



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“ANÁLISIS Y SIMULACIÓN AERODINÁMICA DE UNA  
MOTOCICLETA DE CARRETERA TIPO CUSTOM 125  
CC. MEDIANTE DINÁMICA DE FLUIDOS  
COMPUTACIONAL (DFC) Y PROPUESTA DE DISEÑO  
DE UN CARENADO FRONTAL”**

**ALBÁN PUCHA ARNULFO GUSTAVO**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR  
2016**

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2015-03-09

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**ALBÁN PUCHA ARNULFO GUSTAVO**

Titulada:

**“ANÁLISIS Y SIMULACIÓN AERODINÁMICA DE UNA MOTOCICLETA DE  
CARRETERA TIPO CUSTOM 125 CC. MEDIANTE DINÁMICA DE FLUIDOS  
COMPUTACIONAL (DFC) Y PROPUESTA DE DISEÑO DE UN CARENADO  
FRONTAL”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Marco Santillán Gallegos.  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. David Bravo Morocho  
**DIRECTOR**

---

Ing. Miguel Aquino Arroba.  
**ASESOR**

---

**CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** ALBÁN PUCHA ARNULFO GUSTAVO

**TÍTULO DE LA TESIS:** “ANÁLISIS Y SIMULACIÓN AERODINÁMICA DE UNA MOTOCICLETA DE CARRETERA TIPO CUSTOM 125 CC. MEDIANTE DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (DFC) Y PROPUESTA DE DISEÑO DE UN CARENADO FRONTAL”

**Fecha de Examinación:** 2016-01-08

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Celin Padilla Padilla <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. David Bravo Morocho <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Miguel Aquino Arroba <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Celin Padilla Padilla.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Arnulfo Gustavo Albán Pucha**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Arnulfo Gustavo Albán Pucha, declaro que el presente trabajo de tesis es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Arnulfo Gustavo Albán Pucha**  
Cedula de Identidad: 020205255-1

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de tesis en primer lugar a dios, por caminar de su mano a lo largo de esta vida, llenándome de felicidad y amor, a mis padres por haberme encaminado por el camino de la verdad y de la vida, a toda mi familia que siempre me brindaron su apoyo.

A todos mis amigos que formaron parte de este sueño estudiantil, durante estos cinco años que sin esperar nada a cambio supieron compartir conocimientos y diversión, así como a todas las demás personas quienes me motivaron a seguir en adelante, y sin importar donde se encuentren quiero darles las gracias de corazón.

**Arnulfo Gustavo Albán Pucha**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a dios por la vida y por el talento que me dio para llevar a cabo esta carrera y culminar con este proyecto, a mis queridos padres por todo su esfuerzo incondicional, y por creer en mí, en especial a mi madre por luchar incansablemente junto a mí, y que hoy gracias a este sacrificio me da la dicha de brillar.

A toda mi familia por su carisma y apoyo, a todos mis amigos que forman parte de mi vida, a todas las personas que me prestaron su apoyo durante mi vida estudiantil, a mi director de tesis, Ing. David Bravo e Ing. Miguel Aquino asesor de tesis, que con sus conocimientos solidos me guiaron en la elaboración de este proyecto.

Así también a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por darnos la oportunidad de obtener una profesión, y ser útiles a la sociedad y al país.

**Arnulfo Gustavo Albán Pucha**

## CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación .....	1
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos:</i> .....	2
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Marco conceptual.....	3
2.2 Marco teórico.....	4
2.2.1 <i>Líneas de corriente y trayectoria</i> .....	4
2.2.2 <i>Capa límite</i> .....	5
2.2.3 <i>Fluido</i> .....	5
2.2.4 <i>Propiedades de los fluidos</i> .....	6
2.2.5 <i>Temperatura atmosférica</i> .....	8
2.2.6 <i>Teorema de Bernoulli</i> .....	8
2.2.7 <i>Flujo laminar y flujo turbulento</i> .....	9
2.2.8 <i>Número de Reynolds</i> .....	10
2.2.9 <i>Número de Mach</i> .....	10
2.2.10 <i>Carga aerodinámica</i> .....	11
2.2.11 <i>Coefficiente de sustentación</i> .....	12
2.2.12 <i>Resistencia aerodinámica</i> .....	13
2.2.13 <i>Coefficiente de arrastre</i> .....	14
2.2.14 <i>Fineza</i> .....	16
2.2.15 <i>Potencia absorbida</i> .....	16
2.2.16 <i>Aerodinámica de una motocicleta</i> .....	17
2.2.17 <i>Flujo externo</i> .....	19
2.2.18 <i>Materiales de los carenados para motocicletas</i> .....	19
2.2.19 <i>Ecuaciones de Navier-Stokes</i> .....	21
2.2.20 <i>Volúmenes finitos</i> .....	22
2.2.21 <i>Diferencias finitas</i> .....	22
2.2.22 <i>Tipos de mallado</i> .....	22
<b>3. PERFILACIÓN DEL CARENADO DE LA MOTOCICLETA</b>	
3.1 Características específicas de la motocicleta de carretera de 125 CC. ....	25
3.2 Perfilación de la motocicleta .....	26
3.3 Dimensionamiento.....	27
3.4 Digitalización. ....	27
3.5 Ensamble y renderizado.....	27
3.6 Parámetros iniciales para el estudio aerodinámico.....	29
3.7 Simulación de la motocicleta en un software CAD.....	30
3.8 Mallado.....	32
3.9 Calidad de la malla .....	34
3.10 Resultados obtenidos.....	36
3.11 Comportamiento aerodinámico a diferentes condiciones mediante DFC .....	48
3.12 Calidad de mallado .....	50



<b>4.</b>	<b>PROPUESTA DEL CARENADO PARA LA MOTOCICLETA</b>	
4.1	Aspectos de: Ergonomía, Estabilidad, Espacio disponible. ....	54
4.2	Diseño de carenado frontal 1.....	59
4.3	Diseño del carenado frontal 2.....	62
4.4	Análisis comparativo de la motocicleta con y sin carenado frontal .....	63
4.5	Propuesta de carenado frontal .....	66
4.6	Validación de carenados .....	71
4.6.1	<i>Validación del carenado frontal 1</i> .....	71
4.6.2	<i>Validación del carenado 2</i> .....	76
4.7	Estudio de mercado.....	81
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1	Conclusiones.....	84
5.2	Recomendaciones .....	84

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## **PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1	Coeficientes de arrastre típicos ..... 15
2	Coeficientes de arrastre algunos tipos de vehículos ..... 15
3	Código ISO para plásticos más utilizados en la fabricación de motocicletas .. 20
4	Especificaciones técnicas de la motocicleta Suzuki GN 125 CC..... 26
5	Resultados obtenidos del análisis y simulación aerodinámica ..... 47
6	Resultados obtenidos a diferentes condiciones mediante DFC. .... 53
7	Dimensiones del cuerpo humano según DIN 33402 parte 2 Junio 1981 ..... 55
8	Análisis de ventajas y desventajas de algunos carenados existentes..... 59
9	Selección del material adecuado para el carenado frontal propuesto. .... 68
10	Validación del diseño de los carenados ..... 81

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1	Líneas de corriente de un fluido ..... 4
2	Líneas de trayectoria..... 5
3	Capa limite..... 5
4	Teorema de Bernoulli ..... 9
5	Flujo Laminar y Turbulento ..... 9
6	Carga Aerodinámica ..... 12
7	Fuerzas de Sustentación positivas ..... 12
8	Flujo Incremento de la sustentación en función del ángulo de ataque ..... 13
9	Comportamiento de la masa gaseosa frente un objeto a gran velocidad ..... 13
10	Desviación del aire, en carenados deportivos y turísticos ..... 17
11	Motocicleta con forma clásica de lágrima ..... 18
12	Carenado de tipo delfín en una Moto Guzzi de competición ..... 18
13	Carenado de gran protección de BMW R 1150 RT ..... 19
14	Carenado de una Motocicleta de competencia Suzuki GSX-RR 1000 CC ..... 19
15	Fluido sobre el carenado de corte deportivo en una Yamaha 750 CC. .... 19
16	Motocicleta dotada de varios elementos de plástico ..... 20
17	Dominio de aplicación del método de los volúmenes finitos ..... 22
18	División del dominio en diferencias finitas ..... 22
19	Ejemplo de mallas estructuradas tipo O y tipo C. .... 23
20	Ejemplo de malla estructurada multi-bloque..... 23
21	Ejemplo de malla no-estructurada ..... 24
22	Motocicleta Suzuki GN 125 CC..... 25
23	Neumático delantero..... 27
24	Faro delantero ..... 27
25	Ensamblaje Total de la Motocicleta Suzuki GN 125CC..... 28
26	Vista Lateral Izquierda renderizada de la motocicleta ..... 28
27	Vista Lateral derecha renderizada de la motocicleta ..... 28
28	Vista Superior renderizada de la Motocicleta..... 29
29	Vista Trimétrico renderizada de la Motocicleta ..... 29
30	Análisis y simulación aerodinámica 1 ..... 31
31	Análisis y simulación aerodinámica 2 ..... 31
32	Análisis y simulación aerodinámica 3 ..... 32
33	Análisis y simulación aerodinámica 4 ..... 32
34	Funcionamiento de un programa de Elementos Finitos ..... 34
35	Calidad de Malla..... 34
36	Calidad de mallado para el Análisis y simulación aerodinámica 1 ..... 35
37	Calidad de mallado para el Análisis y simulación aerodinámica 2 ..... 35
38	Calidad de mallado para el Análisis y simulación aerodinámica 3 ..... 36
39	Calidad de mallado para el Análisis y simulación aerodinámica 4 ..... 36

