566625	0,0325	0,03913325
6500	328,2461538	20,23065568	0,017604167	0,021197177	0,035208333	0,042394354
7000	304,8	20,99434358	0,018958333	0,022827729	0,037916667	0,045655458
7500	284,48	21,73121017	0,0203125	0,024458281	0,040625	0,048916563
8000	266,7	22,44389736	0,021666667	0,026088833	0,043333333	0,052177667
8500	251,0117647	23,13463986	0,023020833	0,027719385	0,046041667	0,055438771
9000	237,0666667	23,80534803	0,024375	0,029349938	0,04875	0,058699875
9500	224,5894737	24,45767012	0,025729167	0,03098049	0,051458333	0,061960979
10000	213,36	25,09304008	0,027083333	0,032611042	0,054166667	0,065222083
10500	203,2	25,71271463	0,0284375	0,034241594	0,056875	0,068483188
11000	193,9636364	26,31780247	0,029791667	0,035872146	0,059583333	0,071744292
11500	185,5304348	26,90928761	0,031145833	0,037502698	0,062291667	0,075005396
12000	177,8	27,48804818	0,0325	0,03913325	0,065	0,0782665
12500	170,688	28,0548717	0,033854167	0,040763802	0,067708333	0,081527604
13000	164,1230769	28,61046764	0,035208333	0,042394354	0,070416667	0,084788708
13500	158,0444444	29,15547791	0,0365625	0,044024906	0,073125	0,088049813
14000	152,4	29,69048543	0,037916667	0,045655458	0,075833333	0,091310917
14500	147,1448276	30,21602154	0,039270833	0,04728601	0,078541667	0,094572021
15000	142,24	30,73257215	0,040625	0,048916563	0,08125	0,097833125
15500	137,6516129	31,24058297	0,041979167	0,050547115	0,083958333	0,101094229
16000	133,35	31,74046403	0,043333333	0,052177667	0,086666667	0,104355333
16500	129,3090909	32,2325936	0,0446875	0,053808219	0,089375	0,107616438
17000	125,5058824	32,71732145	0,046041667	0,055438771	0,092083333	0,110877542
17500	121,92	33,19497185	0,047395833	0,057069323	0,094791667	0,114138646
18000	118,5333333	33,66584603	0,04875	0,058699875	0,0975	0,11739975
18500	115,3297297	34,13022447	0,050104167	0,060330427	0,100208333	0,120660854
19000	112,2947368	34,58836879	0,051458333	0,061960979	0,102916667	0,123921958
19500	109,4153846	35,04052352	0,0528125	0,063591531	0,105625	0,127183063
20000	106,68	35,48691761	0,054166667	0,065222083	0,108333333	0,130444167

ANEXOS

Anexo 2: Calculo del caudal máximo através del restrictor

Valores		Unidades
Diameter (A)	20	mm
A	0,000314159	
C	1	
Cp	1,007	J/Kg K
Cv	0,717	J/Kg K
K	1,40446304	
Density	1,2041	Kg/m ³
P	101300	Pa
Mass Flow Rate	0,07521133	Kg/s
Volume Flow Rate	0,062462694	m ³ /s

$$\text{Mass Flow Rate, } \dot{m} = C A \sqrt{k \rho P \left(\frac{2}{k+1}\right)^{(k+1)/(k-1)}; \text{ kg / s}$$

C = discharge coefficient
A = discharge hole cross-sectional area, m²
k = c_p/c_v of the gas
c_p = specific heat of the gas at constant pressure
c_v = specific heat of the gas at constant volume
ρ = real gas density at P and T, kg/m³
P = absolute upstream pressure of gas, Pa

ANEXOS

Anexo 3: Método de jerarquías analíticas para la elección del método de fabricación.

Parámetros de importancia	Peso	Coste	Dificultad de fabricacion	Tiempo de fabricacion	w	W
Peso (Kg)	1	5	3	5	2,942830956	0,551260864
Coste (€)	0,2	1	3	4	1,244665955	0,233154959
Dificultad fabricación (Escala 1- 10)	0,333333333	0,333333333	1	4	0,816496581	0,15294885
Tiempo de fabricación (h)	0,2	0,25	0,25	1	0,334370152	0,062635327
					Suma (w)	5,338363644

Impresión 3D	0,797544	2,6318952	4	40
Inyección de plástico	0,87153	2,876049	8	13
laminación asistida por vacío (glass)	0,6897	75,867	2	9
laminado con pre impregnados (carbon)	0,528352	105,6704	5	8,5
Mecanizado con CNC	1,133616	191,9510208	9	7,5

Impresión 3D	0,703539823	0,013711285	0,444444444	1	0,521643419
Inyección de plástico	0,76880531	0,014983244	0,888888889	0,325	0,583616712
laminación asistida por vacío	0,60840708	0,395241451	0,222222222	0,225	0,475625099
laminado con pre impregnados	0,466076696	0,550507101	0,555555556	0,2125	0,483564893
Mecanizado con CNC	1	1	1	0,1875	0,949108797

ANEXOS

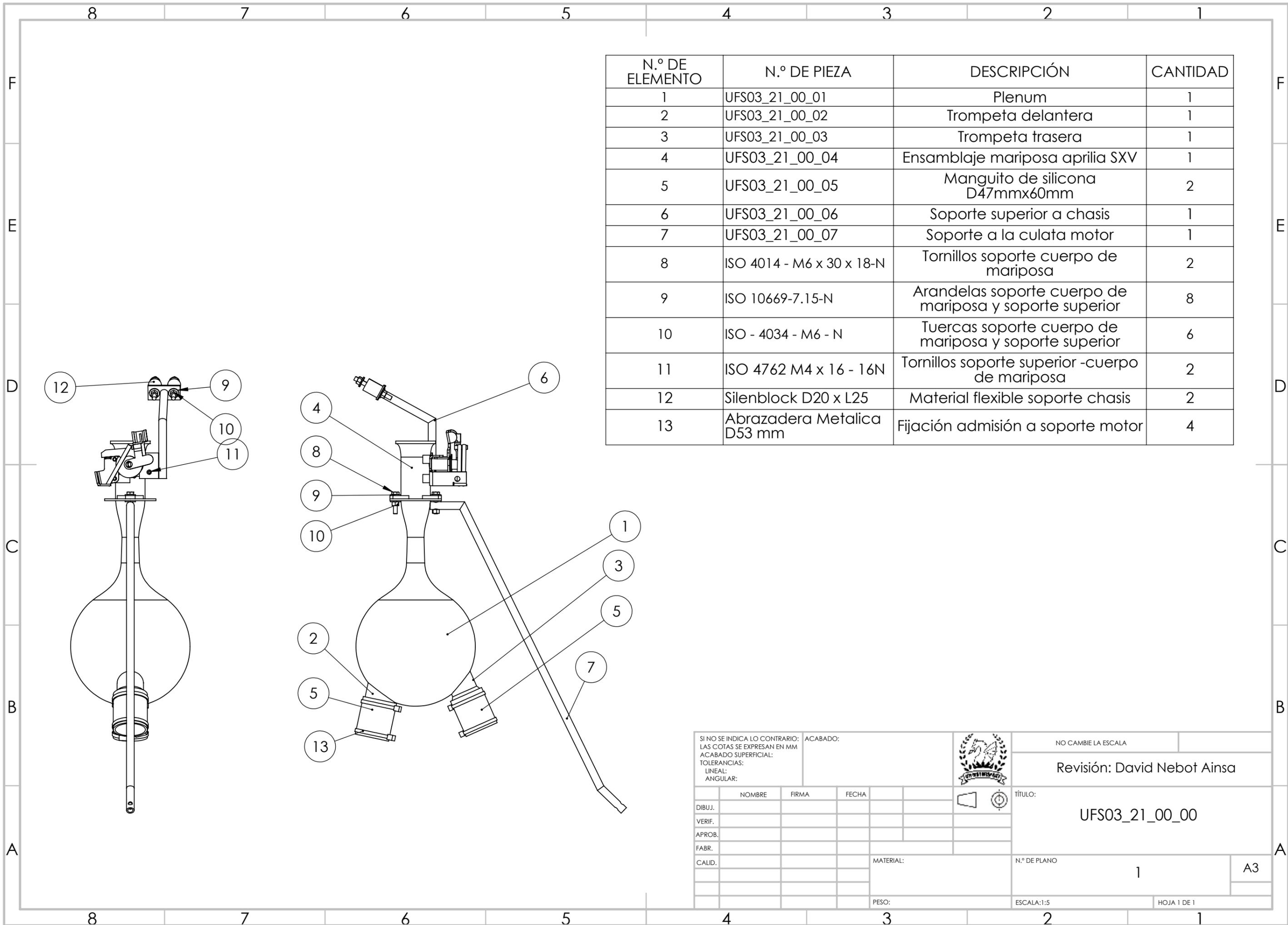
Volumen pieza	0,000418	m3
---------------	----------	----

	volumen bruto material	densidad (Kg/m3)	peso (Kg)	Material	cote unitario / Kg	coste material bruto	tiempo de faricacion (h)	
Impresión 3D		1060	0,797544	ABS (100% plástico)	3,3	2,6318952	40	piezas y acabado
Inyección de plástico		1390	0,87153	PVC rígido	3,3	2,876049	13	
laminación asistida por vacío (glass)		2200	0,6897		110	75,867	9	laminado, postratamiento y acabado
laminado con pre impregnados (carbon)		1580	0,528352		200	105,6704	8,5	laminado, postratamiento y acabado
Mecanizado con CNC	0,016852	2712	1,133616		4,2	191,9510208	7,5	mecanizado

PLANOS

ÍNDICE DE PLANO

UFS03_21_00_00 PLANO 1	109
UFS03_21_00_01 PLANO 1	110
UFS03_21_00_01 PLANO 2	111
UFS03_21_00_02 PLANO 1	112
UFS03_21_00_02 PLANO 2	113
UFS03_21_00_03 PLANO 1	114
UFS03_21_00_03 PLANO 2	115
UFS03_21_00_06 PLANO 1	116
UFS03_21_00_07 PLANO 1	117
UFS03_21_00_01_MOLDE_01 PLANO 1	118
UFS03_21_00_01_MOLDE_02 PLANO 2	119
UFS03_21_00_01_MOLDE / UFS03_21_00_01_MOLDE S PLANO 3.....	120



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	UFS03_21_00_01	Plenum	1
2	UFS03_21_00_02	Trompeta delantera	1
3	UFS03_21_00_03	Trompeta trasera	1
4	UFS03_21_00_04	Ensamblaje mariposa aprilia SXV	1
5	UFS03_21_00_05	Manguito de silicona D47mmx60mm	2
6	UFS03_21_00_06	Soporte superior a chasis	1
7	UFS03_21_00_07	Soporte a la culata motor	1
8	ISO 4014 - M6 x 30 x 18-N	Tornillos soporte cuerpo de mariposa	2
9	ISO 10669-7.15-N	Arandelas soporte cuerpo de mariposa y soporte superior	8
10	ISO - 4034 - M6 - N	Tuercas soporte cuerpo de mariposa y soporte superior	6
11	ISO 4762 M4 x 16 - 16N	Tornillos soporte superior -cuerpo de mariposa	2
12	Silenblock D20 x L25	Material flexible soporte chasis	2
13	Abrazadera Metalica D53 mm	Fijación admisión a soporte motor	4

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: ACABADO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

