

## AERODINÁMICA DE LA CARROCERÍA DEL VEHÍCULO DE COMPETENCIA - FÓRMULA SAE ELÉCTRICO.

### AERODYNAMICS OF THE BODY OF THE COMPETITION VEHICLE - FORMULA SAE ELECTRIC.

Luis Darío Granda Morocho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz.  
e – mail: <sup>1</sup>lgrandam@est.ups.edu.ec

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, VII Edición 2018, No.8 (14)

#### RESUMEN

En este documento se presenta el diseño aerodinámico y el proceso de construcción, de una carrocería para un vehículo de competencia Fórmula SAE Eléctrico, de acuerdo al reglamento 2017.

Como proceso inicial se modela la carrocería en un software de diseño CAD, de acuerdo al reglamento Fórmula SAE. Para el diseño del mismo se requiere de partes del vehículo como: el chasis, suspensión y ubicación de elementos del sistema eléctrico; además, se considera necesario diseñar un modelo que tenga buena eficiencia aerodinámica con flujos de aire para la refrigeración. Posterior al diseño CAD, se realizan simulaciones CFD a diferentes velocidades para calcular los coeficientes aerodinámicos y determinar la eficiencia de la carrocería. Con cada simulación lograda a través de este paso, se estudia el comportamiento aerodinámico del vehículo, definiendo mejoras en el diseño del mismo.

Para la selección del diseño final a construir se realizan comparaciones entre las simulaciones de los tres tipos de diseños diferentes, en los cuales se varía la forma de algunas partes como los pontones, nariz, tapa posterior, etc. Posterior a ello se selecciona el modelo más eficiente y se construye la carrocería. Finalmente, se realizan pruebas de montaje y funcionamiento en el vehículo.

#### Palabras clave:

Aerodinámica, carrocería, Fórmula SAE, vehículo eléctrico.

#### ABSTRACT

*In this document is presented the aerodynamic design and the construction process of a Formula SAE electric Racing vehicle body, according to the 2017 rules.*

*As initial process, the model is modeled in a CAD design software, according to the Formula SAE regulations. For the design it is necessary some parts of the vehicle like: the chassis, suspension system and the position of some of the electrical system elements, besides, is considered necessary to design a model that shows a good aerodynamic efficiency with airflow for cooling. After the CAD design, CFD simulations are made at different speeds to calculate the aerodynamic coefficient and to determine the body efficiency. With each simulation accomplished through this step, the vehicle aerodynamics behavior is studied, defining some improvements in the design.*

*For the selection of the final design, comparisons are made between the simulation of the three different designs, in which the shape of some of the parts such as the pontoons, nose, back over, etc. are varied. After that, the most efficient model is selected to being constructed. Finally, mounting and operating test are performed on the vehicle*

#### Keywords:

Aerodynamic, body, Formula SAE, electric vehicle

## 1. INTRODUCCIÓN

Inicialmente, la construcción de carrocerías en el desarrollo de vehículos fue un aspecto estético. No fue hasta el año 1914, en el que se desarrolló, bajo estudios fluidodinámicos, el vehículo Rumpler Trofenwagen, seguido del Alfa Ricotti. Con dichos estudios se determinó que los segundos iban de mano con la aerodinámica del vehículo [1]. No hay seguramente otro aspecto de la tecnología de los coches de competición que haya tenido una influencia mayor en el rendimiento, como el desarrollo de la aerodinámica. En todos los campeonatos automovilísticos del mundo, como los de Fórmula 1, CART y Fórmula 3, el factor aerodinámico es el elemento más importante en el rendimiento de los vehículos para mejorar las prestaciones [2].

En una competencia Fórmula SAE, la carrocería es una parte esencial del monoplaza, debido a que esta da la forma geométrica del vehículo, que es la parte estética. Una buena aerodinámica favorece al desempeño en pista del vehículo, alcanzando mayores velocidades en rectas de un circuito, así como también en curvas por medio del incremento de la fuerza normal que ejerce este en la pista. Además, se puede utilizar un flujo de aire adicional para el sistema de refrigeración y con una buena geometría se puede evitar cambios de temperatura y turbulencias dentro de la cabina del conductor, así como proteger a los peatones en caso de colisión. Estas ventajas además de mejorar el vehículo en pista, se relacionan con la reducción del consumo de energía para el motor. En un monoplaza eléctrico la necesidad de diseñar y construir una carrocería ligera, rígida y totalmente hermética es de vital importancia para garantizar la seguridad del conductor [3].