40	Contorno de presión del análisis y simulación aerodinámica 1.....	37
41	Contorno de velocidad del análisis y simulación aerodinámica 1.....	37
42	Contorno de la fuerza en X del análisis y simulación aerodinámica 1.....	37
43	Contorno de la fuerza en Y del análisis y simulación aerodinámica 1.....	37
44	Trayectoria de velocidad del Análisis y simulación aerodinámica 1.....	38
45	Contorno de presión del análisis y simulación aerodinámica 2.....	39
46	Contorno de velocidad del análisis y simulación aerodinámica 2.....	40
47	Contorno de la fuerza en X del análisis y simulación aerodinámica 2.....	40
48	Contorno de la fuerza en Y del análisis y simulación aerodinámica 2.....	40
49	Trayectoria del flujo del aire de la simulación aerodinámica 2.....	40
50	Contorno de presión de la simulación aerodinámica 3 y carenado 1.....	42
51	Contorno de velocidad de la simulación aerodinámica 3 y carenado 1.....	42
52	Contorno de fuerza en X de la simulación aerodinámica 3 y carenado 1.....	42
53	Contorno de fuerza en Y de la simulación aerodinámica 3 y carenado 1.....	42
54	Turbulencia generada por el carenado frontal 1.....	43
55	Trayectoria del flujo de aire con el carenado 1.....	43
56	Contorno de presión de la simulación aerodinámica 4 y carenado 2.....	44
57	Contorno de velocidad de la simulación aerodinámica 4 y carenado 2.....	45
58	Contorno de fuerza en X de la simulación aerodinámica 4 y carenado 2.....	45
59	Contorno de fuerza en Y de la simulación aerodinámica 4 y carenado 2.....	45
60	Turbulencia generada por el carenado frontal 2.....	45
61	Trayectoria del flujo de aire con el carenado 2.....	46
62	Calidad de mallado para diferentes condiciones mediante DFC.....	50
63	Contorno de presión con diferente carga mediante DFC.....	50
64	Contorno de velocidad con diferente carga mediante DFC.....	51
65	Contorno de la fuerza en X a diferente carga mediante DFC.....	51
66	Contorno de la fuerza en Y a diferente carga mediante DFC.....	51
67	Turbulencia generada por el carenado 2 a diferente carga mediante DFC.....	51
68	Trayectoria del flujo de aire con carenado 2.....	52
69	Dimensiones del cuerpo humano según DIN 33402 parte 2 Junio 1981.....	54
70	Cascos Cerrados.....	56
71	Modelo de un casco de protección.....	56
72	Alturas correspondientes para el diseño de los carenados.....	57
73	Ancho entre codos.....	57
74	Tecnología Bosch de frenado para mejorar la seguridad en motos.....	58
75	Modelo de un carenado frontal.....	58
76	Diseño del carenado Frontal 1.....	60
77	Vista previa de la motocicleta con el carenado Frontal 1.....	61
78	Vista lateral derecha de la motocicleta con el carenado Frontal 1.....	61
79	Curvas aerodinámicas del carenado frontal 1.....	61
80	Diseño del carenado Frontal 2.....	62
81	Vista previa de la motocicleta con el carenado Frontal 2.....	62
82	Vista lateral derecha de la motocicleta con el carenado Frontal 2.....	62
83	Curvas aerodinámicas del carenado Frontal 2.....	63

84	Contorno de presión de la simulación aerodinámica 1 .....	63
85	Trayectoria de las partículas de la simulación 1 .....	63
86	Contorno de presión del Análisis y simulación aerodinámica 2 .....	64
87	Trayectoria de las partículas de aire, sin carenado .....	64
88	Contorno de presión de la simulación aerodinámica 3, con carenado 1 .....	65
89	Trayectoria de las partículas de aire, con carenado 1 .....	65
90	Contorno de presión, con carenado 2 .....	65
91	Trayectoria de las partículas con carenado frontal 2 .....	66
92	Vista Frontal del montaje Bases-Carenado .....	69
93	Montaje de las bases inferiores al manillar .....	70
94	Unión de los soportes y el carenado .....	70
95	Montaje lateral derecho de la base inferior con el carenado. ....	70
96	Montaje lateral Izquierdo de la base inferior con el carenado.....	70
97	Vista trimétrico de la motocicleta con el carenado frontal propuesto. ....	71
98	Calidad de mallado .....	71
99	Contorno de presión total .....	72
100	Transferencia de la presión a Static Structural .....	72
101	Creación del material acrílico con sus respectivas características.....	72
102	Calidad de mallado del carenado frontal 1 .....	73
103	Mallado máximo.....	73
104	Mallado mínimo .....	73
105	Presión importada sobre la cara exterior del carenado frontal 1. ....	74
106	Diferentes zonas de presión sobre la cara, del carenado frontal 1.....	74
107	Deformación total .....	74
108	Equivalente de Von Mises .....	75
109	Detalle del equivalente máximo de Von Mises .....	75
110	Detalle del equivalente mínimo de Von Mises.....	75
111	Factor de seguridad.....	76
112	Detalle del factor máximo y mínimo de seguridad.....	76
113	Calidad de mallado .....	77
114	Contorno de presión total .....	77
115	Calidad de mallado del carenado frontal 1 .....	77
116	Mallado máximo.....	78
117	Mallado mínimo .....	78
118	Presión importada sobre la cara exterior del carenado frontal 1. ....	78
119	Diferentes zonas de presión sobre la cara del carenado frontal 1.....	79
120	Deformación total .....	79
121	Equivalente de Von Mises .....	79
122	Detalle del equivalente máximo de Von Mises .....	80
123	Detalle del equivalente mínimo de Von Mises.....	80
124	Factor de seguridad.....	80
125	Detalle del factor de seguridad, máximo y mínimo.....	81

## SIMBOLOGÍA

A	Área	$m^2$
T	Temperatura	K
Cv	Potencia Absorbida	Hp
V	Velocidad	$m^2/s$
P	Presión	Pa
F	Fuerza	N
V	Volumen	$m^3$
L	Longitud	M
$\rho$	Densidad	$kg/m^3$
$\gamma$	Peso específico	$N/m^3$
Fl	Carga aerodinámica	N
Ft	Resistencia aerodinámica total	N
Fd	Fuerza de arrastre o resistencia	N
R	Constante de los gases	J/kg.K
$\mu$	Viscosidad absoluta	$kg.s/m^2$
V	Viscosidad cinemática	$m^2/s$

## **LISTA DE ABREVIACIONES**

CAD	Diseño Asistido por Computador
DFC	Dinámica de Fluidos Computacional
MEF	Método de los Elementos Finitos
CC	Centímetros Cúbicos
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
PMMA	Polimetilmetacrilato o Metacrilato
FIM	Federación Internacional de Motociclismo

## **LISTA DE ANEXOS**

- A** Norma DIN 33402
- B** Digitalización componentes de la motocicleta



## RESUMEN

El presente proyecto tiene por objetivo analizar y simular, aerodinámicamente una motocicleta de carretera tipo Custom 125 CC. Mediante dinámica de fluidos computacional (DFC) y proponer un carenado frontal, para este estudio se tomó el modelo de una motocicleta Suzuki GN 125 CC, posterior a esto se digitalizo las partes externas que influyen aerodinámicamente, en un software CAD, se diseñó dos alternativas de carenado frontal, con el objetivo de mejorar la aerodinámica.

Se digitalizo un piloto con una estatura promedio de un hombre ecuatoriano, de 1.70 m, teniendo en cuenta que la postura de conducción de una motocicleta de uso urbano es de 90 grados, se tomaron parámetros más críticos de: temperatura, presión y velocidad respecto a Ecuador, como datos de entrada al software Ansys, los resultados obtenidos indican la variación de la fineza o eficiencia aerodinámica, y en base a estos resultados se seleccionó el carenado más eficiente aerodinámicamente.

Mediante la validación de los carenados, se determinó su deformación total, esfuerzo máximo y factor de seguridad. El material idóneo para la propuesta de carenado frontal es, el acrílico, este posee algunas ventajas como: 5% más de transparencia que un vidrio normal, es moldeable en frío, 100% reciclable, las bases poseen una forma fácil y rápida de sujeción al manillar y dirección de la motocicleta.

Estas motocicletas se han convertido en una herramienta útil de trabajo de muchos ecuatorianos. Se recomienda validar este diseño a escala en un túnel de viento, con el objetivo de realizar una comparación de resultados.

## **ABSTRACT**

This research aims to analyze and simulate aerodynamically a Custom 125 CC road motorcycle. Through computational fluid dynamics (CFD) and propose a front cowling, this study was based on model of Suzuki GN 125 CC motorcycle, after this outside parties that influence aerodynamically were scanned, also in a CAD software were designed two options of front fairing, in order to improve aerodynamics.

