

Proyecto Fin de Carrera
Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Diseño, estudio y fabricación de un sistema Ram-Air
para una Moto3

Autor: Rafael Ángel Carbajo
Moraira

Tutor: Miguel Ángel Herrada
Gutiérrez

Dep. Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de
Fluidos

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2016



Proyecto Fin de Carrera
Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Diseño, estudio y fabricación de un sistema Ram-Air para una Moto3

Autor:

Rafael Ángel Carbajo Moraira

Tutor:

Miguel Ángel Herrada Gutiérrez

Catedrático de Universidad

Dep. de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016

Proyecto Fin de Carrera: Diseño, estudio y fabricación de un sistema Ram-Air para una Moto3

Autor: Rafael Ángel Carbajo Moraira

Tutor: Miguel Ángel Herrada Gutiérrez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2016

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Agradecimientos

Cada palabra recogida en este documento es el resultado de todos los hechos y acontecimientos vividos a lo largo de estos cuatro años, pues cada instante vivido nos hace ser como somos. Agradecer a todos aquellos amigos y compañeros que me animaron y ayudaron durante esta etapa final. A mi familia y amigos cercanos por su inapelable capacidad de escuchar y animar incluso en los momentos más complicados.

Hacer una mención especial a mi tutor, Miguel Ángel Herrada Gutiérrez, por acceder a tutelar este, mi proyecto, cuando nadie quería hacerlo y por su ayuda y disponibilidad incondicional aún estando en un país extranjero.

Al equipo US Racing Engineering, pues sin ellos no habría tenido la oportunidad de trabajar en lo que me apasiona, pudiendo llevar a cabo el diseño aquí recogido.

Rafael Ángel Carbajo Moraira

Alumno de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2016

Resumen

El mundo de la competición es un lugar donde cualquier pequeña modificación puede significar la victoria o la derrota. El desarrollo de dispositivos como el sistema Ram-Air es una buena forma de ofrecer un extra de potencia sin ningún tipo de gasto adicional.

Este documento pretende recoger los pasos necesarios para alcanzar un diseño del sistema Ram-Air apto para la incorporación en un prototipo de motocicleta con las características típicas de la competición Moto3, desde el diseño geométrico hasta el proceso de fabricación, pasando por las hipótesis aplicadas y los ensayos fluido-dinámicos realizados.

El objetivo de este sistema es conseguir la mayor ganancia de presión posible en el interior del mismo con el fin de lograr que, abiertas las válvulas de admisión del motor, se introduzca la mayor cantidad de aire posible a fin de garantizar la quema total del combustible.

Abstract

The racing world is a place where any small change can mean victory or defeat. The development of devices such as the Ram-Air system is a good way to provide extra power without any additional expense.

This document aims to gather the necessary steps to achieve a design of Ram-Air system suitable for incorporation into a prototype motorcycle with the typical characteristics of the Moto3 competition, from the geometric design to the manufacturing process, through the assumptions made and fluid-dynamic tests performed.

The objective of this system is to achieve the greatest gain possible pressure inside thereof in order to achieve that, open the intake valves of the engine, as much air as possible is introduced to ensure complete burning of the fuel .

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xiv
Índice de Figuras	xvi
Notación	xviii
1 Introducción y objetivos	11
1.1 <i>Introducción</i>	11
1.2 <i>Contexto de desarrollo</i>	11
1.3 <i>Estructura del proyecto</i>	12
1.4 <i>Objetivo</i>	12
2 Sistema Ram-Air	13
3 Ecuaciones e hipótesis	14
3.1 <i>Condición isentrópica</i>	14
3.2 <i>Ganancia de presión</i>	15
3.3 <i>Cálculo del número de Mach</i>	17
3.4 <i>Relación de áreas</i>	18
4 Diseño geométrico	20
5 Ensayos fluido dinámicos	25
5.1 <i>Definición geométrica y mallado.</i>	25
5.2 <i>Condiciones de contorno y método de resolución.</i>	27
5.3 <i>Post-procesado o visualización de los resultados</i>	29
6 Diseño final	32
7 Fabricación	35
8 Conclusiones	40
Referencias	41

Índice de Figuras

Figura 1-1: US-Racing Engineering	11
Figura 1-2: Motostudent	11
Figura 2-1 Sistema Ram-Air	13
Figura 3-1 Problema tobera divergente	15
Figura 3-2 Banco de potencia de Kawasaki	16
Figura 3-3 Gráfica presión- velocidad	16
Figura 3-4 Problema Ram-Air	18
Figura 4-1 Geometría de partida	20
Figura 4-2 Posiciones descartadas	21
Figura 4-3 Posición propuesta	21
Figura 4-4 Obstáculos al flujo.	22
Figura 4-5 Ubicación del carenado	23
Figura 4-6 Ubicaciones rigidizadores	23
Figura 5-1 Pérdida de la capa límite	25
Figura 5-2 Parámetros del programa	26
Figura 5-3 Mallado del volumen de control	26
Figura 5-4 Mallado interno	27
Figura 5-5 Condiciones de contorno	27
Figura 5-6 Modelo k-epsilon.	28
Figura 5-7 Iteraciones para el cálculo de la solución	29
Figura 5-8 Distribución de velocidades	30
Figura 5-9 Distribución de presiones globales	30
Figura 5-10 Distribución de presiones en el conducto	31
Figura 6-1 Volumen de control final	32
Figura 6-2 Despiece	33
Figura 6-3 Montaje	33
Figura 7-1 Fibra de carbono sin tratar	35
Figura 7-2 Disposición infusión por vacío	35
Figura 7-3 Molde conducto de entrada	36
Figura 7-4 Molde caja superior	36
Figura 7-5 Molde caja inferior	37
Figura 7-6 Molde conducto salida	37
Figura 7-7 Secciones en la herramienta CATIA	38
Figura 7-8 Molde entrada superior	38

Notación

A^*	Conjugado
c.t.p.	En casi todos los puntos
c.q.d.	Como queríamos demostrar
e.o.c.	En cualquier otro caso
e	número e
Re	Parte real
Im	Parte imaginaria
sen	Función seno
tg	Función tangente
arctg	Función arco tangente
sen	Función seno
$\sin^x y$	Función seno de x elevado a y
$\cos^x y$	Función coseno de x elevado a y
Sa	Función sampling
sgn	Función signo
rect	Función rectángulo
Sinc	Función sinc
$\partial y \partial x$	Derivada parcial de y respecto
x°	Notación de grado, x grados.
$\Pr(A)$	Probabilidad del suceso A
SNR	Signal-to-noise ratio
MSE	Minimum square error
:	Tal que
<	Menor o igual
>	Mayor o igual
\	Backslash
cc	Centímetros cúbicos

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

El proyecto aquí presentado consiste en todo el proceso de construcción de un sistema Ram-Air, desde el diseño hasta la fabricación, instalado en una motocicleta con las características típicas de la competición Moto3.

El diseño al que llegaremos no sólo tendrá carácter teórico sino que será llevado a la práctica para el equipo de motos de la Universidad de Sevilla, *US-Racing Engineering* [1]. Dicho equipo está compuesto por alumnos pertenecientes a las diferentes ramas de la ingeniería como son la Industrial, Mecánica y Aeronáutica, incluyendo también alumnos pertenecientes a las carreras de Audiovisuales y Marketing para el desarrollo de un prototipo de motocicleta para participar en la competición promovida por *Moto Engineering Foundation*, *Motostudent* [2].

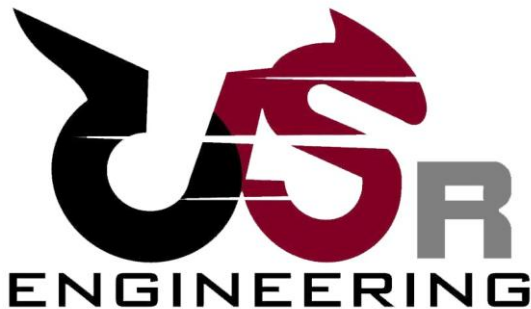


Figura 1-1: US-Racing Engineering



Figura 1-2: Motostudent

1.2 Contexto de desarrollo

Como hemos mencionado anteriormente el sistema Ram-Air expuesto en este proyecto está pensado para su inclusión en un prototipo para la participación en la competición de Motostudent. Dicha competición reúne a universidades de todo el mundo con el fin de promover el desarrollo ingenieril de un prototipo de motocicleta atendiendo a las especificaciones del campeonato de motociclismos de Moto3, por lo que se deberá adaptar el diseño a un motor de combustión interna mono cilíndrico de cuatro tiempos y de 250cc de capacidad.

Una vez realizado dicho proyecto industrial se procede a su fabricación para hacer frente a la prueba final, que reúne a todas las universidades participantes en el circuito de *Motorland* (Aragón). Allí se procede a realizar una serie de pruebas de fiabilidad estructural, frenada, etc. para proceder a la realización de una carrera entre aquellos prototipos que hayan superado las pruebas técnicas.

1.3 Estructura del proyecto

El proyecto aquí presente está dividido en tres partes perfectamente diferenciadas. La primera parte recoge la parte histórica del proyecto, es decir, el por qué de los sistemas Ram-Air, su inclusión en el campeonato de motociclismo, etc. Este bloque está recogido en los capítulos 1 y 2.

El segundo bloque recogerá todos los aspectos relacionados con el diseño, desde las ecuaciones empleadas hasta el estudio en elementos finitos pasando por el diseño geométrico. Este bloque es el más importante de todos pues al estar incluido en un proyecto mayor como es el del diseño de una motocicleta, está expuesto a múltiples variaciones provocadas por las modificaciones del resto de departamentos del equipo (y de sus correspondientes piezas). Este bloque está desarrollado entre los capítulos 3 y 6.

Finalmente, el último bloque será el relacionado con la fabricación de la pieza. Temas como los materiales a utilizar y el proceso de fabricación en sí son recogidos en esta parte, las cuales están recogidas en el capítulo 7.

1.4 Objetivo

El diseño de cada pieza dentro del prototipo realizado por los miembros del equipo *US Racing Engineering* requiere un estudio de la geometría y de las prestaciones en constante comunicación con cada departamento. Cada modificación interacciona directamente con el resto de departamentos, por lo que una pequeña modificación de un elemento podría desencadenar grandes cambios en el resto de elementos que conforman el prototipo.

Debido a la cantidad de restricciones que posee la realización de una pieza dentro de un prototipo completo, este documento recoge los pasos realizados para el diseño y construcción del sistema Ram-Air, usando herramientas informáticas como son los programas CATIA V5 para el desarrollo geométrico como ANSYS para el estudio fluido dinámico. De esta manera queda definido el objetivo de este proyecto: diseño y construcción de un sistema Ram-Air para un prototipo de moto3 capaz de producir un aumento de caballos al motor.

2 SISTEMA RAM-AIR

Como se ha explicado en el apartado anterior, cualquier mejora introducida para aumentar las prestaciones del motor puede suponer la victoria o la derrota en una carrera. Una forma de conseguir esta mejora es aumentando la cantidad de aire que entra en los cilindros del motor. Este es el cometido del sistema Ram-Air.

La aparición del Ram-Air surge a partir de los años 50. Antes de este periodo el peso de la aerodinámica era aproximadamente nulo, sin embargo, "en algún momento, a alguien se le ocurrió que, tal y como ya habían descubierto en otros campos, el aire que rodea la moto no tenía por qué ser tan solo un enemigo a combatir, sino que se podía aprovechar" [9]. Cuando una moto se desplaza a alta velocidad, el motor invierte gran parte de su potencia en abrirse paso a través del aire. La elevada presión generada en el carenado de la motocicleta es la aprovechada por el Ram-Air para proporcionar unos caballos extra al motor.

La introducción de una mayor cantidad de aire en el motor para proporcionar unos caballos extra al motor sin necesidad de ningún tipo de elemento electrónico se hizo rápidamente indispensable en el mundo del motor, ya que este sistema se vale únicamente del movimiento de la motocicleta y de la geometría misma de la pieza, sin producir gasto alguno en energía o combustible.

Los sistemas Ram-Air o Airbox están compuestos por tres piezas, cada cual con un objetivo definido:

- Conducto de entrada o Ram-Air: Este conducto es el encargado de recoger el aire del exterior de la moto y llevarlo hasta el Airbox. Este conducto, como ya veremos, debe ir aumentando el área de la sección y ser lo más suave posible respecto a la curvatura del mismo.
- Caja de remanso o Airbox: En esta pieza se produce la ralentización del flujo de aire debido al aumento brusco de la sección. Esto producirá un aumento de la presión estática a la entrada del motor.
- Salida: Esta pieza es la encargada de llevar el aire y la presión estática generada hasta la entrada del motor.

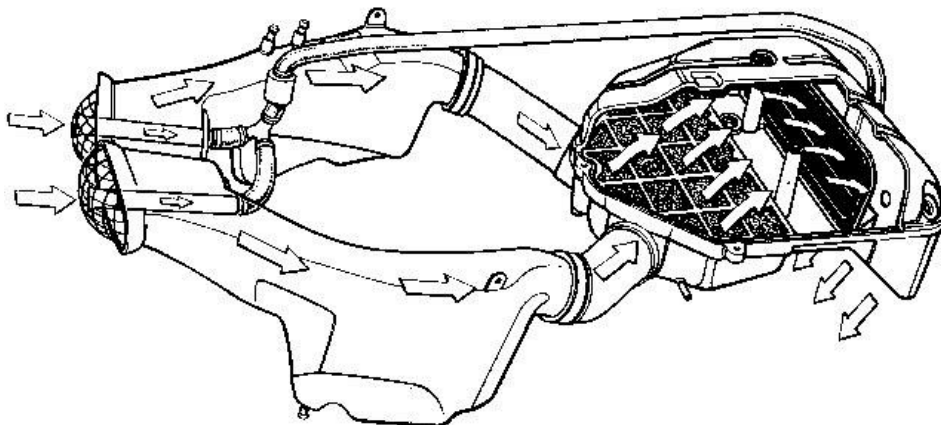


Figura 2-1 Sistema Ram-Air

Conociendo esto podemos definir la función de los sistemas Ram-Air: captar el aire del exterior de la motocicleta gracias al movimiento de la misma, llevándolo por los conductos de entrada hasta el Airbox, donde se ralentizará el flujo de aire. Esta ralentización produce una disminución de la presión dinámica y un aumento de la presión estática a la entrada del motor. Esto es de gran interés pues la primera de ellas no produce ningún tipo de mejora en las prestaciones del motor, sin embargo, la presión estática se traducirá en un aumento de la cantidad de aire que entra en los cilindros cuando la mariposa del motor se abre.

