

# DISEÑO, SIMULACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO TIPO FÓRMULA SAE.

Oscar Arteaga<sup>1</sup>  
Stalin Mena<sup>2</sup>  
Vinicio Caiza<sup>3</sup>  
Juan Vilaña<sup>4</sup>

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE  
Extensión Latacunga

Quijano Ordoñez y Marqués de Maenza S/N Latacunga, Ecuador

Email: obarteaga@espe.edu.ec<sup>1</sup>, jsmena@espe.edu.ec<sup>2</sup>, vinicio.caiza@yahoo.com<sup>3</sup>, juanpi.91@hotmail.com<sup>4</sup>

---

---

Latacunga – Ecuador

## RESUMEN

El presente trabajo muestra una investigación realizada para diseñar una carrocería acorde a las normas que exige la organización SAE para un prototipo de auto de carreras tipo Formula Student, así como también la construcción de la misma para evidenciar la optimización realizada durante el proceso llevado a cabo para su posterior competencia.

Empezando por el diseño, se tendrá que estudiar los efectos que causa el aire a determinadas velocidades para poder aprovechar las corrientes del fluido con miras a aumentar el desempeño del vehículo. Se tiene que analizar la carrocería en sí para ubicar curvas que ayuden a direccionar el aire hacia los dispositivos aerodinámicos tales como pontones, difusores, piso, casco, y la estructura de todo el vehículo mediante un software de diseño mecánico y simulación CFD.

La segunda parte se basa en el estudio de los materiales de construcción, para ello se ha optado por analizar la resistencia mecánica de tres plásticos reforzados con fibras naturales y minerales. Con los resultados de análisis y con los resultados del proceso de diseño se tiene el criterio necesario para continuar con la siguiente fase que es la construcción del diseño computacional.

En el proceso de construcción se toma en cuenta el área que va a ser cubierta por cada tipo de material para adquirir la cantidad necesaria. Se toma en consideración el sistema de construcción para obtener el resultado deseado que es reducir los pesos en comparación con los

anteriores diseños realizados para participar en la misma competencia.

## ABSTRACT

This paper presents an investigation to design an bodywork according to the standards required by the organization SAE for a prototype of racing car type Formula Student, as well as the construction of it to demonstrate the optimization performed during the process carried out for subsequent competition.

Starting with the design, you will have to study the effects caused by air at certain speeds to take advantage of the fluid flows in order to increase vehicle performance. You have to analyze the bodywork itself to locate curves that help direct the air to the aerodynamic devices such as sidepods, diffusers, floor, helmet, and the structure of the entire vehicle by mechanical design software and CFD simulation.

The second part is based on the study of building materials, for it has been chosen to analyze the strength of three plastics reinforced with naturals and minerals fibers. With the results of this analysis and the results of the design process, you have the criteria necessary to continue the next phase which is the construction of computational design.

In the construction process takes into account the area to be covered by each type of material to acquire the necessary amount. The build system is taken into account to obtain the desired result is to reduce the weights compared with previous designs made to participate in the same competition.

## 1. INTRODUCCIÓN

La carrocería de un vehículo de competición debe ser ligera y resistente, porque si es pesada, aumenta el peso total del vehículo, consumiendo una parte de potencia del motor para su desplazamiento, además se analiza la parte aerodinámica mediante simulación para obtener un diseño eficiente.

## 2. CONTENIDO

La carrocería fue instalada en un vehículo tipo Formula SAE<sup>1</sup> que compitió en Alemania en Agosto del 2014. La FSG<sup>2</sup> es una división de la organización SAE, que brinda a los equipos participantes la flexibilidad máxima, la libertad de expresar su creatividad y la imaginación para realizar el diseño del prototipo de competición con muy pocas restricciones.

### 2.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Cuando se realiza un proyecto de este tipo, como es el diseño de un prototipo de competición para la participación en la competencia de la Formula Student, es necesario hacer un énfasis tanto en el diseño de la parte aerodinámica como en la selección de materiales para la construcción, ya que de esto dependerá el peso total del vehículo.

Se considera las dimensiones del vehículo, partes a cubrir, entradas de aire, estética, materiales alternativos amigables con el ambiente y un bajo costo.

### 2.2 PROCESO DE DISEÑO

La carrocería para su estudio aerodinámico se dividió por secciones como: nariz, trompa, pontones, fondo plano y difusores; con esto se logra verificar el comportamiento de cada componente frente a la resistencia aerodinámica y si el flujo es laminar o

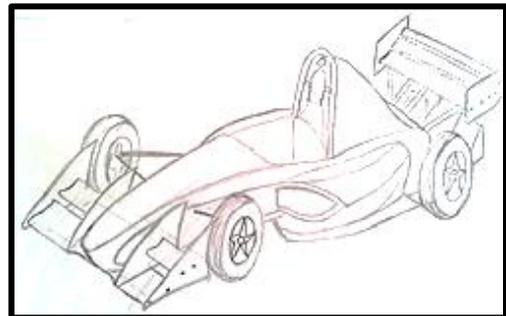
turbulento al circular alrededor de la superficie del vehículo.