## 2. MÉTODOS Y MATERIALES

### 2.1. Influencia de los subsistemas del vehículo para el diseño de la carrocería

Para el diseño inicial de la carrocería del vehículo, a más del conocimiento del reglamento establecido para carrocerías, es necesario tener el diseño de sistemas importantes como el chasis, sistema de suspensión, atenuador de impactos, etc. Los mismos sistemas no establecen la forma de la carrocería del vehículo, sino que dan limitaciones para el diseño del mismo. Además, es necesario conocer la ubicación de elementos del sistema eléctrico y de refrigeración

como la batería, controlador, motor del vehículo, radiador, cañerías y depósitos de agua. Dichos sistemas se pueden visualizar en la figura 1.

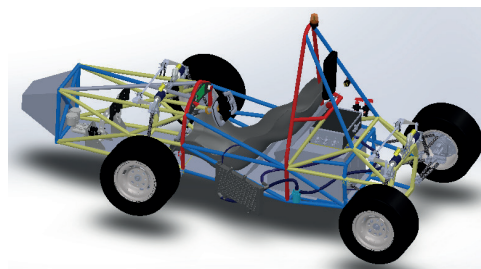


Figura 1. Modelo CAD de los componentes mecánicos y eléctricos del vehículo

### 2.2. Dispositivos aerodinámicos

En un vehículo de competencia, el desplazamiento en curva a mayor velocidad representa una ventaja. La fuerza centrífuga ayuda o impide que el vehículo se desplace a menor o mayor velocidad en curva, la misma actúa sobre un cuerpo que tiene su centro de gravedad a una altura  $h$ , desde la superficie de rodadura, originando esfuerzos laterales, que deben ser compensados por la adhesión de los neumáticos en un momento de posible vuelco. Al aumentar la velocidad, el vehículo puede perder su adherencia y su trayectoria [4].

El uso de alerones puede aumentar la adherencia del vehículo a la pista, garantizando una mayor velocidad en curva. Estos dispositivos pueden represar una ventaja o desventaja para el rendimiento del vehículo, ya que al ser piezas adicionales representan un aumento de peso. Considerando que el peso del monoplaza con el conductor es de 300 Kg, el uso de alerones se omite para el diseño, debido a que en comparación a otros equipos que usan alerones en sus monoplazas, el peso total es muy inferior a los 300 kg. Además, se considera un inconveniente la falta de experiencia en procesos de manufactura con materiales ligeros como la fibra de carbono.

### 2.3. Cargas y coeficientes aerodinámicos

Lo ideal es que un vehículo de competencia tenga el coeficiente aerodinámico de arrastre lo más bajo posible, esto indica que el coche podrá desplazarse con menor carga frontal. El coeficiente de arrastre y de sustentación de un vehículo de competencia efectivo se muestra en la figura 2.



Configuration	Description	$C_D$	$C_L$
	No aerodynamic devices	0.63	0.29
	Underbody channels (diffusers)	0.65	-0.79

Figura 2. Valores teóricos de un vehículo de competencia [5]

En un monoplaza FSAE el coeficiente varía dependiendo el uso dispositivo aerodinámicos, desde los 0.4 en el caso del equipo de la Universidad de Indianápolis a 1.4 el caso del equipo de la Universidad de Aquisgrán.

El coeficiente de arrastre se puede calcular mediante la ecuación:

$$C_x = \frac{2F_x}{\rho v^2 A} \quad (1)$$

En donde:

- $F_x$  es la fuerza frontal generada por el aire.
- $\rho$  es la densidad del aire.
- $v$  es la velocidad del vehículo.
- $A$  es el área frontal del vehículo.

