



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: CAIZA CHASI VINICIO FABIÁN  
VILAÑA MONTEROS JUAN PABLO

TEMA:  
DISEÑO, SIMULACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UNA  
CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO TIPO FORMULA SAE

---

DIRECTOR: ING. OSCAR ARTEAGA

CODIRECTOR: ING. STALIN MENA

# OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y simular una carrocería aerodinámica de tipo Formula SAE a través del uso óptimo de materiales de construcción para obtener un rendimiento adecuado del vehículo.
-

# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Optimizar la carrocería seccionándola por partes a través de trazos de diferentes formas y medidas para determinar el diseño adecuado tomando en cuenta resultados.
  - Analizar el comportamiento del flujo de aire sobre la superficie mediante el uso de software computacional para una selección adecuada basada en criterios aerodinámicos.
  - Realizar ensayos de tracción con probetas de diferentes materiales para inferir resultados de selección en función de la tensión que soporta el material.
  - Construir la carrocería de un vehículo tipo Formula SAE, en base a un proceso de moldes para reducir considerablemente el peso y obtener una buena resistencia a la tracción.
-

# JUSTIFICACIÓN

- La razón por la que se llevará a cabo este proyecto es para construir una carrocería ligera con nuevos materiales de construcción como son las fibras naturales que son amigables con el ambiente y poseen una buena resistencia. Además se implementa la parte aerodinámica.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- El problema radica que en los anteriores diseños de carrocería existe un elevado peso en comparación con vehículos que participan en la misma competencia con carrocerías ligeras.

## HIPÓTESIS

- La selección adecuada de los materiales de construcción en aerodinámica permite obtener una carrocería ligera con excelente resistencia a la tracción, permitiendo reducir el peso total del vehículo Formula SAE.
-

# CAPÍTULO II

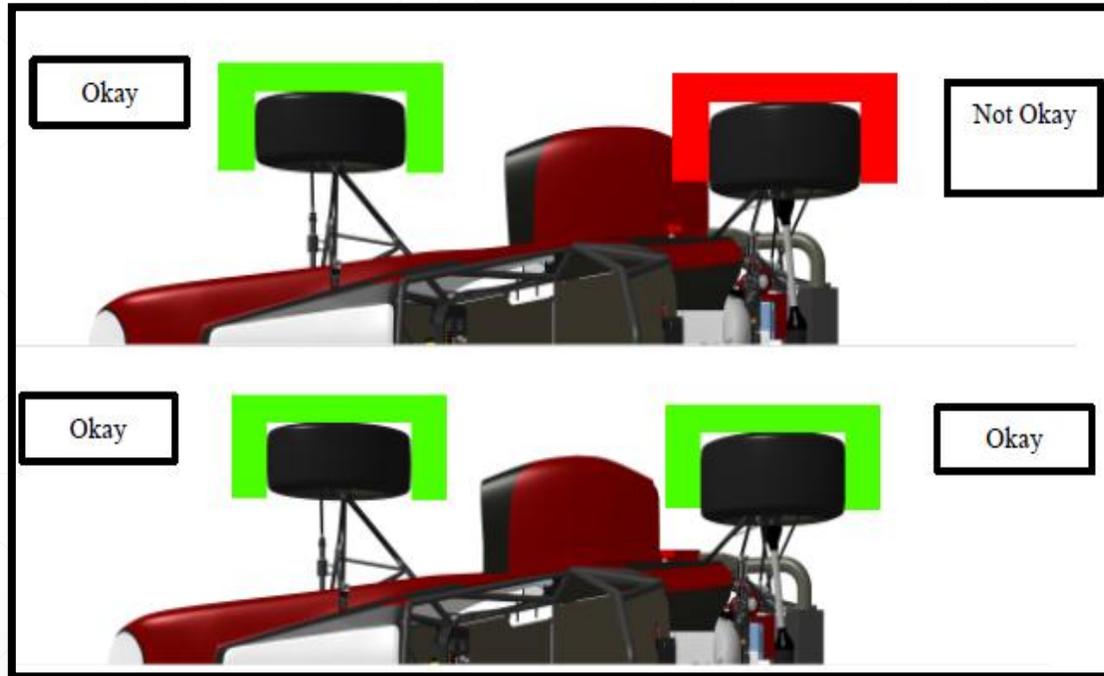
## MARCO TEÓRICO

---

# FORMULA SAE

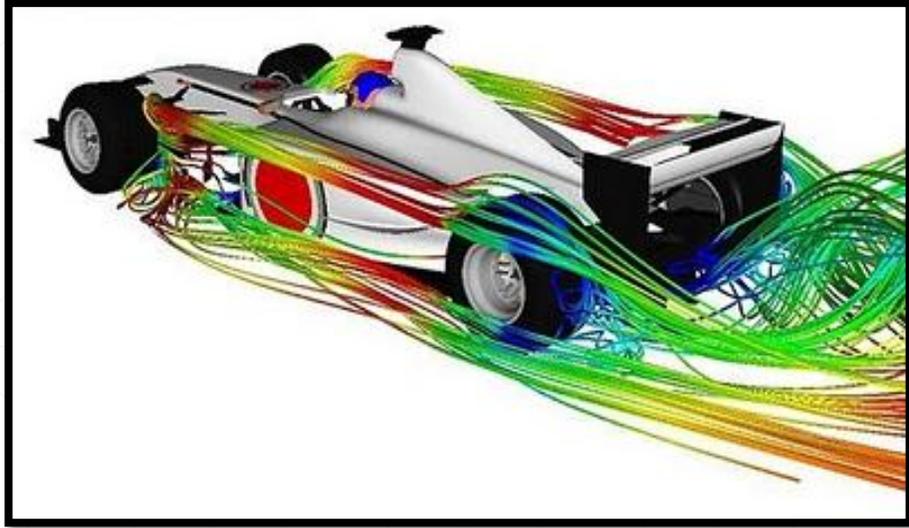


# NORMATIVAS PARA LA CARROCERÍA



- Estética
- Costos de producción
- Mantenimiento
- Fabricación
- Fiabilidad
- Zona de seguridad
- Radio mínimo de 1.5 mm

# AERODINÁMICA



- Es una rama de la física encargada del estudio del comportamiento de los fluidos y su importancia radica en la necesidad de predecir su comportamiento cuando hay cuerpos inmersos en ellos.

Problemas en vehículos de competición

Reducción de la resistencia aerodinámica

Generar sustentación

\* Forma externa  
\* Control de Flujo  
\* Flujo interno

Sin obtener demasiado arrastre

## TIPO DE FLUJO

- **Laminar:** Si el movimiento del fluido se observa organizado.
- **Turbulento:** Si las partículas del fluido estarían moviéndose en otra dirección.



*Laminar*

*Turbulento*

---

# NÚMERO DE REYNOLDS

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu}$$

$\rho$  = Densidad del fluido  $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