Para el análisis se experimenta con diferentes medidas y formas con el fin de conseguir la menor resistencia e implementar nuevas líneas aerodinámicas que ayuden al direccionamiento de las corrientes de aire, cumpliendo con el Reglamento de la SAE.

### 2.2.1 BOSQUEJO INICIAL

Para empezar con el diseño de la carrocería aplicando los fundamentos aerodinámicos, se realizó un bosquejo de lo que se quiere conseguir, buscando acoplarse a las características del chasis y cumpliendo con la normativa impuesta por la competencia.

Este bosquejo se realizó a lápiz incorporando todos los dispositivos aerodinámicos como el alerón delantero y posterior, fondo plano y difusores, como se muestra en la Figura 1.



**Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..1** Bosquejo Inicial

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

A partir del bosquejo se empezó a analizar cada componente, buscando una forma aerodinámica adecuada a las necesidades de la competencia y si ayudaría o sería inadecuado utilizar ciertos dispositivos, ya que el reglamento restringe el rendimiento del motor (SAE International, 2013), limitando la velocidad máxima del vehículo.

Los alerones serían innecesarios debido a que las velocidades máximas que alcanzan los vehículos es de 80 km/h y la utilización de estos solo provocaría mayor peso.

<sup>1</sup> SAE : Sociedad de Ingenieros Automotrices

<sup>2</sup> FSG:Formula Student Germany

## 2.2.2 CONFIGURACIÓN DE SOLIDWORKS FLOW SIMULATION

La configuración del programa es muy importante ya que de acuerdo a los datos ingresados se obtienen los resultados en todas las simulaciones y es necesario mantener estos datos para evitar grandes variaciones en los análisis.

La tabla 1 indica las condiciones ambientales para la competencia, estos valores han sido analizados de acuerdo al lugar donde se efectuará la competencia, como es la ciudad de Hockenheim en Alemania. Además estos valores sirven para simular las condiciones reales para la competencia.

Tabla 1 Condiciones Ambientales en Hockenheim – Alemania

Parámetro	Valor
Temperatura	30.12 °C
Humedad:	0.4 %
Presión atmosférica:	973.88 hPa
Dirección y Velocidad del viento:	1.296 KPH NNW

Fuente: quehoraesen.net (2014)

La velocidad máxima a la cual circula el vehículo es otro dato importante y el valor se obtuvo de la FSG, que hace referencia a la velocidad promedio alcanzada por los vehículos en la competencia que es de 80 Km/h que al sistema internacional es 22.22 m/s.

## 2.2.3 NARIZ

Es la primera parte que toma contacto con el aire y donde se genera la alta presión por el choque directo de las corrientes de aire. Además es la encargada de direccionar el flujo del aire a las demás partes de la carrocería, la forma y tamaño juega un papel importante para reducir la resistencia aerodinámica.

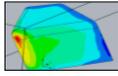
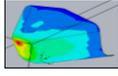
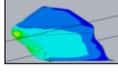
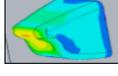
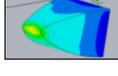
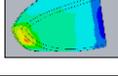
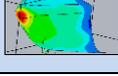
Para el diseño se considera el tamaño del atenuador de impactos (SAE International, 2013) ya que irá colocado

dentro de la nariz, restringiendo la forma.

El atenuador incorporado en el vehículo tiene las dimensiones de 25x25x20 cm.

En la tabla 2 se muestra los nueve diseños realizados para la nariz con los parámetros más importantes obtenidos después de la simulación, que ayudaran para una correcta selección. Cada diseño se basa en diferentes formas, ángulos y medidas.

Tabla 2 Parámetros de Selección de Nariz

Gráfica	Coefficiente resistencia $C_D$	Resistencia (DRAG) (N)	Velocidad del flujo de aire (m/s)
	0,04317	11,959	16,8
	0,03437	8,022	17,3
	0,02993	7,477	18,03
	0,23614	7,037	18,45
	0,21742	8,028	18,75
	0,19454	7,783	17,54
	0,02708	7,197	17,685

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

Para la selección de la nariz se busca que el punto de presión se genere en la punta y se distribuya sobre toda la superficie uniformemente, además que el coeficiente de resistencia sea el mínimo posible.

Al analizar los siete diseños se establece que el diseño 7 de color celeste, genera un coeficiente de resistencia de  $C_D = 0.0270861$ , que indica una menor resistencia al desplazarse por el flujo de aire. El punto de presión de color rojo se genera en la punta con la resistencia aerodinámica de  $D = 7.197$  N y una

velocidad máxima de flujo sobre la nariz de  $V = 17.685 \text{ m/s}$ .