La fuerza frontal o de arrastre, así como también la fuerza de sustentación se pueden obtener mediante las simulaciones CFD.

## 2.4. Presión dinámica y punto de estancamiento

La presión dinámica es aquella que se genera por el movimiento del fluido, mientras tanto la presión de estancamiento es aquella en la que el fluido se divide en dos direcciones diferentes, en el punto medio de ellas se genera la presión de estancamiento. Ambas vienen dadas por las siguientes ecuaciones respectivamente [6].

$$P = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (2)$$

$$P_s = P + \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (3)$$

Donde:

- $P$  es la presión dinámica.
- $\rho$  es la densidad del aire.
- $v$  es la velocidad del vehículo o del fluido.
- $P_s$  es la presión en el punto de estancamiento.

## 2.5. Potencia necesaria para romper la resistencia aerodinámica

En un vehículo el aprovechamiento de la aerodinámica se ve reflejado en la potencia que el motor debe utilizar para romper la resistencia aerodinámica [6], la misma se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Potencia = \frac{1}{2} C_x A \rho v^3 \quad (4)$$

## 2.6. Diseño y construcción

Para el diseño se divide la carrocería en tres secciones: nariz, pontones y tapa posterior. El proceso inicia con un primer modelo CAD, seguido de su simulación. Se analizan los resultados y se efectúan los cambios necesarios para mejorar el comportamiento aerodinámico, facilidad de construcción y verificar que se cumplan los objetivos inicialmente planteados.

## 2.7. Parámetros de simulación CFD

Se ejecutan las simulaciones CFD en el software SolidWorks 2017, con el fin de obtener los valores respectivos de las fuerzas, momentos y presiones en el movimiento dinámico del vehículo. La velocidad del fluido en la simulación es un parámetro muy importante, ya que a velocidades bajas la aerodinámica no disminuye el rendimiento del motor; por ello, las velocidades a simular se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Valores de velocidad a simular.

Nº PRUEBA	VELOCIDAD (km/h)
1	50
2	60
3	70
4	80
5	90
6	100
Tipo de freno	Hidráulico

La simulación del vehículo se realiza considerando las condiciones reales de la pista y a escala real. Los valores de simulación son dados por el reglamento y se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de simulación

ESPECIFICACIÓN	VALOR
Presión atmosférica	101826 KPa
Densidad del aire	1,162 kg/m <sup>3</sup>

## 2.8. Diseño y simulación de la carrocería

El primer modelo de la figura 4, se diseña con base en el reglamento y las limitaciones dadas por los sistemas mecánicos y eléctricos.

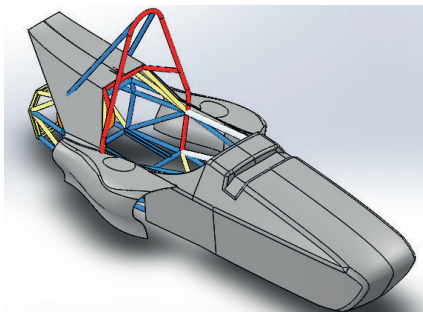


Figura 4. Modelo CAD del primer diseño de la carrocería

Bajo las condiciones establecidas se realiza la simulación CFD del primer modelo. La simulación y resultados se observan en la figura 5 y tabla 3. El área frontal de este modelo es de 0.42 m<sup>2</sup>.

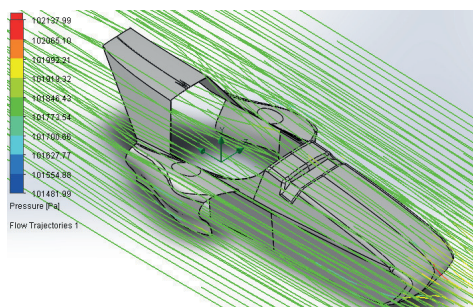


Figura 5. Simulación CFD del primer modelo

Tabla 3. Resultados de la simulación del primer modelo

VELOCIDAD (km/h)	Fx (N)	Cx
80	60	0,4753
100	94,75	0,4806

Los datos obtenidos muestran un coeficiente aerodinámico de arrastre Cx óptimo para la carrocería, pero existe un aumento de presión en la nariz. Además, es necesario que el cambio en la geometría de los pontones con la tapa posterior no sea brusco, ya que existe una arista demasiado pronunciada que origina variaciones de presión bruscas en esta zona y representa un gran inconveniente para el proceso de manufactura. Sumado a todo lo anterior, la inclinación de la tapa posterior para la prueba de lluvia es perjudicial para el flujo de agua que podría ingresar a los elementos eléctricos.