$V$  = Velocidad del fluido  $\left[\frac{m}{s}\right]$

$L$  = Longitud característica del cuerpo inmerso en el fluido  $[m]$

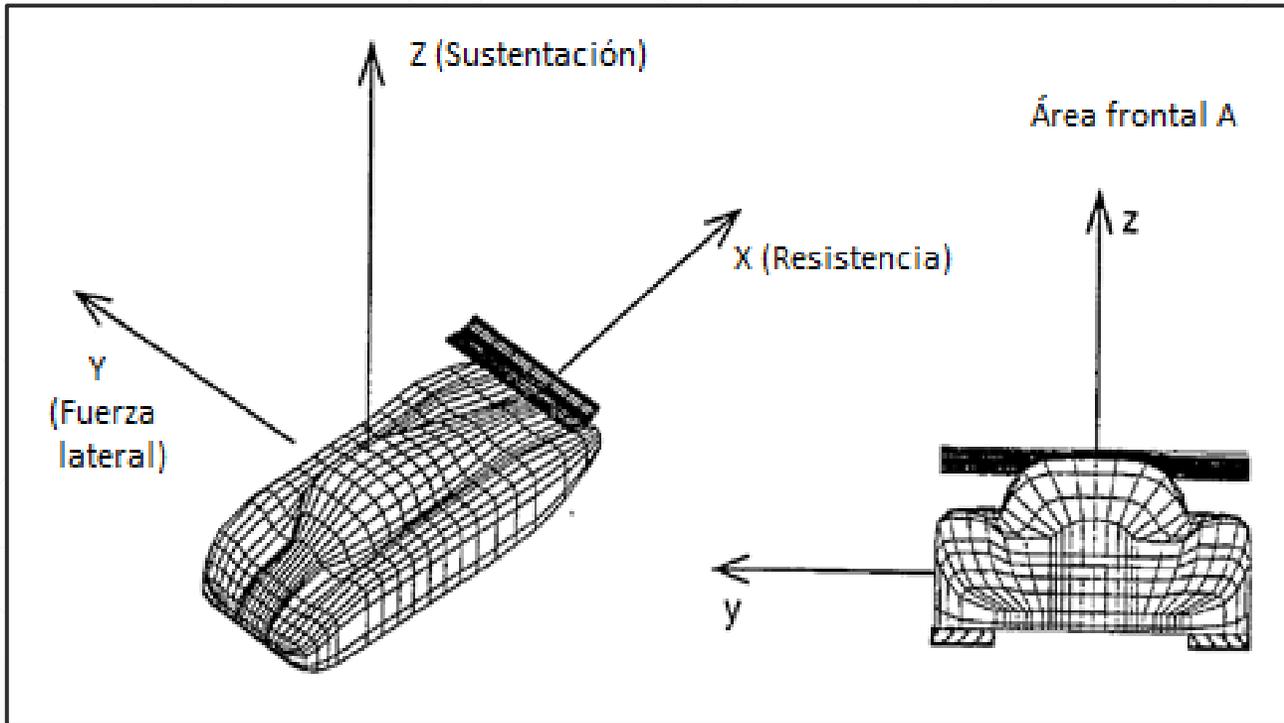
$\mu$  = Viscosidad dinámica del fluido  $[Pa * s]$

- Es adimensional representando la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas creadas en el aire

$$Re: 1.0 \times 10^6$$

---

# FUERZAS AERODINÁMICAS



## Principales

- Resistencia
- Sustentación
- Fuerza lateral

# RESISTENCIA AERODINÁMICA

$$D = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * C_D * A$$

Dónde:

- $D$  = Resistencia aerodinámica (DRAG) [N]
  - $\rho$  = Densidad del aire  $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$
  - $V$  = Velocidad del fluido  $\left[\frac{m}{s}\right]$
  - $C_D$  = Coeficiente de resistencia aerodinámica [ ]
  - $A$  = Área frontal del vehículo [ $m^2$ ]
-

# SUSTENTACIÓN AERODINÁMICA

$$L = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * C_L * A$$

Dónde:

- $L$  = Sustentación aerodinámica (LIFT) [ $N$ ]
  - $\rho$  = Densidad del aire [ $\frac{Kg}{m^3}$ ]
  - $V$  = Velocidad del fluido [ $\frac{m}{s}$ ]
  - $C_L$  = Coeficiente de sustentación [*adimensional*]
  - $A$  = Área frontal del vehículo [ $m^2$ ]
-

# FUENTES DE RESISTENCIA

## Frontal

Influenciada por el diseño del frente y el ángulo.

## Posterior

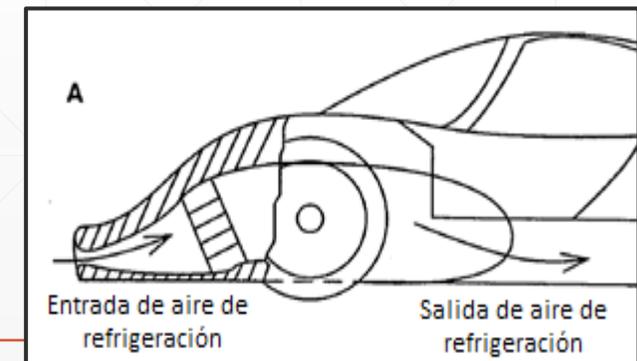
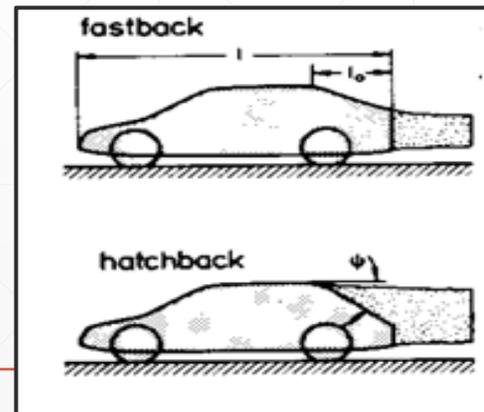
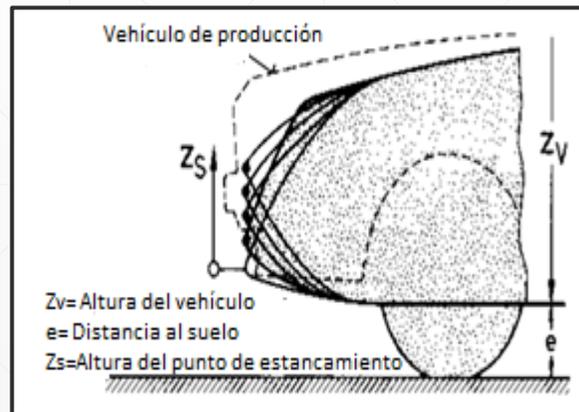
Por la fricción producida por la zona de separación.

## Piso

Las suspensiones, sistema de escape y otros componentes que sobresalen por debajo son responsables de la resistencia.

## Refrigeración

El flujo de aire pasa a través de los paneles del radiador impactando en el motor.



# DISPOSITIVOS AERODINÁMICOS

## Difusor

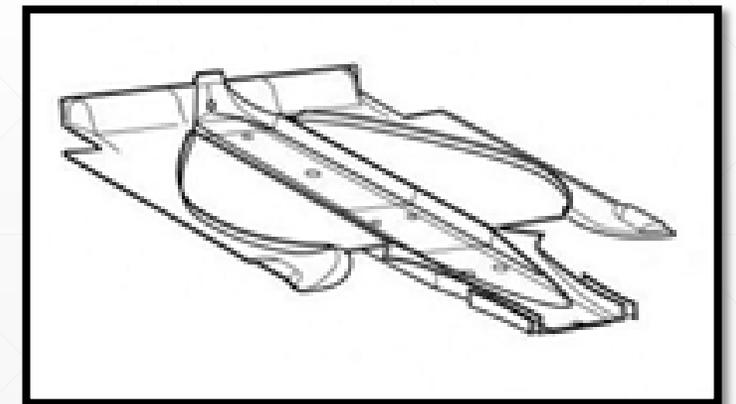
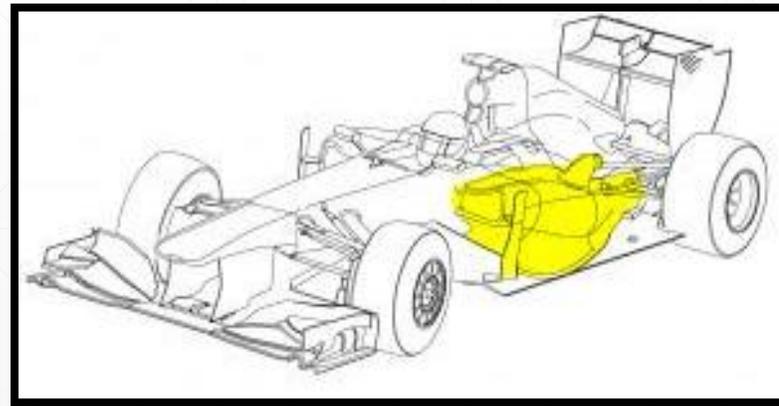
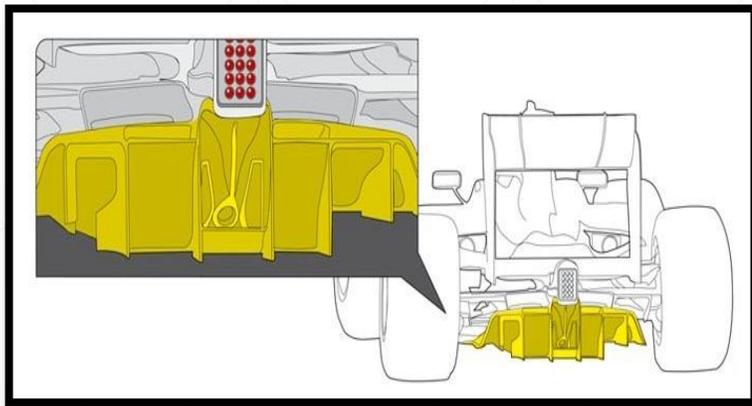
Funciona proporcionando un espacio para el flujo por debajo del vehículo para desacelerarse y expandirse

## Pontones

Son la parte ancha y baja de la carrocería, se extienden por cada lado del habitáculo del piloto

## Fondo plano

Es la parte más baja del monoplaza, la parte más cerca al asfalto



# TIPOS DE CHASIS

## Chasis Tubular

La carrocería y el chasis son independientes, la carrocería se utiliza para aerodinámica y el chasis para soportar cargas.