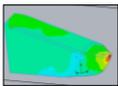
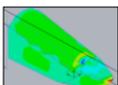
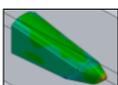
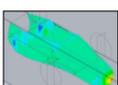
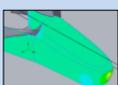
### 2.2.4 TROMPA

La trompa es la continuación de la nariz y es la encargada de hacer que el flujo de aire se dirija a la parte posterior del vehículo utilizando todo su contorno, ingresar aire a los pontones por la parte lateral para el enfriamiento y hacer fluir el aire por la parte superior hacia la toma de admisión. Las formas y los ángulos ayudan a cumplir estas funciones en donde se procedió a realizar líneas aerodinámicas para hacer fluir el aire a la parte lateral del vehículo.

Se plantean cinco diseños diferentes de trompa, los tres primeros conservan la forma de la nariz y los dos últimos se redondea todo el contorno de la nariz y trompa para evitar cambios de sección.

La fuerza provocada sobre la parte superior de la trompa es producida por el choque del flujo de aire y sirve para crear carga en las ruedas delanteras. La tabla 3 indica los resultados obtenidos de la simulación con los datos más importantes para la selección de la trompa.

Tabla 3 Parámetro de Selección de Trompa

Gráfica	Coefficiente de resistencia $C_D$	Fuerza de resistencia (N)	Velocidad del flujo de aire (m/s)
	0,26722	16,575	19,54
	0,35269	26,255	18,987
	0,26679	15,791	19,735
	0,25607	35,22	19,084
	0,15123	22,092	19,292

Fuente: Caíza, Vilaña (2015)

Los criterios para la selección de la

trompa son que la distribución de presión sea constante sobre toda la superficie, el coeficiente de resistencia  $C_D$  sea el menor posible, generar resistencia aerodinámica en la parte superior para producir carga en el eje delantero, una velocidad de flujo de aire mayor a la de la nariz para que circule rápidamente y que el flujo llegue a la toma de admisión por medio del casco del piloto.

Tomando en cuenta las consideraciones explicadas anteriormente, se elige el diseño 5 de color celeste, debido al coeficiente de resistencia generado que es menor con  $C_D = 0.15123$  indicando una mayor circulación de flujo, la resistencia aerodinámica que ejerce en la parte superior es  $D = 22.092 \text{ N}$ . La distribución de presión es constante a lo largo de la trompa con ligeras variaciones en ciertas áreas, la velocidad del flujo de aire es  $V = 19.292 \text{ m/s}$  siendo mayor a la velocidad de la nariz. La inclinación de la parte superior es la correcta porque el flujo llega hacia el casco impactándolo y lo introduce a la toma de admisión.

### 2.2.5 PONTONES

Son utilizados para el enfriamiento del motor, los radiadores de agua y aceite. Para la refrigeración del motor se necesita un alto flujo de corrientes de aire y esto se logra mediante el efecto Venturi donde se reduce la sección para conseguir menor presión y aumentar la velocidad del aire.

El flujo de aire se enfrenta al choque directo sobre el radiador por lo que se produce el aumento de la resistencia aerodinámica.

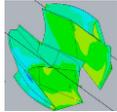
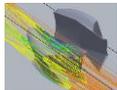
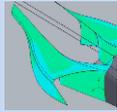
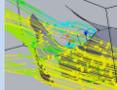
En la tabla 4 se analiza los dos diseños planteados con sus respectivos resultados obtenidos después de la simulación.

Los dos diseños se fundamentan en lo que es conocido como cuello de botella, en donde la trompa y los pontones toman la forma de una botella visto desde la parte superior.

Los criterios de selección para los

pontones es que exista una presión reducida en el interior y exterior del ducto, la velocidad del flujo debe ser constante y conseguir una velocidad alta a la salida del ducto, el coeficiente de resistencia no se toma en cuenta debido a la presencia de los radiadores por eso se genera valores altos.

Tabla 4 Parámetros de Selección de Pontones

Gráficas	Coefficiente Resistencia $C_d$	Velocidad del fluido (m/s)	Presión Máxima (Pa)
 Presión  Velocidad	0,38000	16,037	Externa: 101292.83 Interna: 101442.45
 Presión  Velocidad	0,51685	19,084	101389.45

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

La selección del segundo diseño como óptimo de color celeste, se basa en la distribución constante de la presión en toda la superficie interna y externa, evitando cambios bruscos con un valor de presión de 101389.45 Pa.

La velocidad del flujo de aire con una distribución uniforme y una velocidad máxima de  $V = 19.084$  m/s, que indica un alto flujo de aire para el enfriamiento.

## 2.2.6 FONDO PLANO –PARTE DELANTERA

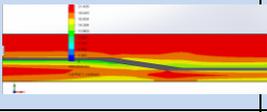
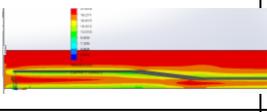
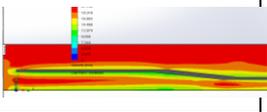
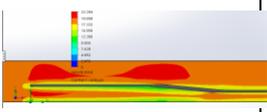
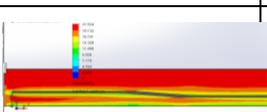
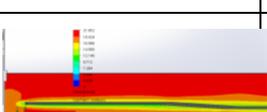
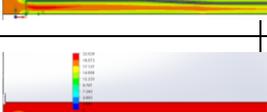
Con el diseño completo de la carrocería, se procedió al análisis del fondo plano que se acopla a la carrocería.