3 ECUACIONES E HIPÓTESIS

El conducto Ram-Air es considerado como una tobera divergente o convergente-divergente, por lo que el estudio del número de Mach es de gran importancia para este tipo de sistemas. Nuestro objetivo será obtener la mayor ganancia de presión estática posible en el espacio disponible. Esto normalmente no es posible en los primeros diseños ya que, tanto las posibles restricciones geométricas como el comportamiento del fluido en el interior de la tobera obligan a modificar el diseño, por lo que los valores iniciales son tomados como referencias.

3.1 Condición isentrópica

Para el desarrollo del sistema Ram-Air nos hemos basado en la evolución isentrópica del fluido dentro de toda la tobera. Para llegar a esa afirmación debemos basarnos en varias hipótesis:

- Problema estacionario.
- Calor aproximadamente igual a cero ($\dot{Q} = 0$).
- Trabajo aproximadamente igual a cero ($\dot{W} = 0$).
- Número de Reynolds mucho mayor que 1 ($Re \gg 1$).
- Número de Froud mucho mayor que 1 ($Fr \gg 1$).

Usando las ecuaciones de energía (1), constantes termodinámicas (2) y conservación lineal de la cantidad de movimiento (3) aplicadas al problema que vemos en la Figura 3-1 podemos demostrar la evolución isentrópica del flujo a través de la tobera:

$$h_0 = h + \frac{v^2}{2} \quad (1)$$

$$h = C_p T \quad (2)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial s} \right) = - \frac{\partial (p + \rho U)}{\partial s} + \text{fricción} \quad (3)$$

Siendo "h" la entalpía, "v" la velocidad del fluido y "T" la temperatura del fluido. Si derivamos la ecuación (1) respecto de s:

$$0 = \frac{\partial h}{\partial s} + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{v^2}{2} \right) \quad (4)$$

Al aplicar las hipótesis expuestas anteriormente a la ecuación (3) se obtiene:

$$\frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{v^2}{2} \right) = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} \quad (5)$$

Usando las constantes termodinámicas podemos hallar la relación entre la entalpía y la presión y densidad del fluido:

$$h = e + \frac{p}{\rho} \quad \rightarrow \quad h = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{p}{\rho} \quad (6)$$

Siendo "e" la energía interna y $\gamma = C_p/C_v$. Derivando la ecuación (6):

$$\frac{\partial h}{\partial s} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} - \frac{p}{\rho^2} \frac{\partial \rho}{\partial s} \right) \quad (7)$$

Sustituyendo las ecuaciones (5) y (7) en la ecuación (4) y desarrollando los términos llegamos a:

$$\frac{dp}{p} = \gamma \frac{d\rho}{\rho} \quad \rightarrow \quad \frac{p}{\rho^\gamma} = C \quad (8)$$

Siendo "C" una constante. Al definirse la entropía como $S = C_v \ln\left(\frac{p}{\rho^\gamma}\right)$ podemos decir que el flujo será isentrópico cuando S=constante.

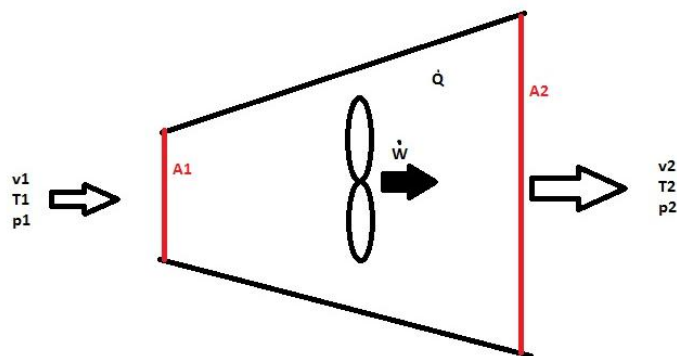


Figura 3-1 Problema tobera divergente

3.2 Ganancia de presión

Una vez demostrada la propiedad isentrópica del flujo es necesario conocer el número de Mach, pues éste nos dará unas características u otras del fluido dependiendo de su valor. Para obtener su valor nos hace falta conocer la ganancia de presión que se obtendría en el interior del Ram-Air. Este dato se obtiene de los datos recopilados por los técnicos de Kawasaki: "Los técnicos de Kawasaki fueron pioneros en adaptar un banco de potencia para poder medir la mejora que experimentarían sus motores con la instalación del Ram-Air. Para ello idearon un sistema que estaba basado en un ventilador con capacidad de producir pequeños volúmenes de aire a gran presión. Este ventilador se conectaba con los conductos de admisión de la moto. Gracias a esta conexión, fue posible realizar la medición de las presiones generadas en el Air-Box de la moto. Con el uso de

un manómetro, se podían medir variaciones de presión de hasta 30 mb" (Carmen Fernández Pastor, 2010) [10]. De este ensayo se obtuvo una gráfica que relaciona la ganancia de presión en el Airbox frente a la velocidad a la que circula la misma:



Figura 3-2 Banco de potencia de Kawasaki

No debemos olvidar el hecho de que estos datos son característicos de la Kawasaki ZX-9R, sin embargo nos sirven de guía para dimensionar el sistema Ram-Air.

Para la obtención de la ganancia de presión es necesario conocer la velocidad a la que circulará la motocicleta. En el caso que concierne a este documento se tomará una velocidad de 150 km/h. Dicha velocidad se ha considerado teniendo en cuenta las velocidades obtenidas por los pilotos de la competición internacional *Moto3* en el circuito de *Motorland*, Aragón. La consideración de estas velocidades no es casualidad, pues el prototipo donde se implementará el sistema Ram-Air corresponde a dicha categoría y competirá en dicho circuito.

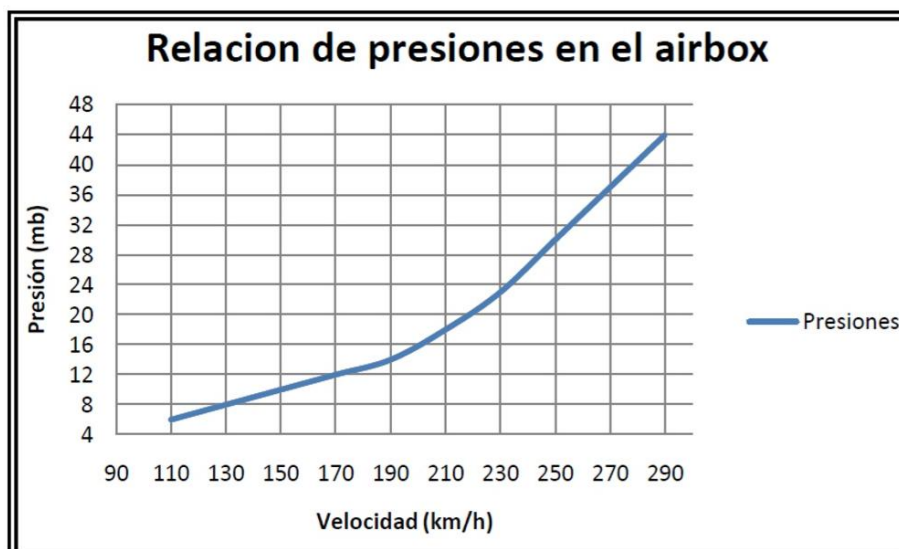


Figura 3-3 Gráfica presión- velocidad

Con el dato de velocidad anteriormente comentado y la Figura 3-3 se puede determinar la ganancia de presión dentro del sistema en un valor de 10 mb (1000 Pa).

3.3 Cálculo del número de Mach

El número de Mach se define como el cociente entre la velocidad del fluido y la velocidad del sonido en dicho medio. Dicho número tiene un peso muy importante pues dependiendo de su valor el fluido se comportará de una forma u otra al variar el área de la sección que atraviesa. En el caso de que la tobera fuera convergente la única opción posible es que el Mach fuera menor que la unidad (subsónico), sin embargo en el caso que aquí se trata la tobera resulta ser divergente, eso quiere decir que podría existir algún tramo con Mach mayor que la unidad (supersónico). Para saber el valor del Mach debemos comprobar que la tobera no esté bloqueada. Dicha condición viene dada por la ecuación:

$$\frac{p_a}{p_o} < \frac{1}{0,528} \rightarrow \frac{p_a}{p_a + \Delta p} = \frac{101325}{101325 + 1000} = 0,99 > \frac{1}{0,528} \quad (9)$$

Con esto queda demostrado que la tobera no está bloqueada, asumiendo que el número de Mach es menor que la unidad. Al ser el número de Mach inferior a 1 (fluido subsónico) el fluido adquiere unas características a tener en cuenta para el diseño del conducto: Al aumentar el área de la sección se produce:

- Una disminución de la velocidad del fluido.
- Una disminución del número de Mach.
- Un aumento de la presión estática.
- Un aumento de la densidad del fluido.
- Un aumento de la temperatura del fluido.

Con estos datos se puede deducir que el sistema Ram-Air consistirá en un conducto que irá aumentando su sección para que se produzca una disminución de la velocidad y su correspondiente aumento de presión estática.

El valor del número de Mach a la entrada resulta de gran interés, pues al ser el punto donde el Mach alcanzará su valor máximo en la tobera, nos permitirá la aplicación de las ecuaciones para flujos incompresibles o de bajo número de Mach. Se define como el cociente entre la velocidad del fluido en ese punto y la velocidad del sonido en ese medio:

$$M = \frac{v}{a} = \frac{41,67 \frac{m}{s}}{340 \frac{m}{s}} = 0,123 \ll 1$$

Obteniéndose un número de Mach mucho menor que la unidad c.q.d. siendo aplicable la hipótesis de flujos incompresibles.

3.4 Relación de áreas

Para poder desarrollar el diseño geométrico es imprescindible conocer el valor de las áreas de entrada y de salida del conducto, pues son estas las que nos dan la ganancia de presión dentro del Ram-Air. La forma de conocer dicha relación es a través de la aplicación del Principio de Bernoulli (10) y de la conservación del caudal (11) al problema expuesto en la Figura 3-4 (que son de aplicación a través de la hipótesis de flujos incompresibles demostrada en el apartado anterior):

$$p + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 = cte \quad (10)$$

$$Q = cte \quad (11)$$

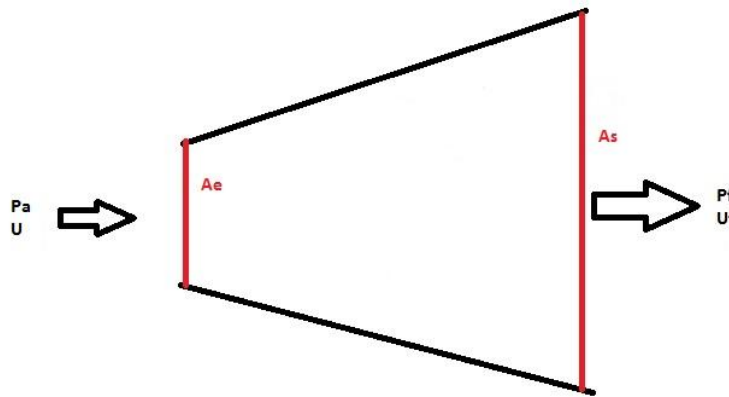


Figura 3-4 Problema Ram-Air

Aplicando el Principio de Bernoulli a nuestro problema:

$$p_a + \rho gh + \frac{1}{2} \rho U_\infty^2 = p_f + \rho gh + \frac{1}{2} \rho U_f^2$$

$$p_f - p_a = \Delta p = \frac{1}{2} \rho U_\infty^2 \left(1 - \left(\frac{U_f}{U_\infty} \right)^2 \right) \quad (12)$$

Si se aplica la ecuación de continuidad al mismo problema:

$$U_\infty A_e = U_f A_s$$

$$\frac{U_f}{U_\infty} = \frac{A_e}{A_s} \quad (13)$$

Sustituyendo la ecuación (13) en la (12) se llega a la ecuación que relaciona presión con relación de área, siendo esto lo que se buscaba:

$$\Delta p = \frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2 \left(1 - \left(\frac{A_e}{A_s} \right)^2 \right) \quad (14)$$

Sabiendo que:

- $\Delta p \sim 1000 \text{ Pa}$
- $U_{\infty} = 150 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 41,67 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- $\rho = 1,184 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Podemos decir que la relación de áreas tiene un valor:

$$\frac{A_e}{A_s} = 0,165 \quad (15)$$

4 DISEÑO GEOMÉTRICO

El diseño geométrico de la motocicleta se realizará gracias a la herramienta gráfica de diseño en 3D CATIA V5 R19. Esta herramienta de diseño asistido por ordenador (CAD: Computer Aided Design) permite visualizar las piezas diseñadas por el resto de departamentos que conforman el equipo para así poder observar las distintas incompatibilidades geométricas entre elementos.

Para el desarrollo del prototipo partiremos de la hipótesis de que el diseño del resto de piezas que conforman el prototipo de la motocicleta se encuentra en su estado final en cuanto a diseño y pendientes de fabricación (Figura 4-1), es decir, no podrán modificar su forma. Esto quiere decir que nuestro sistema se debe de amoldar a los espacios proporcionados por el resto de piezas del equipo ajustándose en su máxima medida a la relación de áreas obtenidas anteriormente, cosa que como veremos más adelante no es fácil.