NO CAMBIE LA ESCALA

Revisión: David Nebot Ainsa

TÍTULO:
UFS03_21_00_00

N.º DE PLANO: 1

ESCALA: 1:5

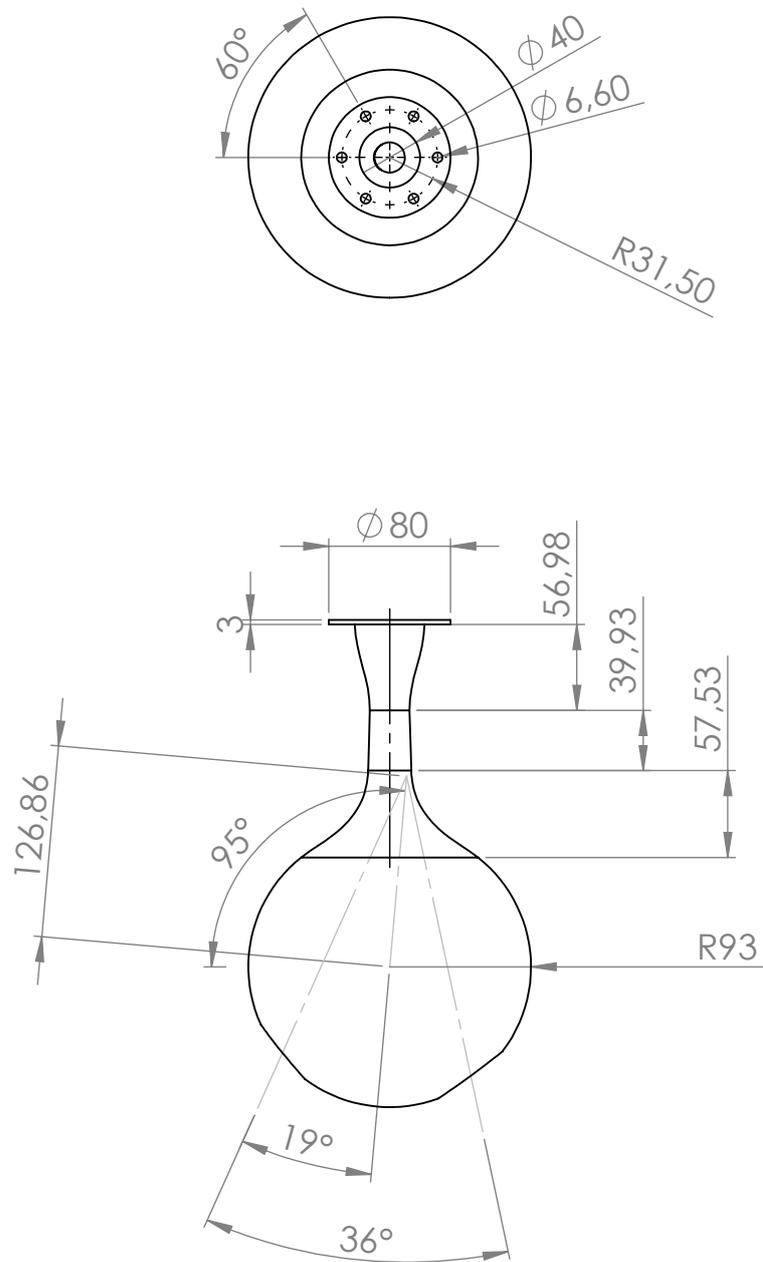
HOJA 1 DE 1

NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.		
VERIF.		
APROB.		
FABR.		
CALID.		

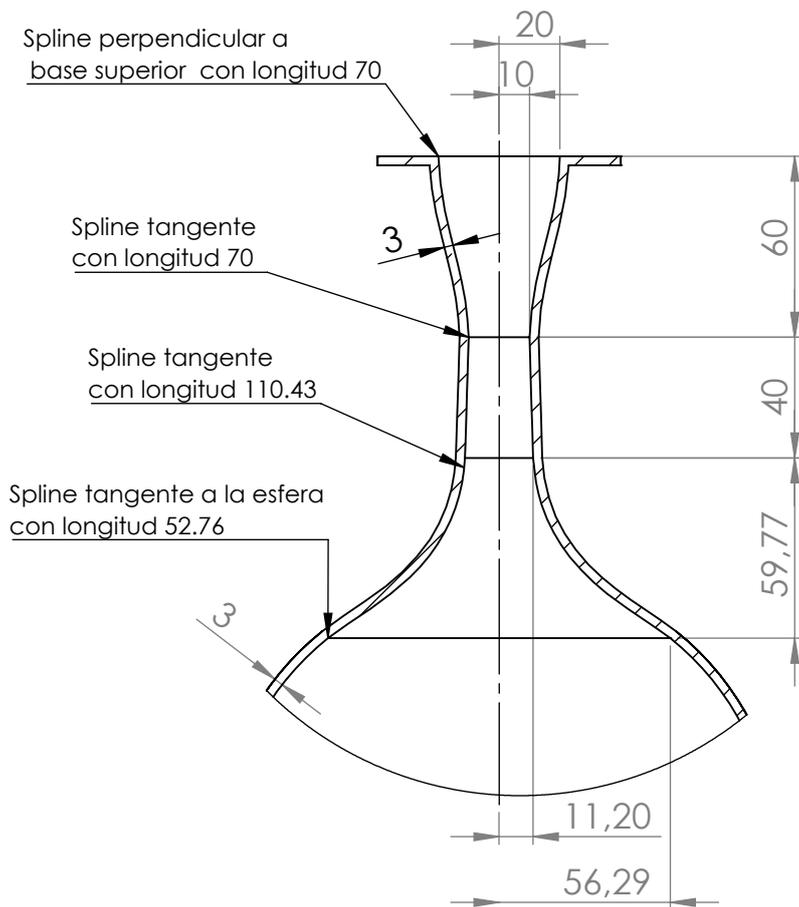
MATERIAL:

PESO:

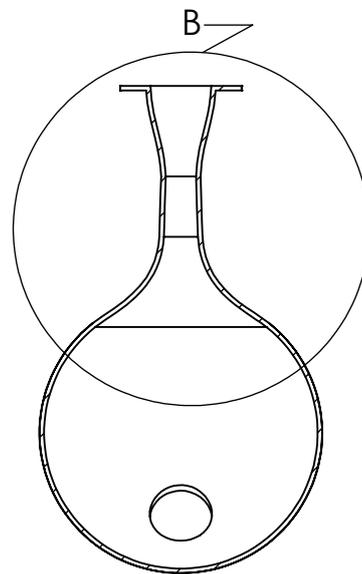
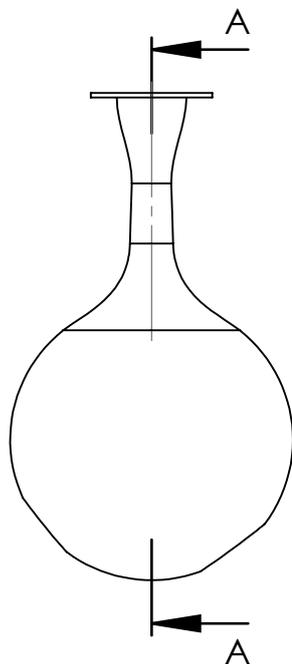
A3



			Observaciones: Medidas Generales y posicionamiento de los agujeros para los colectores	Plano n°: 1
Escala 1:5	Un. dim. mm 		Titulo: UFS03_21_00_01 Comprobado por: David Nebot Ainsa	Material Fibra de vidrio y epoxi Fecha: 20/04/2018

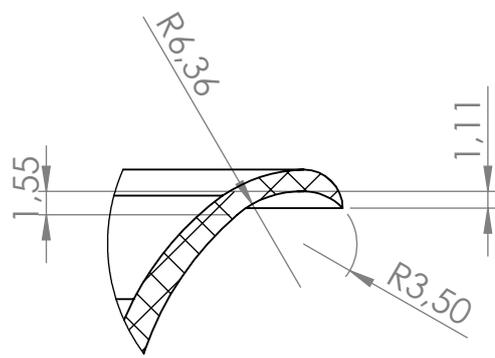
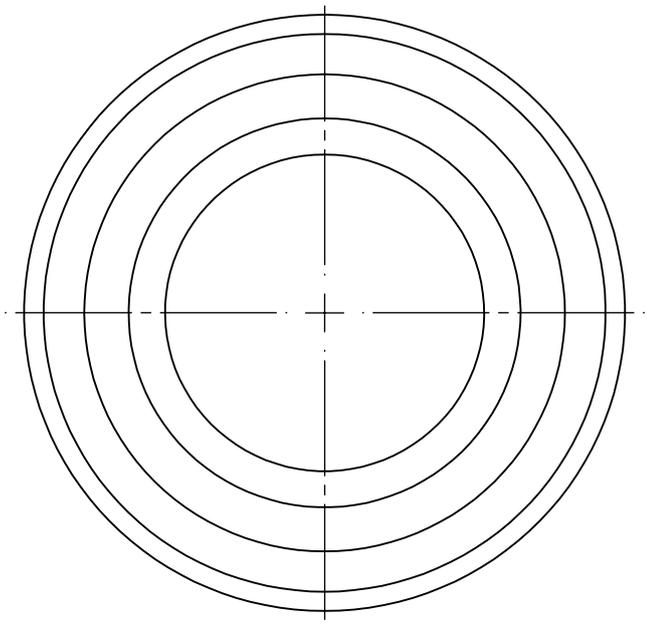


DETALLE B
ESCALA 2 : 5

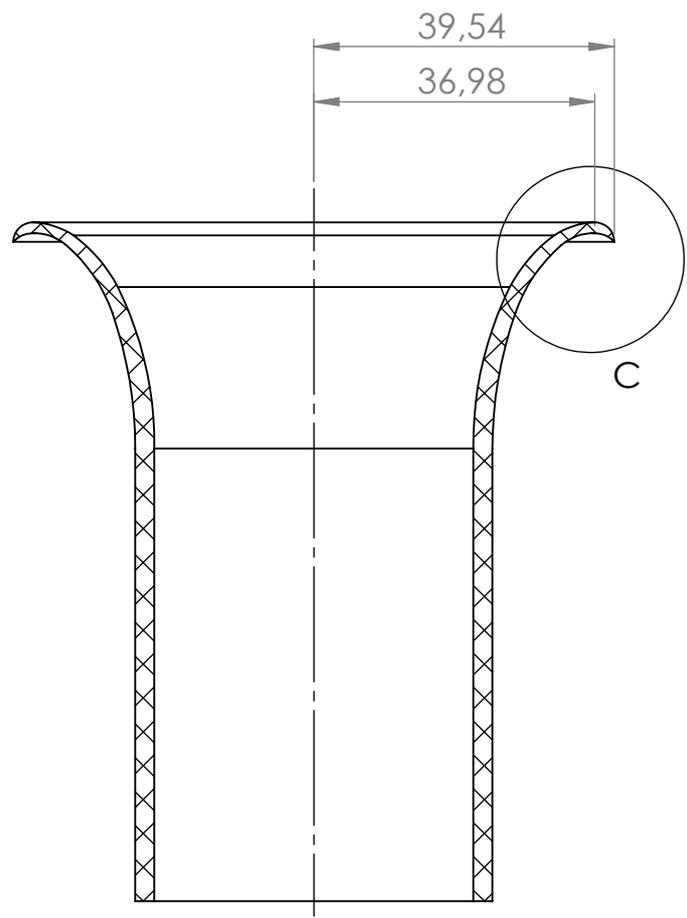
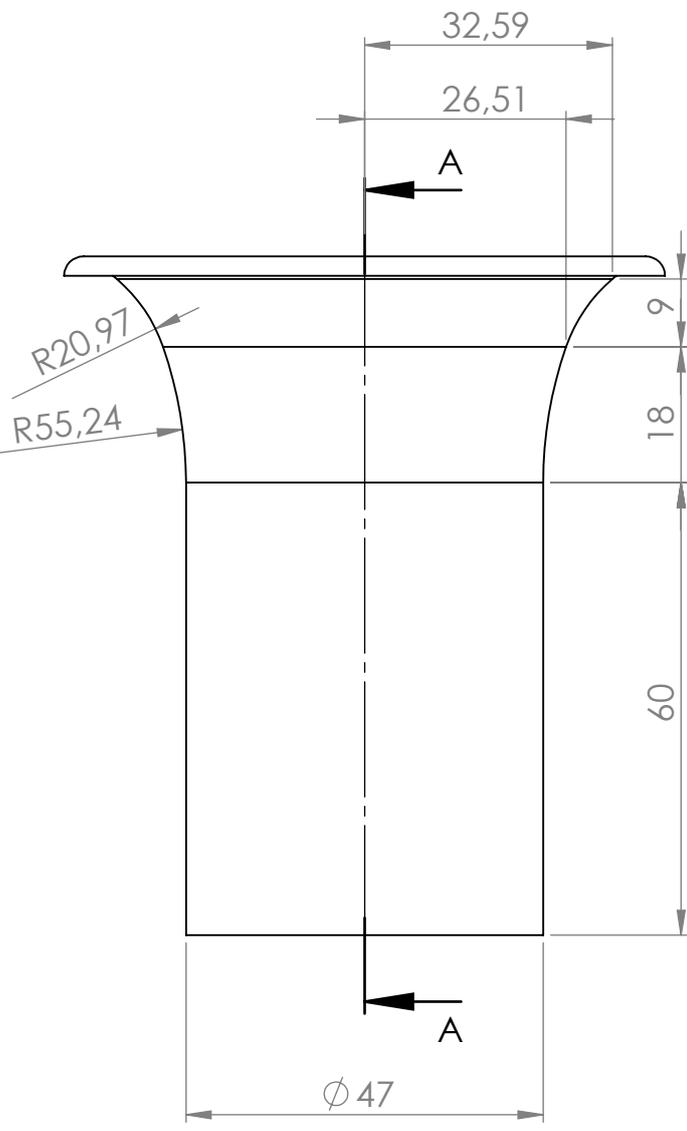


SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5

			Observaciones: Cotas del restrictor y el difusor	Plano nº: 2
				Material
Escala 1:5	Un. dim. mm 		Título: UFS03_21_00_01	Fibra de vidrio y epoxi
			Comprobado por: David Nebot Ainsa	Fecha: 20/04/2018

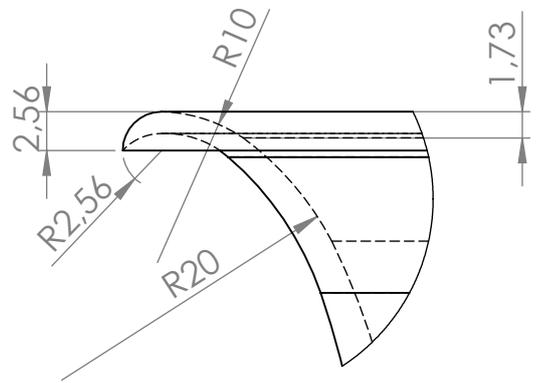
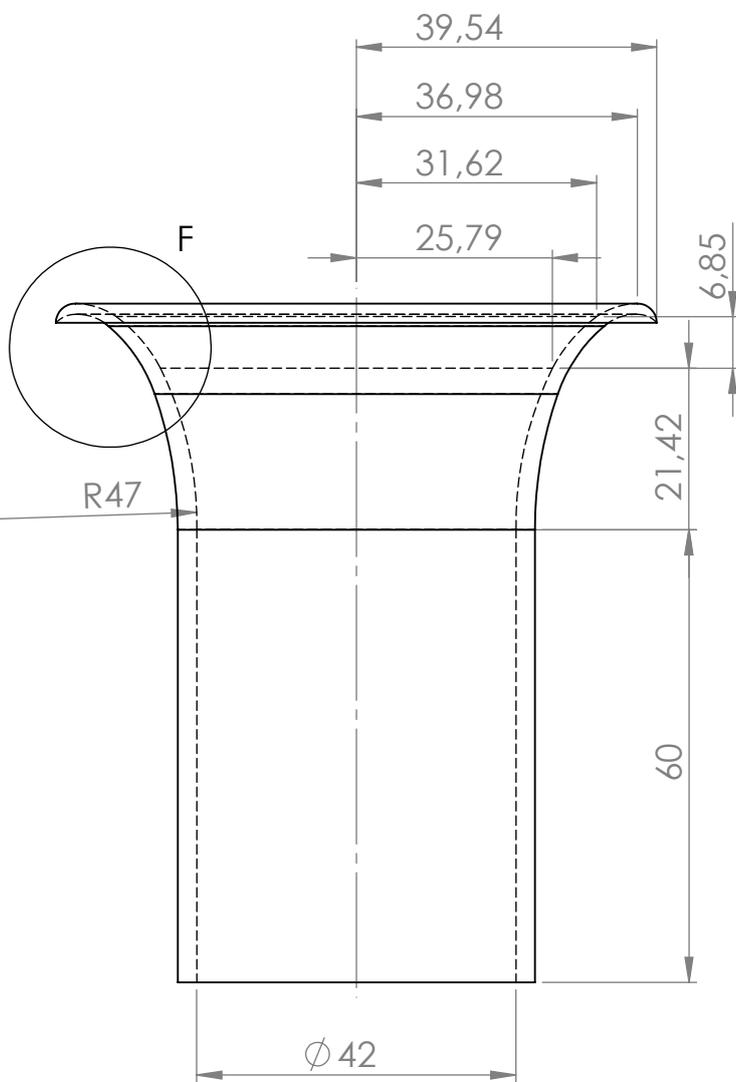
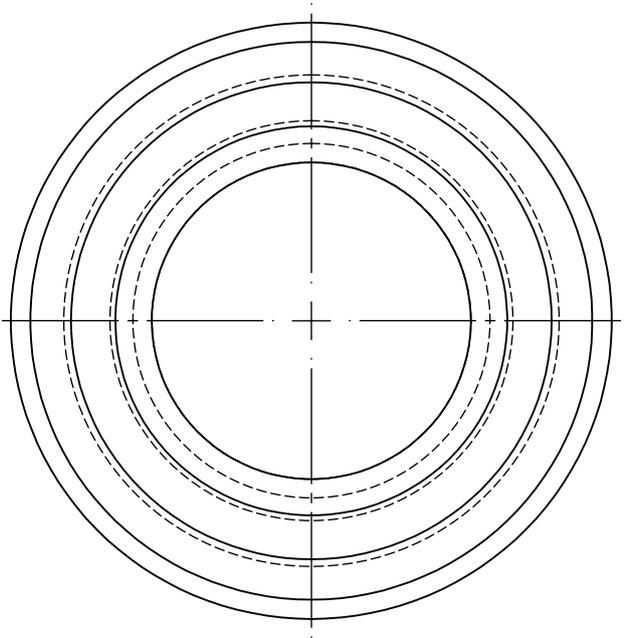


DETALLE C
ESCALA 2 : 1



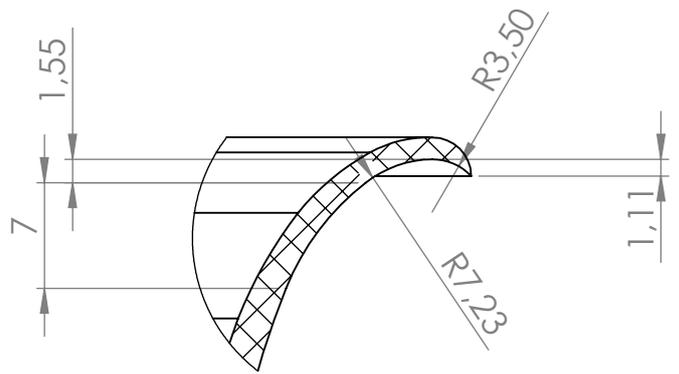
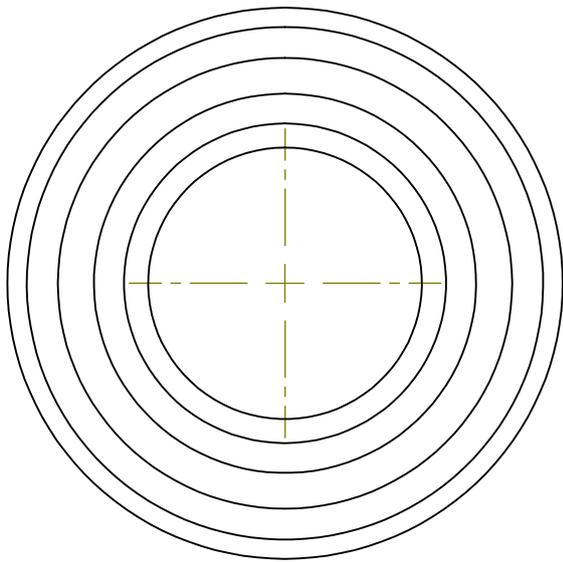
SECCIÓN A-A

Escala 1:1	Un. dim. mm 		Observaciones: Medidas exteriores trompeta delantera	Plano nº: 1
			Título: UFS03_21_00_02	Material ABS 3D
			Comprobado por: David Nebot Ainsa	Fecha: 20/04/2018

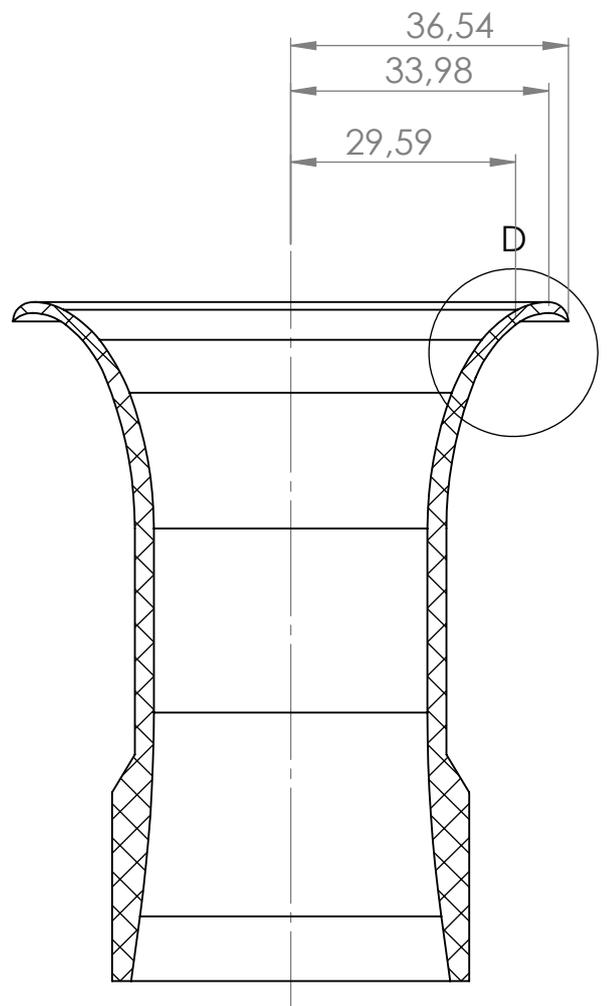
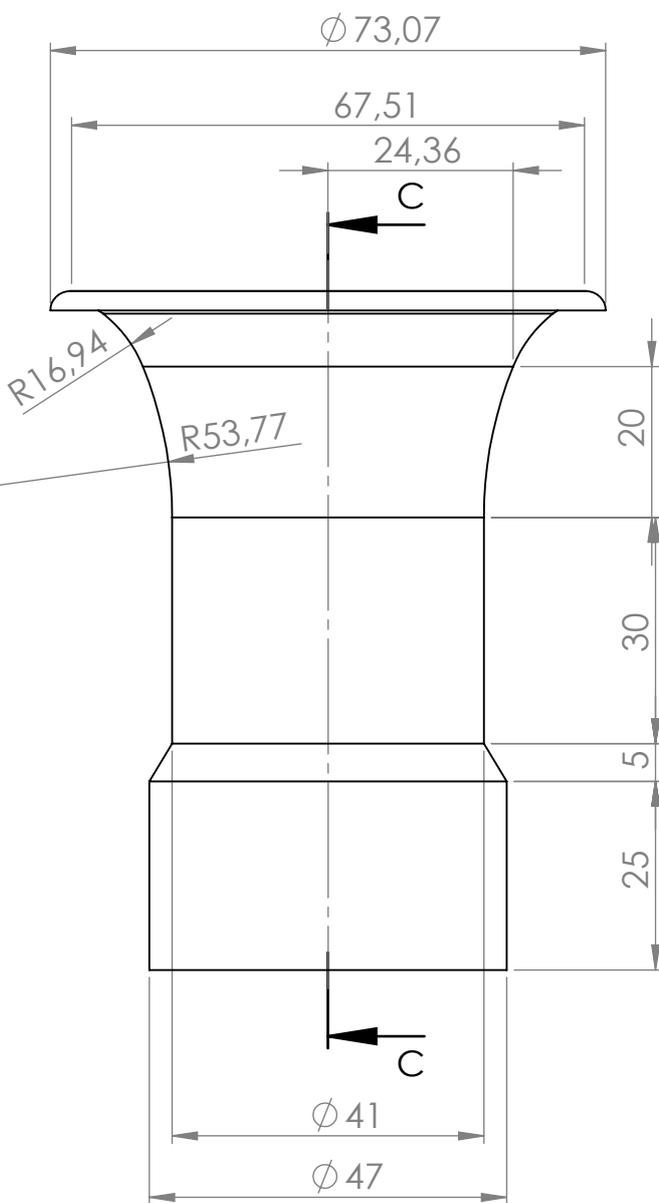