Un análisis correcto de la parte baja del vehículo logra que el flujo de aire que ingresa por la parte baja delantera

atraviese el vehículo con mayor velocidad.

En la tabla 5 se indica las nueve alturas desarrolladas, cada una con la variación de 5mm y los datos arrojados por la simulación, la distancia del suelo al vehículo se conserva de 50 mm.

Tabla 5 Selección del Fondo Plano - Delantero

ALTURA (mm)	DISEÑO	ÁREA (m <sup>2</sup> )	
45		0,01606	
40		0,0146	
35		0,01314	
30		0,01168	
25		0,01022	
20		0,00876	
15		0,0073	
10		0,00584	
5		0,00438	
ÁNGULO (°)	COEFICIENTE ARRASTRE $C_d$	VELOCIDAD AD (m/s)	V/ $C_d$
8,82	0,4877555	21,353	43,778081
7,85	0,5270803	21,611	41,001342
6,88	0,5677001	21,366	37,636068
5,91	0,5961446	22,121	37,106769
4,93	0,6807217	21,395	31,429878
3,95	0,8629938	21,753	25,206438
2,96	0,9474385	22,179	23,409435

1,97	1,1955294	21,771	18,210342
0,99	1,5412696	21,175	13,738673

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

Para la selección de la altura se considera el coeficiente de resistencia aerodinámica más bajo, que en este caso es  $C_D = 0.4877555$ , a una altura de 45 mm y un ángulo de  $8.82^\circ$ .

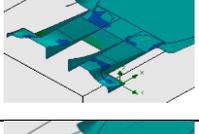
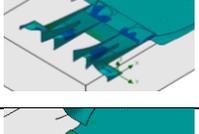
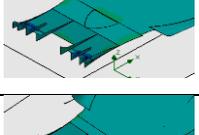
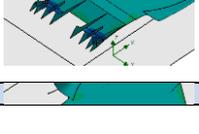
El coeficiente resulta ser bajo debido a que no se genera el choque de flujo de aire contra el suelo, pasando directamente hacia el fondo plano.

La velocidad máxima alcanzada por el flujo de aire a la entrada del fondo plano es  $V = 21.353$  m/s.

### 2.2.7 FONDO PLANO Y DIFUSORES

La tabla 6 indica las fuerzas generadas en los siete diseños con los datos arrojados por simulación. La resistencia aerodinámica es producida porque el flujo se estanca debajo del fondo plano, la sustentación se genera por la salida rápida de las corrientes de aire debajo del fondo plano.

Tabla 6 Valores de la Simulación

GRÁFICAS	NOMBRE	VALOR (N)
	Resistencia	-100.892
	Sustentación	-38.346
	Resistencia	-89.463
	Sustentación	-38.752
	Resistencia	-106.197
	Sustentación	-101.069
	Resistencia	-107.590
	Sustentación	-99.016
	Resistencia	-89.699
	Sustentación	-62.724
	Resistencia	-97.509
	Sustentación	-68.281
	Resistencia	-91.737

Sustentación	-71.234
--------------	---------

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

Para el diseño del fondo plano y los difusores, se sigue el criterio de generar sustentación sin generar demasiada resistencia por acumulación de flujos.

Los diseños 3 y 4 generan mayor sustentación pero también genera alta resistencia y esto es perjudicial. Además la gran desventaja es el difusor pequeño que se encuentra alejado del bastidor y este vibrara cuando el vehículo esté en movimiento.

Los diseños 1 y 2 generan menor resistencia, pero la sustentación es demasiada baja. Al analizar los diseños 5, 6 y 7 se observa al diseño 7 con mayor sustentación, el diseño 5 genera menor resistencia pero la sustentación es demasiada baja y el diseño 6 tiene una buena sustentación pero la resistencia es mayor al diseño 7.

El diseño 7 cumple con el criterio de selección, debido a que genera una sustentación adecuada de  $L = -71.234$  N y una resistencia de  $D = -91.737$  N.

### 2.3 SIMULACIÓN COMPLETA DEL VEHÍCULO

Antes de ingresar a realizar la simulación completa, el primer paso es conocer el área frontal del vehículo, ya que este dato es necesario para sacar las diferentes fuerzas de resistencia y sustentación. Para conseguir esto en el programa se realiza un croquis de todo el perfil del vehículo y se calcula el área frontal, esto se visualiza en la figura 2. El área frontal del vehículo es de  $0.765879$  m<sup>2</sup>.