A pilot with an average height of 1,70 m like Ecuadorian man was digitized, considering that 90 degrees is the correct driving position in a motorcycle, so critical parameters were taken from: temperature, pressure and speed relative to Ecuador, as input to Ansys software, the results show the change in fineness or aerodynamic efficiency, and based on these results was selected the more efficient aerodynamically fairing.

By validating the fairings, the total strain, maximum stress and safety factor were determined. The ideal material to the front fairing is acrylic, this has some advantages as : 5% more clearness than a normal glass, it is flexible with cold, 100% recyclable, the supports have a quick and easy clamping to handlebars and steer the motorcycle.

These motorcycles have become a useful tool work of many Ecuadorians, it is recommended to validate this scale design in a wind tunnel, in order to make a contrast of results.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

La aerodinámica de vehículos al ser una ciencia experimental nació en las competencias en 1899 en Estados Unidos y Europa, al tratar de conseguir mejores formas aerodinámicas que permitan optimizar el rendimiento del vehículo, y así poder ganar las competencias de records de velocidades; es así que en el mundo la ciencia de la aerodinámica se consideró una prioridad conjuntamente con el tren de propulsión, para optimizar el consumo de combustible, estabilidad, maniobrabilidad y emisiones contaminantes, tomando en cuenta la seguridad de los ocupantes.

En España, Alemania, Polonia, y Colombia, entre otros países tecnológicamente desarrollados, la aerodinámica se estudia mediante herramientas computacionales, software DFC (Dinámica de Fluidos Computacional), modelación con arcilla y túneles de viento, que permiten a los ingenieros modificar los modelos de vehículos con costos reducidos.

En Ecuador se desarrolla estudios aerodinámicos en buses y motocicletas de competición mediante software DFC, por lo tanto, estas investigaciones servirán como base fundamental, para la elaboración del marco teórico y análisis comparativo de resultados de este proyecto.

### 1.2 Justificación

El análisis aerodinámico de la motocicleta de carretera tipo custom 125 cc es indispensable, ya que el viento a grandes velocidades genera excesiva resistencia al avance, reflejando mayor consumo de combustible y pérdida de adherencia a la calzada, produciendo inestabilidad; por lo tanto se vuelve indispensable el estudio y aporte de un desarrollo tecnológico y sustentable del país, contribuyendo a una mejora continua y mayor rendimiento, además de aportar al nuevo cambio de la matriz productiva el cual es uno de los retos más ambiciosos del país, el que permitirá al Ecuador superar el actual

modelo de generación de riquezas: concentrador, excluyente y basado en recursos naturales, por un modelo democrático, incluyente y fundamentado en el conocimiento y las capacidades de las y los ecuatorianos para mejorar su sistema de vida y la economía.

### **1.3       Objetivos**

**1.3.1**     *Objetivo general.* Analizar y simular la aerodinámica de una motocicleta de carretera tipo custom 125 cc. mediante DFC y proponer un diseño de un carenado frontal.

**1.3.2**     *Objetivos específicos:*

- Estudiar el comportamiento aerodinámico de una motocicleta, y la influencia de los carenados frontales en el rendimiento de la misma.
- Digitalizar la motocicleta en un programa CAD.
- Analizar el comportamiento aerodinámico de la motocicleta en diferentes condiciones, de velocidad y carga mediante DFC.
- Diseñar dos alternativas de carenado frontal para la motocicleta.
- Analizar el comportamiento aerodinámico de la motocicleta con las dos alternativas de carenado frontal, y proponer la mejor en función de los resultados obtenidos.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Marco conceptual

Aire. Es un gas insípido incoloro e inodoro, puede clasificarse en aire seco y aire húmedo, posee la propiedad de ser un transportador ya sea de frío, vapor, humo, calor olores, suciedad, polvo y sonido. (DAZA, 2011 pág. 6)

Velocidad del aire. La velocidad del aire o viento constituye, una fina capa fluida, y turbulenta con intensidad variable, se produce por las diferencias de temperatura, cuando el calentamiento es desigual en diferentes partes de la tierra, así como también de la atmosfera. (PALAU)

Presión. Fuerza ejercida en una unidad de área, o presión que ejerce la atmosfera sobre todo lo que rodea el globo terrestre. (DAZA, 2011 pág. 15)

Temperatura. Es una escala usada para medir la intensidad de calor, y se produce cuando la radiación solar calienta la capa terrestre, y esta temperatura se transmite a las capas inferiores de la atmosfera con mayor intensidad, cuan más lejanas sean las capas exteriores la temperatura disminuirá progresivamente. (DAZA, 2011 pág. 7)

Densidad. La densidad ya sea de un cuerpo sólido, líquido, gaseoso está dada por la relación de su masa a su volumen  $\rho = m/v$ , cabe resaltar que la densidad del aire es mínima, comparada con la del agua y esta diferencia, hace posible el vuelo. (MOTT, 2006 pág. 14)

Aerodinámica. Es una parte de la mecánica de fluidos, que estudia el movimiento del aire, que cubre a objetos sólidos en movimiento y de otros fluidos gaseosos, así también a la fuerza que sufre un cuerpo al moverse a través del aire.

En particular a la componente de esa fuerza, en la dirección de la velocidad relativa del cuerpo respecto del medio, la resistencia es siempre de sentido opuesto al de dicha velocidad (ZITNIK pág. 39).

Elementos finitos. Es un paquete de datos que emplea, un método de cálculo mediante métodos numéricos, en la resolución de problemas de ingeniería basándose en considerar a una estructura dividida, en elementos discretos con condiciones de vínculo entre ellas para generar un sistema de ecuaciones para su resolución numérica, y proporcionar un resultado o estado de la estructura en cuestión.

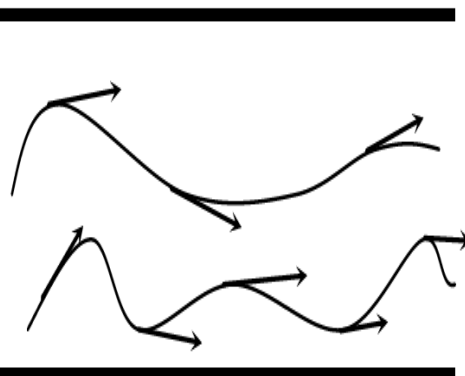
Dinámica de fluidos computacional. Es una parte de la mecánica de fluidos, que aplica métodos numéricos para el desarrollo del análisis, convirtiéndose en un laboratorio virtual, permitiendo a los ingenieros y científicos analizar y modificar, la simulación del flujo de los fluidos entre otras aplicaciones.

Geometría de cuerpos sólidos. Es el perfil creado en un software CAD, con diferentes medidas y formas, ocupando un lugar en el espacio, en consecuencia de esto tiene un volumen tridimensional.

## 2.2 Marco teórico

2.2.1 *Líneas de corriente y trayectoria.* Las líneas de corriente son líneas o curvas imaginarias, tangentes en cualquier punto al vector velocidad de varias partículas en un instante de tiempo, pueden ser convergentes, divergentes o paralelas pero no pueden cruzarse entre sí, ya que esto implicaría doble velocidad en un mismo punto, y en un mismo momento dado lo cual no es posible físicamente. (LANAS, 2007 págs. 1-3)

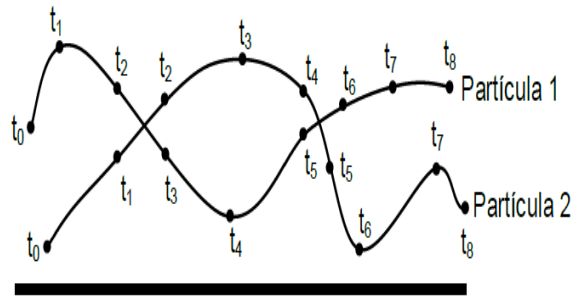
Figura 1. Líneas de corriente de un fluido



Fuente: HERNANDEZ David. Laboratorio de hidráulica. p.2

Las líneas de trayectoria, son rutas específicas que siguen las partículas líquidas en función del tiempo.

Figura 2. Líneas de trayectoria



Fuente: HERNANDEZ David. Laboratorio de hidráulica. p.2

**2.2.2** *Capa limite.* Se conoce como capa limite superficial a la zona fronteriza de contacto, entre el fluido sobre la superficie alar de un objeto y la velocidad de corriente de aire libre, esta adherencia del aire sobre la superficie se debe a que el fluido es viscoso, cuando un objeto está animado con cierta velocidad en un sentido de dirección, esta capa actúa formando líneas imaginarias perpendiculares al gradiente de velocidad, estas velocidades se distribuyen desde cero con el contacto de la superficie, hasta una velocidad máxima en zonas alejadas de la misma.

Figura 3. Capa limite



Fuente: MORATA Salvador. Estudio comparativo teórico de la evolución 2008/2009 de los alerones delanteros de fórmula 1. p.6

**2.2.3** *Fluido.* Se define como fluido a una sustancia que se deforma continuamente, cuando esta es sometida a tensión cortante, sin importar la magnitud de esta, y sus partículas están unidas entre sí por débiles fuerzas cohesivas.