Considerando los aspectos a mejorar se procede al

rediseño del modelo 1 y simulación CFD. El modelo 2 se muestra en la figura 6.

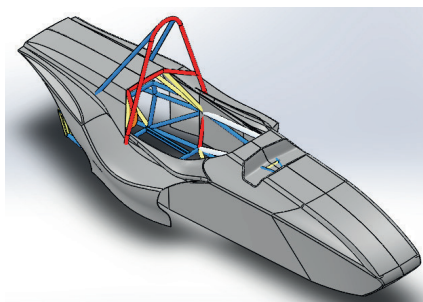


Figura 6. Modelo CAD del segundo diseño de la carrocería

En este modelo el área frontal para el cálculo es de 0.44 m<sup>2</sup>, la simulación y resultados se muestran en la figura 7 y tabla 4.

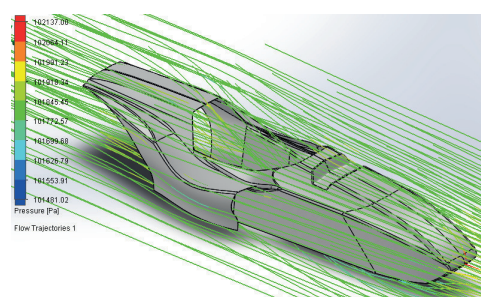


Figura 7. Simulación CFD del segundo modelo

Tabla 5. Resultados de la simulación del tercer modelo

VELOCIDAD (km/h)	Fx (N)	Cx
80	50,28	0,3651
100	79	0,3673

Los resultados obtenidos del modelo 3, muestran mejoras tanto en la reducción de la fuerza como en el coeficiente aerodinámico de arrastre.

## 2.9. Comparación de la eficiencia en la geometría por secciones

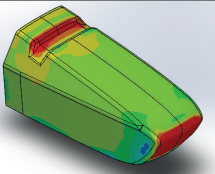
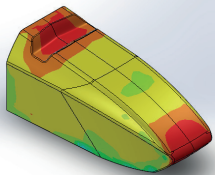
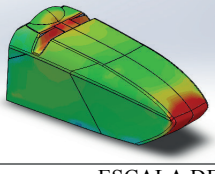
### 2.9.1. Nariz

Al ser el primer elemento que afecta el flujo de aire hacia todo el vehículo, se considera la importancia de su geometría. En esta zona el flujo de aire toma direcciones diferentes y se produce la zona de mayor presión y punto de estancamiento.


En la tabla 6, se muestran las simulaciones con la distribución de presión superficial y la fuerza de arrastre que genera cada modelo a una velocidad

única de 104 km/h.

Tabla 6. Comparación y selección del tipo de nariz

MODELO	FUERZAS
	$F_x=81\text{ N}$ $F_z = -83\text{ N}$
	$F_x = 98\text{ N}$ $F_z = -160\text{ N}$
	$F_x = 91\text{ N}$ $F_z = -73\text{ N}$

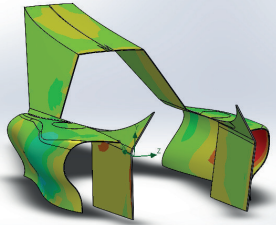
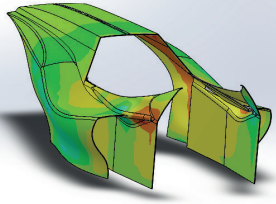
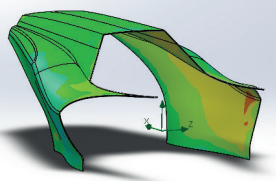
  