DETALLE F
ESCALA 2 : 1

Escala 1:1	Un. dim. mm  		Observaciones: Medidas interiores trompeta delantera	Plano nº: 2
			Título: UFS03_21_00_02	Material ABS 3D
			Comprobado por: David Nebot Ainsa	Fecha: 20/04/2018

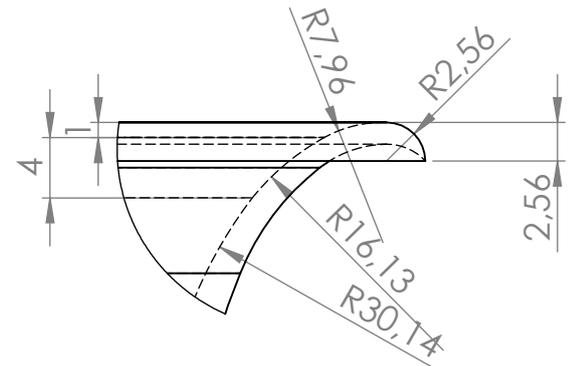
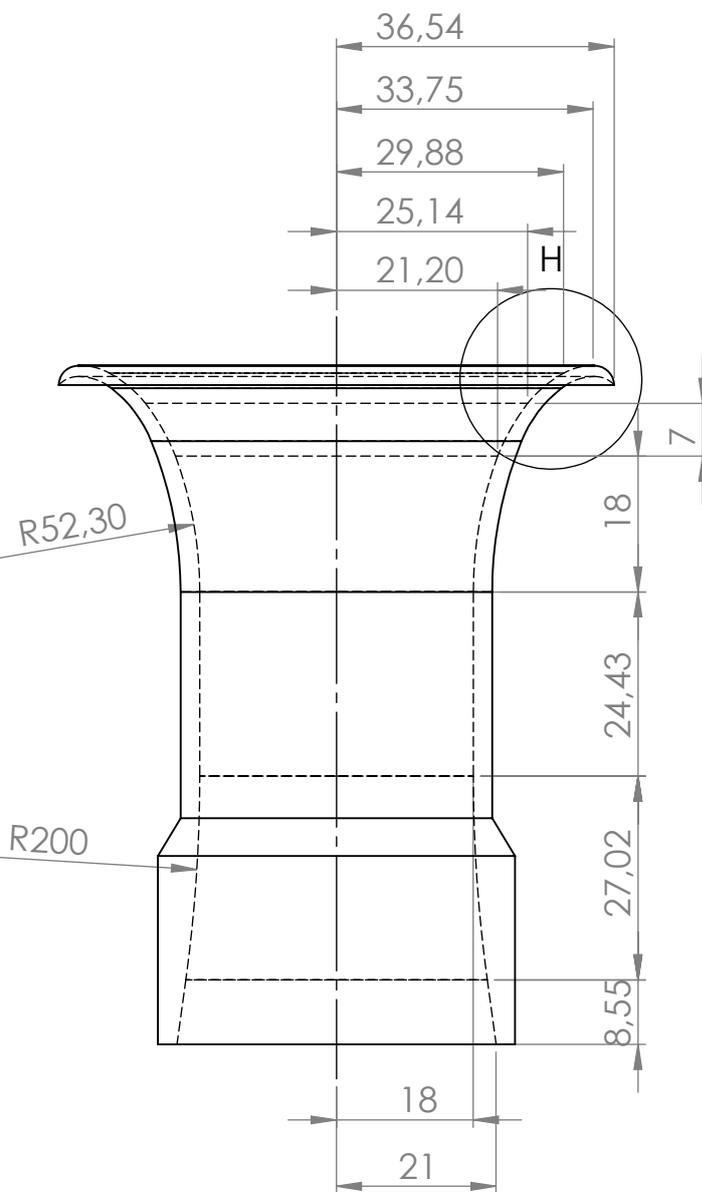
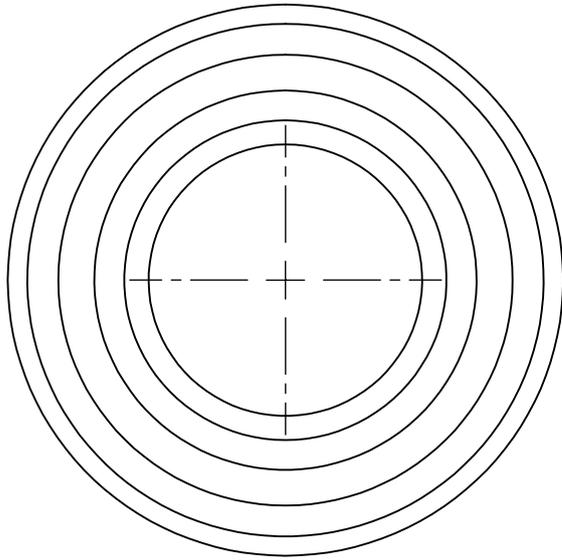


DETALLE D
ESCALA 2 : 1



SECCIÓN C-C

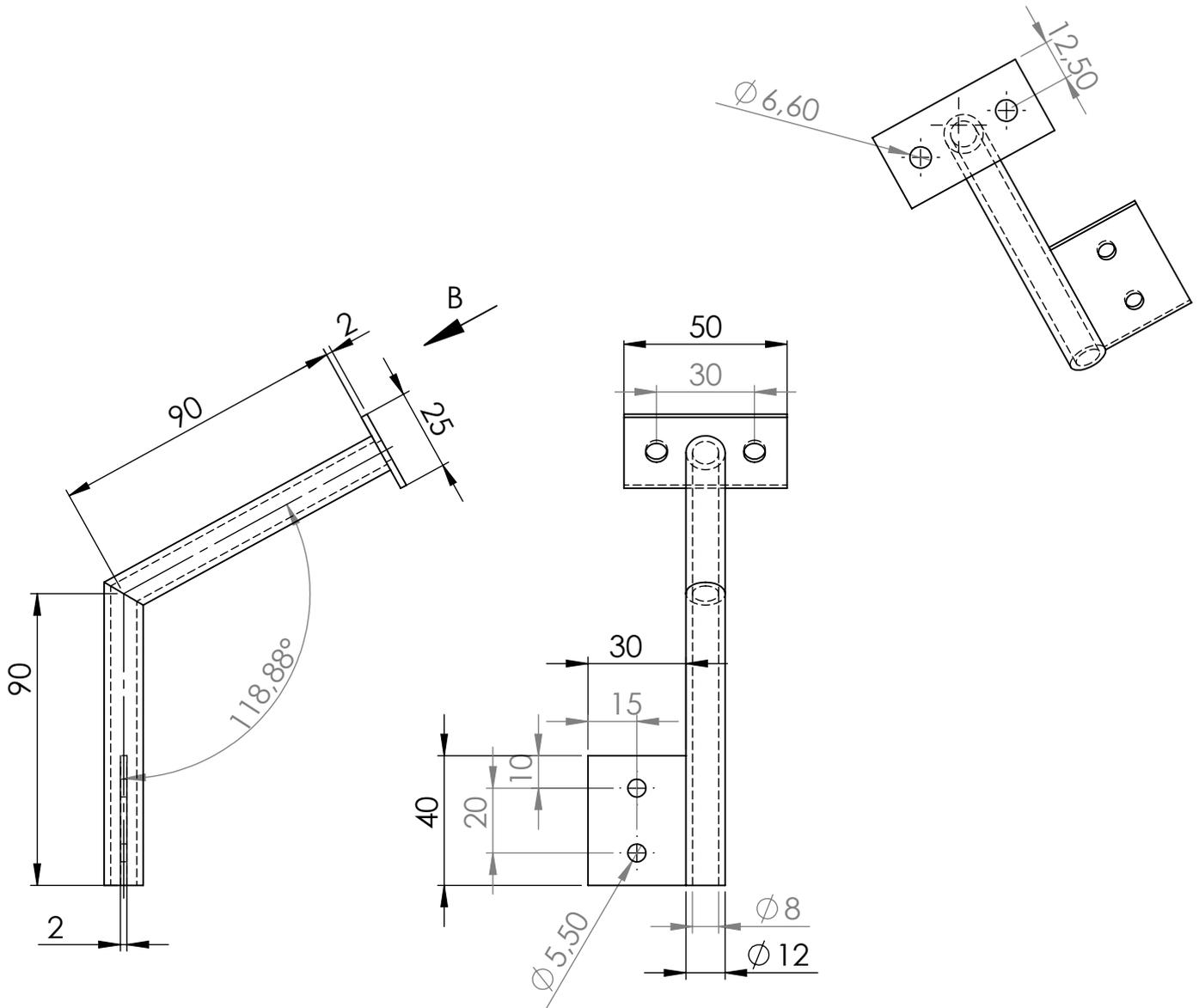
Escala 1:1	Un. dim. mm  		Observaciones: Medidas exteriores trompeta trasera	Plano nº: 1
			Título: UFS03_21_00_03	Material ABS 3D
Comprobado por: David Nebot Ainsa			Fecha: 20/04/2018	