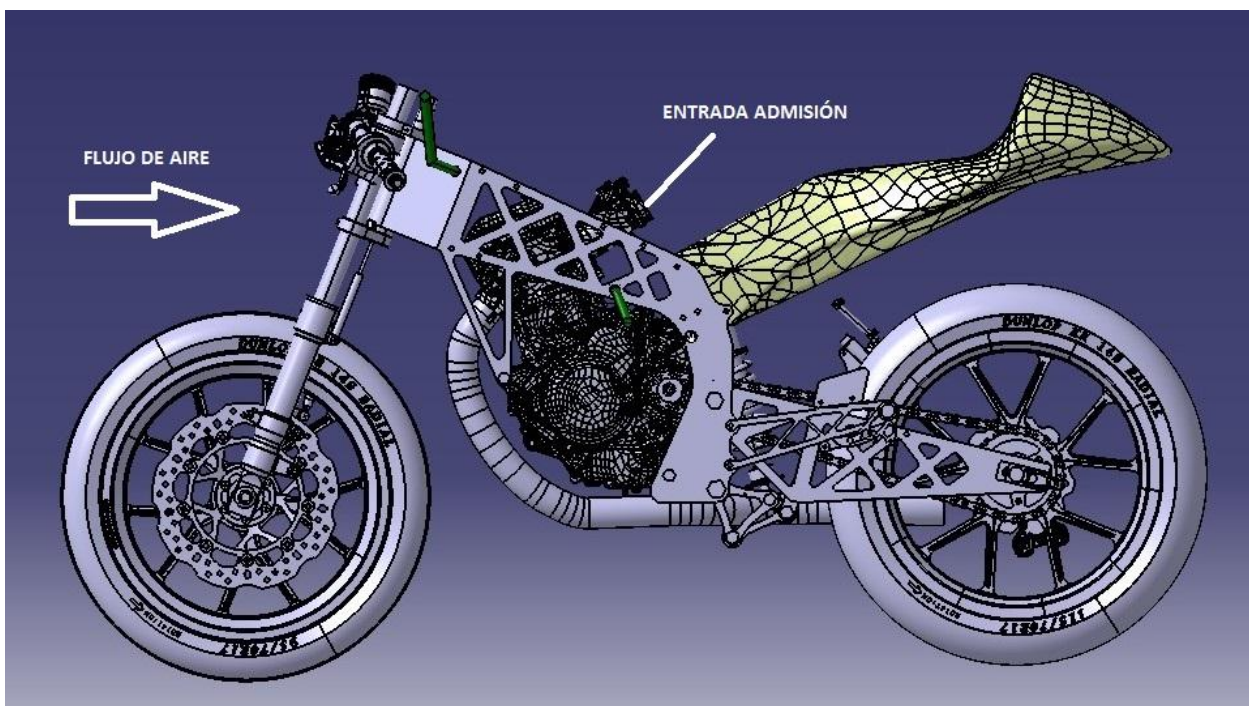


Figura 4-1 Geometría de partida

El primer inconveniente que cabe destacar de este prototipo es la posición del motor. Este resulta ser un motor alto (gran recorrido del pistón) y con la entrada de la admisión orientada hacia la parte trasera de la motocicleta, posición típica de las motos de calle (esto se debe a que el motor proporcionado por la Organización de la competición es el perteneciente al modelo Honda CBR 250R). Esta orientación es contraria a las de los motores de competición, los cuales poseen la entrada de la admisión orientada hacia la zona delantera y la salida del escape hacia la zona trasera con el fin de facilitar la entrada y expulsión de los gases dentro del motor. Esto complica y aumenta el recorrido que tiene que efectuar el flujo, produciéndose las inevitables pérdidas de carga.

Una vez conocida la localización de la entrada y la salida de nuestro sistema surgen tres posibles ubicaciones: la primera en la que el Airbox o caja de remanso se sitúe encima del motor (como es lo normal dentro del mundo de la competición) (Figura 4-2); en el lateral entre el motor y el chasis (Figura 4-3); y finalmente, en el lateral entre el chasis y el carenado (Figura 4-2). El primero de ellos tiene la dificultad de la altura del cilindro del motor, al ser este tan alto provoca que no exista hueco suficiente entre el motor y el depósito¹, por lo que

¹ Por reglamento el depósito debe colocarse encima de las válvulas de admisión.

queda descartado. Respecto a la posición entre el chasis y el carenado será también descartada por motivos estéticos² y ergonomía del piloto. Por tanto la línea de diseño del Airbox será con una ubicación lateral entre el chasis y el motor como se muestra en la Figura 4-3.

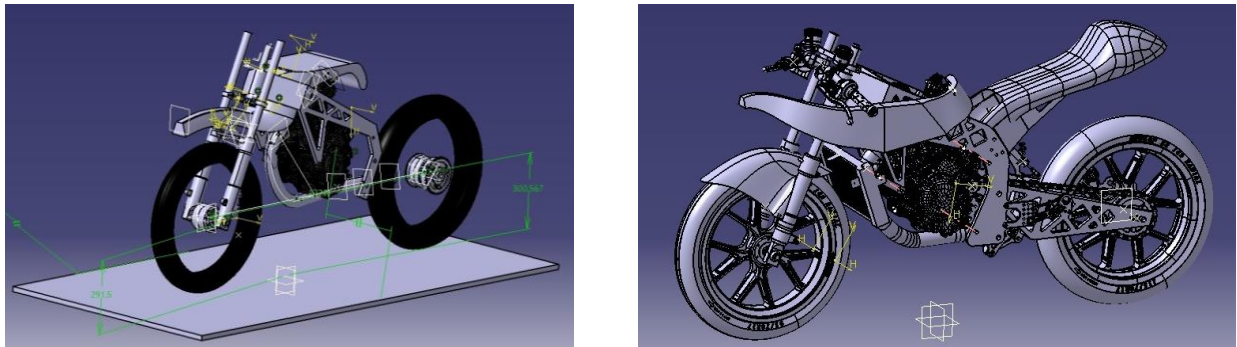


Figura 4-2 Posiciones descartadas

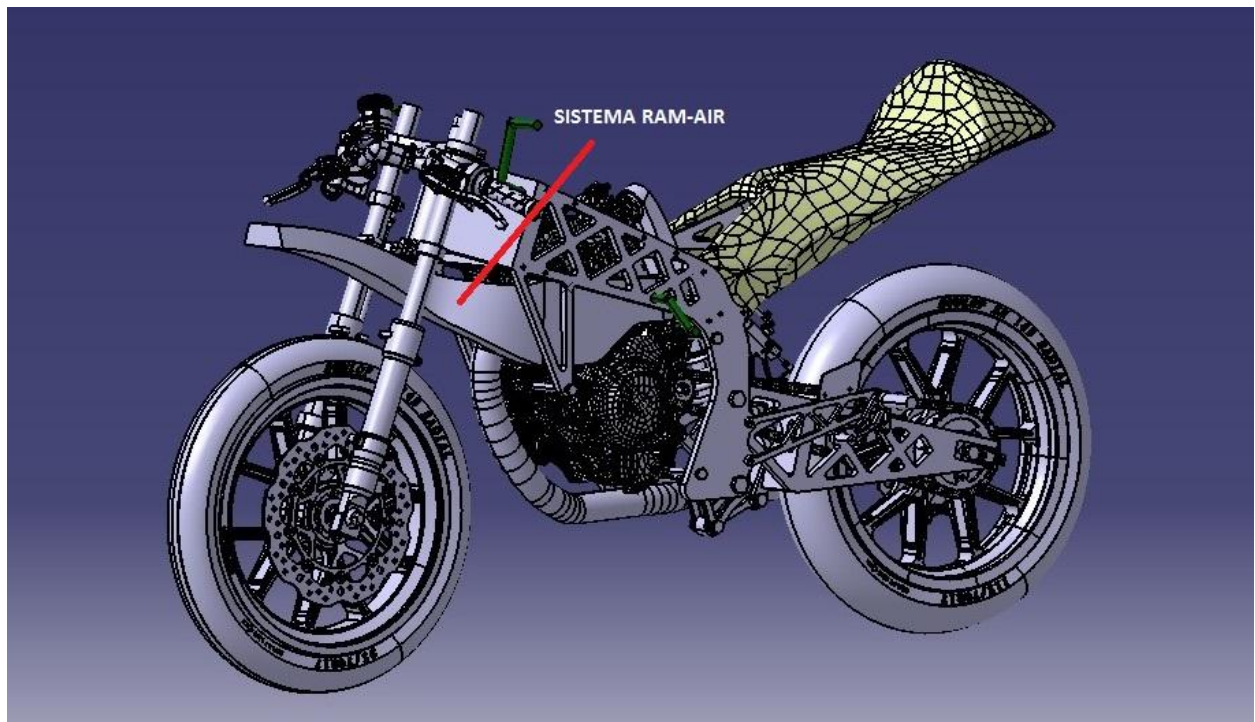


Figura 4-3 Posición propuesta

Una vez decidida la ubicación de la caja de remanso o Airbox pasamos al desarrollo del conducto de entrada o Ram-Air. La trayectoria del mismo no es algo trivial, pues lo más sencillo y eficaz sería el uso de una línea recta que uniera la toma de aire con la entrada del Airbox. Sin embargo esto no va a ser posible. La existencia de varios elementos que se oponen al movimiento sencillo del fluido provoca que la geometría del Ram-Air adquiera una serie de curvaturas para salvar dichos obstáculos, produciendo pérdidas de carga. En la Figura 4-4 se puede apreciar tres elementos que obligan a dar cierta curvatura al Ram-Air: La salida del escape, la posición del radiador y el espacio central entre la horquilla.

² La estética de la motocicleta también está valorada por la Organización de Motostudent.

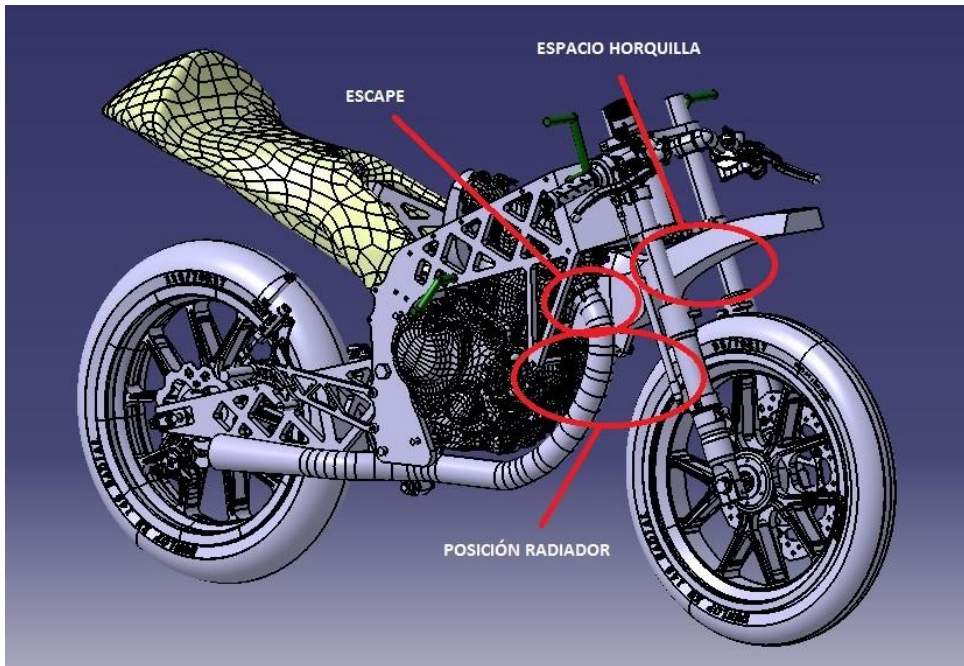


Figura 4-4 Obstáculos al flujo.

La salida del escape, al ubicarse en una zona céntrica respecto al eje longitudinal de la motocicleta y no tener la capacidad de formar grandes giros (pérdidas de carga), provoca que el conducto del Ram-Air tenga que desviarse hacia el lateral de la motocicleta de forma más brusca, ya que limita el espacio disponible entre la horquilla y el escape. Por su parte, el radiador es un elemento de grandes dimensiones que tiene la necesidad de colocarse frente al flujo de aire que atraviesa la motocicleta para la correcta refrigeración del motor. Su ubicación obliga a que el Ram-Air se desvíe por la zona superior del mismo.

La elección del paso del conducto a través de la horquilla no es casual. Esto se debe a que, al igual que ocurre con el resto de piezas, el carenado de la motocicleta posee la forma y ubicación de la entrada definida. El procedimiento habitual no es este. Por término general el carenado de la motocicleta debe amoldarse a la estructura ya definida (incluyendo el Ram-Air) y ubicar los orificios en el lugar oportuno. Sin embargo en el caso aquí propuesto, el equipo *US Racing Engineering* opta por la compra de un carenado de competición (Figura 4-5), cuya entrada de admisión está ya definida. Dicha entrada se sitúa en el centro del plano longitudinal de la motocicleta, en la zona más externa del mismo para captar el aire a la mayor presión posible. Con esta ubicación de la entrada del conducto, el paso entre la horquilla es el más directo y el que produce menores pérdidas de carga, siendo el idóneo para el desarrollo de una motocicleta de competición donde cada segundo arrancado al cronómetro cuenta.

El conocimiento del valor de entrada del Ram-Air junto con la relación de áreas (15) obtenidas en el capítulo anterior se puede obtener el valor que debe poseer la entrada de la caja de remanso:

$$\left\{ \begin{array}{l} A_e = 3570,5 \text{ mm}^2 \\ \frac{A_e}{A_s} = 0,165 \end{array} \right\} \rightarrow A_s = 21639,394 \text{ mm}^2 \quad (16)$$

Sin embargo, como se verá en el capítulo siguiente, el área obtenida a la salida del conducto será inviable por motivos geométricos y dinámicos.