**2.2.3.1** *Características* (LANAS, 2007 pág. 6).

- Los fluidos son sustancias capaces de fluir

- La posición relativa de sus moléculas puede cambiar continuamente
- Todos los fluidos son compresibles en cierto grado
- Tienen viscosidad

### **2.2.3.2** *Clasificación de los fluidos* (LEMA pág. 10).

- Por el grado de deformación: Newtonianos y no newtonianos
- Por el estado de la materia: Líquidos y gases
- Por la variación de la densidad: Compresibles (densidad variable), incompresibles (densidad constante)
- Por su interpretación física para el análisis: Reales (viscosidad diferente de cero), ideales (viscosidad igual a cero)
- Por su valor de viscosidad: No muy viscosos, medianamente viscosos, sumamente viscosos

Los fluidos newtonianos se comportan según la ley de newton, además dependen de la presión y temperatura como por ejemplo: agua, aceite, gasolina, diésel etc.

En los fluidos no newtonianos la viscosidad varía con la temperatura, aunque el concepto de viscosidad se usa habitualmente para caracterizar un material.

Puede resultar inadecuado, para describir el comportamiento mecánico de algunas sustancias en concreto, algunos ejemplos de los fluidos no newtonianos son: pintura, grasas etc.

### **2.2.4** *Propiedades de los fluidos.*

**2.2.4.1** *Viscosidad.* Esta propiedad es una de las más importantes en el estudio de los fluidos, y se define como la propiedad de un fluido, que ofrece resistencia al movimiento relativo de sus moléculas. La pérdida de energía debida a la fricción, en un fluido que fluye se debe a su viscosidad. (MOTT, 2006 pág. 23)



**2.2.4.2 Densidad.** Se define como la cantidad de masa por unidad de volumen de una sustancia. Esto se puede establecerse con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{Kg}{m^3} \quad (1)$$

Donde se tiene que:

$\rho$  = Densidad

m = Masa

v = Volumen

**2.2.4.3 Peso específico.** Es la cantidad de peso por unidad de volumen, de una sustancia, o relación que existe entre el peso y el volumen de un fluido como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\gamma = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} = \frac{\text{Masa} \cdot \text{gravedad}}{\text{Volumen}} = \frac{N}{m^3} \quad (2)$$

**2.2.4.4 Densidad relativa o gravedad específica.** Es un valor adimensional, y se define como la razón de una sustancia para una sustancia que se toma como referencia agua, gases (aire). A 4°C el agua tiene mayor densidad 100 kg/m<sup>3</sup>, y se define como:

$$S_g = \frac{\rho_{\text{sustancia}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O a } 4^\circ\text{C}}} = \frac{\gamma_{\text{Liquido}}}{\gamma_{\text{Agua}}} \quad (3)$$

**2.2.4.5 Viscosidad dinámica.** Cuando un fluido se mueve, se desarrolla en él una tensión de corte, cuya magnitud depende de la viscosidad del fluido. La tensión de corte, denota con la letra griega  $\tau$  (tao), y se define como la fuerza requerida para deslizar, una capa de área unitaria de una sustancia, sobre otra capa de la misma sustancia. Así pues  $\tau$  es una fuerza dividida entre un área, y puede medirse en unidades de newtons por metro cuadrado o en Lb/pies<sup>2</sup>. En cualquier fluido, se encuentra cuando a medida que la magnitud de la tensión de corte es directamente proporcional al cambio de velocidad entre diferentes posiciones del fluido. (MOTT, 2006 pág. 27)

$$\tau = \mu \left( \frac{\Delta v}{\Delta y} \right) \quad (4)$$

$$\mu = \left( \frac{\tau}{\frac{\Delta v}{\Delta y}} \right)$$

Donde:

$\tau$  = Tensión de corte [N/m<sup>2</sup>]

$\mu$  = Viscosidad dinámica del fluido [N\*s/m<sup>2</sup>]

$\Delta v$  = Gradiente de velocidad [m/s]

$\Delta y$  = Variación de la posición [m]

**2.2.4.6** *Viscosidad cinemática.* Muchos cálculos en mecánica de fluidos implican, el cociente de la viscosidad dinámica entre la densidad del fluido. Como una convención, la viscosidad cinemática  $\nu$  (letra griega  $\nu$ ), y se define como: (MOTT, 2006 pág. 29)

$$\nu = \mu/\rho \quad (5)$$

Donde:

$\nu$  = Viscosidad cinemática [m<sup>2</sup>/s]

$\mu$  = Viscosidad dinámica del fluido [N\*s/m<sup>2</sup>]

$\rho$  = Densidad [kg/m<sup>3</sup>]

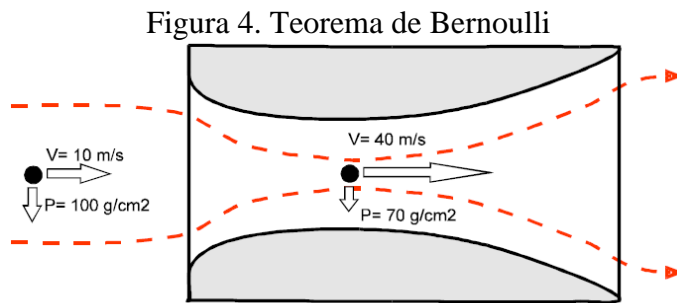
Puesto que  $\mu$  y  $\rho$  son propiedades del fluido  $\nu$  también lo es.

**2.2.5** *Temperatura atmosférica.* Denominada también como temperatura del aire, es un parámetro climático que indica la cantidad de energía calorífica acumulada en el aire en un momento y lugar determinado.

**2.2.6** *Teorema de Bernoulli.* El matemático y físico, Daniel Bernoulli enuncia que en toda corriente de agua o de aire la presión es grande cuando la velocidad es pequeña y, al contrario, la presión es pequeña cuando la velocidad es grande, este principio de Bernoulli está regido por el principio de conservación de energía.

Experimentalmente se toma un tubo con secciones de mayor diámetro, a los lados y con una sección de menor diámetro en la mitad, a medida que el aire externo, va entrando desde la sección mayor a la menor, se observa un incremento de velocidad del fluido, y

un decremento de la presión, un ejemplo puede ser un perfil de ala de avión o un alerón de coche de carreras como se muestra en la figura.



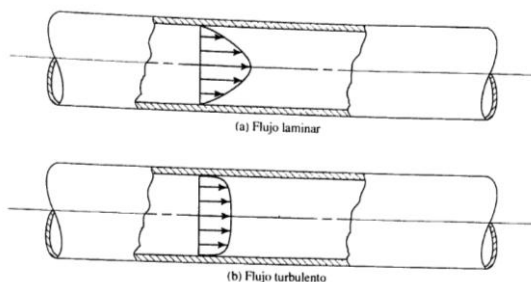
Fuente: ZITNIK Juan. Manual de vuelo del PIPER PA-11 p.39

En la parte superior del perfil del ala de un avión se incrementa la velocidad, y disminuye la presión, mientras que en la parte inferior debido a este fenómeno las partículas del fluido toman un sentido horizontal, provocando una fuerza de sustentación o de empuje, perpendicular hacia arriba haciendo que el avión se eleve.

**2.2.7** *Flujo laminar y flujo turbulento.* Se denomina como flujo laminar cuando el fluido posee desplazamiento en forma de lámina, y todas las micro partículas siguen un solo sentido de dirección paralela, está gobernado por la ley que relaciona la tensión cortante con la velocidad de deformación angular, es decir,  $\tau = \mu dv/dy$

En el flujo turbulento, las micro partículas fluyen en diferentes direcciones. Es imposible conocer la trayectoria de una partícula individualmente. En mecánica de fluidos, se llama flujo turbulento o corriente turbulenta al movimiento de un fluido que se da en forma caótica, sus partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos periódicos, como por ejemplo el agua en un canal de gran pendiente (MOTT, 2006 pág. 257)

Figura 5. Flujo Laminar y Turbulento



Fuente: MOTT Robert. Mecánica de fluidos aplicada p.257

**2.2.8** *Número de Reynolds.* Es un número adimensional, que tiene por objeto caracterizar el comportamiento de un fluido en movimiento. A partir de este análisis podemos determinar si el flujo es laminar, o turbulento y viene dado por la siguiente ecuación: (MOTT, 2006 pág. 231).

$$R_e = \frac{vd\rho}{\mu} = \frac{vd}{\nu} \quad (6)$$

Donde:

$v$  = Velocidad media [m/s]

$d$  = Radio de la tubería [m]

$\nu$  = Viscosidad cinemática del fluido en [m<sup>2</sup>/s]

$\rho$  = Densidad del fluido [UTM/m<sup>3</sup>] o [Kg\*s/m<sup>4</sup>]

$\mu$  = Viscosidad absoluta [Kg\*s/m<sup>2</sup>]

Para aplicaciones automovilísticas el número de Reynolds viene dado por la siguiente expresión:

$$R_e = 67,778 * v * l \quad (7)$$

Donde:

$v$  = Velocidad del auto [m/s]

$L$  = Longitud de ancho del auto [m]

El resultado es adimensional, y se compara con los parámetros estipulados por Reynolds, para determinar si el fluido es laminar o turbulento como se muestra a continuación.

$$\begin{aligned} 0 \leq Re \leq 2000 & \text{ El flujo es laminar} \\ 2000 \leq Re \leq 4000 & \text{ El flujo es transitorio} \\ Re \geq 4000 & \text{ El flujo es turbulento.} \end{aligned}$$

**2.2.9** *Número de Mach.* El número de Mach es el cociente entre la velocidad de un móvil, y la velocidad del sonido, dentro del medio que se mueve es un número adimensional y depende de la temperatura.

$$M = \frac{V}{V_s} \quad (8)$$

$$V_s = \sqrt{K * R * T}$$

Donde:

M = Número de Mach

V = Velocidad del móvil

V<sub>s</sub> = Velocidad de transmisión del sonido

K = Constante = 1,4

R = Constante de los gases = 287 J/ Kg °K

T = Temperatura del lugar de estudio.