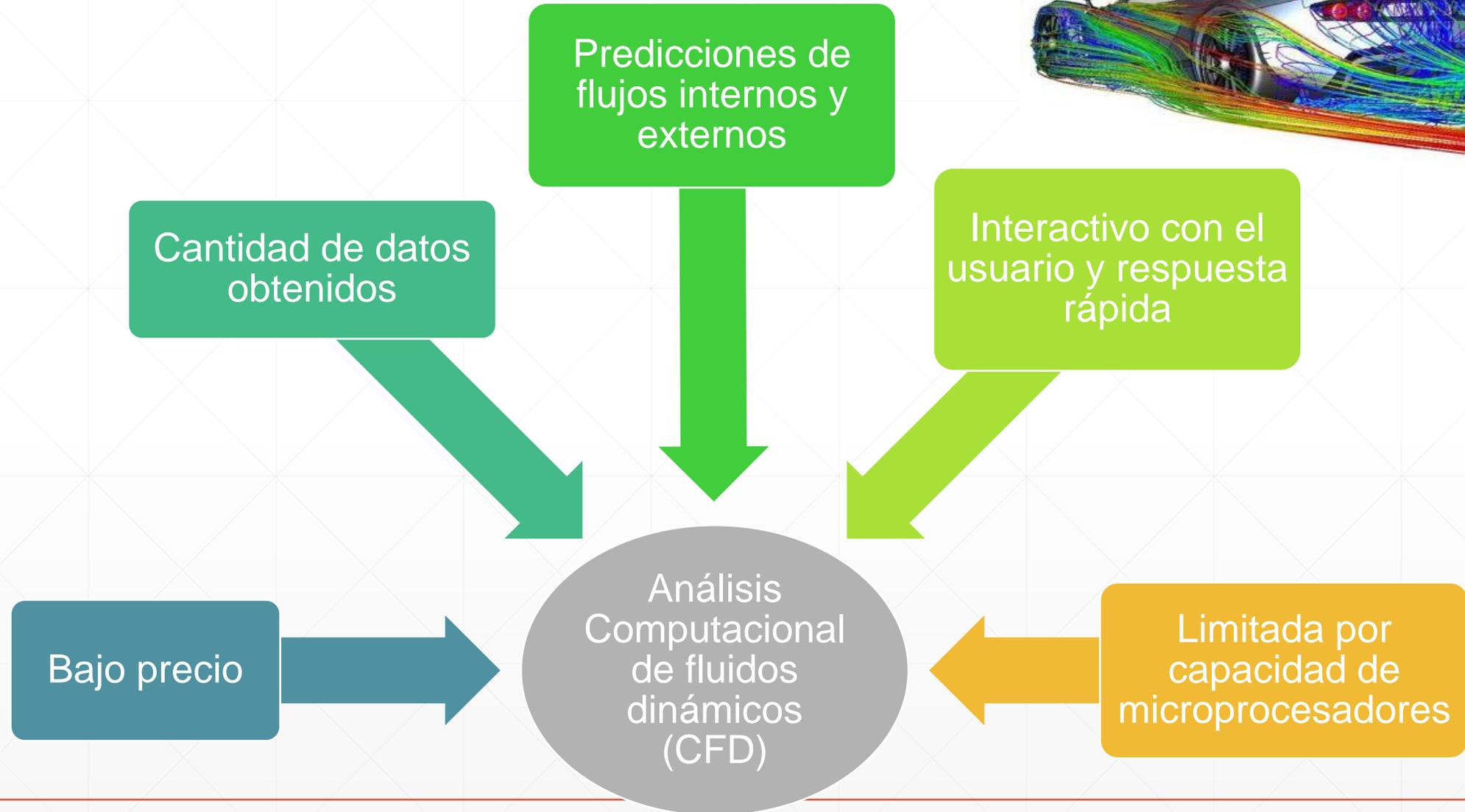
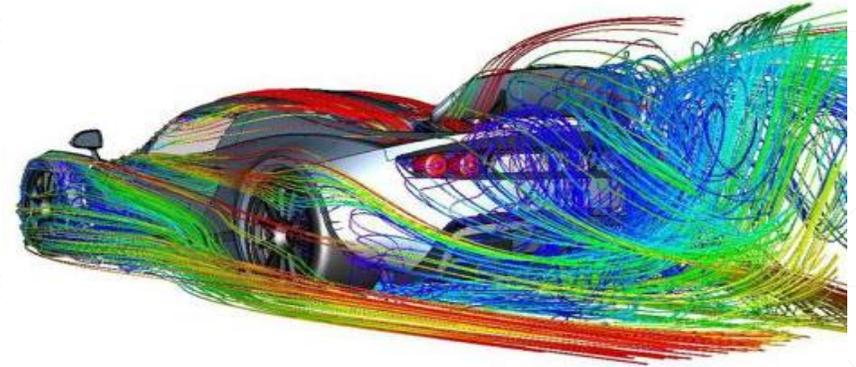


## Chasis Monocasco

La carrocería y el chasis forman un solo cuerpo.



# ANÁLISIS CFD



# MATERIALES

## COMPOSITES

El avance tecnológico y la reducción de costos de producción han hecho posible la utilización de este material a industrias como la automotriz y transporte

### Fibra de vidrio tipo E

Tenacidad (N/tex): 1.30  
Fuerza a la tracción (MPa): 3400  
Elongación hasta rotura (%): 4.5  
Módulo de Young (GPa): 70 -73



### Fibra de yute tejida

Densidad  $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$ : 1.3 – 1.49  
Resistencia a la tensión (MPa): 393 – 800  
Módulo de Young (GPa): 13 – 26.5  
Elongación (%): 1.16 – 1.5