ESCALA DE PRESIONES	
	101981.00
	101926.44
	101871.89
	101817.33
	101762.78
	101708.22
	101653.67
	101599.11
	101544.56
	101490.00
	Pressure [Pa]

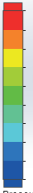
Los resultados muestran que el modelo 3 tiene una buena distribución de presión, con el cambio en la sección de los amortiguadores se observa una menor diferencia de la variación de presión. La fuerza de arrastre en el modelo 3 es de 91N, con una diferencia mayor de 10N al modelo 1, por lo que se selecciona el tercer modelo ya que esta diferencia es mínima y representa 1.01 Kg adicional de carga. Además, el modelo 3 encaja con la geometría final del chasis y el atenuador de impactos.

### 2.9.2. Pontones y tapa posterior

Tabla 7. Comparación y selección de los pontones y tapa posterior

MODELO	FUERZA S
	$F_x = 17\text{ N}$ $F_z = +17.4\text{ N}$
	$F_x = 25\text{ N}$ $F_z = +70\text{ N}$
	$F_x = 40\text{ N}$ $F_z = +86\text{ N}$

ESCALA DE PRESIONES	
	102047.43
	101978.91
	101910.38
	101841.86
	101773.33
	101704.81
	101636.29
	101567.76
	101499.24
	101430.72
	Pressure [Pa]

Para este caso el modelo 3 genera una fuerza de arrastre elevada y sustentación positiva en comparación con los otros modelos. Esto se debe a que en la simulación no se considera los otros sistemas mecánicos ni eléctricos del vehículo, por lo cual se consideran únicamente los cambios de presión en la parte superficial del mismo, mostrando al modelo 3 con cambios de presión graduales.

### 2.10. Comparación de fuerza de arrastre generada por modelo

Realizadas las simulaciones de los modelos de las figuras 4, 6 y 8, se comparan los valores obtenidos de las fuerzas de arrastre generadas por cada modelo en la tabla 8 y la figura 10.

Tabla 8. Comparación de la fuerza de arrastre

VELOCIDAD (km/h)	Fx (N)		
	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
50	18,24	23,53	19
60	26,2	33,8	28,4
70	36,44	46,9	39,34
80	46,68	60	50,28
90	59,84	77,375	64,64
100	73	94,75	79

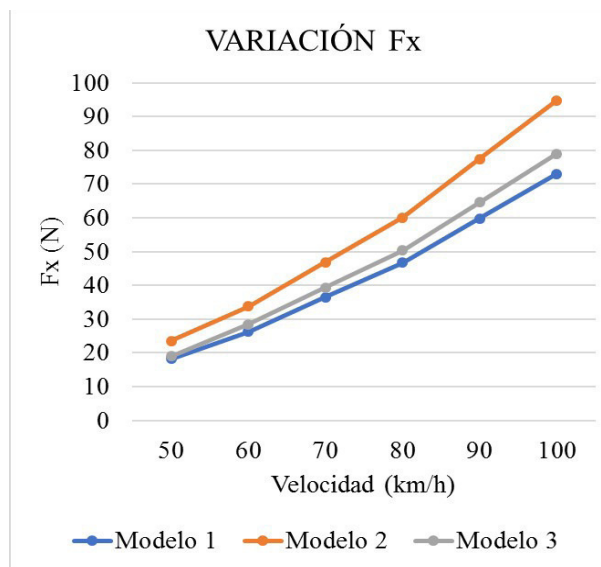


Figura 10. Curvas de Fuerza Sustentación a diferentes velocidades

Los resultados muestran que el modelo 1 genera menores fuerzas a diferentes velocidades, sin embargo, en el modelo 3 no se muestran diferencias altas a velocidades máximas como a 80 km/h. Así también se tiene en el modelo 1 una fuerza de arrastre de 73 N a 100 km/h, mientras que en el modelo 3 genera una fuerza de 79 N lo que equivale a una diferencia de 0.61 Kg.