El rango de velocidades de vuelo según el número de Mach se define como:

- Subsónico      M < 1
- Transónico     M = 1
- Supersónico    1 < M < 5
- Hipersónico    M ≥ 5

El número de Mach dentro de la mecánica de fluidos, tiene relación con la compresibilidad de un gas en base a los siguientes parámetros.

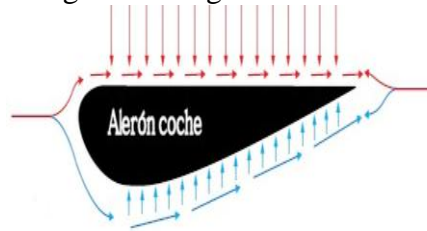
- Es un fluido incompresible cuando Mach ≤ 0,3 y compresible cuando Mach ≥ 0,3

**2.2.10 Carga aerodinámica.** La carga aerodinámica es una fuerza de empuje ejercida hacia abajo, perpendicular a la corriente de aire, cuando un objeto está viajando a altas velocidades, en automoción el alerón se beneficia de esta fuerza para mantener estable al vehículo, y mantener adheridos los neumáticos a la calzada especialmente en curvas haciendo que el giro sea rápido y seguro.

Cuando un auto viaja a baja velocidad, la carga aerodinámica es mínima esta carga se incrementa progresivamente, cuando aumenta su velocidad sujetando al auto sobre la calzada mejorando su estabilidad. La carga aerodinámica es un parámetro muy importante

estudiado en autos de competencia de alta gama.

Figura 6. Carga aerodinámica



Fuente: Motor 2000.net

La carga aerodinámica viene dada por:

$$F_L = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * A * C_L \quad (9)$$

Donde:

$F_L$  = Carga aerodinámica o fuerza de sustentación

$\rho$  = Densidad del aire 1,225 Kg/m<sup>3</sup>

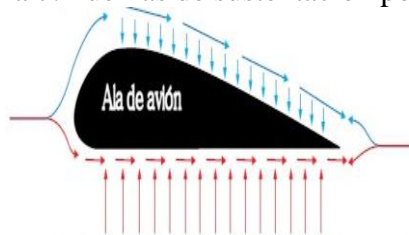
$V$  = Velocidad del vehículo [m/s]

$A$  = Área o superficie alar [m<sup>2</sup>]

$C_L$  = Coeficiente de sustentación positivo

**2.2.11** *Coeficiente de sustentación.* Es una fuerza de empuje que se ejerce perpendicularmente hacia arriba, o coeficiente de sustentación positivo, si este valor es negativo representa a la carga aerodinámica, y a partir de estos resultados permite comparar la sustentación de cuerpos con diferente forma y tamaño, la sustentación es ampliamente estudiada y aplicada en la aeronáutica, ya que gracias a este principio se elevan los aviones, en automoción este fenómeno se produce de forma inversa respecto a un alerón.

Figura 7. Fuerzas de sustentación positivas



Motor 2000.net

El coeficiente de sustentación viene dado por:

$$C_L = \frac{2F_L}{\rho v^2 A} \quad (10)$$

Donde:

$F_L$  = Carga aerodinámica [N]

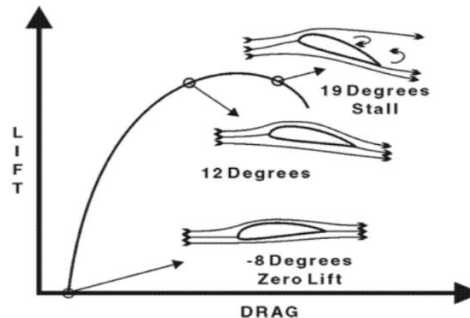
$C_L$  = Coeficiente de sustentación (Adimensional)

$\rho$  = Densidad del fluido [ $\text{Kg}/\text{m}^3$ ]

$v$  = Velocidad del fluido [ $\text{m}/\text{s}^2$ ]

$A$  = Superficie frontal del cuerpo [ $\text{m}^2$ ]

Figura 8. Flujo incremento de la sustentación en función del ángulo de ataque

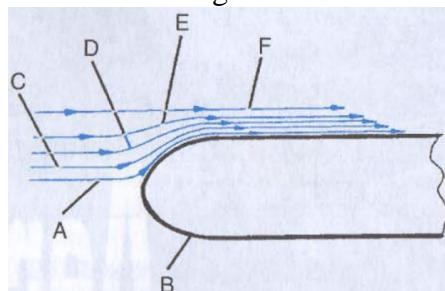


Fuente: JAZZ Esa. Fundamentos de aerodinámica p.5

**2.2.12 Resistencia aerodinámica.** Se define como la fuerza paralela al movimiento del objeto, pero opuesta a su sentido de dirección, provocando resistencia al paso del objeto dentro del fluido.

Dentro de la física este concepto es análogo al de la fricción, entre un cuerpo y una superficie, oponiéndose al movimiento libre de dicho cuerpo.

Figura 9. Comportamiento de la masa gaseosa frente un objeto a gran velocidad



Fuente: PAZ Arias. Motocicletas 32 a edición p.644

En la Fig. 9 se observa que el comportamiento del fluido es laminar, desplazándose en forma de capas, la capa de fluido A, que está en contacto con el sólido, B obligado a seguir sobre esta superficie, la capa C también es afectada pero de manera mínima, sufriendo una leve compresión haciendo que el arrastre sea menor en esta zona, y así sucesivamente con la capa D, E, hasta llegar a la capa F que ya no es afectada por el paso del objeto, la resistencia en si depende de tres parámetros, el rozamiento que depende de la superficie, la forma y la resistencia inducida, esta última se crea por la turbulencia producida en zonas de vacío, atrayendo hacia esta al objeto frenando su movimiento, viene dado por:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho v^2 A C_x \quad (11)$$

Donde:

$F_d$  = Resistencia aerodinámica total [N]

$\rho$  = Densidad del fluido [ $\text{Kg/m}^3$ ]

$v$  = Velocidad del fluido [ $\text{m/s}^2$ ]

$A$  = Área perpendicular al movimiento del fluido [ $\text{m}^2$ ]

$C_x$  = Coeficiente de resistencia o arrastre

**2.2.13** *Coeficiente de arrastre.* El coeficiente de arrastre dentro de la dinámica de fluidos, es un número adimensional utilizado para considerar la resistencia de un objeto en movimiento dentro de un fluido, ya sean gases o líquidos. Este coeficiente se asocia siempre con una superficie en particular y se define como:

$$C_x = \frac{2F_d}{\rho v^2 A} \quad (12)$$

Donde:

$C_x$  = Coeficiente de resistencia o arrastre

$F_d$  = Resistencia aerodinámica total [N]

$\rho$  = Densidad del fluido [ $\text{Kg/m}^3$ ]

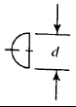
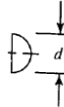
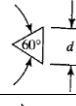

$v$  = Velocidad del fluido [ $\text{m/s}^2$ ]

$A$  = Área perpendicular al movimiento del fluido [ $\text{m}^2$ ]



En la siguiente tabla se muestran los coeficientes de arrastre, típicos de algunas formas geométricas como el cono base cerrada y ángulo de 30°, que presenta un menor coeficiente de arrastre en comparación con los demás coeficientes. La tasa hemisférica abierta por delante tiene, un coeficiente de arrastre de 1,35 que presenta un mayor valor de coeficiente de arrastre, debido al impacto directo de la cara plana con el aire.

Tabla 1. Coeficientes de arrastre típicos

Forma del objeto	Orientación	$C_D$
Tasa hemisférica abierta por detrás		0,41
Tasa hemisférica abierta por delante		1,35
Cono, base cerrada		0,51
Cono, base cerrada		0,34

Fuente: MOTT. Robert. p. 529

Para automóviles y otros objetos el área de referencia es el área frontal, así, en la siguiente tabla se muestran los coeficientes de arrastre de algunos autos donde  $C_{DA}$  es el producto entre el coeficiente de arrastre y el área frontal.

Tabla 2. Coeficientes de arrastre algunos tipos de vehículos

Tipo de vehículo	Coefficiente de arrastre $C_D$	Área frontal $A[m^2]$	$C_{DA}[m^2]$
Fiat Uno ES	0,33-0,034	1,83	0,60-0,62
Ford Fiesta 1.1	0,40-0,41	1,74	0,70-0,71
Ford Sierra 1.8	0,34-0,35	1,94	0,66-0,68
Renault 18 Turbo	0,35-0,37	1,88	0,66-0,70
Mazda 626 GLX 2.0	0,36-0,38	1,92	0,69-0,72
Toyota Camry GLi	0,37-0,39	1,94	0,72-0,76
Peugeot 305 GTX	0,38-0,40	1,84	0,70-0,74
Nissan Cherry GL	0,39-0,41	1,83	0,71-0,75
Toyota Corolla 1300	0,45-0,46	1,76	0,79-0,81
Mazda 929 2.0 GLX	0,39-0,44	1,93	0,75-0,85

Fuente: KATZ. Joseph. Race Car Aerodynamics. p. 263-264

En las motocicletas el coeficiente de arrastre con mejor diseño comercial está comprendido entre 0,5 y 0,6 esto mejora de forma ligera a valores de 0,4 y 0,5 cuando el piloto cubre la parte superior, en las motocicletas que no poseen carenado estos valores son mayores (PAZ pág. 646).