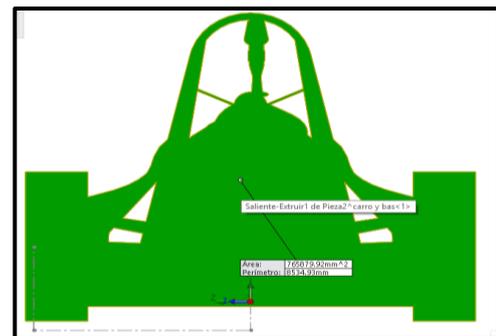


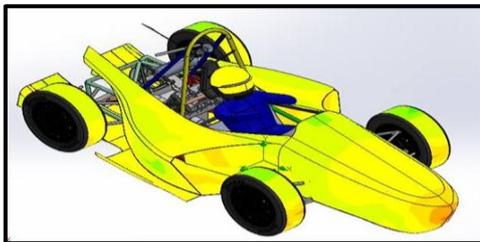
Figura ¡Error! No hay texto con el estilo

**especificado en el documento..2 Área frontal del prototipo**

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

### 2.3.1 DISTRIBUCIÓN DE PRESIÓN

En la figura 3 se puede visualizar que la mayor presión solo se genera en la punta de color café y en el resto del contorno la presión es baja de color amarillo y verde en ciertas zonas, siendo constante en toda la superficie de la carrocería. La variación de presión indica que en ciertas zonas existe mayor o menor presión que ayuda a la canalización del flujo de aire.



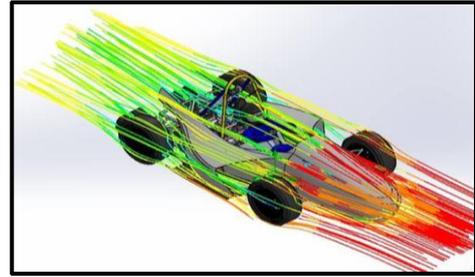
**Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..3 Contorno de presión del vehículo**

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

La presión mínima generada es de 101200.15 Pa y la máxima presión es de 101425.80 Pa. Todos estos resultados indican que hay una distribución de presión adecuada sobre todo el vehículo.

### 2.3.2 VELOCIDAD DEL FLUJO DE AIRE

Como se visualiza en la figura 4, en la nariz con una coloración verde que es donde primero impacta el aire a 17 m/s, sigue de color amarillo sobre la punta a 19 m/s lo que indica un aumento de velocidad, continua de color anaranjado al finalizar la punta y aumenta la velocidad por todo el contorno de la trompa de color rojo con una velocidad máxima de 25 m/s, que indica que la carrocería tiene muy buena penetración frente a las corrientes del aire y las hace circular rápidamente hacia la parte posterior del vehículo.

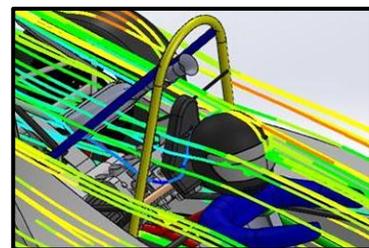


**Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..4 Flujo de aire sobre el vehículo**

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

En la zona de los pontones se reduce la velocidad del flujo al ingreso de color verde con 17m/s, debido al cambio de sección y sale con una mayor velocidad de color amarillo con 20 m/s.

El casco del piloto influye mucho en la parte aerodinámica ya que al chocar las corrientes de aire sobre este, el flujo toma la forma del casco y lo direcciona hacia la toma de admisión. En la figura 5 el casco direcciona el flujo hacia la toma de admisión con una ligera variación de velocidad de color verde y amarillo de 17 a 21m/s. Se comprueba que el ángulo que se le dio a la trompa es el adecuado.



**Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..5 Flujo sobre el casco del piloto**

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

### 2.3.3 RESULTADOS OBTENIDOS

Con la visualización de las anteriores figuras que representan al flujo de aire sobre el vehículo, se comprobó que el diseño está de acuerdo a lo planificado y responde adecuadamente al interactuar el aire sobre el vehículo, pero para verificar el diseño es necesario analizar los datos arrojados por la simulación.

La tabla 7 muestra los resultados obtenidos por la simulación con los datos más relevantes.

Tabla 7 Resultados de la simulación CFD

Nombre	Unidad	Valor	Valor máximo
Presión Estática	[Pa]	108822,04	108826,27
Presión Total	[Pa]	108822,07	108826,7
Presión Dinámica	[Pa]	461,39934	947,18985
Velocidad	[m/s]	27,68641	39,550350
Fuerza	[N]	137,93006	138,6385
Resistencia	[N]	-135,9871	-135,14537
Sustentación	[N]	-22,966132	-22,414630
Lateral	[N]	-2,1817911	-1,9200868
$C_D$	[-]	-0,0378119	-0,018447
$C_L$	[-]	-0,0172847	-0,0083475

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

Los datos de presión estática, presión dinámica, velocidad, fuerzas de resistencia y sustentación sirven para resolver las ecuaciones de los coeficientes de resistencia y sustentación aerodinámicos.