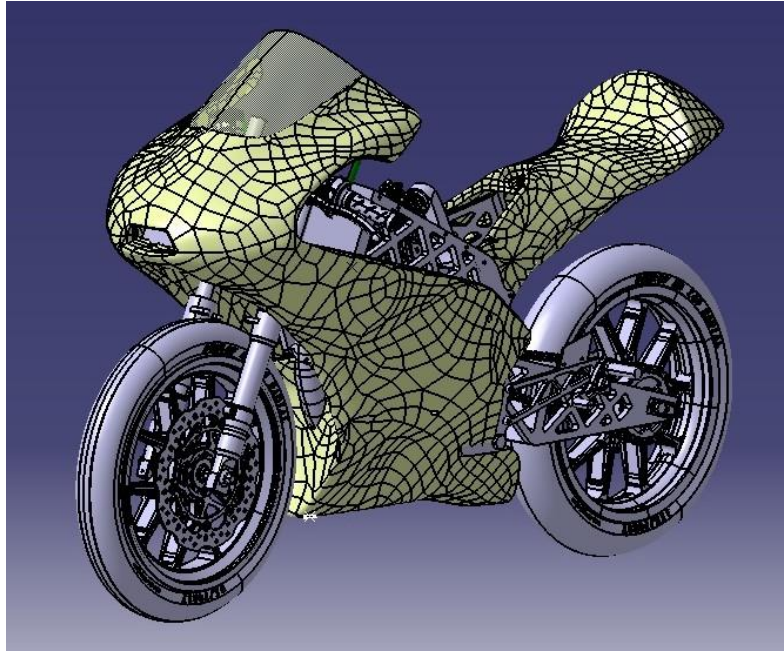


Figura 4-5 Ubicación del carenado

El paso por el centro de la horquilla requiere tener presente dos aspectos fundamentales: el giro del manillar y la compresión de la suspensión. Para hablar del primero lo que se debe tener en cuenta es el giro máximo que puede ofrecer el manillar hacia un lado y hacia el otro³. El tamaño del conducto debe ser tal que si el manillar se lleva a su posición límite no incida con el mismo. De la misma manera pasa con la suspensión. El tamaño del conducto debe ser tal que al estar la suspensión en la posición de máxima compresión no interfiera con ningún elemento de la motocicleta.

Finalmente, para el tramo de salida de la caja de remanso, los únicos elementos que se oponen al paso del fluido son unas barras transversales existentes en el chasis llamadas *rigidizadores* (Figura 4-6) cuya función es soportar las cargas transversales que afecten a la estructura. Este tramo del Airbox lo que pretenderá será llevar el flujo de aire de la forma más lineal posible y salvando los obstáculos antes mencionados hacia la entrada del motor.

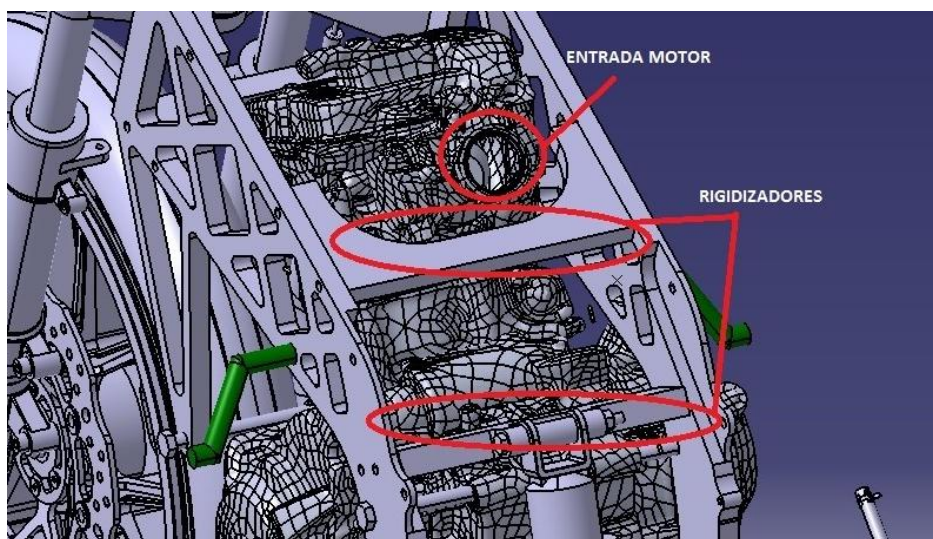


Figura 4-6 Ubicaciones rigidizadores

³ Por reglamento, el giro máximo que puede dar el manillar desde su posición estática hacia la de máximo giro son 15°.

Cabe destacar que el diseño geométrico de la motocicleta no es una parte del diseño independiente, pues la geometría variará dependiendo de los resultados obtenidos en el ensayo de elementos finitos. Esto quiere decir que el diseño geométrico y los ensayos en elementos finitos son dos bucles realimentados, pues el cambio en uno de ellos provoca un cambio en el otro, como se verá en el capítulo siguiente.

5 ENSAYOS FLUIDO-DINÁMICOS

El estudio fluido-dinámico se realiza a través de la herramienta informática ANSYS. Su utilización permite al usuario la elaboración y resolución de problemas del ámbito de la ingeniería a través del Método de Elementos Finitos (MEF) o, en el caso que aquí se recoge, mediante el Método de Volúmenes Finitos. En el problema expuesto en este documento se usará uno de sus muchos módulos: FLUENT. Este nos permite resolver problemas relacionados con la dinámica y el movimiento de los fluidos en el interior de un volumen de control, ya sea una tobera o el flujo de aire que rodea a un cohete en su desplazamiento.

Como se ha expuesto en el capítulo anterior, el diseño geométrico y el estudio fluido-dinámico son dos bucles realimentados. Obtenido un diseño, a este se le realiza un estudio fluido-dinámico y, a la vista de los resultados, se modifica si procede el diseño geométrico. Éste es el caso que se puede visualizar en la Figura 5-1. Tras un primer diseño aplicando el tamaño de áreas obtenido de la ecuación (16) se puede observar que se produce un desprendimiento de la capa límite (las líneas de colores simulan el movimiento de una partícula fluida en su recorrido por la tobera). Esto es un efecto indeseado ya que produce turbulencias y afecta a la presión en el interior del conducto. La forma de evitar este tipo de problemas es mediante la reducción de áreas o modificación de la trayectoria del conducto. En el caso que recoge este documento se opta por la reducción de áreas ya que la modificación de la trayectoria se hace imposible debido a los obstáculos expuestos en el capítulo anterior.

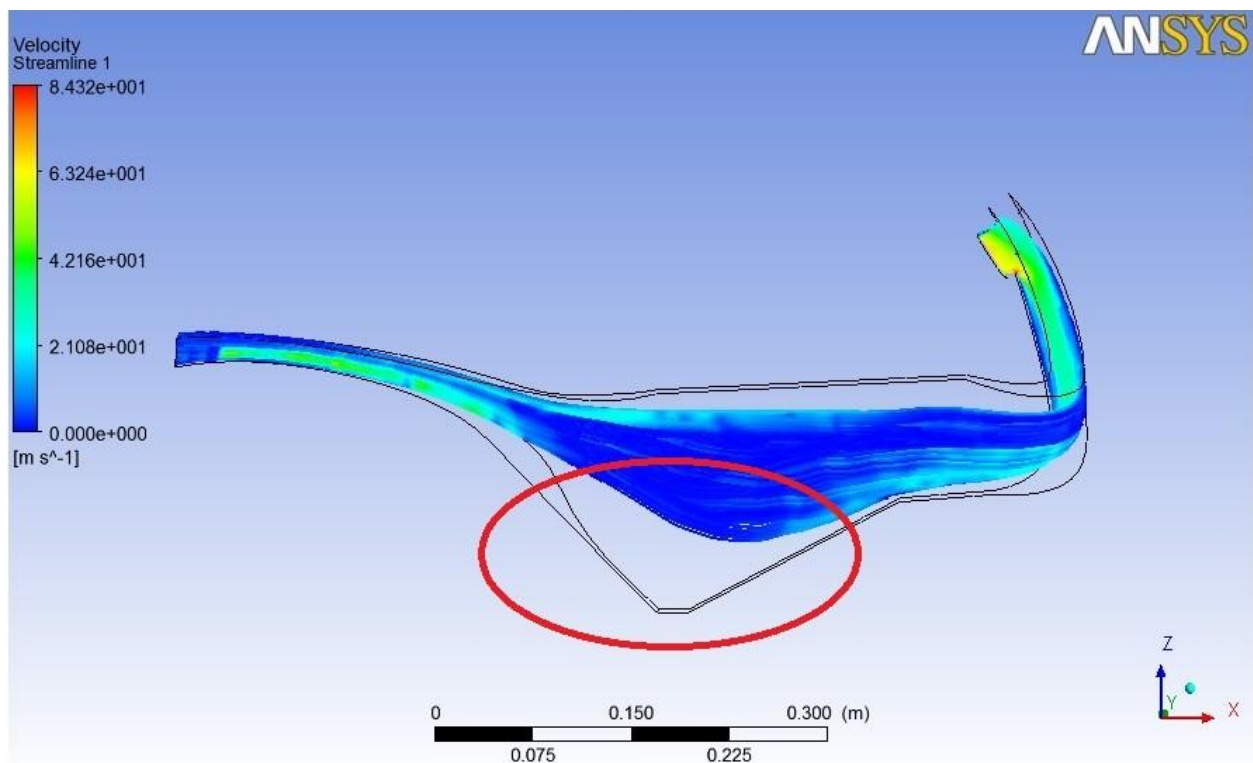


Figura 5-1 Pérdida de la capa límite

5.1 Definición geométrica y mallado.

Lo primero que debemos dar al programa son la ubicación de la entrada, la salida y las paredes (Figura 5-2 respectivamente). Esto se hace para que en la fase de cálculo el programa conozca el punto de entrada del

flujo, la salida del mismo y los lugares donde el paso del flujo está obstaculizado.

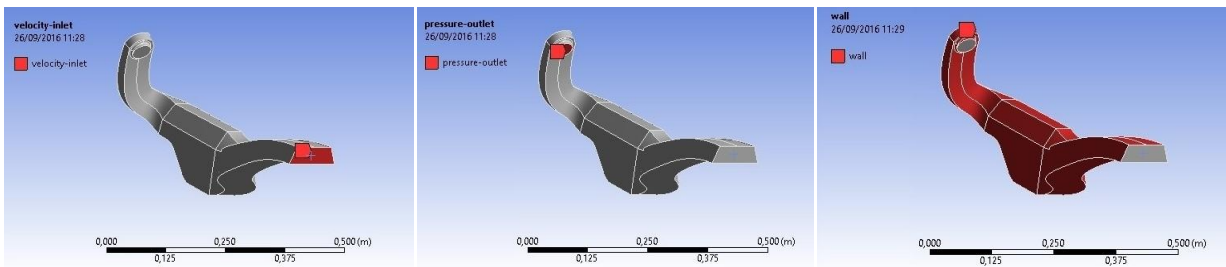


Figura 5-2 Parámetros del programa

Una vez definidas las ubicaciones de la entrada y salida se procede al mallado del volumen de control. Como se ha indicado anteriormente, el método del cálculo dinámico es a través del Método de Volúmenes Finitos. Este consiste en la división en pequeños paquetes de volumen (o mallado) del elemento que se vaya a estudiar, obteniendo el resultado de cada porción y unificándolo en un resultado global. Un buen mallado se traduce en la reducción del número de iteraciones y, por tanto, menor tiempo de cálculo. Aumentar el número de divisiones en zonas complejas y la reducción de divisiones en zonas poco importantes es una buena forma de alcanzar un buen mallado y la obtención de resultados más precisos.

En la Figura 5-3 se puede observar el mallado aplicado al volumen de control estudiado en este documento. Además de observar el mallado externo de la pieza es importante comprobar el mallado interno del mismo, ya que el flujo de aire recorre la pieza en todo su volumen. En la Figura 5-4 puede observarse un plano de corte del volumen de control estudiado para comprobar la inexistencia de elementos extraños.