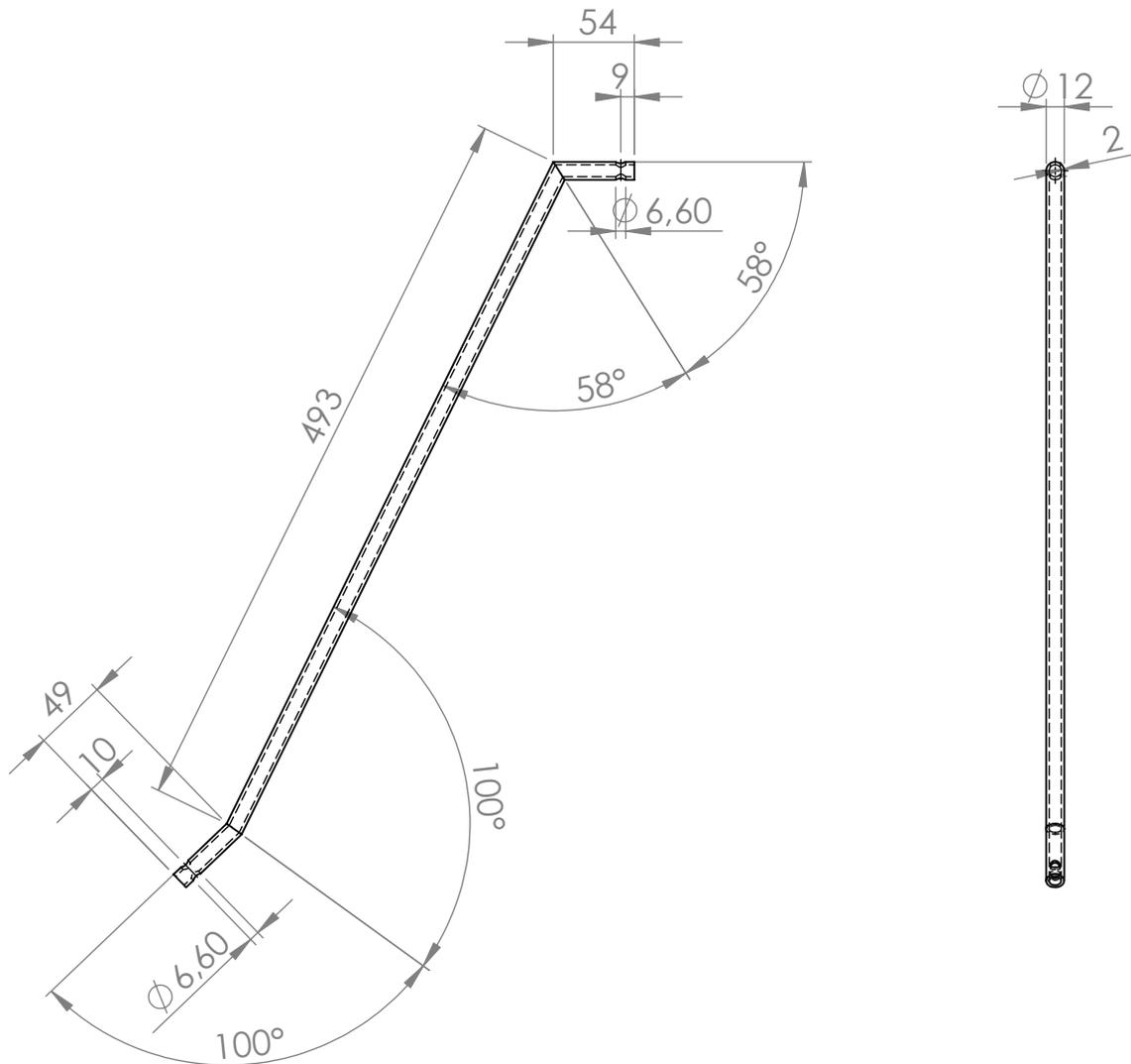
DETALLE H
ESCALA 2 : 1

Escala 1:1	Un. dim. mm 		Observaciones: Medidas interiores trompeta trasera	Plano nº: 2
			Título: UFS03_21_00_03	Material ABS 3D
			Comprobado por: David Nebot Ainsa	Fecha: 20/04/2018

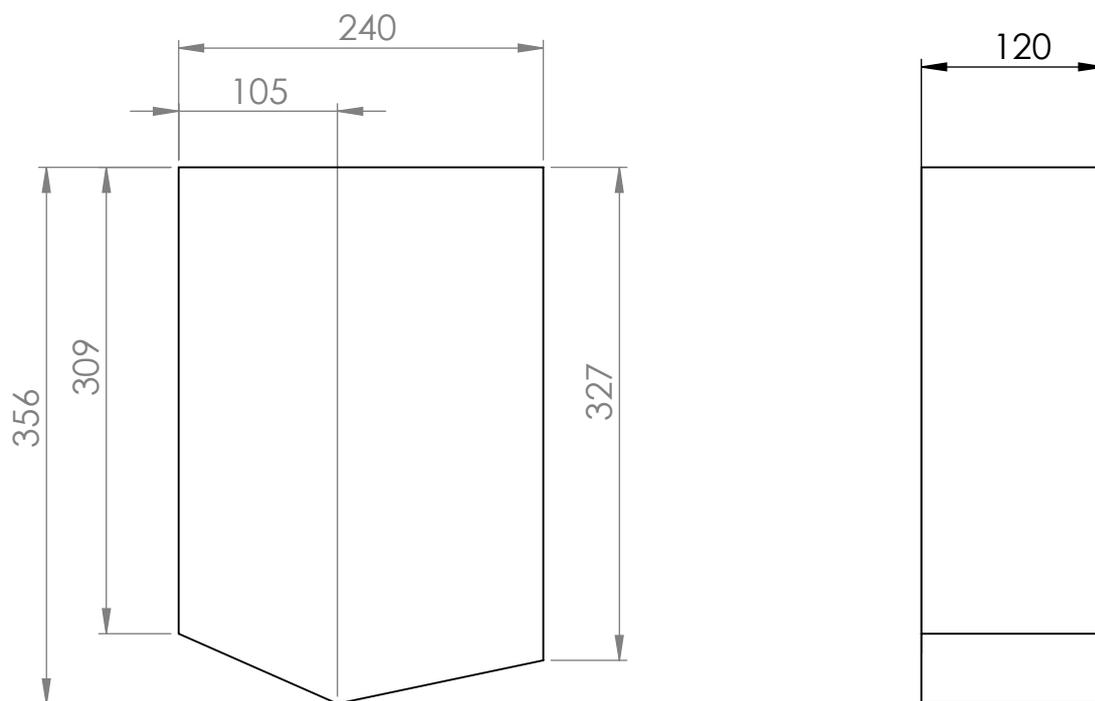
VISTA B



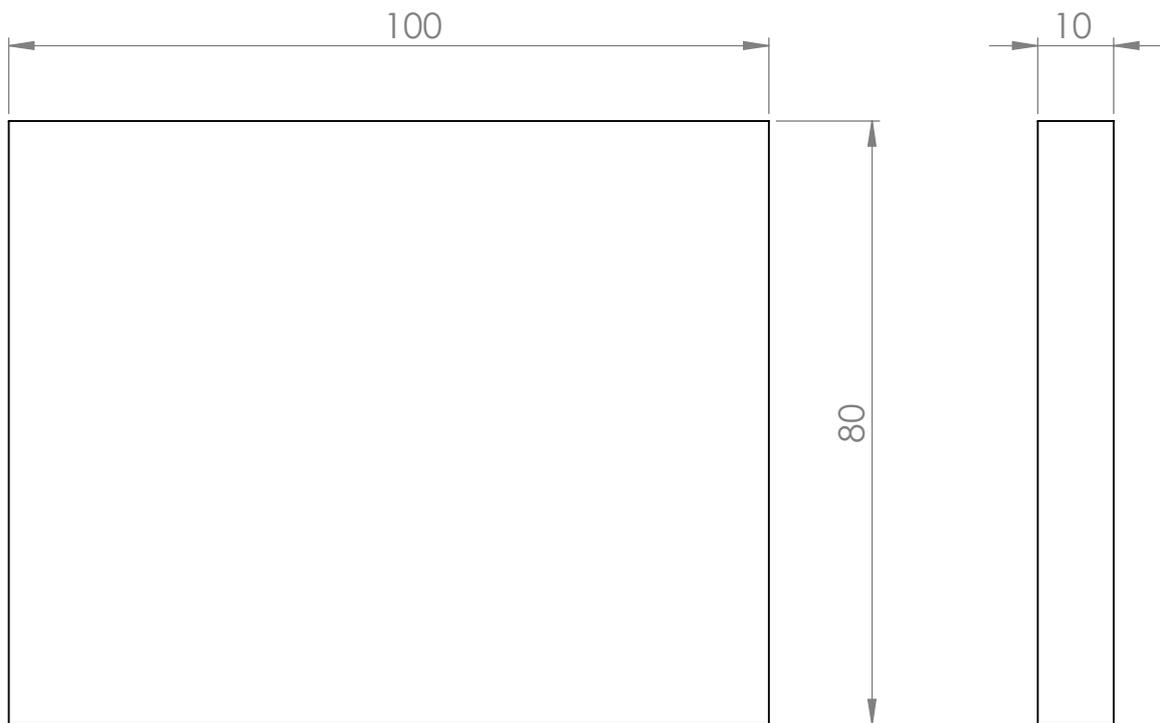
Escala 1:2	Un. dim. mm  		Observaciones: Soporte superior admisión	Plano nº: 1
				Material
			Título: UFS03_21_00_06	Acero inoxidable
			Comprobado por: David Nebot Ainsa	Fecha: 20/04/2018



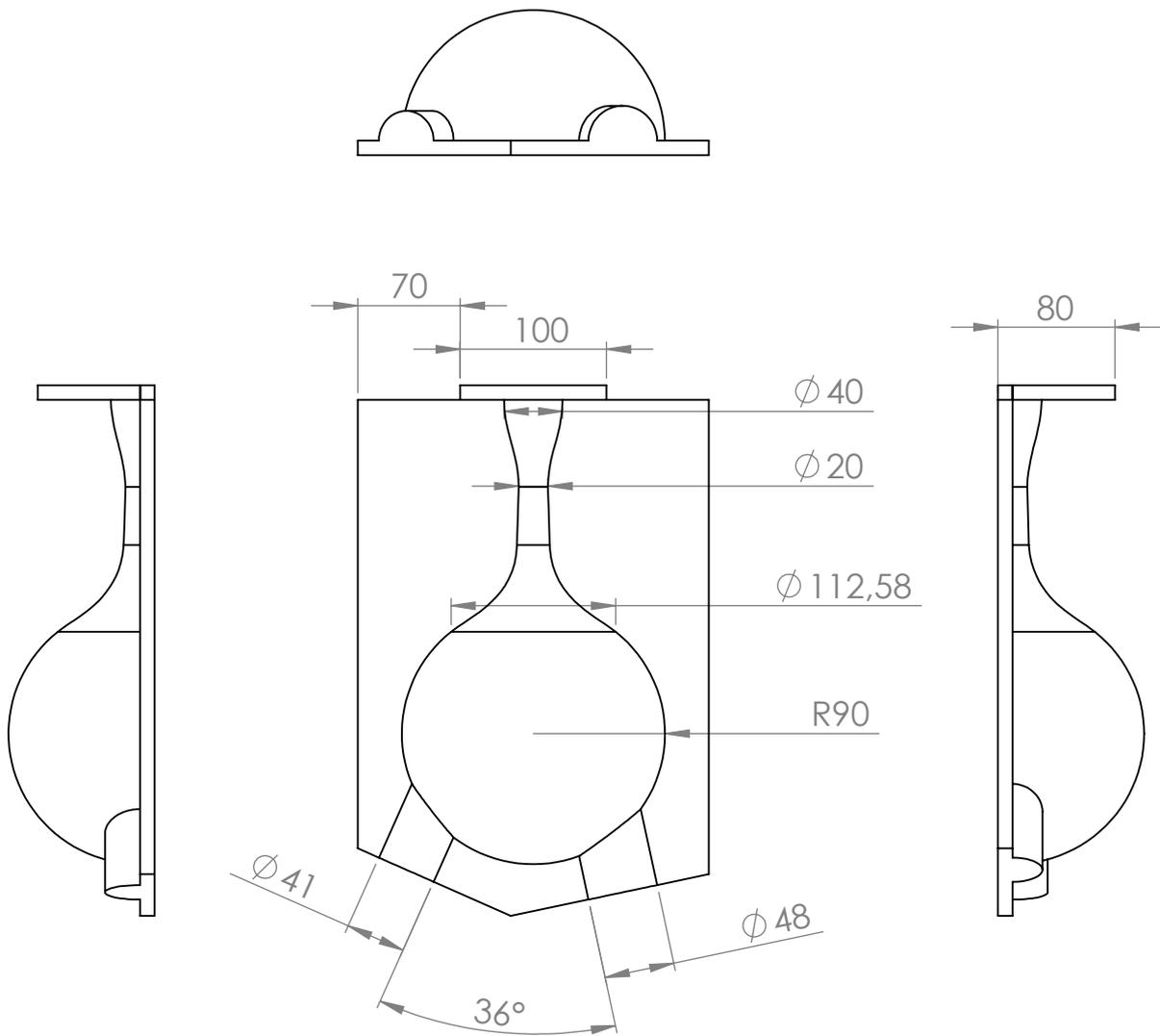
			Observaciones: Soporte a culata motor	Plano nº: 1
Escala 1:5	Un. dim. mm 		Titulo: UFS03_21_00_07 Comprobado por: David Nebot Ainsa	Material Aluminio Fecha: 20/04/2018