### 2.11. Comparación de coeficientes aerodinámicos por modelo

En la tabla 9 y figura 11, se muestran los valores de Cx generados por los modelos de las figuras 4, 6 y 8.

Tabla 9. Comparación del coeficiente aerodinámico

VELOCIDAD (km/h)	Cx		
	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
50	0,3974	0,47	0,3536
60	0,3962	0,4763	0,3669
70	0,39655	0,4758	0,366
80	0,3969	0,4753	0,3651
90	0,3971	0,47795	0,3662
100	0,3973	0,4806	0,3673

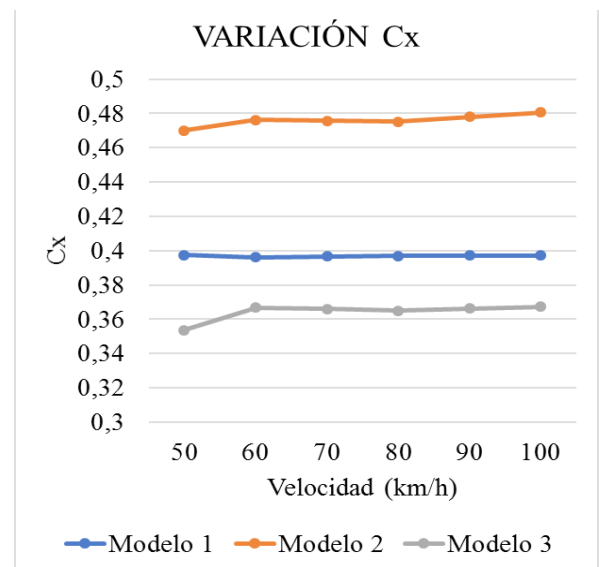


Figura 11. Curvas de Coeficiente aerodinámico Cx vs velocidad

En este caso el modelo 3 muestra valores de Cx menores en comparación de los dos modelos anteriores, con un Cx a 100 km/h de 0.3673, lo que nos indica una buena eficiencia aerodinámica.

### 2.12. Valores aerodinámicos del vehículo con sus subsistemas

Considerando que las simulaciones para la selección del diseño se realizaron sin los subsistemas del vehículo, a continuación, en la figura 13 se muestra la simulación de vehículo con la carrocería seleccionada anteriormente y los subsistemas del vehículo, mientras que en las tablas 10 y 11 se los resultados obtenidos de la simulación.

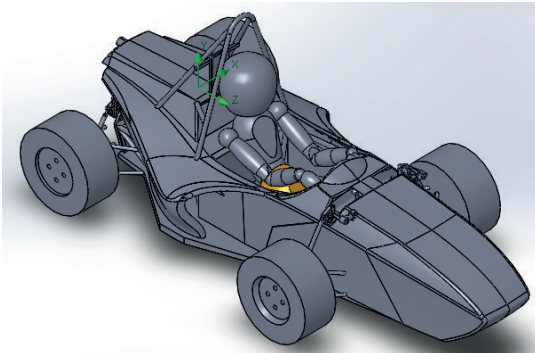
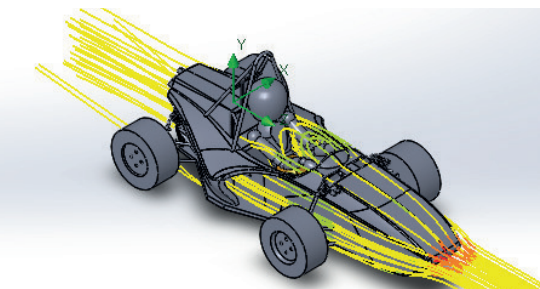


Figura 12. Modelado CAD del vehículo completo



Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
GG Av Static Pressure 1	[Pa]	101827.02	101826.99	101826.96	101827.02
GG Av Total Pressure 1	[Pa]	102083.13	102083.07	102083.02	102083.13
GG Av Dynamic Pressure 1	[Pa]	255.87	255.83	255.79	255.87
GG Force (Y) 1	[N]	27.581	28.292	27.369	30.373
GG Force (Z) 1	[N]	-109.406	-109.386	-109.524	-109.044

Figura 13. Simulación CFD y resultados del vehículo completo

Se realiza a 80 km/h ya que para el *Design Spec Sheet* se toma como referencia este valor.