**2.2.14** *Fineza.* La fineza también conocida como eficiencia aerodinámica, su resultado es un número adimensional, y se define como el cociente entre el coeficiente de sustentación y el coeficiente de resistencia, o también como el cociente entre, la carga aerodinámica y la fuerza de arrastre o resistencia, este valor determina el comportamiento de esta, en relación a la resistencia del paso de un objeto dentro del fluido se y define por:

$$f = \frac{F_L}{F_d} = \frac{C_L}{C_x} \quad (13)$$

Donde:

F = Fineza

$F_L$  = Carga aerodinámica [N]

$F_d$  = Fuerza de arrastre o resistencia [N]

$C_L$  = Coeficiente de sustentación

$C_x$  = Coeficiente de resistencia

**2.2.15** *Potencia absorbida.* La potencia en si se define como la cantidad de trabajo realizado durante un intervalo de tiempo. En aerodinámica es un parámetro que determina cuanta potencia necesita un auto para vencer la carga aerodinámica, tomando en cuenta el agarre de los neumáticos y la calzada y está definido por la siguiente ecuación:

$$Cv = \text{absorbidos por la resistencia} = \frac{C_x * A * V^3}{1225} \quad (14)$$

Donde:

$C_v$  = potencia absorbida [Hp]

$C_x$  = Coeficiente de arrastre [adimensional]

A = Área [m<sup>2</sup>]

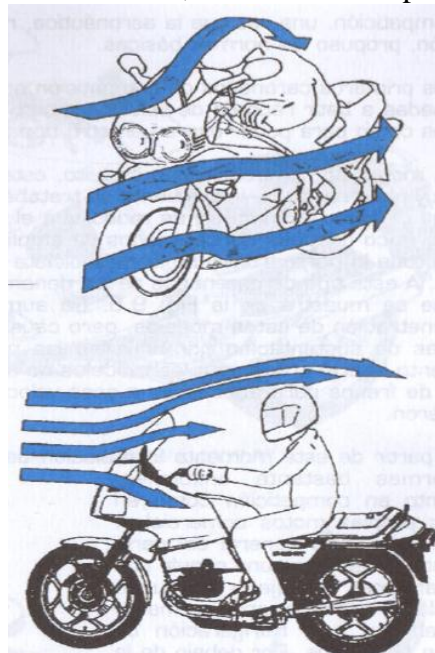
v = Velocidad [m/s]

**2.2.16 Aerodinámica de una motocicleta.** La dimensión, el diseño y el piloto incurren en la aerodinámica de una motocicleta, siendo afectada por parámetros como, la resistencia aerodinámica, sustentación y agarre. Al igual que en buses, autos, camiones y otros vehículos que se mueven a altas velocidades, en las motocicletas es indispensable estudiar su comportamiento aerodinámico, a diferencia que del resto de vehículos esta es inestable, por lo que se debe tomar en cuenta movimientos de inclinación, así como también el cambio de la zona de ataque cuando el viento impacta lateralmente y no frontalmente.

La posición de un piloto de competencias durante la conducción, es muy importante ya que si el piloto adopta una posición vertical normal, la resistencia aerodinámica será mayor y por ende el consumo de combustible aumenta, en las motocicletas de turismo se debe tomar en cuenta esto, ya que aquí se pretende conseguir una forma de conducción erguida con un mínimo choque de aire hacia el piloto, para conseguir esto se debe alejar la capa límite con respecto a los mismos, esto favorece la conducción en condiciones climáticas difíciles por ejemplo la lluvia.

Además del casco y la postura del piloto, es importante también enfocar el estudio en la parte delantera del manubrio y el asiento, ya que si se diseña con una parte posterior más alta y la parte delantera mas baja mejorará considerablemente la aerodinámica.

Figura 10. Desviación del aire, en carenados deportivos y turísticos



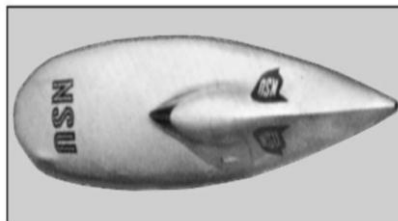
Fuente: PAZ Arias. Motocicletas 32 va edición p.647

**2.2.16.1 Evolución de los carenados.** Como se mencionó anteriormente la aerodinámica nació en las competencias, y junto con ella se iniciaron las mejores formas aerodinámicas, una de ellas es la clásica forma de lágrima que surgió en el año de 1956, con sección frontal circular seguido por la de tipo dustbin (cubo de basura en inglés), los más aerodinámicos de los años 50, después del año 1957 la FIM ( Federación Internacional de Motociclismo ), prohibió estos diseños, y la forma de delfín paso a ser la norma para competencias a finales de los 50 y principio de los 60, este diseño cubría toda la parte delantera incluyendo la rueda, mejoro notablemente la aerodinámica pero tubo inconvenientes, ya que a altas velocidades tendía a levantarse la parte frontal, y a esto se sumaba el efecto de la tracción así como también efectos del viento lateral, por lo que también se prohibió.

La primer motocicleta que poseía carenado estudiado aerodinámicamente, fue la BMW R 100 RS de 1976, desde este origen hasta nuestros días todos los diseños de carenados han surgido en base a este ejemplo, constituyendo el carenado la carrocería de la motocicleta, su función es de reducir la resistencia que ofrece el aire al avance a altas velocidades, disminuyendo el consumo de combustible, potencia, así como también de permitir un giro seguro, y mantener la estabilidad.

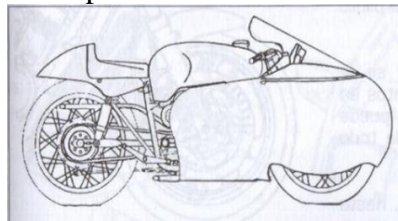
En la actualidad los carenados son anclados al bastidor y a la suspensión delantera, estos diseños permiten la entrada libre de aire fresco, hacia el motor. (PAZ pág. 651)

Figura 11. Motocicleta con forma clásica de lágrima



Fuente: FOALE Tony. Motocicletas comportamiento dinámico y diseño p.5-8

Figura 12. Carenado de tipo delfín en una moto Guzzi de competición



Fuente: ARIAS Manuel. Motocicletas 32va edición p.647

Figura 13. Carenado de gran protección de BMW R 1150 RT



Fuente: ARIAS Manuel. Motocicletas 32va edición p.653

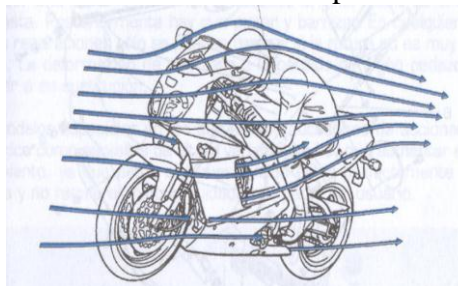
Figura 14. Carenado de una Motocicleta de competencia Suzuki GSX-RR 1000 CC



Fuente: <http://www.cycleonline.com.au/2015/11/26/suzuki-motogp-team-debuts-seamless-gearbox-in-malaysia/>

**2.2.17** *Flujo externo.* El flujo externo comprende específicamente a las condiciones climáticas, dentro del cual se encuentran circulando automóviles, motocicletas, aviones, trenes, entre otros, la temperatura y presión atmosférica son parámetros que determinan la entrada a un software DFC, que aplica los conceptos de la dinámica de fluidos computacional, (tomados en referencia al Ecuador), y en función de esto analizar aerodinámicamente cualquier tipo de objeto en este caso una motocicleta y así obtener resultados aproximados a la realidad de su comportamiento aerodinámico.

Figura 15. Flujo sobre el carenado de corte deportivo en una Yamaha 750 CC.



Fuente: ARIAS Manuel. Motocicletas 32va edición p.653

**2.2.18** *Materiales de los carenados para motocicletas.*

**2.2.18.1** *Materiales.* Los plásticos son los materiales más comunes utilizados en la fabricación de carenados, ya que son ligeros, y bajan notablemente el peso, además de

incrementar potencia. Sin descuidar la protección, y la canalización del aire que baña la motocicleta, mejorando su aerodinámica.

Los plásticos se clasifican en:

- Termoplásticos. Son los más utilizados en el motociclismo, ya que a altas temperaturas son deformables, fáciles de moldear, son soldables y al enfriarse se vuelven sumamente duros.
- Termoestables. No experimentan una variación de calor, debido a que su estructura es una malla unida demasiado fuerte, que hace que en vez de dilatarse se carbonicen. Para la fabricación de elementos aquí es necesario mezclar la sustancia base con un catalizador, para provocar su reacción a esto también se lo llama curado.