La resistencia aerodinámica  $D = -135.9$  N, es la fuerza que debe vencer el vehículo para desplazarse.

La fuerza de sustentación  $L = -22.966$  N, es generada por el fondo plano y la presión del flujo de aire sobre la carrocería.

La fuerza lateral de  $S = -2.18$  N, es insignificante ya que en esta competencia se busca velocidades punta.

El coeficiente de resistencia aerodinámica  $C_D$ , depende de la forma a la cual el flujo atraviesa; un coeficiente que tienda a 0 indica una buena circulación del aire sobre la superficie pero si el coeficiente llega a 1 indica que el componente ofrece mucha resistencia a fluir. El coeficiente de resistencia aerodinámica obtenido en la simulación es  $C_D = 0.037811995$ , que indica una buena circulación del flujo de aire sobre toda la superficie del vehículo.

El coeficiente de sustentación aerodinámica indica si el vehículo genera sustentación debido a la succión de la parte baja para que los neumáticos se peguen al piso. La simulación obtuvo un coeficiente de sustentación aerodinámico de  $C_L = 0.017284705$ , indica la generación de sustentación por la adición del fondo plano y difusores.

La figura 6 muestra el prototipo ensamblado en el software de diseño.

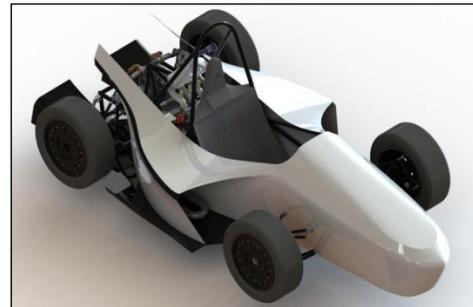


Figura 6 Prototipo finalizado en SolidWorks  
Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

## 2.4 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

El estudio de los materiales para la construcción de diferentes piezas es de vital importancia ya que la fabricación de un composite tiende a variar sus propiedades de acuerdo a la fabricación, humedad, materiales, y otros diversos factores.

Para saber si la resistencia es la adecuada para el diseño, se ha recurrido a realizar un ensayo de tracción con diferentes probetas de fibra mineral y natural para garantizar el diseño durante su funcionamiento normal.

### 2.4.1 ENSAYO DE TRACCIÓN

Un ensayo de tracción permite determinar la capacidad que tiene un material para soportar una determinada carga estática.

En la tabla 8 indica un resumen de los ensayos de tracción realizados, con los valores máximos obtenidos en las gráficas de la tensión que soporta cada material, se realizaron 5 probetas de acuerdo con la norma ASTM E8 para piezas planas. Los materiales utilizados fueron fibra de vidrio tipo E, fibra de yute tejida y mixto (fibra de vidrio - fibra de yute).

Tabla 8 Resultados del ensayo de tracción

Fibra de vidrio		
Ensayo	MPa	mm
1	95	5,9
2	115	3,7
3	118	4,3
4	98	3,6

5	95	3,2
Promedio	104,2	4,14
Fibra de yute		
Ensayo	MPa	mm
1	20	1,7
2	25	1,2
3	24	2
4	21	1,8
5	16	1,58
Promedio	21,2	1,656

Mixto		
Ensayo	MPa	mm
1	47	3,4
2	38	2,4
3	70,5	2,9
4	46	3,6
5	39	3,15
Promedio	48,1	3,09

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

#### 2.4.2 ASIGNACIÓN DE MATERIALES

Para la asignación de materiales se tendrá en cuenta los resultados de las presiones máximas sobre las superficies del prototipo y los análisis de los ensayos de tracción en los materiales indicados en la tabla 8.

En la figura 7 se indica la distribución de cada fibra sobre toda la carrocería. La fibra de yute queda descartada debido a la baja carga que soporta de 21.2 MPa. La fibra Mixta (vidrio – yute) se utiliza en toda la superficie de la carrocería debido a que soporta una carga promedio de 48.1 MPa y se consigue menor peso. La fibra de vidrio será utilizada para el fondo plano y difusores debido a la alta carga que soporta de 104.2 MPa.

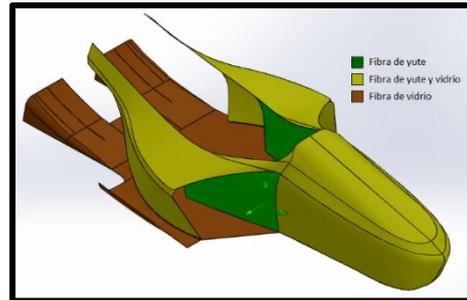


Figura 7 Aplicación de fibras  
Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

Para la construcción de todo el prototipo se utilizó el método por moldes llamado positivo - negativo - positivo, que permite reducir al máximo el material y obtener excelentes acabados.

La construcción de la carrocería confirma dichas aplicaciones que se definieron durante el estudio realizado para el nuevo prototipo.