Tabla 10. Resultados simulados obtenidos del vehículo

VALORES AERODINÁMICOS DEL VEHÍCULO A 80 KM/H	
ESPECIFICACIÓN	VALOR
Fuerza de sustentación	27,58 N
Fuerza de arrastre	109,4 N
Presión dinámica	255,87 Pa
Presión estática	102083,02 Pa

Tabla 11. Resultados calculados obtenidos con base en la

VALORES AERODINÁMICOS DEL VEHÍCULO A 80 KM/H	
ESPECIFICACIÓN	VALOR
Cx	0,4699
Presión dinámica	286,55 Pa
Presión estática	101911,85 Pa
Potencia para vencer fuerza aerodinámica	3,27 KW

### 2.13. Proceso de construcción y montaje

Para el proceso de construcción se seleccionó como

material base fibra de vidrio, desarrollando tres fases de construcción las cuales son: elaboración de un pre-molde, molde y pieza final. Cada fase de construcción se realizó para desarrollar la carrocería en dos piezas, la primera conformada por los pontones con la tapa posterior y la segunda formada por la nariz.

Inicialmente en la elaboración de los pre-moldes, se cortaron costillas de MDF con la geometría base de los pontones y la nariz. Estos pre-moldes, sirven de guía para obtener la geometría de la carrocería. Posteriormente, para dar una forma preliminar de la superficie de la carrocería, se utilizó MDF para recubrir las superficies planas, mientras que para las partes curvas se utilizó poliuretano y masilla. Finalmente se coloca pintura base para el acabado superficial como se observa en la figura 14.



Figura 14. Acabado del molde

Teniendo los pre-moldes de los pontones y nariz se procede a la elaboración de los moldes, los cuales se realizaron colocando gelcoat y resina junto con cuatro capas de fibra de vidrio alternadas: dos de tipo MAT para mantener la geometría junto con un buen acabado superficial y dos de tipo WOVEN ROVEN debido a que se necesita en los moldes una buena rigidez. Para las piezas finales, con el fin de reducir el peso total, se colocan únicamente dos capas de fibra de vidrio MAT. El acabado superficial se consideró desde la elaboración del pre-molde, manteniendo siempre una superficie lisa y sin imperfecciones para que el gelcoat se adhiera y mantenga el buen acabado.

Teniendo la pieza final se procede a realizar los cortes necesarios para acoplar la carrocería a los diferentes subsistemas de vehículo. Los cortes realizados dividen la carrocería en elementos fijos y elementos extraíbles. Los elementos fijos no se extraen debido a la localización e influencia para la competencia, estas piezas son: los paneles laterales que se encuentran rodeados por los tubos de la suspensión y dirección. Mientras que los elementos extraíbles permiten el

acceso hacia los sistemas mecánicos como eléctricos, estos son: la nariz, los pontones y la tapa posterior. Como fondo plano se elaboró únicamente una superficie plana usando como material base la fibra de carbono, este se extiende desde el arco frontal del chasis hacia la parte posterior, en este se sujetan los pontones para mantenerlos rígidos.

La facilidad de remover la carrocería es vital para el acceso inmediato de ciertos elementos mecánicos y eléctricos, por ello se optó usar pernos de medio giro como elementos de sujeción. Ensamblados estos elementos se integra las piezas de la carrocería al vehículo como se muestra en la figura 16.



Figura 16. Montaje de la carrocería con el vehículo ensamblado

Finalmente se coloca la pintura en la carrocería, se ensamblan todas sus partes obteniendo el vehículo completo que se muestra en la figura 17.



Figura 17. Vehículo terminado con sus diferentes partes.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El vehículo muestra una fuerza de sustentación de 27.58 N positiva, la misma que no representa reducción en la eficiencia del vehículo debido al peso del mismo. La fuerza de arrastre y el coeficiente aerodinámico a 80 km/h es de 109.4 N y 0.4699. Los mismos que son valores óptimos para un monoplace de competencia. Además, la potencia necesaria para vencer la fuerza aerodinámica a esta velocidad es de 3.27 KW que es únicamente el 4% de la potencia total del motor, lo cual indica que el vehículo tiene una

buena aerodinámica.