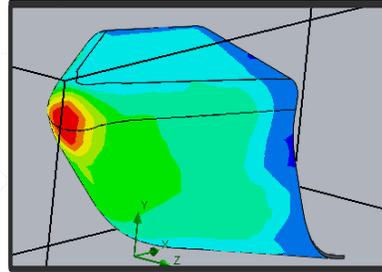
# **CAPÍTULO III**

## **DISEÑO DE LA CARROCERÍA**

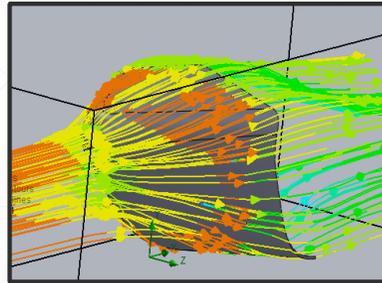
---

# NARIZ

Distribución de Presión



Velocidad de Flujo de Aire

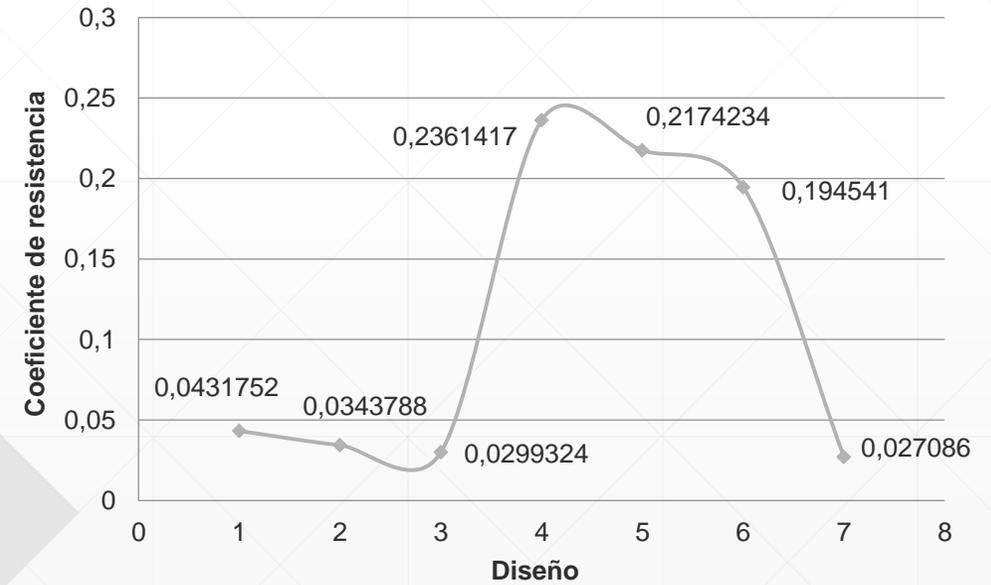


Criterio de Selección

$C_D$  menor  
Velocidad Uniforme  
Punto de presión sobre la punta

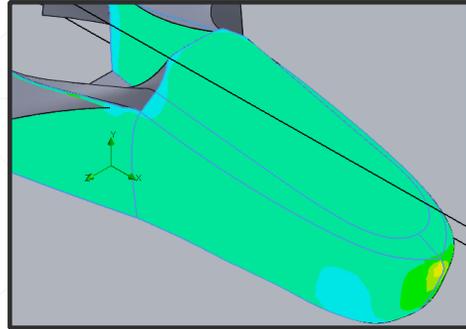
Presión (Pa)	Coefficiente de resistencia $C_D$	Resistencia (DRAG) (N)	Velocidad del flujo de aire (m/s)
101470.48	0,0431752	11,959	16,8
101525.48	0,0343788	8,022	17,3
101509.20	0,0299324	7,477	18,03
101478.44	0,2361417	7,037	18,45
101496.39	0,2174234	8,028	18,75
101443.20	0,1945414	7,783	17,54
101520.06	0,0270861	7,197	17,685

Diseño versus Coeficiente de resistencia

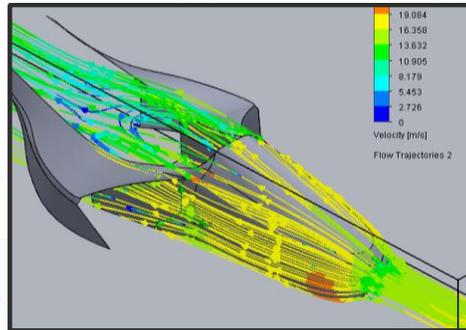


# TROMPA

Distribución de Presión



Velocidad de Flujo de Aire



Criterio de Selección

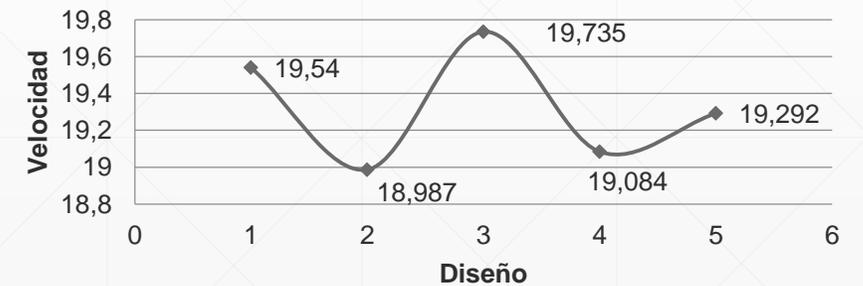
CD menor  
Distribución de presión uniforme  
Velocidad de flujo uniforme  
Flujo llegue a la toma de admisión

Presión (Pa)	Coefficiente de resistencia $C_D$	Fuerza de resistencia (N)	Velocidad del flujo de aire (m/s)
101356.74	0,2672225	16,575	19,54
101358.64	0,3526994	26,255	18,987
101359.37	0,2667969	15,791	19,735
101356.74	0,2560738	35,22	19,084
101289.40	0,1512329	22,092	19,292

Diseño versus Resistencia

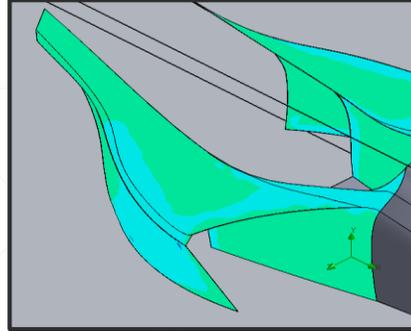


Diseño versus Velocidad



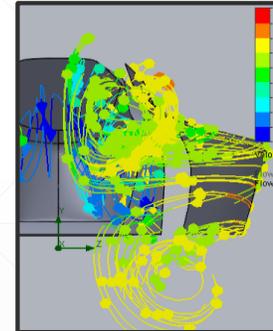
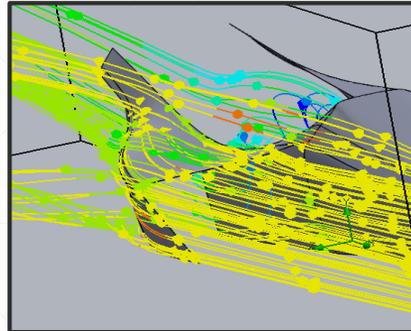
# PONTONES

Distribución de Presión



Presión (Pa)	Coefficiente de Resistencia $C_D$	Velocidad del fluido (m/s)	Fuerza de resistencia D (N)
101442.45	0,3800059	16,037	17,56
101389.45	0,5168589	19,084	36,342

Velocidad de Flujo de Aire



Criterio de Selección

Presión reducida en el interior  
Velocidad de flujo constante  
Salida de flujo a alta velocidad

# FONDO PLANO – PARTE DELANTERA

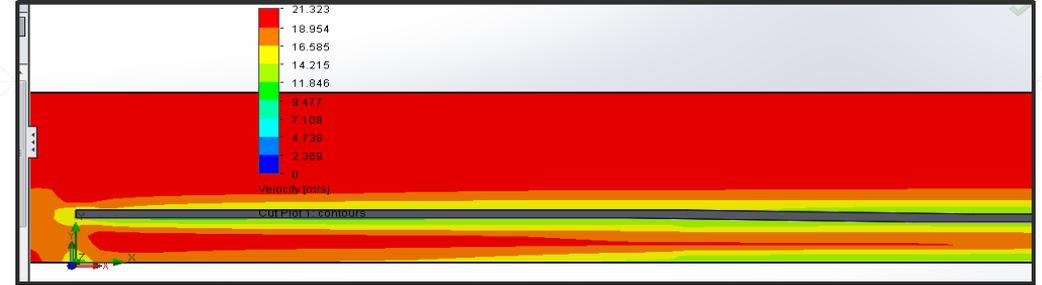
Velocidad de Flujo de Aire

Criterio de Selección

$C_D$  menor

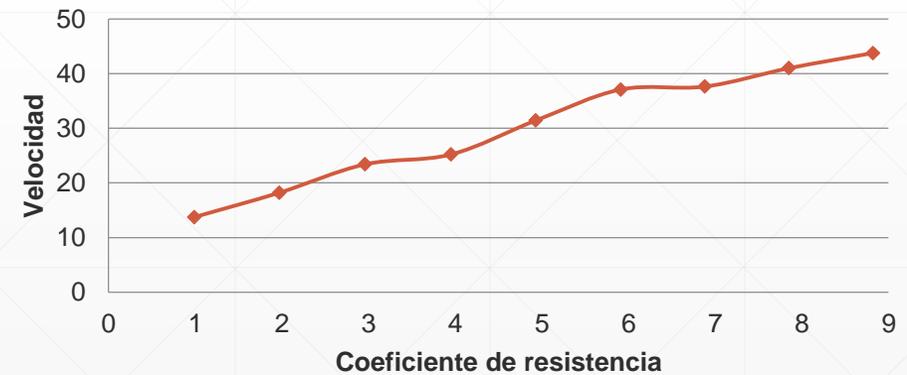
Flujo de aire que no choque contra el piso