Unidades: 2			Observaciones: Bruto Molde Admision	Plano nº: 1
Escala 1:5	Un. dim. mm		Titulo: UFS03_21_00_01_Molde 01	Material
		Comprobado por: David Nebot Ainsa	Fecha: 11/04/2017	



Unidades: 2			Observaciones: Base superior molde	Plano nº: 2
Escala 1:2	Un. dim. mm		Título: UFS03_21_00_01_Molde 02	Material Madera Contrachapado
			Comprobado por: David Nebot Ainsa	Fecha: 01/05/2018



Unidades: 1/Sym			Observaciones: Plano de cotas importantes a verificar tras su fabricacion	Plano n°: 3
Escala 1:5	Un. dim. mm		Titulo: UFS03_21_00_01_Molde / UFS03_21_00_01_Molde S	Material Madera DM
			Comprobado por: David Nebot Ainsa	Fecha: 01/05/2018

PLIEGO DE CONDICIONES

ÍNDICE PLIEGO DE CONDICIONES

1.	INTRODUCCIÓN	125
2.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	127
2.1	Objetivos y lugar de emplazamiento.....	127
2.2	Personal, maquinaria e instalaciones.....	127
2.3	Responsabilidades.....	127
2.4	Información Inicial.....	128
3.	CONDICIONES GENERALES	129
3.1	Condiciones legales	129
4.	CONDICIONES PARTICULARES	131
4.1	Condiciones de materiales y equipos.....	131
4.2	Condiciones de ejecución y montaje.....	131

1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se realizará la descripción de las condiciones de trabajo para el desarrollo del proyecto, los objetivos y su lugar en emplazamiento, también se describe el personal, maquinaria necesaria y la información inicial requerida.

A continuación se detallan las condiciones administrativas que deben cumplir las partes que se implican en el proyecto.

Acto seguido se describen las condiciones técnicas: la obtención de los materiales y uso de los equipos de fabricación para su ejecución y montaje. También se detallaran las medidas de seguridad pertinentes para la realización del proyecto de forma segura.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

A continuación se detalla los criterios a seguir para la obtención de los objetivos mencionados en la memoria del proyecto.

2.1 Objetivos y lugar de emplazamiento.

El objetivo del proyecto es el diseño, optimización y fabricación de un sistema de admisión para el equipo UJI Motorsport de un motor Suzuki SV650S con el que se participara en competiciones universitarias de Formula Student (FS). Para ello se hará uso de herramientas computacionales de mecánica de fluidos.

La redacción y realización del proyecto se ha llevado a cabo en las instalaciones del equipo UJI Motorsport que tiene lugar en el edificio Espatec II del campus Riu sec, de la universidad Jaume I. También ha tenido lugar en las diferentes empresas patrocinadoras que se encuentran situadas en la ciudad de Castellón de la plana.

2.2 Personal, maquinaria e instalaciones.

La fase de diseño ha sido llevada a cabo por personal cualificado del departamento de unidad de potencia del equipo UJI Motorsport y revisada por el supervisor del departamento que se encarga del correcto desarrollo y evolución de las piezas del departamento, toda la herramienta y maquinaria necesaria para la fase de diseño ha sido suministrada por el equipo UJI Motorsport.

En cuanto a la fase de fabricación del sistema de admisión ha sido llevada a cabo por profesionales cualificados de sus respectivos campos y empresas para la obtención de un producto competente. La maquinaria y material necesarios para llevar a cabo la fabricación del sistema de admisión deberá ser suministradas por las empresas encargadas de la fabricación.

2.3 Responsabilidades

El autor no se hace responsables del correcto funcionamiento de la pieza o posibles daños producidos a ella o a terceros por un mal funcionamiento en caso de realizar alguna modificación en los documentos presentados en este proyecto.

2.4 Información Inicial

Al inicio del proyecto el proyectante deberá suministrar un modelo CAD simplificado del motor para el que se va a diseñar el sistema de admisión junto con la ficha de datos de dicho motor, también se deberá suministrar un modelo simplificado CAD de la parte del vehículo donde ira posicionada la admisión.

En cuanto a las condiciones de diseño se deberá suministrar un documento donde se especifiquen las necesidades, objetivos y condiciones que debe cumplir la pieza así como posibles modificaciones posteriores o futuros proyectos.

3. CONDICIONES GENERALES

3.1 Condiciones legales

Los detalles del contrato se concretarán con el departamento organizativo del equipo, así como las condiciones y las responsabilidades de la empresa.

El contratista encargado de la fabricación del sistema de admisión deberá entregar la pieza finalizada antes de la fecha acordada en el contrato.

La pieza final deberá ser testeada y entregada con un documento que asegure la estanqueidad de la pieza.

La pieza debe presentar un acabado superficial sin imperfecciones.

En caso de incumplimiento de contrato el equipo se verá exento del cumplimiento del derecho de patrocinio acordado, así como del pago de los costes de los materiales y mano de obra.

4. CONDICIONES PARTICULARES

4.1 Condiciones de materiales y equipos.

Los materiales necesarios para la fabricación del sistema de admisión serán proporcionados por la empresa contratada, así como los equipos necesarios para su desarrollo. En caso contrario los materiales que deba suministrar la parte contratante se verán reflejados en el contrato.

4.2 Condiciones de ejecución y montaje.

Las condiciones de seguridad durante la ejecución del proceso de fabricación serán determinadas por la empresa contratante.

PRESUPUESTO

ÍNDICE PRESUPUESTO

1. INTRODUCCIÓN	137
2. FASE DE DISEÑO	139
3. FASE DE FABRICACIÓN	141
4. COSTE TOTAL DEL PROYECTO.....	143
5. COST REPORT	145

1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente apartado se van a detallar los costes necesarios para llevar a cabo el proyecto, estos se han separado en dos subapartados o fases.

La fase de diseño donde se han especificado los costes de material de oficina, la mano de obra encargada de realizar el estudio y las licencias de los programas utilizados.

La fase de fabricación tiene en cuenta el coste de los materiales, los procesos de fabricación y ensamblaje de la pieza, tornillería necesaria y la mano de obra encargada de la fabricación y supervisión de la pieza.

Finalmente se ha introducido el Cost Report para el Cost and Manufacturing Event del sistema de admisión donde se detallan los materiales procesos de fabricación y mano de obra necesaria para la fabricación de cada pieza del sistema de admisión y su posterior ensamblaje.

PRESUPUESTO

2. FASE DE DISEÑO

En este apartado se detallan los costes específicos del material de oficina, material tecnológico y las licencias de los programas utilizados.

Coste del equipo de oficina y licencias de la fase de diseño			
Equipo	Coste	Dedicación (meses)	Periodo de caducidad del producto (meses)
Ordenador de sobremesa	3000 €	5	36
Material de oficina	400 €	12	36
Solidworks	0 €	4	12
Ricardo Software	0 €	2	12
ANSYS	0 €	2	12
Total	3400 €		

En la tabla anterior no se ha presupuestado el coste de las licencias ya que se han utilizado licencias estudiantiles otorgadas a los alumnos por la UJI y licencias otorgadas al equipo para la competición FS a cambio de patrocinio. No obstante habrá que tenerlos en cuenta en el caso de realizar el proyecto para una empresa ya que conformaran un gran coste de la fase de diseño.

A continuación se muestra la tabla con los costes de la mano de obra de la fase de diseño donde se incluye el personal de diseño y el personal de supervisión.

Coste de personal de la fase de diseño					
Puesto	Cualificación	Dedicación al proyecto (Horas / meses)	Duración total del proyecto (meses)	Salario medio (Hora)	Coste Subtotal
Consultor	Nivel 3 Ingeniero industrial	8	4	22,00 €	704,00 €
Proyectista	Nivel 3 Ingeniero junior	96	5	16,00 €	7.680,00 €
				Total	8.384,00 €

Finalmente el coste total de la fase de diseño es de:

Costes de diseño	€ 11.784,00
------------------	-------------

3. FASE DE FABRICACIÓN

En el siguiente apartado se han detallado los costes totales de los materiales, los procesos de fabricación, tornillería y herramienta a utilizar en la fabricación del proyecto. Debido a que muchos de los materiales y procesos se realizan en empresas externas a cambio de patrocinio, los costes de fabricación se han obtenido en base a unas tablas de precios proporcionadas por la competición para la realización del Cost Report (Informe de Costes).

Costes de fabricación				
Piezas	Material	Procesos de fabricación	Tornillería	Herramienta
UFS03_21_00_00	4,00 €	- €	3,41 €	- €
UFS03_21_00_01	209,63 €	0,22 €	- €	- €
UFS03_21_00_02	0,12 €	0,56 €	- €	- €
UFS03_21_00_03	0,12 €	0,59 €	- €	- €
UFS03_21_00_04	165,46 €	- €	- €	- €
UFS03_21_00_05	6,00 €	- €	- €	- €
UFS03_21_00_06	0,05 €	8,95 €	- €	- €
UFS03_21_00_07	0,44 €	2,60 €	- €	- €
UFS03_21_00_08	3,00 €	- €	- €	- €
Total	388,81 €	12,92 €	3,41 €	- €

En la tabla siguiente se muestra el coste de mano de obra de la fase de fabricación que incluye la fabricación, el montaje de la pieza en el vehículo y la supervisión tanto de la fase de fabricación como la verificación de calidad de la pieza acabada.

Coste de personal de la fase de fabricación				
Puesto	Quilificación	Dedicación al proyecto (Horas)	Salario medio (Hora)	Coste Subtotal
Laminador	Nivel 2	3,75	7,50 €	28,13 €
Pintor	Nivel 2	0,5	7,30 €	3,65 €
Empleado 1	Nivel 2	2,25	7,50 €	16,88 €
Supervisor	Nivel 3 Ingeniero junior	1	16,00 €	16,00 €
			Total	64,65 €

Los costes totales de la fase de fabricación serán de:

Costes de fabricación	€	469,80
-----------------------	---	--------

4. Coste total del proyecto

Finalmente los costes totales del proyecto entre la fase de diseño y la fase de fabricación será de:

Costes totales	
Costes de diseño	11.784,00 €
Costes de fabricación	469,80 €
Total	12.253,80 €

5. Cost Report

En este último apartado se explica con mayor detalle los materiales utilizados en cada pieza además de estar organizados por orden de fabricación y los tiempos específicos que realiza cada trabajador.