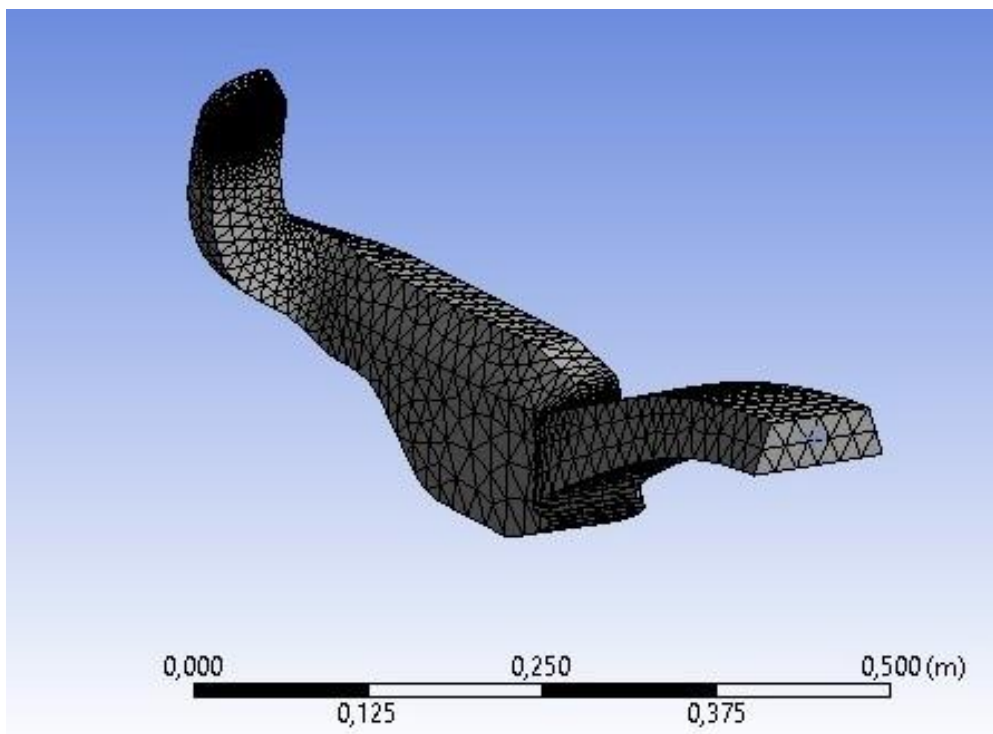


Figura 5-3 Mallado del volumen de control

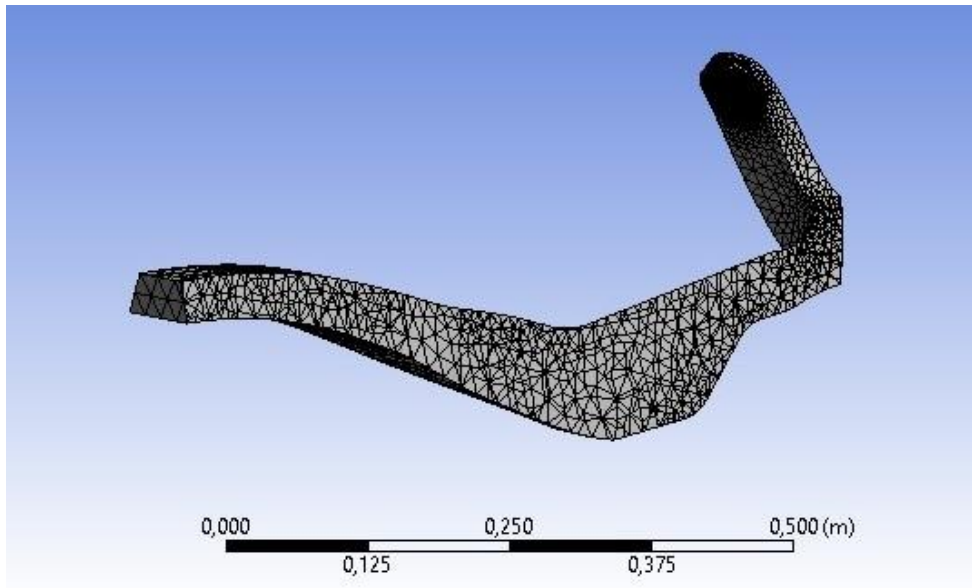


Figura 5-4 Mallado interno

Establecido el mallado de la pieza se precisa establecer las condiciones de contorno (Figura 5-5) que afectan a la pieza en cuestión y el método de resolución.

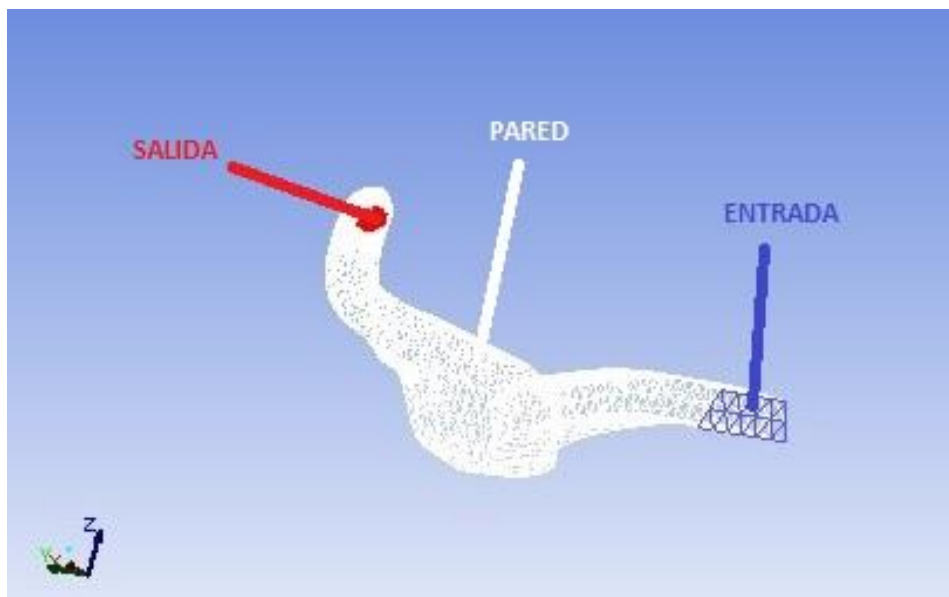


Figura 5-5 Condiciones de contorno

5.2 Condiciones de contorno y método de resolución.

Un punto clave previo a establecer las condiciones de contorno y el método de resolución es la estimación del número de Reynolds, pues dependiendo de su valor nos encontraremos ante un flujo laminar ($Re < 2300$) o turbulento ($Re > 2300$):

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{1,184 * 41,67 * 0,0526}{1,8 * 10^{-5}} = 144041,29 \gg 2300 \rightarrow \text{Turbulento}$$

El correcto uso de las condiciones de contorno y del método de resolución es algo primordial para la obtención de buenos resultados del problema a resolver. Las ecuaciones a resolver son las de las Navier-Stokes para flujos incompresibles e isotermos⁴, puesto que como hemos visto en los capítulos anteriores, el movimiento es a bajo números de Mach y las variaciones térmicas dentro del dispositivo tampoco son grandes. Sin embargo, de la estimación del número de Reynolds del problema se deduce que el flujo es turbulento, por lo que hay que utilizar un modelo turbulento para cerrar el problema. Dentro de las posibilidades que proporciona el programa, se decidió usar un modelo de *k-epsilon* (Figura 5-6).

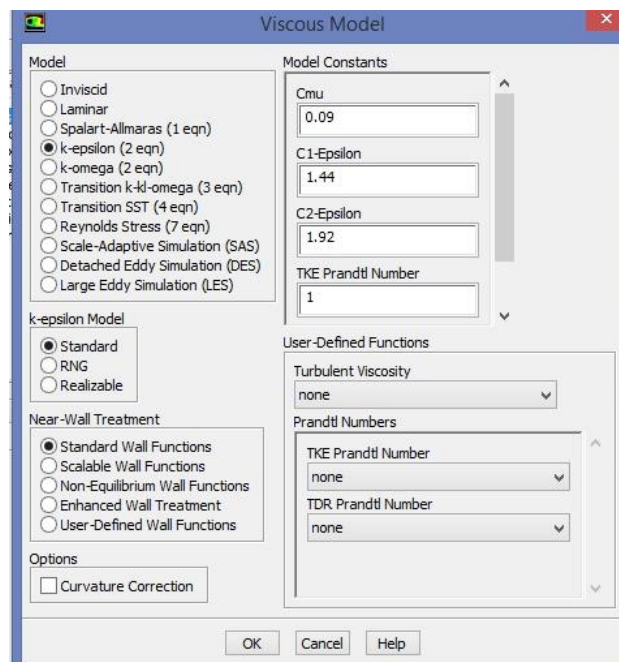


Figura 5-6 Modelo k-epsilon.

Una vez definido el modelo a utilizar es necesario establecer las condiciones de contorno que afectan al sistema:

- Caudal de aire impuesto a la entrada con una velocidad constante de $150 \frac{km}{h}$ ($41,67 \frac{m}{s}$).
- Condición de no deslizamiento en las paredes sólidas.
- A la salida se asume presión constante.

Aportada toda esta información, la herramienta informática ANSYS está lista para obtener una solución del sistema. La forma de obtener dicha solución es a través de un proceso iterativo en el que se van resolviendo las ecuaciones de forma secuencial hasta que el sistema converja a una solución. El programa usa una linealización tipo Picard para resolver ecuaciones de forma desacoplada. Es bien sabido que este tipo de linealización es inestable, por lo que hay que estabilizarlo con factores de relajación. Se usaron los valores que por defecto proporcionaba el programa.

La Figura 5-7 muestra las iteraciones realizadas en el sistema para la obtención de la solución buscada. 500 iteraciones son suficientes para alcanzar una solución posible, pues los valores residuales disminuyen en las primeras iteraciones y se mantienen aproximadamente constantes en el resto de iteraciones.

⁴ Demostrado en el apartado 3.3.

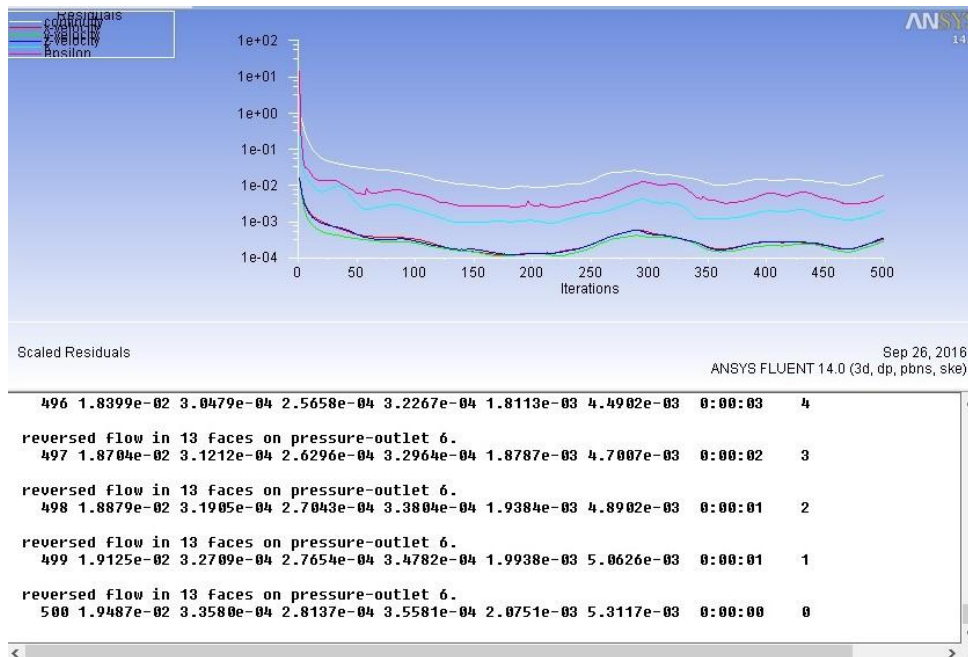


Figura 5-7 Iteraciones para el cálculo de la solución

5.3 Post-procesado o visualización de los resultados

Una vez alcanzada la solución numérica del sistema se precisa la interpretación de los resultados. Esto se consigue a través del post-procesado, donde se permite visualizar cualquier parámetro de los calculados anteriormente. En el caso aquí recogido, la información que más peso tiene es la presión (ya que el objetivo del sistema Ram-Air es conseguir un incremento de presión estática a la entrada del motor) seguido de la velocidad. Este último también es de gran importancia pues permite al usuario detectar problemas en el flujo como desprendimiento excesivo de la capa límite (caso mostrado al principio de este capítulo), turbulencias, etc.

Cabe destacar que todas las figuras mostradas en adelante corresponden al modelo final incluido en el prototipo de competición tras varios cambios geométricos.

La Figura 5-8 muestra la distribución de velocidades del flujo que se introduce en el interior del sistema. Cada línea corresponde a la trayectoria que llevaría una partícula fluida que se inicia en un punto de la entrada. Puede observarse que no hay gran desprendimiento de la capa límite, lo cual ayuda a que no existan pérdidas en la ganancia de presiones. Es necesario puntualizar que las distribuciones de velocidades tienen una cierta coherencia: al entrar la velocidad del fluido va disminuyendo conforme avanza en su recorrido para que a la salida aumente considerablemente (con el fin de que al abrirse las válvulas de admisión del motor toda la presión generada desemboque en una gran velocidad de entrada de flujo en el motor, con su correspondiente aumento en la potencia del mismo).

La disminución de la velocidad en el modelo final no es muy elevada debido a la necesidad de reducir el área de entrada a la caja de remanso, provocando un empeoramiento de la relación de áreas con su correspondiente modificación de la ganancia de presión dentro del sistema.

La nueva relación de áreas y su correspondiente ganancia de presión teórica (sustituyendo en la ecuación (14)) resulta ser:

$$\frac{A_e}{A_s} \sim 0,6$$

$$\Delta p \sim 658 \text{ Pa}$$

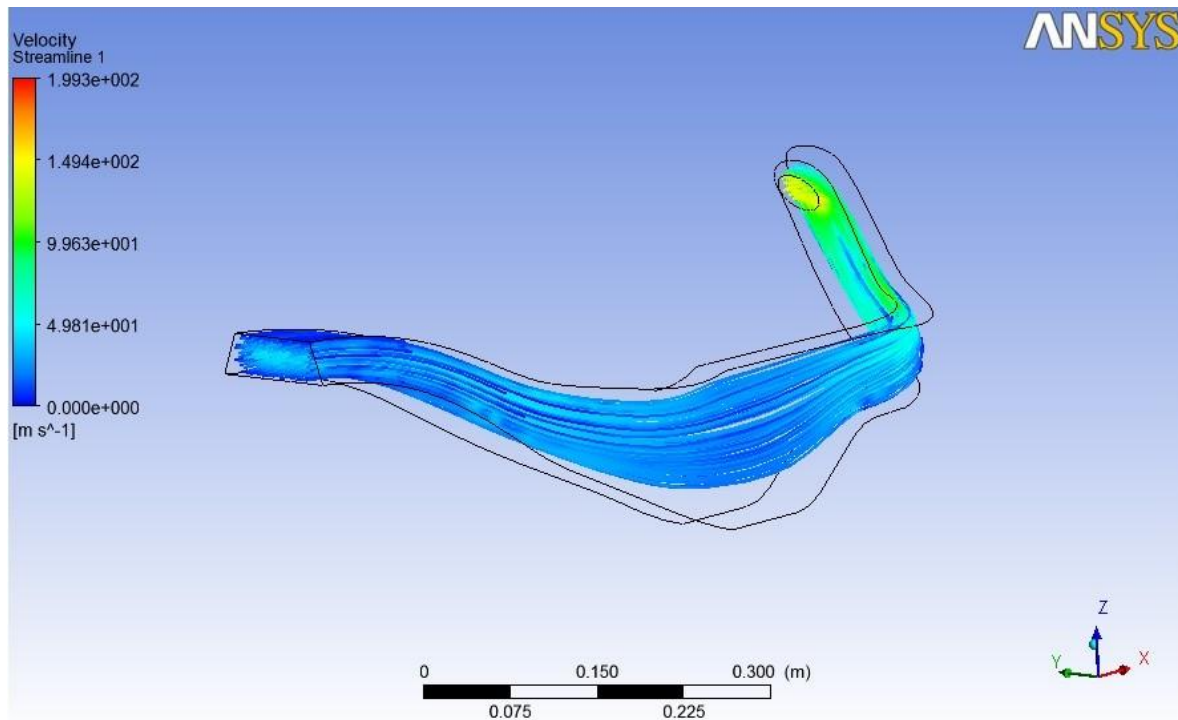


Figura 5-8 Distribución de velocidades

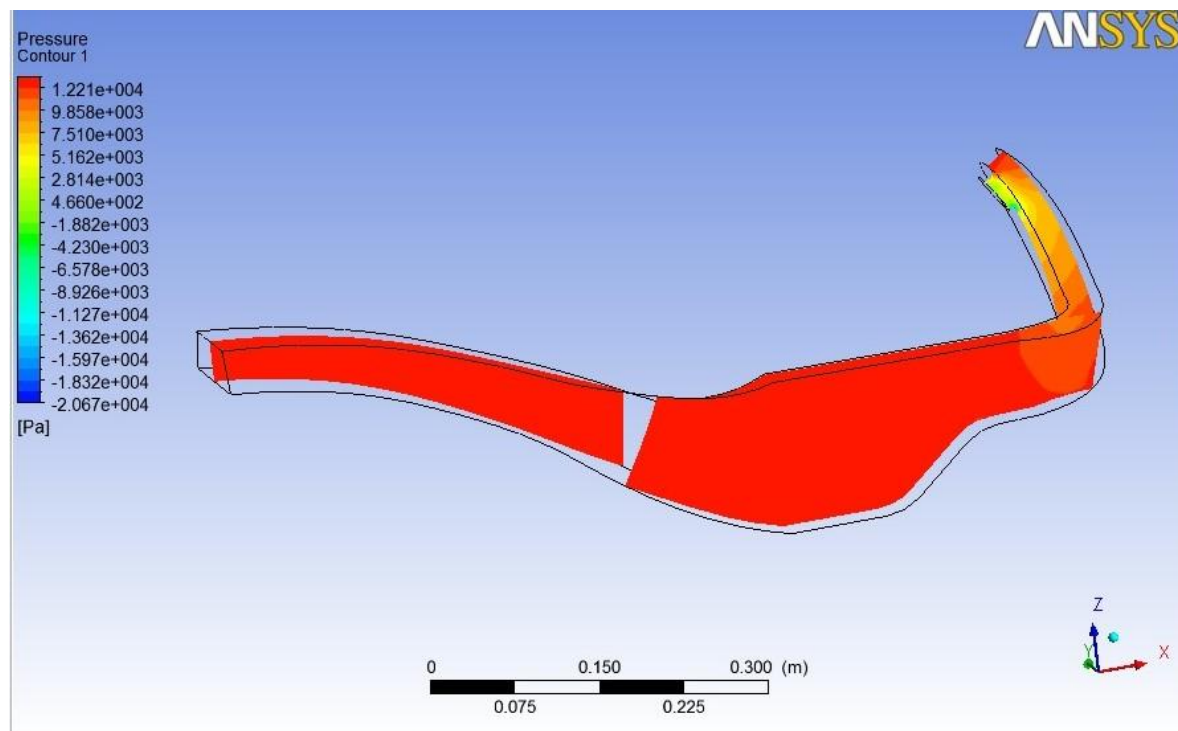


Figura 5-9 Distribución de presiones globales

Respecto a la ganancia de presión obtenida a través del ensayo (Figura 5-9) llama la atención la no variación de presión a lo largo del conducto. Sin embargo existe dicha variación. En la Figura 5-9 está representada la variación global de presión. Al existir una alta diferencia de presiones entre la caja de remanso y la salida (hecho que nos indica el correcto funcionamiento del sistema Ram-Air ya que esa disminución de presión se traduce en un aumento de la velocidad) el sistema de visualización no es capaz de mostrar las pequeñas variaciones de presión presentes en el conducto de entrada. Para la correcta visualización del mismo se precisa de la modificación del rango de medida a unos valores próximos a los de la entrada. En la Figura 5-10 se puede visualizar las variaciones de presión en el interior del conducto.

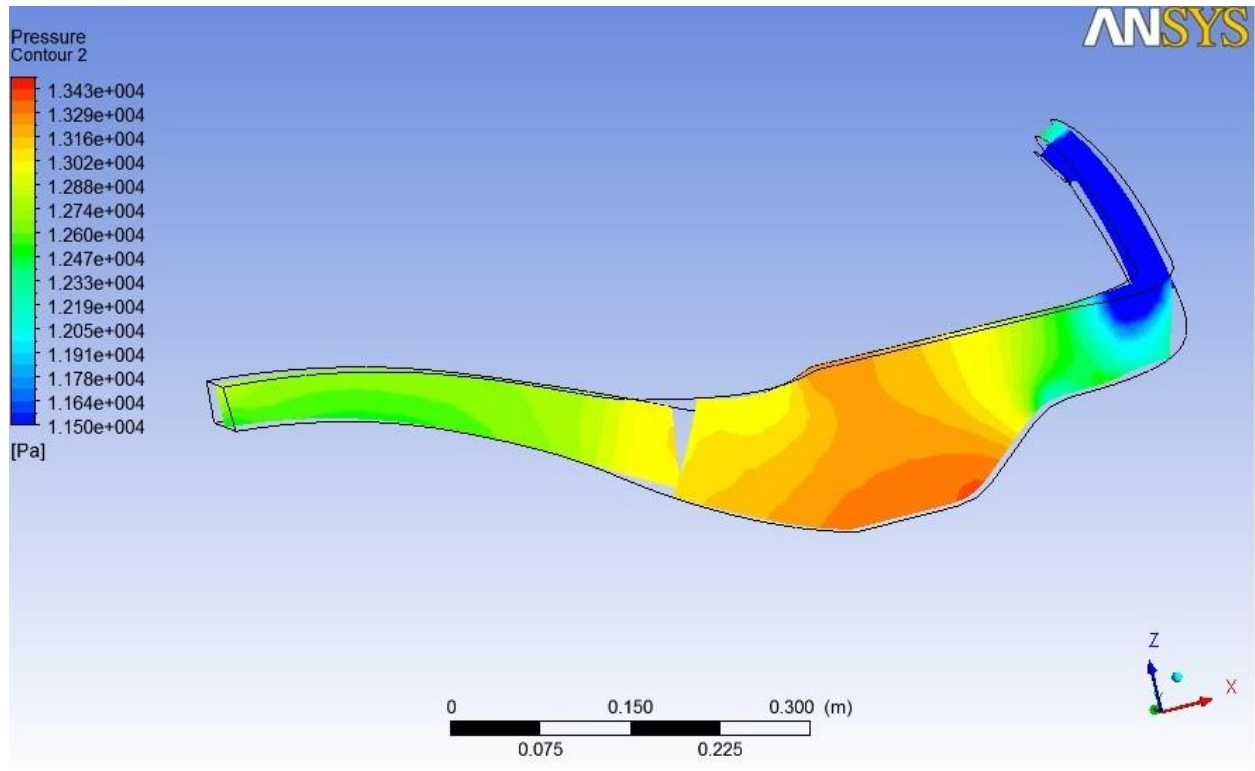


Figura 5-10 Distribución de presiones en el conducto

De la Figura 5-10 se puede obtener la ganancia de presión buscada, cuyo valor resulta ser:

$$\Delta p \sim 580 \text{ Pa}$$

La ganancia obtenida está en el entorno estudiado por lo que el diseño se tomará como apto y será el que se lleve al prototipo final.

6 DISEÑO FINAL

Una vez establecido un diseño que cumpla las exigencias geométricas y dinámicas se procede a la realización del diseño final del sistema. En la Figura 6-1 se observa el sistema estudiado en los capítulos anteriores, sin embargo, este no es el diseño final, sino el volumen de control atravesado por el flujo de aire que queremos obtener. Para obtener la pieza que cumpla las ganancias estudiadas es necesario diseñar los elementos que en su interior albergue el volumen de control estudiado.

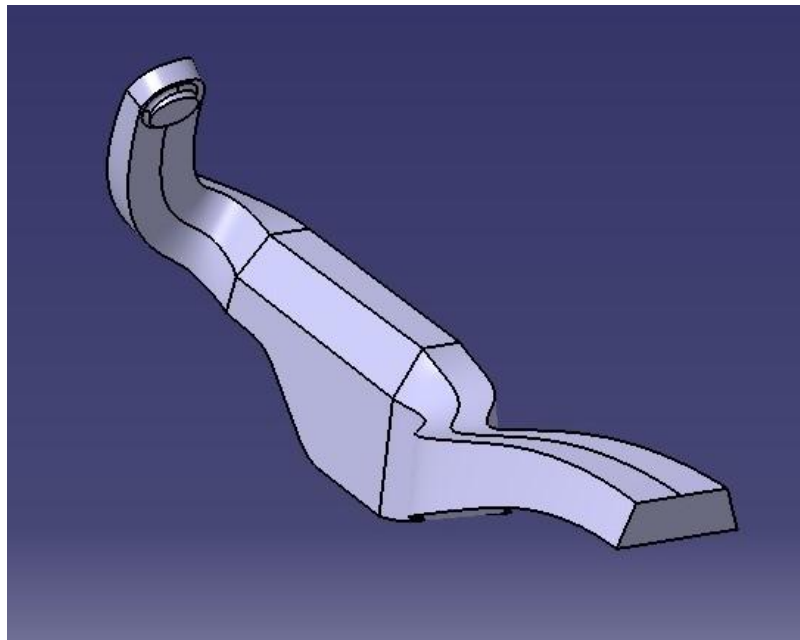


Figura 6-1 Volumen de control final

Como se explicará en el capítulo siguiente, el material utilizado para la fabricación de esta pieza será fibra de carbono. Este material es muy usado en el mundo de la competición debido a las buenas propiedades que lo caracterizan, como lo son la ligereza y la alta resistencia. Esto lo hace el material idóneo para el mundo de la competición, donde equipos de todo el mundo lo utilizan para hacer los carenados y algunas de sus piezas, llegándose a fabricar incluso elementos estructurales como lo son el chasis y el subchasis.

La fibra de carbono es un elemento compuesto, en el que fibras de carbono entrelazadas y una resina se unen para formar un elemento compuesto, no llegando a un milímetro de espesor por cada capa. Al no ser la pieza en cuestión un elemento estructural (no precisa soportar elevadas cargas) se estima que dos capas de fibra de carbono son suficientes para soportar las pequeñas vibraciones transmitidas a través del chasis, carenado y motor, por lo que si se recubre el volumen de control con dos capas de fibra de carbono se obtendrá la pieza en cuestión.

Debido a la necesidad de colocar un filtro en el interior del Airbox⁵ se ha optado por la división de la pieza en tres partes: entrada, caja y salida, estado a su vez la caja dividida en dos partes, como se puede apreciar en la Figura 6-2. La cogida que se observa en la misma figura es un elemento de sujeción al chasis para evitar que el sistema este suspendido entre dos puntos (entrada de la admisión y entrada del motor) y darle así una mayor estabilidad.

⁵ Por reglamento de la Organización de Motostudent es obligatorio el uso de un filtro.

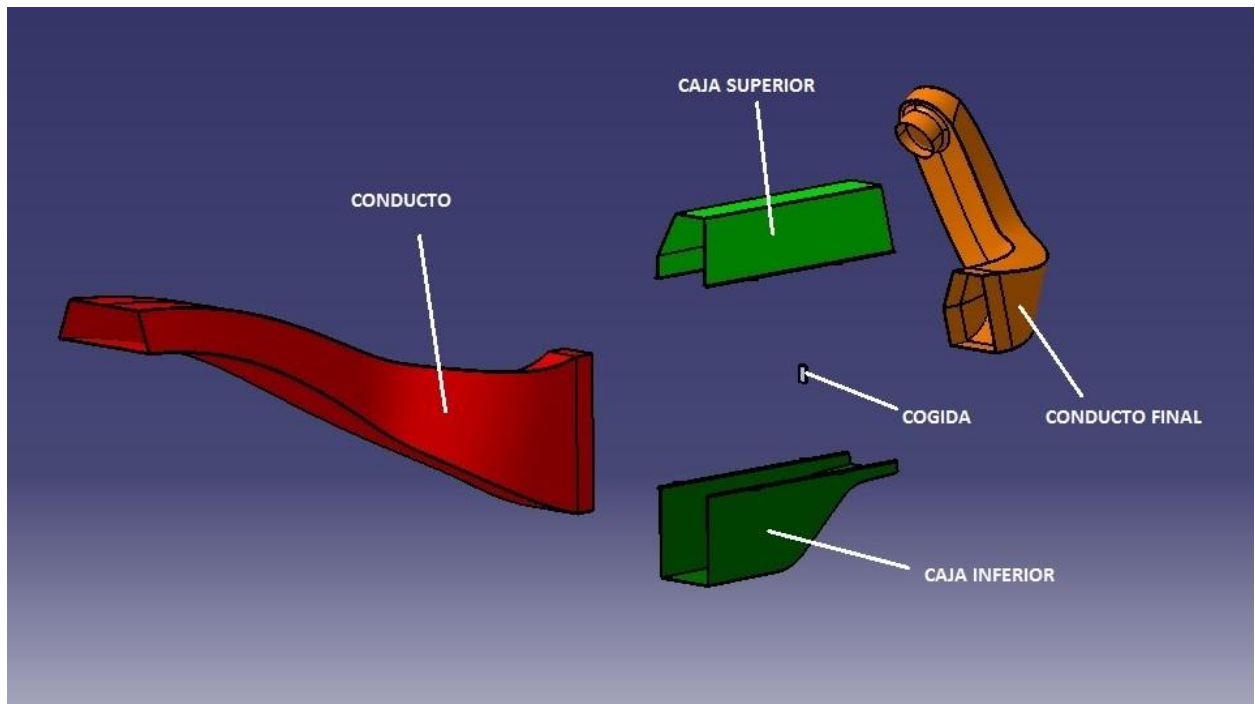


Figura 6-2 Despiece

La unión entre los distintos elementos del sistema se realizará mediante encaje macho-hembra, en el que se utilizará una junta para garantizar la estanqueidad y asegurar la fijación. Sin embargo no todas las uniones son de este tipo. El acoplamiento entre las dos partes de la caja se realizará a través de uniones atornilladas para facilitar la colocación y revisión del filtro colocado en su interior. Este método permite, además, una mejor colocación del conducto de entrada y salida.