En la figura 8 se observa el prototipo ya construido con su respectiva pintura y en pleno desempeño durante la competencia.



Figura 8 Vehículo compitiendo en la FSG  
Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

#### 2.5 RESULTADOS OBTENIDOS

El nuevo diseño se llama COLIBRI, en el cual se ha tratado de reducir los pesos al máximo para obtener una mejor relación de peso-potencia, para ello se ha utilizado la cantidad de material necesario para que el prototipo no falle durante su desempeño. Utilizando composites adecuados después de realizar ensayos de tracción y comprobar una resistencia adecuada. Se ha construido una carrocería aerodinámica monococo de una sola parte complementada por un fondo plano ligero.

En la tabla 9 se muestra los pesos tomados de la carrocería de cada componente utilizando una balanza.

Tabla 9 Peso Total

CARROCERÍA	IMAGEN	PESO (kg)
<b>COLIBRI</b>  Carrocería: Resina poliéster con refuerzo de fibra de vidrio y yute		8.76
Fondo plano y difusores: Resina poliéster con refuerzo de fibra de vidrio		12.02
	TOTAL	20.78

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

Existen dos vehículos desarrollados en anteriores años para la misma competencia los cuales son pesados en referencia a carrocería.

El COTOPAXI 1 realizado en el 2011, tiene un peso por carrocería de 26.96 Kg.

El COTOPAXI 2 realizado en el 2012, tiene un peso por carrocería de 22.66 Kg.

El COLIBRI realizado en el 2014, tiene un peso por carrocería de 8.76 Kg.

Si se analiza los pesos solo de carrocerías, se puede apreciar que el diseño del COLIBRI ha disminuido su peso en 18 kg en relación al COTOPAXI 1, lo que representa un 67.5 % de peso neto aligerado. Comparando con la carrocería del COTOPAXI 2, se puede afirmar que se ha reducido un 61.34 % de peso. Este análisis está hecho solo con respecto a carrocería

Esta reducción considerable de pesos da la opción de incorporar un elemento muy importante dentro del desempeño aerodinámico, que es el fondo plano con

difusores al vehículo. Los anteriores diseños contaban con carrocerías exageradamente pesadas que restringían colocar aditamentos que ayuden al desempeño del vehículo.

Ahora se realiza un análisis total de pesos en donde se sigue manteniendo la optimización del peso. El peso total del conjunto aerodinámico es de 20.78 Kg, que en relación al modelo uno, que pesa 26.96 Kg, determina una disminución del 22.92 % de su peso total; y tomando en cuenta el segundo diseño que pesa 22.66 Kg, se tiene una disminución del 8.3 %.

A través de este análisis se confirma que la hipótesis es verdadera por medio de una disminución del peso se obtiene una buena resistencia con los materiales adecuados y se optimiza el rendimiento del vehículo en cuanto a la parte aerodinámica al disminuir el arrastre.

### 3. CONCLUSIONES

- Se implementó en el diseño diversas formas y geometría en la carrocería acompañado del fondo plano para formar el conjunto aerodinámico que ayuda a evacuar el flujo de aire de manera homogénea debido al cierre de la estructura tubular que presenta el vehículo.

- Se simulo las condiciones de carretera por medio del análisis computacional de fluidos dinámicos (CFD) que obtiene resultados de acuerdo a las condiciones del viento sobre el vehículo y a través de este software se selecciona los diferentes diseños basándose en coeficientes de resistencia aerodinámica, velocidades de flujo y zonas de presión.

- Se obtuvo un coeficiente de resistencia aerodinámico bajo para todo el diseño de  $C_D = 0,037811995$ , que indica una buena circulación del flujo de aire sobre toda la superficie del vehículo.

- Se comprobó que a través de la realización de ensayos de tracción por medio de probetas se logra una correcta selección de materiales de acuerdo con la resistencia a la tracción necesaria para el diseño.

- La fibra de yute es una buena

alternativa de refuerzo orgánico para la construcción de materiales estéticos a base de plásticos, teniendo la resistencia mecánica suficiente para reemplazar a materiales tales como la fibra de vidrio, que es de procedencia mineral.

- Se construyó un conjunto aerodinámico ligero siguiendo el proceso de construcción por moldes que ayuda a reducir el material innecesario y el peso total por carrocería en más del 50%, con una resistencia a la tracción adecuada para la competencia.

#### 4. RECOMENDACIONES

- Diseñar un nuevo prototipo donde se trabaje con fibra de carbono, creando una estructura monocasco con mayor rigidez y menor peso.

- Investigar la manera de obtener mayor sustentación sin aumentar la resistencia aerodinámica con efectos tales como Coanda, ala invertida y nuevos dispositivos aerodinámicos.

- Utilizar el equipo tecnológico que dispone la universidad, como son las cámaras GoPro, para analizar el efecto de las corrientes de aire sobre la estructura, colocando cintas en todo el contorno para visualizar la fluidez del aire con las ondulaciones de las cintas al circular el vehículo a altas velocidades.