PRESUPUESTO

University	Jaume I University				Car #	288			Asm Cost	471,424
System	Engine & Drivetrain								Qty	1
Assembly	Air Intake Assembly									
P/N Base	UFS03_21_00_00								Extended Cost	\$ 471,42
Suffix	AA									
Details	Air Intake system									

ItemOrder	Part	Part Cost	Quantity	Sub Total	
UFS03_21_00_01	Plenum	\$ 241,63	1,00	\$ 241,63	
UFS03_21_00_02	Air Intake front manifold	\$ 4,18	1,00	\$ 4,18	
UFS03_21_00_03	Air Intake rear manifold	\$ 0,71	1,00	\$ 0,71	
UFS03_21_00_04	Throttle Body (All Cost as bought)	\$ 165,46	1,00	\$ 165,46	
UFS03_21_00_05	Hose Clamp, D 47mm x 60 mm (All Cost as bought)	\$ 3,00	2,00	\$ 6,00	
UFS03_21_00_06	Air Intake Chassis Support	\$ 12,50	1,00	\$ 12,50	
UFS03_21_00_07	Air Intake Engine Support	\$ 4,79	1,00	\$ 4,79	
UFS03_21_00_08	Air filter (All Cost as bought)	\$ 3,00	1,00	\$ 3,00	
				Sub Total	\$ 438,262

ItemOrder	Material	Use	UnitCost	Size1	Unit1	Size2	Unit2	Quantity	Sub Total
1	Silentblock (All Cost as bought) D 20 x L 25	Flexible material for chassis support	\$ 2,00					2,00	\$ 4,00
								Sub Total	\$ 4,000

ItemOrder	Process	Use	UnitCost	Unit	Quantity	Multiplier	Mult. Val.	Sub Total	
								\$ -	
								Sub Total	\$ -

ItemOrder	Fastener	Use	UnitCost	Size1	Unit1	Size2	Unit2	Quantity	Sub Total
1	Hose Clamp, Worm Drive D 53 mm	to join the manifolds with the engine	\$0,71		53 mm			4	\$ 2,84
2	Bolt, Grade 8.8 (SAE 5) ISO 4014 - M6 x 30 x 18 - N	to fix the plenum with the throttle body	\$0,07		6 mm	30 mm		2	\$ 0,14
3	Nut, Grade 8.8 (SAE 5) ISO 4034 - M6 - N	to fix the plenum with the throttle body and chassis support	\$0,02		6 mm			6	\$ 0,12
4	Washer, Grade 8.8 (SAE 5) ISO 10669- 7,15 - N	to fix the plenum with the throttle body and chassis support	\$0,01					8	\$ 0,08
5	Hose Clamp, Single Wire	fix the filter to the butterfly body	\$0,19		43 mm			1	\$ 0,19
6	Bolt, Grade 8.8 (SAE 5) ISO 4762 M4 x 16 - 16N	join the throttle body with the chassis support	\$0,02		4 mm	16 mm		2	\$ 0,04
								Sub Total	\$ 3,41

ItemOrder	Tooling	Use	UnitCost	Unit	Quantity	Sub Total
					Sub Total	0

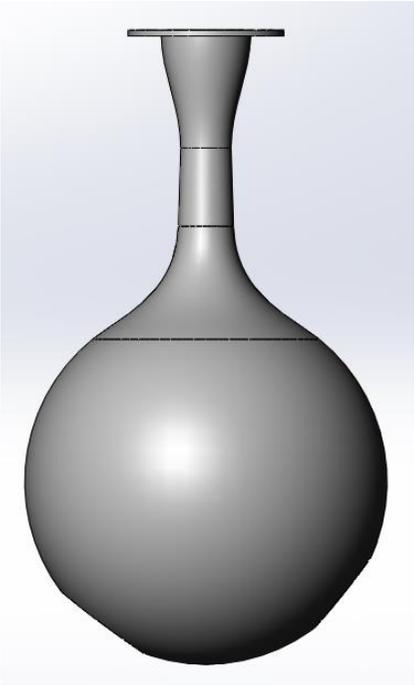
ItemOrder	Time Manufacture	Use	Resources	UnitCost (\$/h)	Time (h)	SubTotal
1	Employee	Join parts and adjust	1	\$ 7,50	0,5	3,75
2	Industrial Engineer	Check de Assembly and join to the car	1	\$ 22,00	1	22,00
					Sub Total	\$ 25,75

PRESUPUESTO



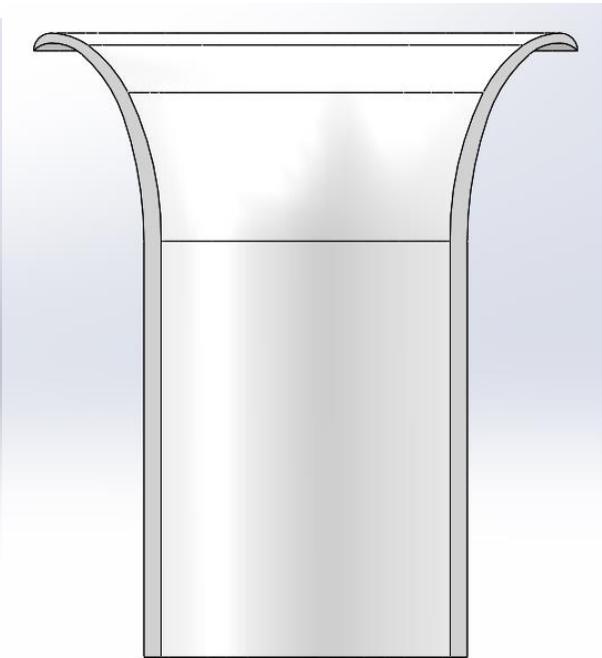
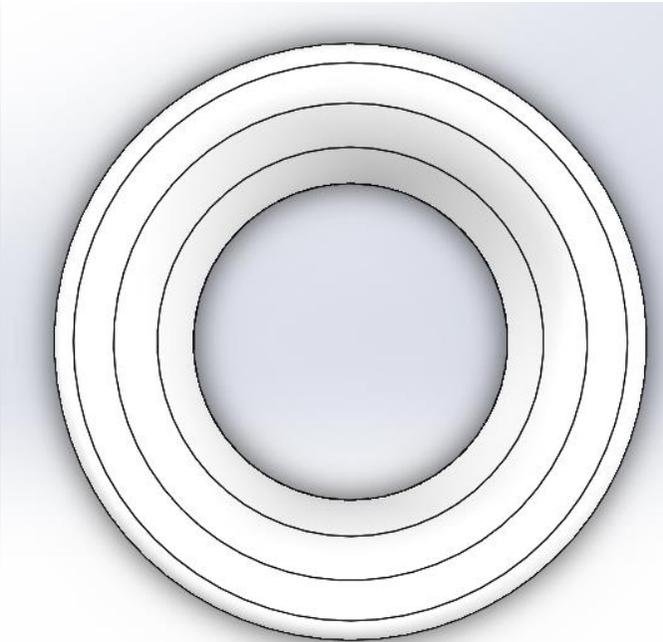
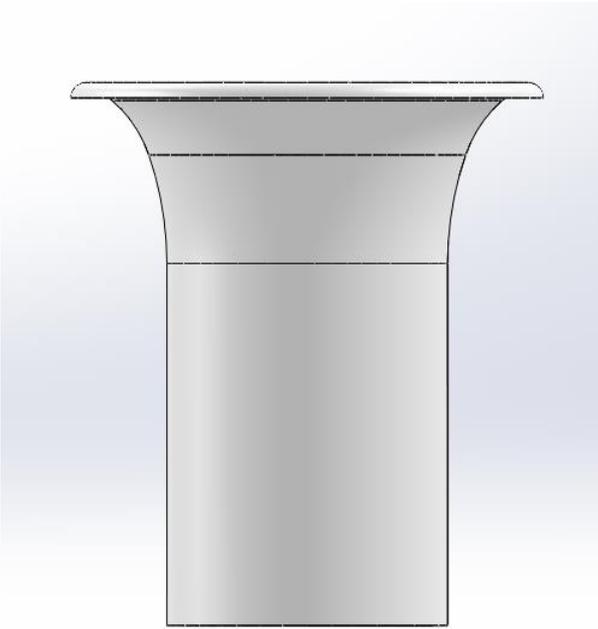
PRESUPUESTO

University	Jaume I University				Car #	288		Part Cost	\$ 241,63
System	Engine & Drivetrain							Qty	1
Assembly	Air Intake assembly								
Part	Plenum							Extended Cost	\$ 241,63
P/N Base	UFS03_21_00_01								
Suffix	AA								
Details									
ItemOrder	Material	Use	UnitCost	Size1	Unit1	Size2	Unit2	Quantity	Sub Total
1	Glass Fiber & Epoxi Resin, 1 Ply		\$ 100,00	0,296	Kg			3,00	\$ 88,76
2	Glass Fiber & Epoxi Resin, 1 Ply	Symmetry	\$ 100,00	0,296	Kg			3,00	\$ 88,76
3	Glass Fiber & Epoxi Resin, 1 Ply	Glued and sealed	\$ 100,00	0,296	Kg			1,00	\$ 29,59
4	Paint		\$ 10,00	0,252	m^2			1,00	\$ 2,52
								Sub Total	\$ 209,629
ItemOrder	Process	Use	UnitCost	Unit	Quantity	Unit	Multiplier	Mult. Val.	Sub Total
1	Lamination Manual		\$ 35,00	m^3	0,000352	m^3	6	1	\$ 0,07
2	Lamination Manual	Symmetry	\$ 35,00	m^3	0,000352	m^3	6	1	\$ 0,07
3	Lamination Manual	Glued and sealed	\$ 35,00	m^3	0,000352	m^3	6	1	\$ 0,07
								Sub Total	\$ 0,22
ItemOrder	Fastener	Use	UnitCost	Size1	Unit1	Size2	Unit2	Quantity	Sub Total
									\$ -
								Sub Total	\$ -
ItemOrder	Tooling	Use	UnitCost	Unit	Quantity	Sub Total			
						Sub Total	\$ -		
ItemOrder	Time Manufacture	Use	Resources	UnitCost (\$/h)	Time (h)	SubTotal			
1	Rolling mills	Manufacture part 1	1	\$ 7,50	1,5	11,25			
2	Rolling mills	Manufacture Symmetric part	1	\$ 7,50	1,5	11,25			
3	Rolling mills	Manufacture glued and sealed	1	\$ 7,50	0,25	1,88			
4	Rolling mills	Sand the final piece	1	\$ 7,50	0,5	3,75			
5	Painter	Paint the final piece	1	\$ 7,30	0,5	3,65			
						Sub Total	\$ 31,78		