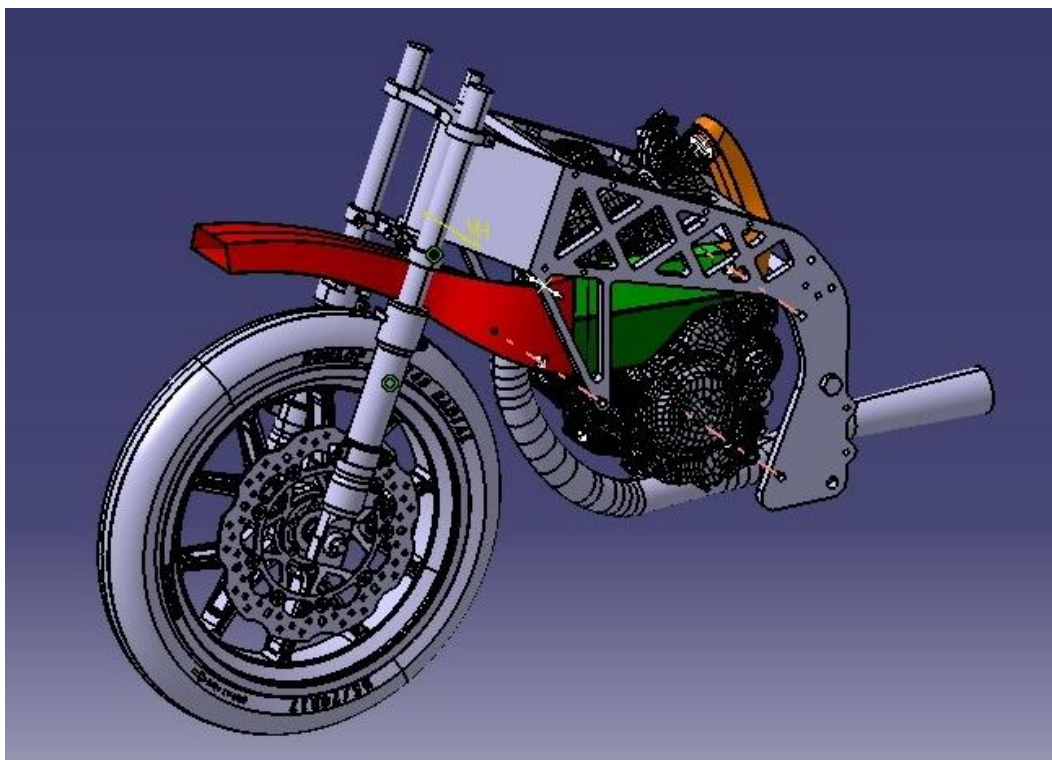


Figura 6-3 Montaje

En la Figura 6-3 se puede observar la ubicación y disposición final de la pieza dentro del prototipo de la motocicleta.

7 FABRICACIÓN

Como se ha mencionado en el apartado anterior, el sistema Ram-Air irá fabricado en fibra de carbono (Figura 7-1) de dos capas. La fibra de carbono es un material compuesto formado por una matriz de hilos de carbono en forma de hebra entrelazados y de una resina que lo endurezca. Resulta ser un elemento de alta resistencia (llegando a triplicar la resistencia del acero) y de baja densidad, lo que repercute en un menor peso, por lo que tendríamos un material con una gran resistencia y poco peso, resultando idóneo para el mundo de la competición.

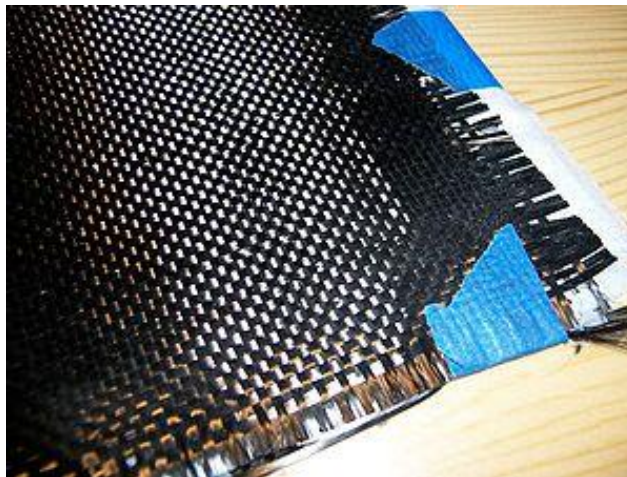


Figura 7-1 Fibra de carbono sin tratar

Existen diferentes métodos para la fabricación de piezas en fibra de carbono. Uno de esos métodos es la infusión por vacío. Este método innovador a "molde cerrado" es un proceso que consiste en la succión mediante una bomba de vacío de una resina para garantizar una mejor adherencia a la malla de fibra. Capas de fibras de carbono alternadas con capas de resina e introducidas junto al molde en el interior de una bolsa es lo necesario para realizar este método de fabricación (Figura 7-2).

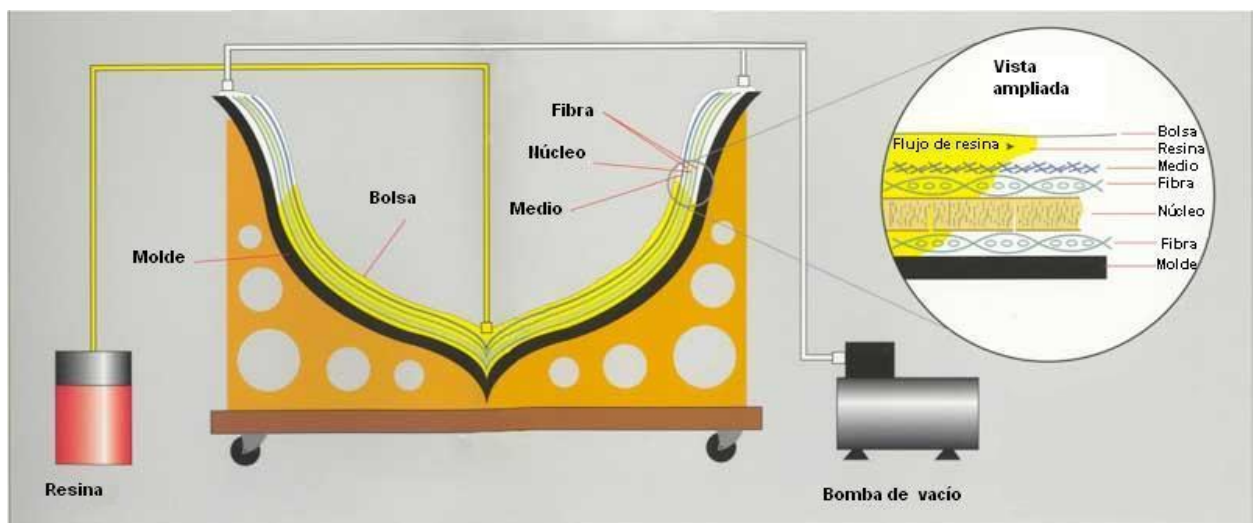


Figura 7-2 Disposición infusión por vacío

Este tipo de fabricación dota a la pieza fabricada de un aumento de la resistencia mecánica, reducción del peso y espesor y un mejor acabado superficial entre otros. Este proceso posee una mejor relación resina/fibra debido a la reducción de la cantidad de resina utilizada, siendo, además, un proceso rápido, lo que permite un aumento de la producción [13].

Para la fabricación se decide realizar el sistema en 6 moldes. Dichos moldes corresponden a dos mitades del conducto de entrada, dos de ellos al de salida (esto se debe a la imposibilidad de realizarlo con un único molde, ya que al ser un elemento curvado la extracción del molde se hace imposible) y los dos restantes corresponden a las dos partes de la caja de remanso, como puede observarse en la Figura 7-3, 7-4, 7-5 y 7-6. Las dos partes del conducto de entrada deben formar una única pieza sólida, por lo que una vez obtenidas las dos partes del conducto deben unirse mediante una capa de fibra de carbono.