Tabla 3. Código ISO para plásticos más utilizados en la fabricación de motocicletas

Denominación	Código	Uso del plástico en la motocicleta
Acrilonitrilo butadieno estireno	>ABS<	En todo tipo de carenados y tapas. Por regla general, las piezas que lo incorporan siempre van pintadas.
Polipropileno	>PP<	Carenados, tapa y, de manera casi exclusiva en piezas que no van pintadas, o bien en acabado texturado negro o gris.
Poliuretanos	>PUR<	Se utiliza en el relleno de los asientos.
Policarbonato	>PC<	En las cúpulas y parabrisas.
Poliétileno	>PE<	Con él se fabrican, sobre todo, los depósitos de aceite y refrigerante, así como los depósitos de combustible de los scooter y ciclomotores.
Acrlonitrilo etileno estireno	>AES<	Pequeñas tapas y embellecedores. También formando mezcla con otros tipos de plásticos.
Poliéter de fenileno	>PPE<	Rara vez se encuentra por sí solo. Generalmente, se mezcla con poliamida (>PA<) para la configuración de carenados y tapas.
Poliamida	>PA<	Se encuentra en los principales carenados de la motocicleta. Por ejemplo, en colines traseros. Está normalmente asociado a otros tipos de plásticos.
Acrilato de acrilonitrilo-estireno	>ASA<	Forma parte de elementos como asideros y portaequipajes.
Poliamida con poliéter de fenileno. Su nombre comercial es Noryl.	>PA-PPE<	Generalmente se utiliza para la fabricación de los carenados.

Fuente: MUÑOZ Juan. Tipos de plásticos en las motocicletas p.31

Figura 16. Motocicleta dotada de varios elementos de plástico



Fuente: MUÑOZ Juan. Tipos de plásticos en las motocicletas p.30

**2.2.19 Ecuaciones de Navier-Stokes.** Navier e independiente, G. Stokes (1845) introdujeron en el modelo el parámetro de viscosidad, aplicándose al comportamiento atmosférico siendo general y muy útil para todas las aplicaciones ingenieriles de hoy en día, como en la industria automotriz , aeronáutica, entre otras en general que estén involucradas a los fluidos newtonianos, estas ecuaciones modelan a partir de la segunda ley de Newton, relacionando la aceleración y a las fuerzas que actúan sobre las mismas, estas a la vez se asocian con ecuaciones de momento y continuidad originándose las ecuaciones de Navier-Stokes, esta relaciona la presión , viscosidad, rozamiento de moléculas y posibles fuerzas externas como la gravedad. El DFC tiene como base principal las ecuaciones de Navier-Stokes, facilitando estudios complejos a los ingenieros con soluciones en 2D y 3D, y a través de esto se simulara y analizara en diferentes condiciones físicas del flujo a la motocicleta, para la obtención de resultados aproximados. De la ley de conservación de masa y de la segunda ley de Newton, surgen las ecuaciones de Navier-Stokes, como se muestra a continuación y se define por: (CORDOBA, 2011 págs. 1-3).

$$\text{Segunda ley de Newton: } D_t = (\rho u) = \text{Fuerza} \quad (15)$$

$$\text{Conservación de masa junto con la incompresibilidad: } D_t(\rho) = 0$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho \left( \frac{\partial u_i}{\partial t} + u * \nabla_{u_i} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + v \Delta u_i + f_{\epsilon}^i, \\ \nabla * u = 0, \\ \rho_t + u * \nabla \rho = 0. \end{array} \right.$$

Donde:

$u = (u_1, u_2, u_3)$ ,  $u_i = u_i(\chi_1, \chi_2, \chi_3, t)$  Velocidad del fluido

$p = p(\chi_1, \chi_2, \chi_3, t)$  Presión

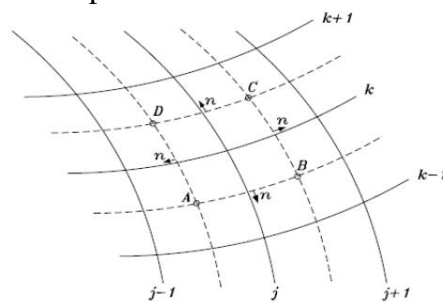
$\rho = \rho(\chi_1, \chi_2, \chi_3, t)$  Densidad

$v = \text{cte} \geq 0$  Viscosidad

$f_{\epsilon} = (f_{\epsilon}^1, f_{\epsilon}^2, f_{\epsilon}^3, )$  Fuerza externa

**2.2.20** *Volúmenes finitos.* El método de los volúmenes finitos emplea una discretización (aproximación de una variable continua en un número finito de puntos) espacial, la ecuación de integración de Navier-Stokes, es aproximada por la suma de los flujos que atraviesan las caras de los poliedros. Una ventaja principal de esta discretización espacial es que se desarrolla en el espacio físico del problema, es un método en el cual se puede implementar mallas estructuradas y no estructuradas, permitiendo así llevar a cabo estudios de los fluidos, de geometrías complejas (CARDONA, 2008 págs. 52-53).

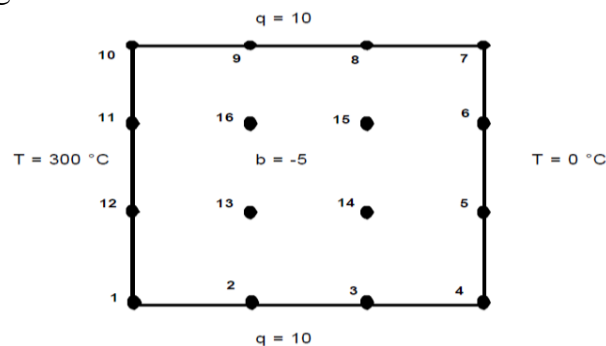
Figura 17. Dominio de aplicación del método de los volúmenes finitos



Fuente: MORENO Daniel. Simulación numérica de flujos convectivos a altos números Rayleigh en sistemas pasivos de climatización p 42.

**2.2.21** *Diferencias finitas.* Este método es una aproximación de las derivadas parciales, por expresiones algebraicas con los valores de la variable dependiente, asignando un cierto número de puntos espaciados sobre el dominio, el valor de estos puntos se convierten en incógnitas, y empieza el análisis algebraico (HERNANDEZ pág. 25).

Figura 18. División del dominio en diferencias finitas



Fuente: BOSCH Fernando. Métodos finitos p 25.

**2.2.22** *Tipos de mallado.* En DFC generalmente los tipos de mallas se clasifican en:

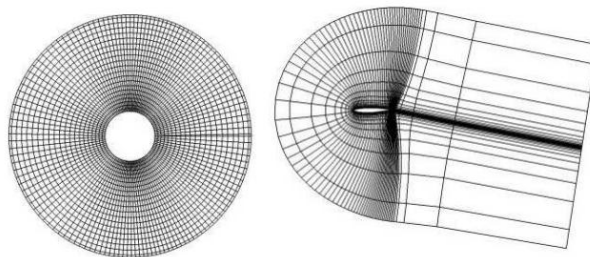


**2.2.22.1 Estructuradas.** Son aquellas que se forman por un conjunto de nodos o volúmenes de control, que son ordenadas y se identifican mediante índices ordenados,  $(i,j,k)$  para 3D, así también  $(i,j)$  en 2D, la desventaja radica en que suelen ser utilizadas en dominios con geometrías simples, y sus puntos se acumulan en regiones de poco interés, y a su vez se clasifica en: (LOZANO, 2013 págs. 22-25)

- Mono bloque. Cuando tiene un solo nivel de subdivisión.
- Multi-bloque. En este tipo de mallas existe uno o más niveles de subdivisión, posee bloques grandes de estructura irregular a nivel exterior y más fino a nivel interior, siendo mallas estructuradas con niveles de mayor resolución en el lugar donde sea necesario.

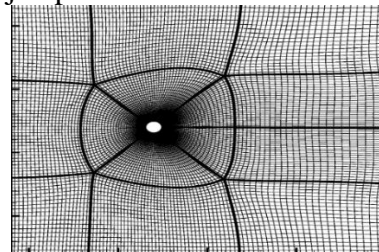
En el siguiente ejemplo se muestra los tipos de mallas estructuradas tipo O y C, los puntos se organizan de tal forma que las líneas que la unen, son cerradas dando la forma de O y C.

Figura 19. Ejemplo de mallas estructuradas tipo O y tipo C.



Fuente: LOZANO Adrián. Notas sobre computational Fluid Dynamycs p 23.

Figura 20. Ejemplo de malla estructurada multi-bloque



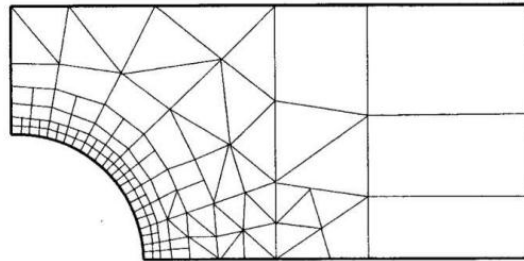
Fuente: LOZANO Adrián. Notas sobre computational Fluid Dynamycs p 24.

**2.2.22.2 No-estructuradas.** Este tipo de mallas son utilizadas en geometrías complejas, adaptándose de forma arbitraria al dominio, pueden ser utilizadas con cualquier tipo de discretización espacial adaptándose al método de volúmenes y elementos finitos, sin

restricciones en cuanto a elementos vecinos y nodos, su construcción se realiza con triángulos o cuadriláteros en 2D, y tetraedros o hexaedros en 3D, y esta se subdivide en: (LOZANO págs. 22-25)

- Uniformes
- Híbridas (tetraedros + hexaedros )
- Otras

Figura 21. Ejemplo de malla no-estructurada



Fuente: LOZANO Adrián. Notas sobre computational Fluid Dynamycs p 25.