PRESUPUESTO

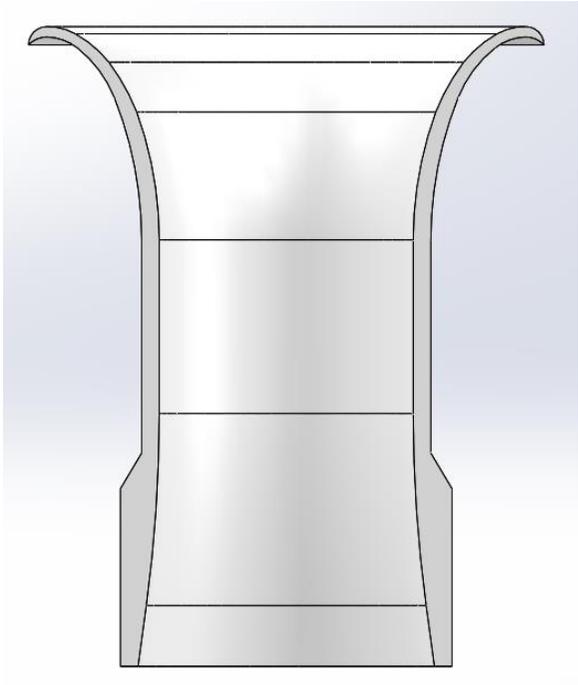
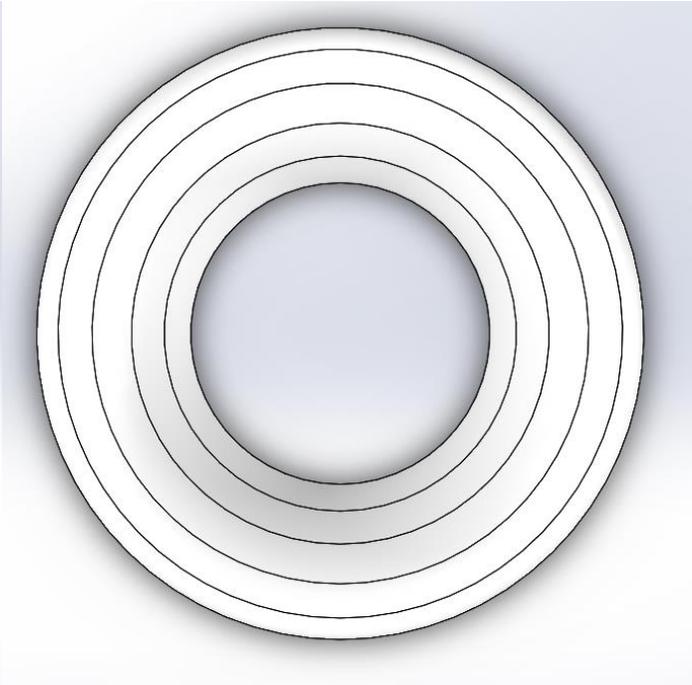
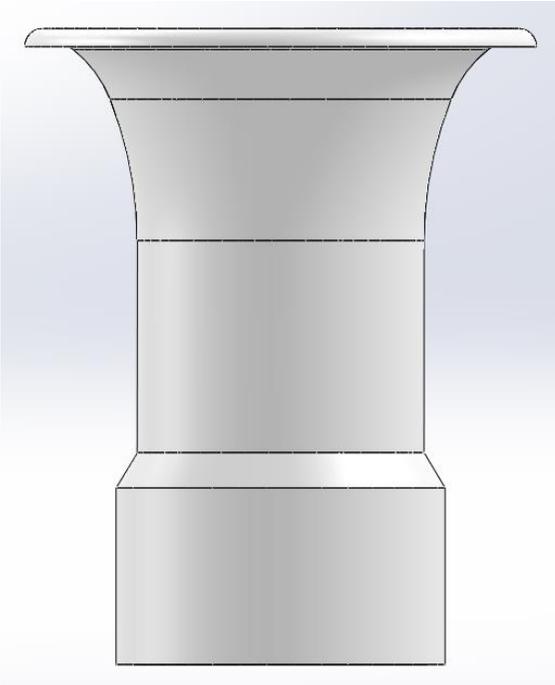
University	Jaume I University				Car #	288		Part Cost	\$ 4,18
System	Engine & Drivetrain							Qty	1
Assembly	Air Intake assembly								
Part	Air Intake front manifold							Extended Cost	\$ 4,18
P/N Base	UFS03_21_00_02								
Suffix	AA								
Details									
ItemOrder	Material	Use	UnitCost	Size1	Unit1	Size2	Unit2	Quantity	Sub Total
1	Plastic, ABS		\$ 3,30	0,035	Kg			1,00	\$ 0,12
								Sub Total	\$ 0,12
ItemOrder	Process	Use	UnitCost	Unit	Quantity	Unit1	Multiplier	Mult. Val.	Sub Total
1	Rapid Prototype - Plastic (3D Print)		\$ 32,00	Kg	0,035	Kg	0,5	1	\$ 0,56
								Sub Total	\$ 0,56
ItemOrder	Fastener	Use	UnitCost	Size1	Unit1	Size2	Unit2	Quantity	Sub Total
									\$ -
								Sub Total	\$ -
ItemOrder	Tooling	Use	UnitCost	Unit	Quantity	Sub Total			
						Sub Total	0		
ItemOrder	Time Manufacture	Use	Resources	UnitCost (\$/h)	Time (h)	SubTotal			
1	Employee	Prepare the Print and check	1	\$ 7,00	0,5	3,50			
						Sub Total	\$ 3,50		



PRESUPUESTO

University	Jaume I University				Car #	288		Part Cost	\$ 4,21
System	Engine & Drivetrain							Qty	1
Assembly	Air Intake assembly								
Part	Air Intake rear manifold							Extended Cost	\$ 4,21
P/N Base	UFS03_21_00_03								
Suffix	AA								
Details									
ItemOrder	Material	Use	UnitCost	Size1	Unit1	Size2	Unit2	Quantity	Sub Total
1	Plastic, ABS		\$ 3,30	0,037	Kg			1,00	\$ 0,12
								Sub Total	\$ 0,12
ItemOrder	Process	Use	UnitCost	Unit	Quantity	Unit1	Multiplier	Mult. Val.	Sub Total
1	Rapid Prototype - Plastic (3D Print)		\$ 32,00	Kg	0,037	Kg	0,5	1	\$ 0,59
								Sub Total	\$ 0,59
ItemOrder	Fastener	Use	UnitCost	Size1	Unit1	Size2	Unit2	Quantity	Sub Total
									\$ -
								Sub Total	\$ -
ItemOrder	Tooling	Use	UnitCost	Unit	Quantity	PVF	FracIncl	Sub Total	
								Sub Total	0
ItemOrder	Time Manufacture	Use	Resources	UnitCost (\$/h)	Time (h)	SubTotal			
1	Employee	Prepare the Print and check	1	\$ 7,00	0,5	3,50			
						Sub Total	\$ 3,50		

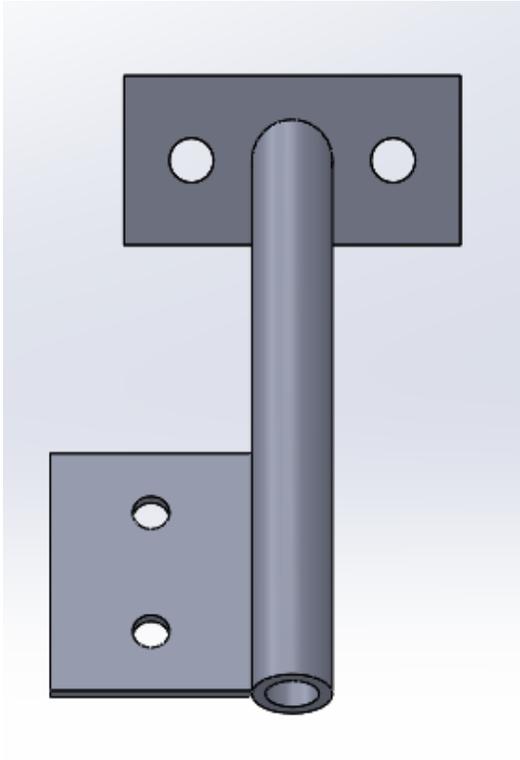
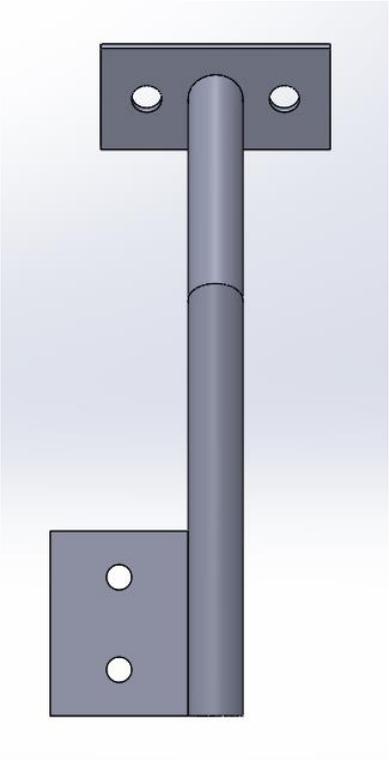
PRESUPUESTO



PRESUPUESTO

University	Jaume I University				Car #	288		Part Cost	\$ 12,50
System	Engine & Drivetrain							Qty	1
Assembly	Air Intake assembly								
Part	Air Intake Chassis Support							Extended Cost	\$ 12,50
P/N Base	UFS03_21_00_06								
Suffix	AA								
Details									
ItemOrder	Material	Use	UnitCost	Size1	Unit1	Size2	Unit2	Quantity	Sub Total
1	Tubing Steel		\$ 2,25	0,016	Kg			1,00	\$ 0,04
2	Steel plate		\$ 2,25	0,006	Kg			1,00	\$ 0,01
								Sub Total	\$ 0,05
ItemOrder	Process	Use	UnitCost	Unit	Quantity	Unit1	Multiplier	Mult. Val.	Sub Total
1	Tube cut		\$ 0,15	cm	12	cm		1	\$ 1,80
2	Plate cut		\$ 0,15	cm	29	cm		1	\$ 4,35
3	Drilled hole < 50.8 mm dia.	Drill the holes	\$ 0,70	units	4	units		1	\$ 2,80
								Sub Total	\$ 8,95
ItemOrder	Fastener	Use	UnitCost	Size1	Unit1	Size2	Unit2	Quantity	Sub Total
									\$ -
								Sub Total	\$ -
ItemOrder	Tooling	Use	UnitCost	Unit	Quantity	PVF	FracInclcd	Sub Total	
								Sub Total	0
ItemOrder	Time Manufacture	Use	Resources	UnitCost (\$/h)	Time (h)	SubTotal			
1	Employee	Cut and weld the support	1	\$ 7,00	0,5	3,50			
						Sub Total	\$ 3,50		

PRESUPUESTO



PRESUPUESTO

University	Jaume I University				Car #	288		Part Cost	\$ 4,79
System	Engine & Drivetrain							Qty	1
Assembly	Air Intake assembly								
Part	Air Intake Engine Support							Extended Cost	\$ 4,79
P/N Base	UFS03_21_00_07								
Suffix	AA								
Details									
ItemOrder	Material	Use	UnitCost	Size1	Unit1	Size2	Unit2	Quantity	Sub Total
1	Tubing Aluminum		\$ 4,20	0,104	Kg			1,00	\$ 0,44
								Sub Total	\$ 0,44
ItemOrder	Process	Use	UnitCost	Unit	Quantity	Unit1	Multiplier	Mult. Val.	Sub Total
1	Tube cut		\$ 0,15	cm	8	cm		1	\$ 1,20
3	Drilled hole < 50.8 mm dia.	Drill the holes	\$ 0,70	units	2	units		1	\$ 1,40
								Sub Total	\$ 2,60
ItemOrder	Fastener	Use	UnitCost	Size1	Unit1	Size2	Unit2	Quantity	Sub Total
									\$ -
								Sub Total	\$ -
ItemOrder	Tooling	Use	UnitCost	Unit	Quantity	Sub Total			
						Sub Total	0		
ItemOrder	Time Manufacture	Use	Resources	UnitCost (\$/h)	Time (h)	SubTotal			
1	Employee	Cut and weld the support	1	\$ 7,00	0,25	1,75			
						Sub Total	\$ 1,75		