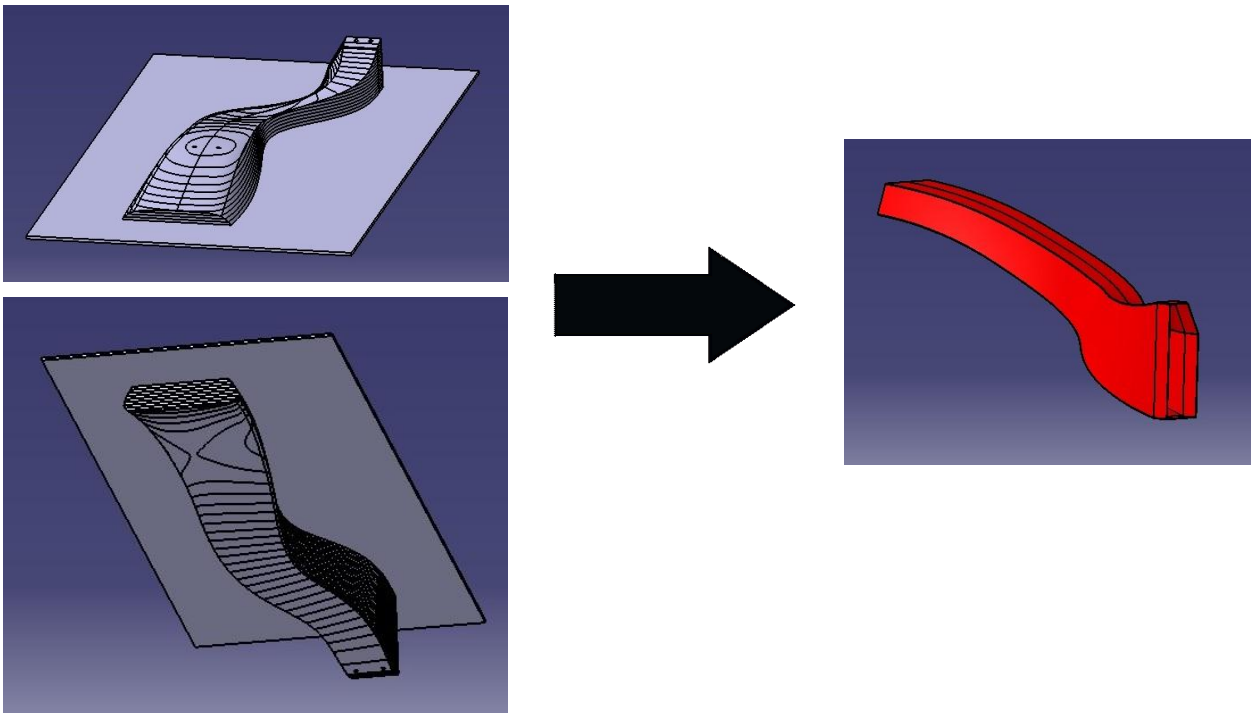


Figura 7-3 Molde conducto de entrada

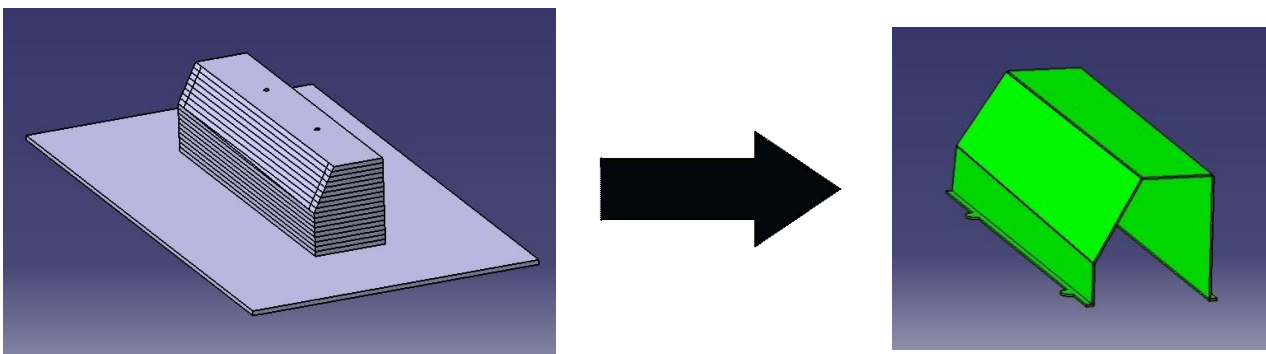


Figura 7-4 Molde caja superior

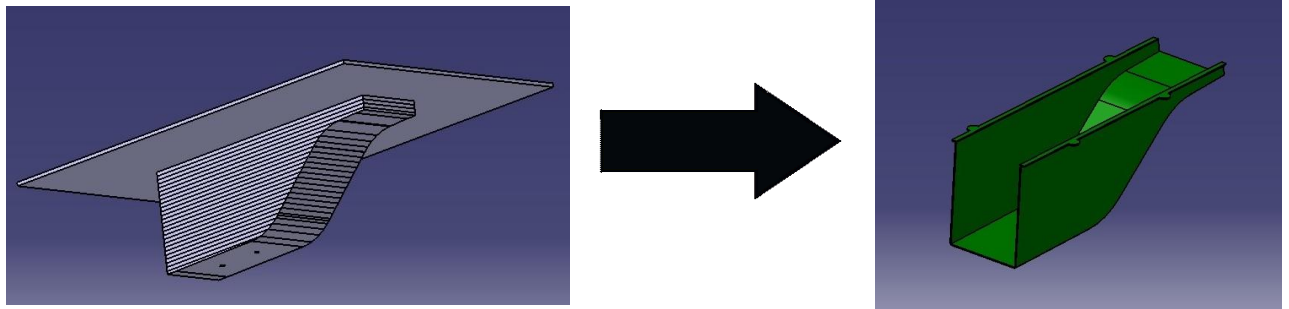


Figura 7-5 Molde caja inferior

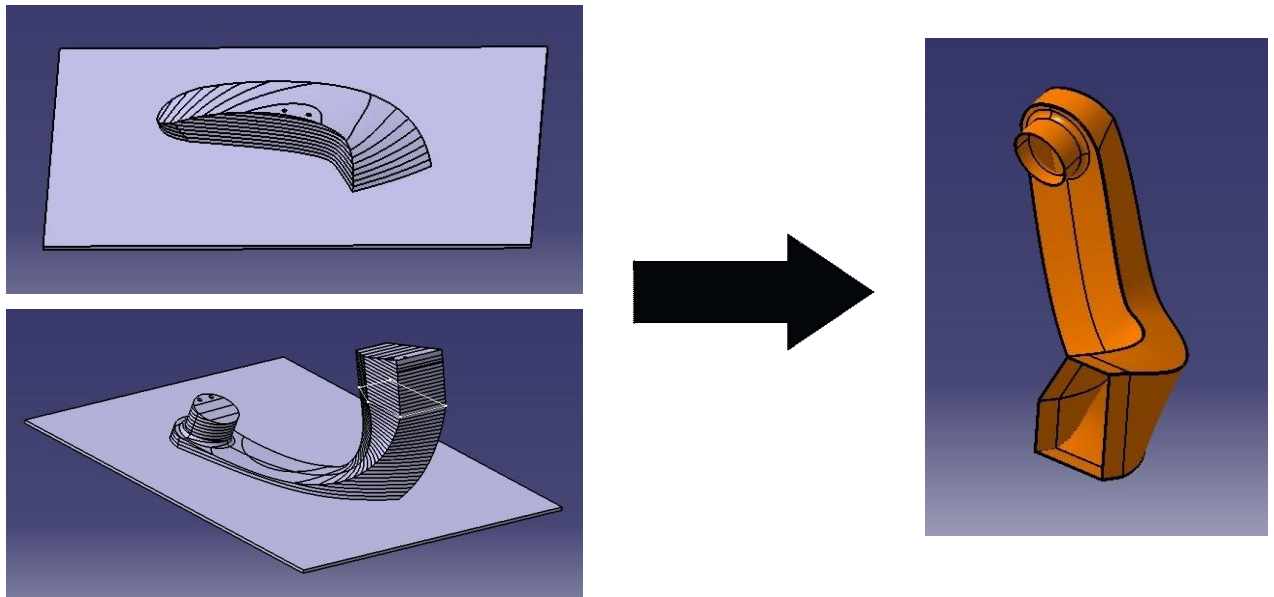


Figura 7-6 Molde conducto salida

Cada molde se divide en trozos de 3 mm de espesor (Figura 7-7) para que, tras unirlos y lijarlos, se obtenga el molde buscado (Figura 7-8), siendo la madera el material idóneo por resultar el más económico.

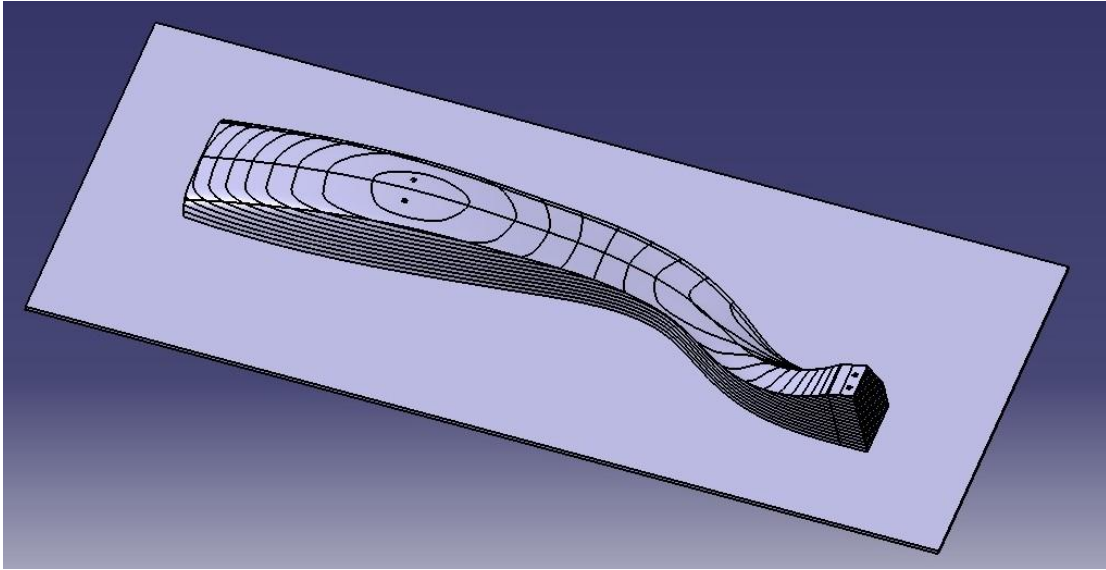


Figura 7-7 Secciones en la herramienta CATIA



Figura 7-8 Molde entrada superior

Una vez fabricadas las tres piezas el sistema Ram-Air diseñado estará listo para su incorporación al prototipo de motocicleta (Figura 7-9).

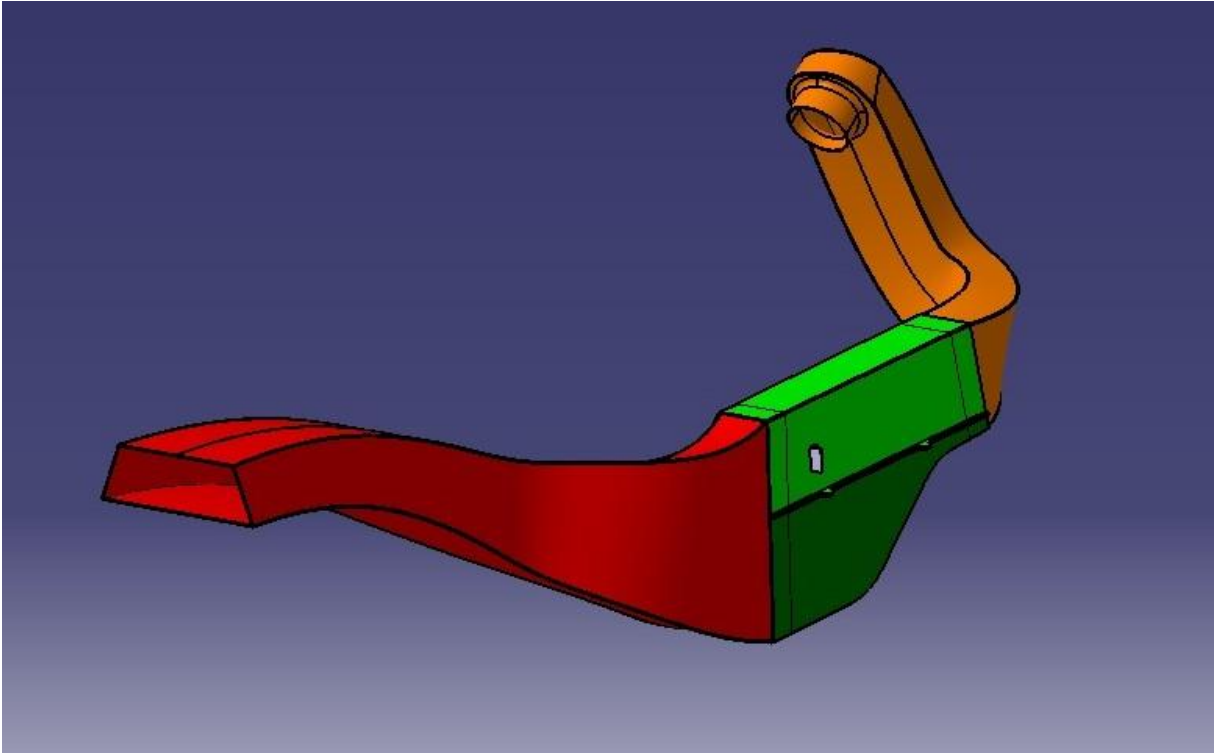


Figura 7-9 Diseño final

8 CONCLUSIONES

Los sistemas Ram-Air son una buena manera de sacarle potencia al motor, sin embargo no es una tarea fácil. La necesidad de realizar procesos iterativos hasta alcanzar una solución viable puede resultar ser un camino largo y tedioso, puesto que cualquier pequeña modificación, ya sea en la trayectoria del flujo o en la relación de áreas, puede provocar la aparición de pérdidas de carga como son los reflujos o el desprendimiento de la capa límite. Dichos efectos, como hemos visto a lo largo del presente trabajo, son indeseables ya que producen una disminución de la ganancia de presión y, por consiguiente, una menor ganancia de potencia por parte del motor.

En el caso aquí recogido, las dificultades geométricas presentes en el prototipo global han mermado de forma considerable la posibilidad de elaborar un dispositivo capaz de producir mayores ganancias de presión. Sin embargo, teniendo en cuenta el poco espacio disponible, las ganancias obtenidas en el modelo final son más que satisfactorias. Cualquier pequeña modificación del modelo desemboca en unos resultados menos óptimos que los obtenidos en el modelo final, por lo que una forma de mejora del diseño aquí estudiado sería la posibilidad de modificar la geometría del resto de elementos de la motocicleta. Un ejemplo de ello sería la posibilidad de atravesar el conducto del Ram-Air a través del frente del chasis, consiguiendo una trayectoria más recta y evitando así las pérdidas de carga relacionadas con la curvatura del conducto.

Cabe destacar que uno de los problemas encontrados en este trabajo ha sido la imposibilidad de variación de la entrada del conducto del Ram-Air, pues venía impuesta por el carenado de la motocicleta. Las distintas posibles formas de entrada dan unas características u otras al flujo que lo atraviesa, pudiendo mantener el área de entrada el mismo valor y, por consiguiente, la relación de áreas obtenida de la ecuación (14). Esto nos abre el abanico de posibles soluciones dependiendo del área de entrada del sistema, por lo que un estudio de cómo afecta la forma del conducto de entrada al flujo de aire sea un camino a tener en cuenta en futuros diseños del sistema estudiado.

Finalmente, en relación a la última etapa del desarrollo del prototipo (la fabricación) debemos hacer hincapié en el tipo de molde empleado. Por motivos económicos, los moldes de la motocicleta en cuestión se realizan en madera DM. Este aglomerado permite realizar el diseño estudiado en este trabajo, necesitando posteriormente un proceso de lijado para conseguir que la superficie de contacto sea lo más uniforme posible. Este proceso requiere gran cantidad de trabajo por lo que un aspecto mejorable en cuanto a la fabricación de la pieza es la utilización de materiales plásticos extruidos mediante impresora 3D dado que la pieza obtenida mediante este proceso posee un gran acabado superficial sin necesidad de lijado posterior.

REFERENCIAS

- [1] Usengineering.com, «Us-Racing Engineering 2016,» [En línea]. Available: <http://www.usengineering.com/>. [Último acceso: 6 Agosto 2016].
- [2] Motostudent.com, «Motostudent 2016» [En línea]. Available: <http://www.motostudent.com/>. [Último acceso: 6 Agosto 2016].
- [3] Real Academia Española, <<Motocicleta>> [En línea]. Aviable: <http://dle.rae.es/?id=PwKxWOu> . [Último acceso: 16 Agosto 2016].
- [4] Real Academia Española, <<Automóvil>> [En línea]. Aviable: <http://dle.rae.es/?id=4Tpk0J8> . [Último acceso: 16 Agosto 2016].
- [5] Beevoz.com, <<Historia de la motocicleta: orígenes, evolución y tipos>> [En línea]. Aviable: <http://www.beevoz.com/2015/04/08/historia-de-la-motocicleta-origenes-evolucion-y-tipos/> . [Último acceso: 16 Agosto 2016].
- [6] Totalmotorcycle.com, «The History and Future of Motorcycles and motorcycling - From 1885 to the Future. Electric, Gas, Diesel, Hybrid Motorcycles,» [En línea]. Available: <http://www.totalmotorcycle.com/future.htm#1800s>. [Último acceso: 16 Agosto 2016].
- [7] Motogp.com, <<Historia>> [En línea]. Available: <http://www.motogp.com/es/Inside+MotoGP/Historia> [Último acceso: 21 Agosto 2016].
- [8] Pasión Motos Club, <<Motociclismo de velocidad>> [En línea]. Aviable: <https://pasionmotosclub.blogspot.com.es/2015/09/motociclismo-de-velocidad.html> [Último acceso: 22 Agosto 2016].
- [9] Motociclismo.es <<Sistema aerodinámico Ram-Air: funcionamiento>> [En línea]. Aviable: <http://www.motociclismo.es/noticias/industria/articulo/el-ram-air> [Último acceso: 22 Agosto 2016].
- [10]] Carmen Fernández Pastor, Estudio de la frecuencia crítica del Air-Box perteneciente a Moto2. Proyecto fin de carrera (Ingeniería Técnica Industrial), Universidad Carlos III de Madrid, 2010.
- [11] Motogp.com, <<Gran Premio Movistar de Aragón>> [En línea]. Aviable: <http://www.motogp.com/es/evento/Aragon> [Último acceso: 13 Septiembre 2016].
- [12] <<Reglamento de la Competición>>, Moto Engineering Fundation 2016.
- [13] Innovacomposites.com, <<Procesos de fabricación de los materiales compuestos>> [En línea]. Aviable: http://www.innovacomposite.com/es/procesos_composite/infusion [Último acceso: 29 Septiembre 2016].