$V f(C_D)$  alto



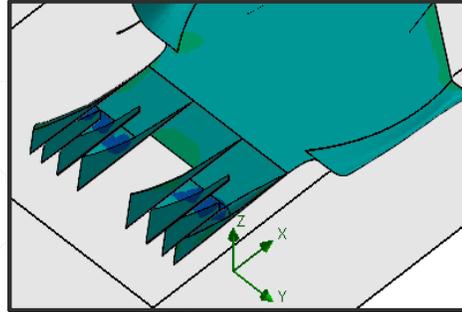
ALTURA (mm)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	ÁNGULO (°)	COEFICIENTE DE ARRASTRE $C_D$	VELOCIDAD (m/s)	$V/C_D$
45	0,01606	8,82	0,4877555	21,353	43,7780814
40	0,0146	7,85	0,5270803	21,611	41,0013427
35	0,01314	6,88	0,5677001	21,366	37,6360688
30	0,01168	5,91	0,5961446	22,121	37,1067691
25	0,01022	4,93	0,6807217	21,395	31,429878
20	0,00876	3,95	0,8629938	21,753	25,2064383
15	0,0073	2,96	0,9474385	22,179	23,409435
10	0,00584	1,97	1,1955294	21,771	18,2103426
5	0,00438	0,99	1,5412696	21,175	13,7386736

Velocidad  $f(C_D)$  (Coeficiente de resistencia)

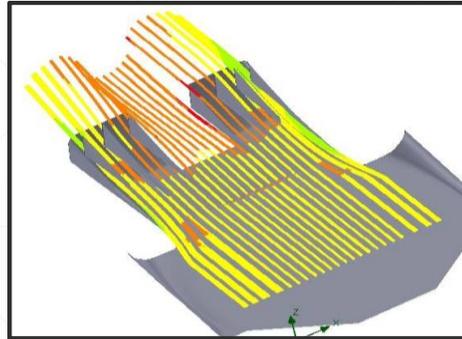


# FONDO PLANO Y DIFUSORES

Distribución de Presión



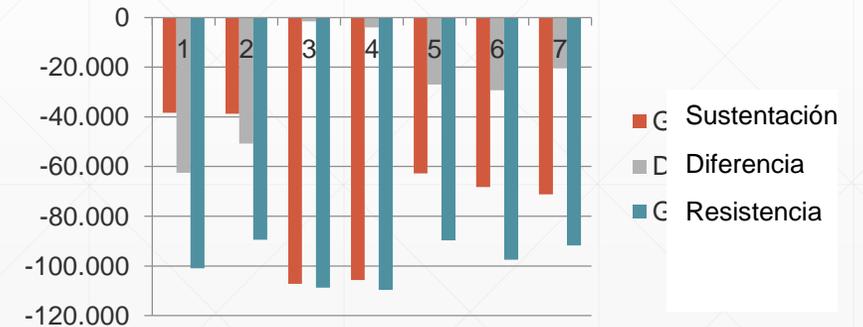
Velocidad de Flujo de Aire



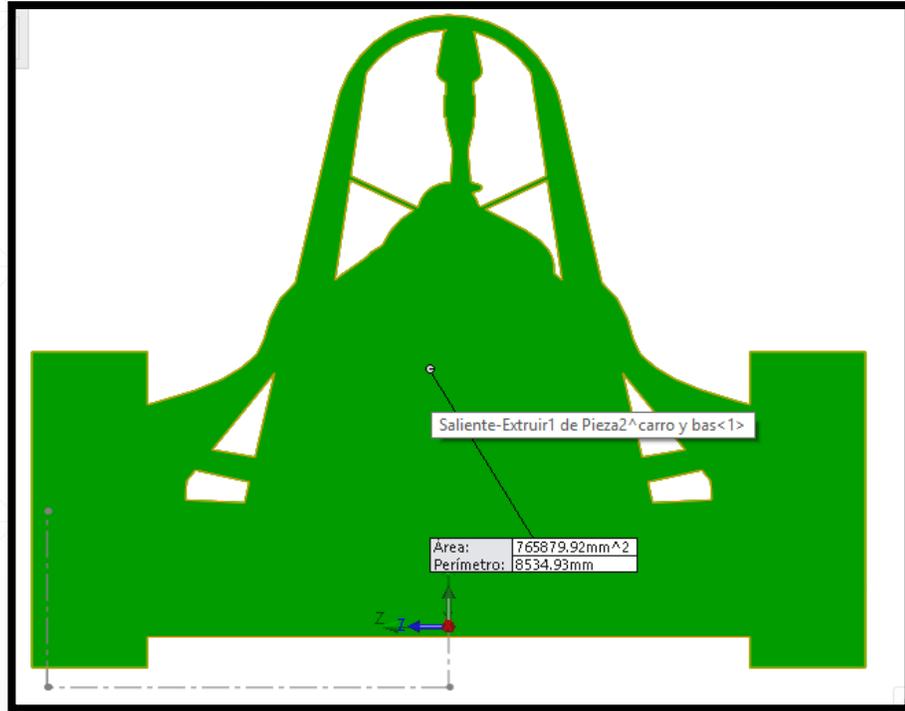
Criterio de Selección

< Sustentación  
> Resistencia

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



# SIMULACIÓN COMPLETA DEL VEHÍCULO



- Condiciones ambientales de 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

- El área frontal del vehículo es de  $0.765879 \text{ m}^2$

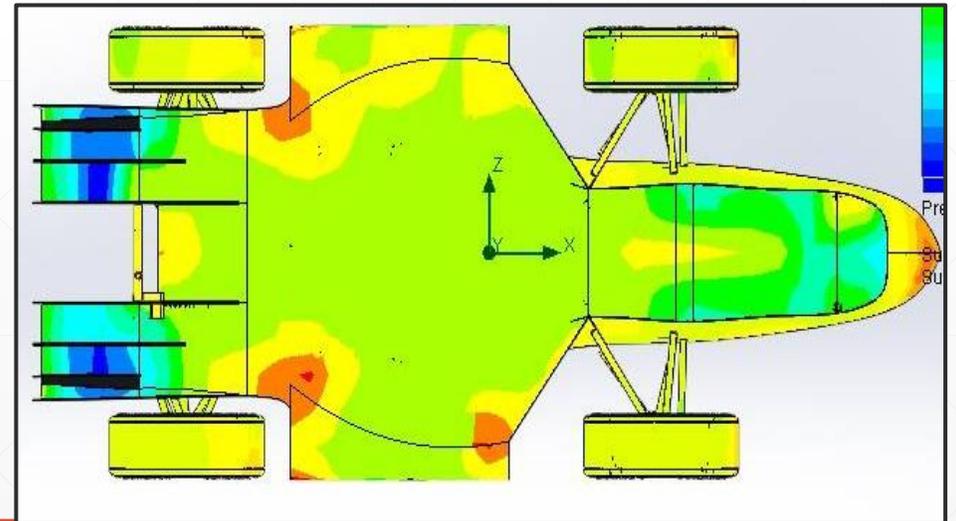
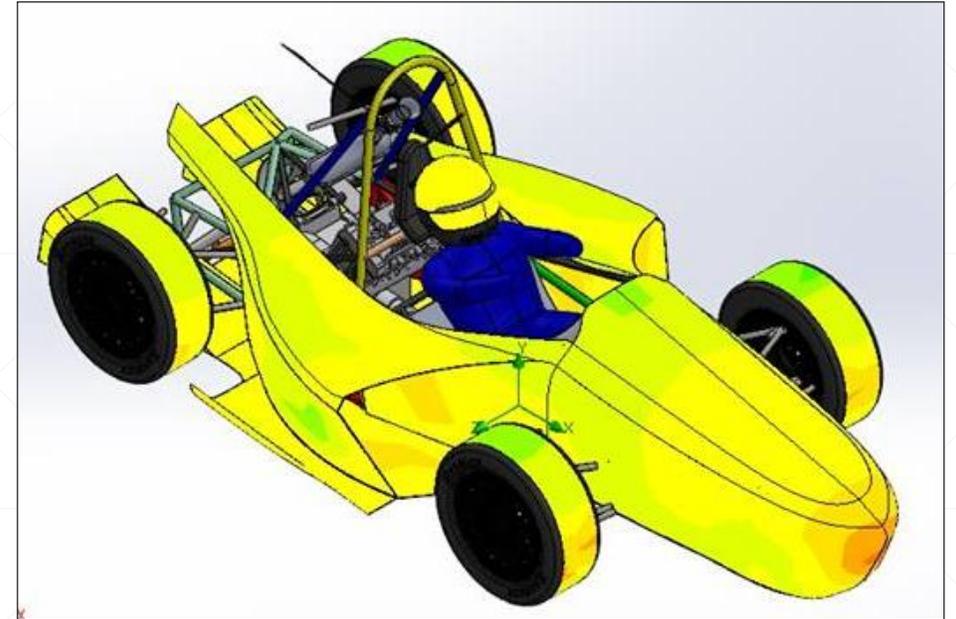
# DISTRIBUCIÓN DE PRESIÓN