- Innovar con nuevos materiales naturales que sean amigables con el ambiente y que estén disponibles en nuestro país a un bajo costo.

- Implementar el uso de alerones delantero y posterior para un vehículo ligero con el fin de conseguir mayor adherencia de los neumáticos a la pista.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- Callister, W. (2007). *Materials Science and Engineering: An introduction*, 7ma. ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
- CHRISTEN, H. (1986). *Fundamentos de Química general e inorgánica*, Volumen 1. Barcelona España: REVERTÉ.
- Corum, J., Battiste, R., & Ruggles, M. (Febrero de 2000). *Basic Properties*

of Reference Crossply Carbon-Fiber Composite. Obtenido de ORNL: <http://web.ornl.gov/~webworks/cpr/v823/rpt/106099.pdf>

- Díez, S. G. (Octubre de 2011). *FIBRAS Y MATERIALES DE REFUERZO: LOS POLIÉSTERES REFORZADOS APLICADOS A LA REALIZACIÓN DE PIEZAS EN 3D*. Obtenido de EHU: [http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/OC\\_T11/garcia.pdf](http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/OC_T11/garcia.pdf)
- Formula SAE. (2013). *2014 Formula SAE® Rules*. Obtenido de SAE International: [http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2014\\_fsae\\_rules.pdf](http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2014_fsae_rules.pdf)
- FSG. (30 de septiembre de 2014). *Formula Student Germany*. Recuperado el 23 de 01 de 2015, de <https://www.formulastudent.de/fsg/about/concept/>
- Guerrero, V. H., Dávila, J., Pontón, P., Rosas, N., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). *NUEVOS MATERIALES: Aplicaciones Estructurales e Industriales*. Quito Ecuador: IMREFEPP.
- Katz J. (1995). *Race Car Aerodynamics: Designing for Speed*. Estados Unidos de América: Bentley Publisher.
- Mariano. (6 de Diciembre de 2011). *Fibra de vidrio*. Obtenido de *Tecnología de los Plásticos*: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/fibra-de-vidrio.html>
- McBeath, S. (2005). *Aerodinamica Del Automovil de Competicion*. España: CEAC.
- Miranda, R. (s.f.). *Una Matriz Polimérica*. Obtenido de *Terapias Fisiológicas*: <http://terapiasbiologicas.cl/inbioderm/>
- P. K. Mallik. (1993). *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design*, Second Edition. New York USA: CRC Press.
- SAE International. (2013). *2014 Formula SAE Rules*.
- Smith C. (1978). *TUNE TO WIN: The*

art and science of race car development and tuning. Estados Unidos de América: AERO PUBLISHERS.

- Tenenbaum, D. J. (1999). Polímeros y Personas. Obtenido de BEYOND Discovery:  
[http://www7.nationalacademies.org/spanishbeyonddiscovery/bio\\_008231-08.html#TopOfPage](http://www7.nationalacademies.org/spanishbeyonddiscovery/bio_008231-08.html#TopOfPage)
- UCAB Fórmula SAE Team. (7 de Marzo de 2013). Formula SAE. Obtenido de UCAB Fórmula:  
<http://ucabformula.blogspot.com/2013/03/blog-post.html>
- William F. Milliken. Douglas L. Milliken. (1995). Race Car Vehicle Dynamics. SAE International. Estados Unidos de América: SAE International Inc.

automotriz, compartiendo sus conocimientos teórico práctico a los estudiantes y promulgando la investigación científica y la vinculación con la colectividad



**Vinicio Fabián Caiza Chasi**, Nación en Latacunga provincia de Cotopaxi en Ecuador. Graduado en el Colegio Técnico San José, Quito, Ecuador en Mecánica Industrial especialidad Mecánica Automotriz en el año 2009. Actualmente se encuentra finalizando sus estudios de Ingeniería Automotriz en la Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga, Ecuador.

## 6. BIOGRAFÍA



**Oscar Bladimir Arteaga López**, nació en Ambato - Ecuador, Graduado de Ingeniero Mecánico en la Escuela Politécnica del Chimborazo y Master en Nuevas Tecnologías de la información y Comunicación de la Universidad Técnica de Ambato. Docente de tiempo completo en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga desde el 2000.



**Jorge Stalin Mena Palacios**, nació en Ambato - Ecuador, Es Ingeniero Automotriz, es docente Tiempo Parcial en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE desde 2008. Imparte servicios de asesoramiento, capacitación en el ámbito



**Juan Pablo Vilaña Monteros**. Nació en Quito provincia de Pichincha en Ecuador. Graduado en el Instituto Tecnológico Superior Central Técnico, Quito – Ecuador especialidad Mecánica Automotriz en el año 2009. Actualmente se encuentra finalizando sus estudios de Ingeniería Automotriz en la Universidad De Las Fuerzas Armadas – ESPE en la ciudad de Latacunga, Ecuador.