Este estudio es del segundo monoplace realizado por la Universidad Politécnica Salesiana, a diferencia del primer modelo Bosco 1.0 el coeficiente aerodinámico  $C_x$  aumenta de 0.45 a 0.4699, esto se debe al incremento de piezas en el monoplace eléctrico, ya que es necesario el cubrimiento de la parte posterior para el sistema eléctrico,

En el caso de la presión dinámica y estática los valores obtenidos en la simulación, en comparación con los valores calculados muestran un margen de error para la presión dinámica del 12% y para la presión estática menor al 1%, lo cual valida la información calculada.

### 4. CONCLUSIONES

Los objetivos se cumplieron de manera satisfactoria, logrando aplicar los conceptos de aerodinámica en el diseño de una carrocería funcional, con coeficientes aceptables y dando como resultado la construcción de la pieza con buenos acabados.

Lo fundamental de un trabajo de este tipo es afirmar teorías de estudio aerodinámico. En este caso se afirma que una buena aerodinámica mejora el rendimiento en pista de un vehículo, aprovechando el consumo energético de las baterías, reduciendo la potencia necesaria para vencer las fuerzas aerodinámicas a elevadas velocidades y consiguiendo refrigerar elementos a través de un buen flujo de aire.

En la selección de la nariz y pontones del vehículo se considera la distribución de presiones y fuerzas generadas en cada sección, mostrando que el modelo 3 es óptimo para su construcción con  $C_x$  de 0.3673 a 100 km/h. Además, la distribución de presiones se mejora mediante la suavidad de cambios de geometrías de secciones, dando como resultado una presión máxima de 102083 Pa.

Debido al peso total del vehículo (300 Kg), el uso de alerones no es necesario, ya que estos representan un peso adicional para el vehículo.

Las simulaciones se realizan únicamente de la carrocería sin ningún elemento del vehículo, debido al tiempo de resolución y gasto computacional. Seleccionado el modelo más adecuado se simula



con todos los subsistemas del vehículo, incluido el conductor, aumentando el  $C_x$  de 0.3651 a 0.4699 en 80 km/h. Este incremento no afecta el rendimiento del vehículo, ya que para vencer la fuerza de arrastre el vehículo utiliza únicamente un 4% de la potencia total.

La presente investigación se llevó a cabo bajo el asesoramiento del Ingeniero Paul Wilfrido Méndez Torres Docente de la Universidad Politécnica Salesiana, Ingeniero Jonatan Antonio Pozo Palacios Docente y director del proyecto Formula SAE Eléctrico de la carrera de Ingeniería Automotriz.

## 5. REFERENCIAS

- [1]. Ortego, L. M. (marzo del 2013). DiarioMotor. Obtenido de DiarioMotor: <https://www.diariomotor.com/tecmovia/2013/03/31/aerodinamica-y-eficiencia/>
- [2]. McBeath, S. (2005). Aerodinámica del vehículo de competición. Barcelona: CEAC.
- [3]. International, S. (2016). 2017-18 Formula SAE Rules. SAE International.
- [4]. Francisco Aparicio Izquierdo, C. V. (1995). Teoría de los vehículos automóviles. Madrid: ETS Ingenieros Industriales.
- [5]. Willian F. Milliken, D. L. (1995). Race Car Vehicle Dynamics. Society of Automotive Engineers.
- [6]. Hughton E. L., C. P. (2003). Aerodynamics for Engineering Students. Oxford: Butterworth Heinemann.

## 6. BIOGRAFÍA



<sup>1</sup>Luis Granda, es Ingeniero Mecánico de la Universidad Politécnica Salesiana, Certificado de participación en la Formula Student 2017 por el Instituto de Ingenieros Mecánicos en el circuito de Silverstone.

### REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	20 enero 2018
Fecha aceptación	15 marzo 2018