## Carrocería

- Mínima
- 101200.15 Pa
- Máxima
- 101425.80 Pa

## Fondo plano

- Mínima
- 100600 Pa
- Máxima
- 101500 Pa



# VELOCIDAD DE FLUJO

## Vista Isométrica

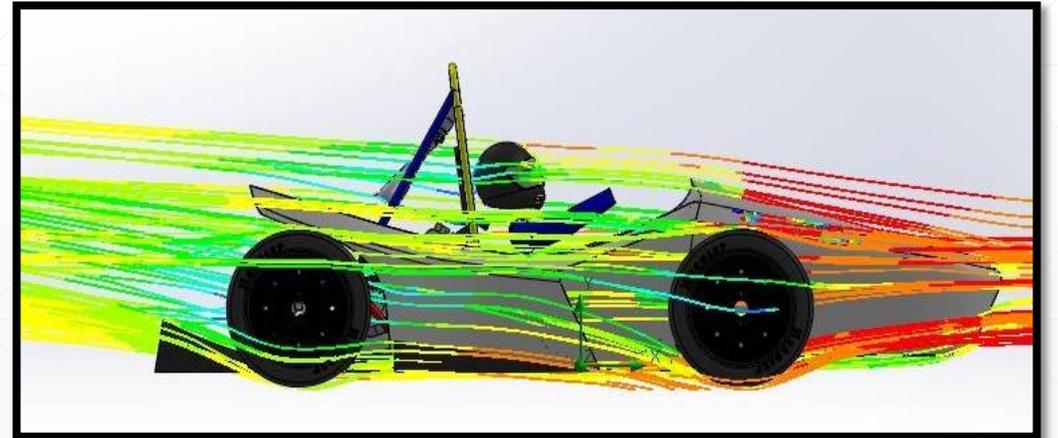
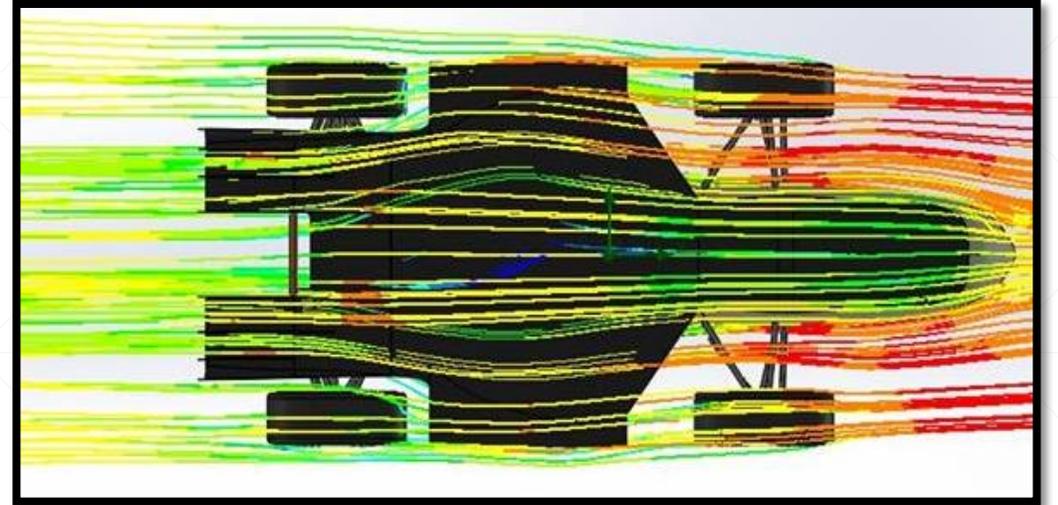
- Nariz: se reduce 17 m/s
- Trompa: Aumenta de 19 m/s a 25 m/s
- Pontones: Ingresa a 17 m/s; sale a 19 m/s

## Fondo Plano

- Velocidad constante a 20m/s
- Velocidad máxima de 25 m/s

## Casco

- Antes del contacto 17 m/s
- Durante el contacto 19 m/s



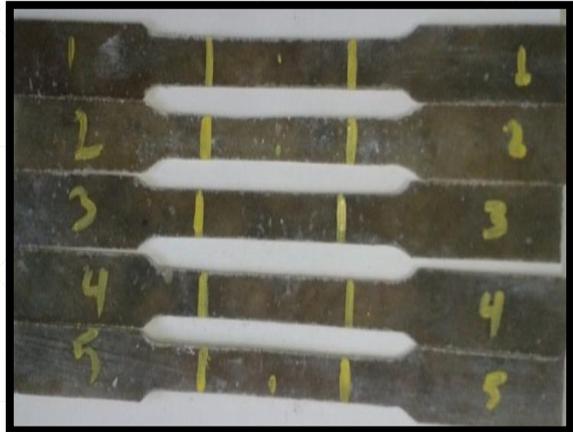
# Resultados obtenidos

Nombre	Unidad	Valor	Valor Promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Máxima Presión Estática	[Pa]	108822,0431	108823,9895	108822,0431	108826,2771
Máxima Presión Total	[Pa]	108822,0798	108824,2375	108822,0798	108826,723
Máxima Presión Dinámica	[Pa]	461,3993494	665,0883759	460,509815	947,1898527
Velocidad Máxima	[m/s]	27,6864121	32,81255572	27,65982298	39,55035076
Resistencia	[N]	-135,987131	-135,6775462	-136,6708516	-135,1453709
Sustentación	[N]	-22,96613221	-22,85506966	-23,14694025	-22,41463058
Fuerza Lateral	[N]	-2,181791166	-2,265581614	-2,647308649	-1,920086851
Coefficiente de Resistencia	[ ]	-0,037811995	-0,028609565	-0,038075205	-0,01844767
Coefficiente de Sustentación	[ ]	-0,017284705	-0,013057061	-0,017454293	-0,008347542

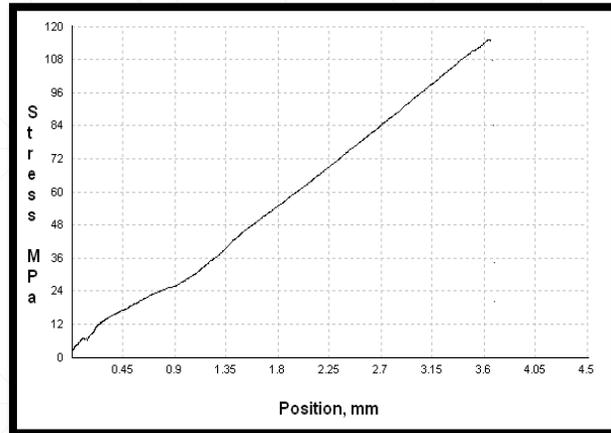


# ENSAYO DE TRACCIÓN

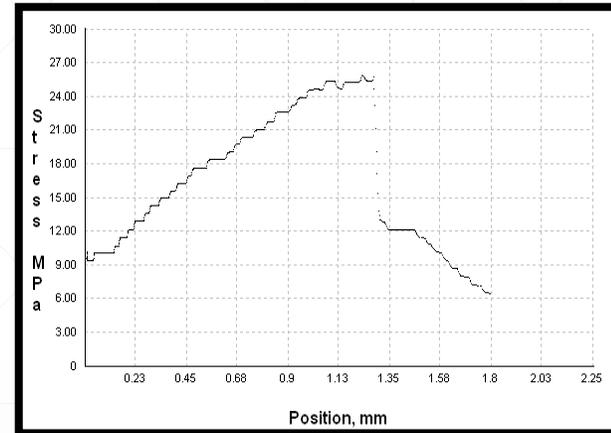
La norma que se ajusta a las necesidades es la ASTM E8



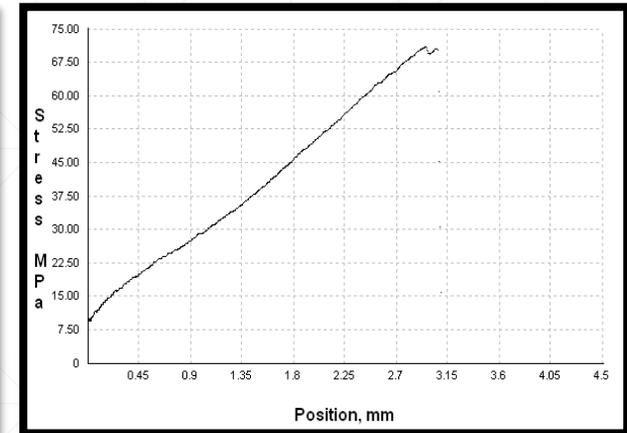
MUESTRAS



FIBRA DE VIDRIO



FIBRA DE YUTE



FIBRA DE VIDRIO Y YUTE

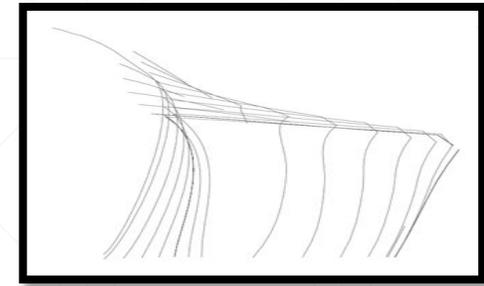
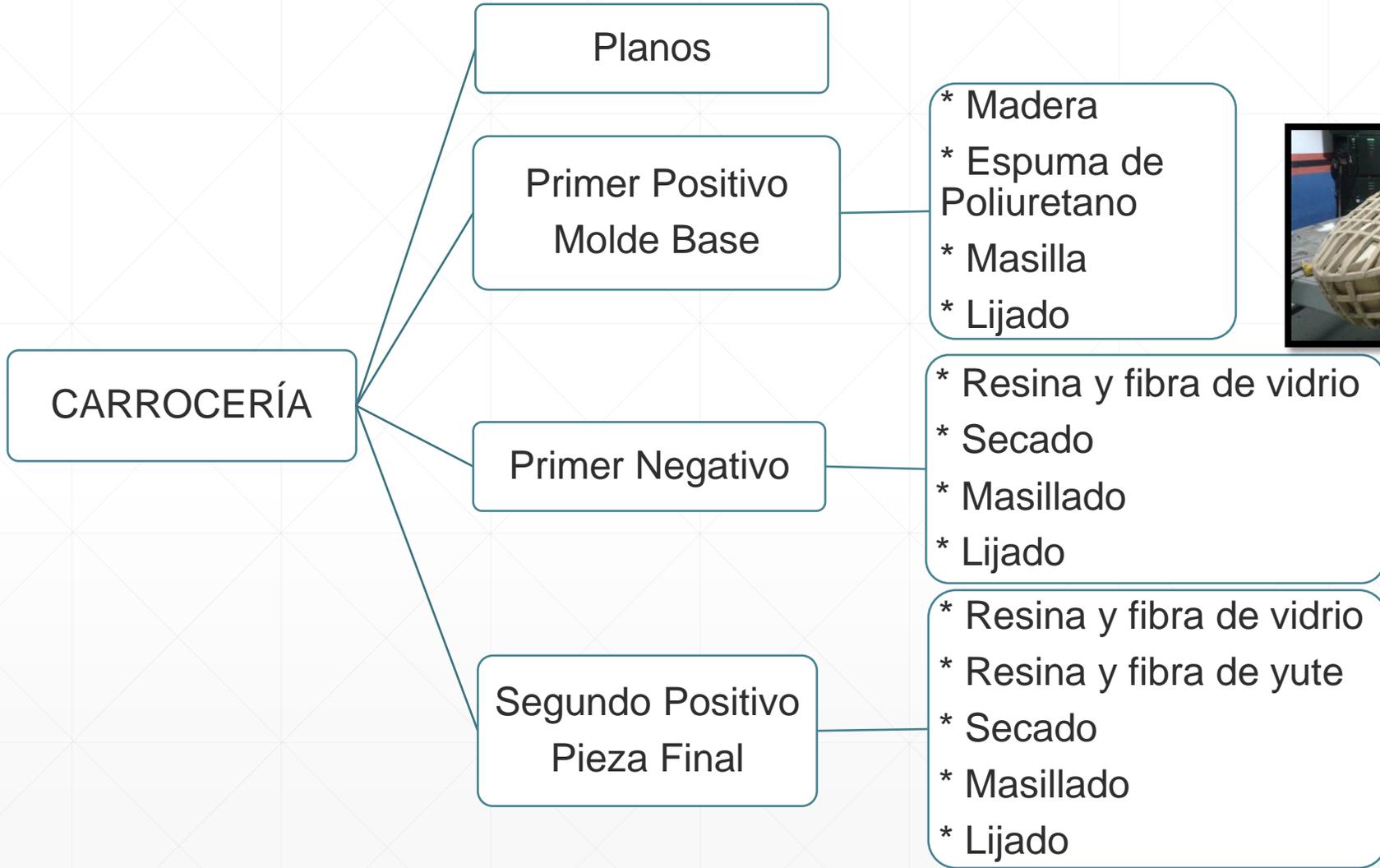
	Fibra de vidrio		Fibra de yute		Mixto	
	MPa	mm	MPa	mm	MPa	mm
Promedio	104,2	4,14	21,2	1,656	48,1	3,09

# **CAPÍTULO IV**

## **CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA Y MONTAJE**

---

# CONSTRUCCIÓN DE CARROCERÍA



# PINTURA Y ACABADOS

## CARROCERÍA

Masillado

Fondo

Color blanco  
Sistema tricapa

Color negro  
Sistema bicapa

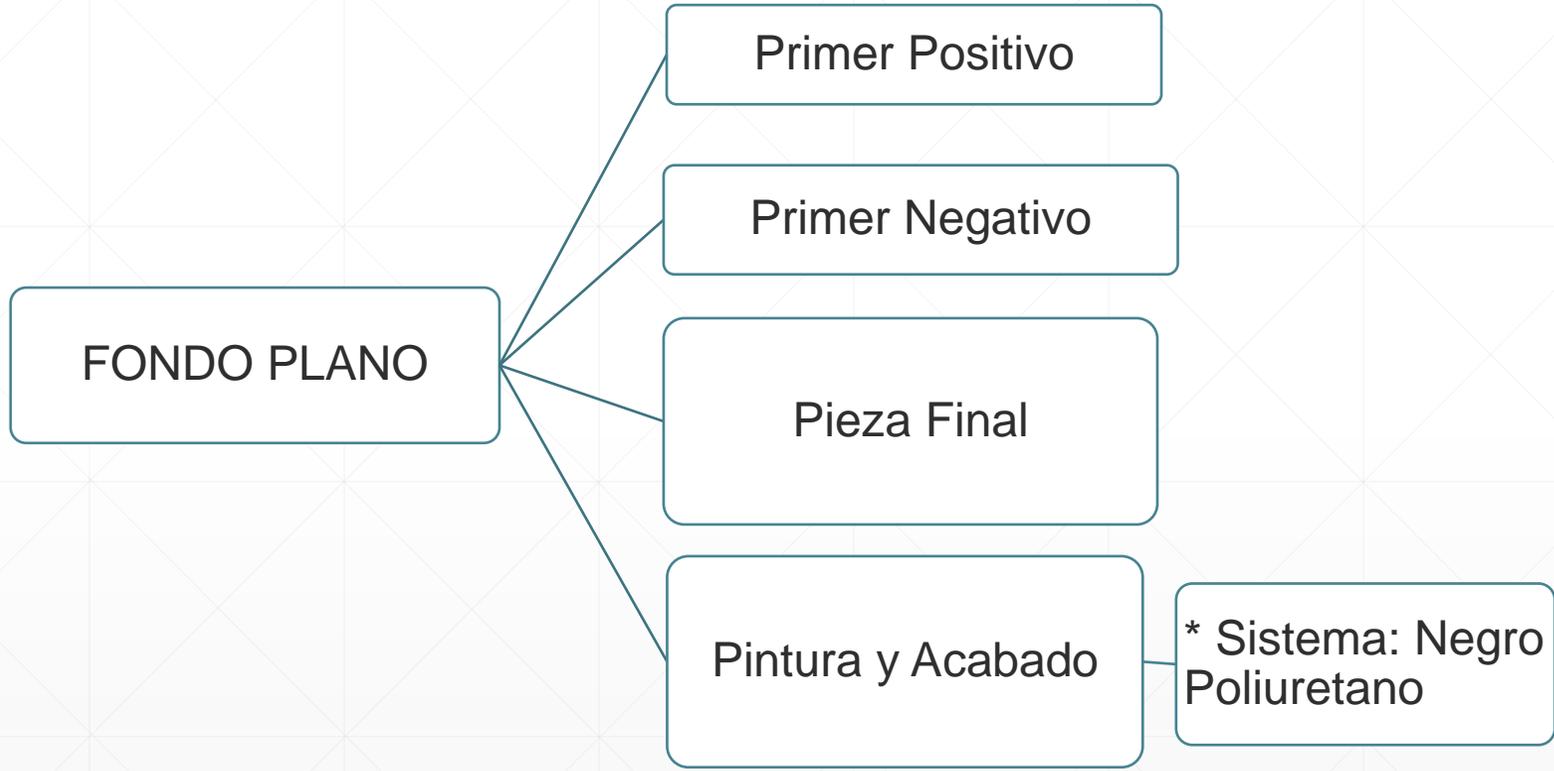
Adhesivos  
reglamentarios

- \* Color base
- \* Capa de efecto
- \* Barniz

- \* Capa de color
- \* Barniz



# CONSTRUCCIÓN FONDO PLANO

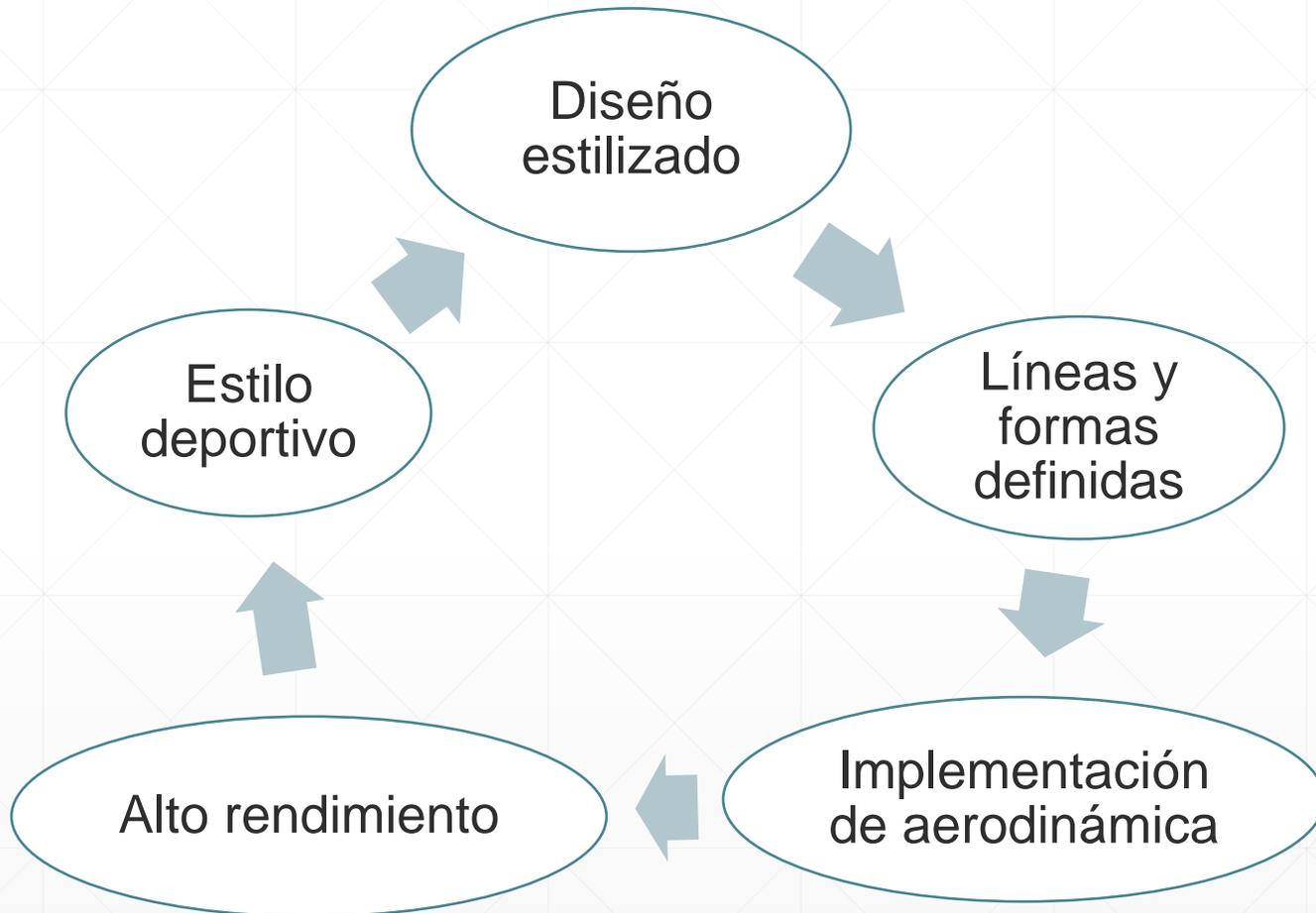


# CAPÍTULO V

## OPTIMIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CARROCERÍA

---

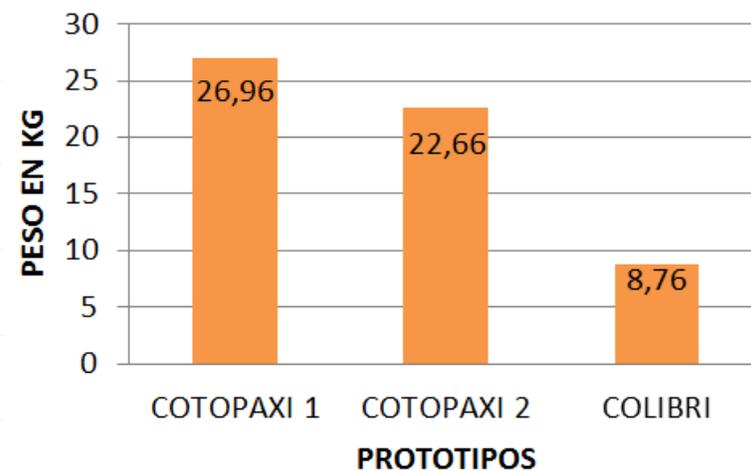
# ESTÉTICA



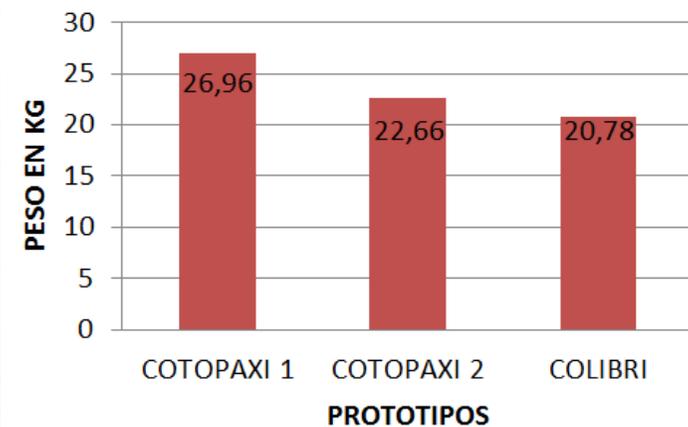
# OPTIMIZACIÓN EN PESO

	<b>COTOPAXI 1 (2011)</b>	<b>COTOPAXI 2 (2012)</b>	<b>COLIBRI (2014)</b>
Material de Construcción	Fibra de vidrio con refuerzo metálico, placa de aluminio 2.2 mm	Fibra de vidrio con refuerzo metálico, placa de aluminio 1.8 mm	Carrocería: Resina poliéster con refuerzo de fibra de vidrio y yute. Fondo plano: Resina poliéster con refuerzo de fibra de vidrio.
Espesor (mm)	5.9	4.2 - 3.5	2 - 2.5
Carrocería	Trompa: 11.08 Kg	7 Kg	8.76 Kg
	Pontón: 15.88 Kg	15.66 Kg	
Fondo plano	Ninguno	Ninguno	12.02 Kg
<b>TOTAL</b>	<b>26.96 Kg</b>	<b>22.66 Kg</b>	<b>20.78 Kg</b>

## PESO POR CARROCERÍA



## PESO TOTAL



# 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 simuló 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.
-

# 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.
-

*Gracias por su*

*atención*