## CAPÍTULO III

### 3. PERFILACIÓN DEL CARENADO DE LA MOTOCICLETA DE CARRETERA TIPO CUSTOM 125 CC.

#### 3.1 Características específicas de la motocicleta de carretera de 125 CC.

Es una motocicleta multiuso dotada de dos ruedas, donde la rueda delantera es la directriz, y la rueda posterior la motriz, es impulsada por un motor mono cilíndrico 125 CC. A gasolina, en el chasis liviano se acoplan todos los elementos como el motor, asiento, tanque de combustible, etc. El termino custom proviene del verbo en inglés, to customize, esto se refiere a la personalización de algo que fue creado en serie de forma industrial e impersonal, este tipo de motocicleta ofrece la personalización de acuerdo al gusto del propietario, partiendo casi siempre del estilo clásico. Es un vehículo ágil para transitar en ciudad, así como en vías de primer y segundo orden, no posee carenado como a diferencia de otras motocicletas de competencia.

Para realizar el análisis y simulación aerodinámica de la motocicleta de este proyecto, se basara en el modelo de una motocicleta Suzuki GN 125 CC como se muestra a continuación en la figura.

Figura 22. Motocicleta Suzuki GN 125 CC.



Fuente: <http://casamotor.co/motos/gn-125/>

En la siguiente tabla se muestran las especificaciones técnicas de la motocicleta Suzuki GN 125 CC.

La cual tiene una potencia de 12,5 Hp, refrigerada por aire, transmisión mecánica con encendido eléctrico, suspensión telescópica, hidráulica, muelle, helicoidal, depósito de

combustible de 10,3 Lts, longitud total de 1,945 mm, ancho total de 815mm y tres colores disponibles en el mercado como se muestra a continuación:

Tabla 4. Especificaciones técnicas de la motocicleta Suzuki GN 125 CC.

<b>Motor</b>	
Potencia del motor	12,5 Hp
Tipo de motor	4 Tiempos refrigerado por aire
No. De cilindros	1
Cilindrada	125 CC.
Encendido	Eléctrico
<b>Transmisión</b>	
Tipo	Mecánica de 5 velocidades
<b>Frenos</b>	
Delanteros	Disco
Traseros	Tambor
<b>Suspensión</b>	
Suspensión delantera	Telescópica ,hidráulica, muelle, helicoidal
Suspensión trasera	Resortes
<b>Neumáticos</b>	
Neumáticos delanteros	2,75-18 PR
Neumáticos traseros	3,50-16 PR
<b>Capacidades</b>	
Depósito de combustible	10,3 Lts.
<b>Dimensiones</b>	
Longitud total	1,945 mm.
Ancho total	815 mm.
Altura	1,110 mm.
Altura del asiento	740 mm.
Distancia entre ejes	1,280 mm.
Peso en seco	107 kg
Colores	Negro-Rojo-Azul-Gris

Fuente: Catalogo Suzuki GN 125 CC.

### 3.2 Perfilación de la motocicleta.

Hoy en día son muchos los programas de diseño asistidos por computadora, que nos permiten crear diferentes modelos tanto mecánicos, como también en diversos campos de ingeniería, y posterior a esto su respectivo análisis, mediante el cual se puede conocer las fortalezas y falencias del diseño.

AutoCAD es un programa que permite crear diseños y planos, sin embargo durante el transcurso de tiempo los programas han evolucionado, con una mayor resolución como SolidWorks, que permite modelar piezas en 3D y 2D, a partir de planos y superficies complejas siendo un programa ideal para llevar a cabo la perfilación de la motocicleta, y posterior a esto su análisis y simulación aerodinámica.

### **3.3 Dimensionamiento.**

El dimensionamiento de la motocicleta se realizó, tomando las medidas reales de todos los elementos, que están sometidos al flujo externo, con sus respectivas tolerancias y con diferentes instrumentos de medición como: calibrador, pie de rey, flexómetro, etc.

### **3.4 Digitalización.**

A continuación se muestra como ejemplo de la digitación el neumático delantero y faro delantero, de la motocicleta estas fueron digitalizadas haciendo uso de las diferentes herramientas que ofrece SolidWorks tales como: superficies complejas, simetrías, matrices, revolución, cortar, extruir, planos en 2D y 3D etc.

Figura 23. Neumático delantero



Fuente: Autor

Figura 24. Faro delantero



Fuente: Autor

### **3.5 Ensamble y renderizado.**

Una vez terminada la digitación de toda la motocicleta se realizó, su respectivo ensamblaje mediante la opción de referencias, que permite referenciar cada componente

con su respectiva posición entre sí, obteniendo al final toda la motocicleta ensamblada con todos sus componentes, posterior a esto se realizó su respectivo renderizado con el complemento de SolidWorks PhotoView 360 que permite editar a una apariencia real de los componentes ensamblados, con una visualización clara de la motocicleta referente a la real como se muestra a continuación en las siguientes figuras.

Figura 25. Ensamblaje total de la Motocicleta Suzuki GN 125CC.



Fuente: Autor

Figura 26. Vista lateral izquierda renderizada de la motocicleta



Fuente: Autor

Figura 27. . Vista lateral derecha renderizada de la motocicleta



Fuente: Autor

Figura 28. Vista superior renderizada de la Motocicleta



Fuente: Autor

Figura 29. Vista trimétrico renderizada de la Motocicleta



Fuente: Autor

### 3.6 Parámetros iniciales para el estudio aerodinámico

Para el análisis y simulación de la motocicleta Suzuki GN 125 CC. Se tomaron los parámetros de entrada más críticos respecto al Ecuador, como se muestra a continuación:

Temperatura máxima: Según el boletín climatológico semestral la temperatura promedio máxima fue en Portoviejo, de  $32^{\circ}\text{C} = 305^{\circ}\text{K}$  (GONZALEZ, 2015 pág. 11)

Presión: Este parámetro se tomó acorde con la temperatura máxima, por lo tanto se tiene que en Portoviejo la presión es de  $0,99573917 \text{ atm} = 100\ 868,378 \text{ Pa}$  y es la presión manométrica. (PUZHI, 2014 pág. 23)

Velocidad: Este parámetro está estipulado bajo la ley de tránsito con el rango más crítico de circulación en carretera a  $100 \text{ km/h} = 27,77 \text{ m/s}$  (CARRERA, 2012 pág. 103)

Datos:

$$V = 27,77 \text{ m/s}$$

$$P = 100\,868,378 \text{ Pa}$$

$$T = 305^\circ\text{K}$$

$$L = \text{longitud total de la motocicleta} = 1945 \text{ mm} = 1,945 \text{ m}$$

Con los datos respectivos, criterios y formulas estudiados en los capítulos anteriores, se procedió al cálculo respectivo de las características del fluido, como es el número de Reynolds, número de Mach, como se muestra a continuación:

Donde:

$$R_e = 67,778 * v * l \quad (16)$$

$$R_e = 67,778 * 27,777 * 1,945 = 3661,792$$

Por lo tanto con el número de Reynolds obtenido, determinamos que el flujo es transitorio.

Número de Mach:

$$M = \frac{v}{c} \quad (17)$$

$$C = \sqrt{K * R * T}; K = cte = 1.4$$

$$C = \sqrt{1.4 * 287 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{K}} * 305^\circ\text{K}}$$

$$C = 350,069$$

$$M = \frac{V}{C} = \frac{27,777}{350,069} = 0.079 \text{ El fluido es incompresible}$$

### 3.7 Simulación de la motocicleta en un software CAD

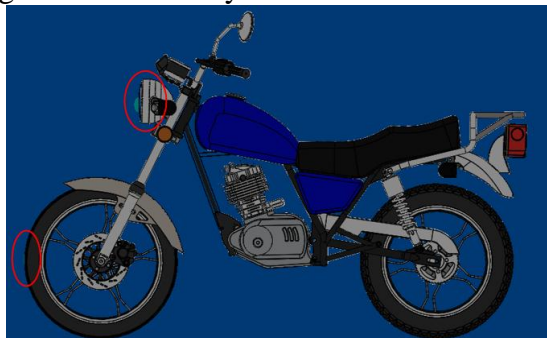
Una vez obtenidos los parámetros de entrada, se procedió a realizar el análisis y



simulación aerodinámica de la motocicleta, para ello primero se realizó un estudio del comportamiento aerodinámico en el software Solidworks-Flow Simulation, ya que la motocicleta es de una geometría muy irregular y con el objetivo, de localizar zonas críticas de presión, para lo cual también se digitalizo el piloto, con las dimensiones correspondientes a una persona de estatura promedio de Ecuador, cuyas dimensiones y geometría se muestran en el capítulo IV. El análisis y simulación aerodinámica de la motocicleta se realizó, en diferentes condiciones aerodinámicas, como se muestra a continuación:

Análisis y simulación aerodinámica 1: Solo la motocicleta, con un mallado automático de malla fina y 489 iteraciones. En la siguiente figura se observa que, las zonas donde es más relevante la presión son: El faro delantero y el neumático delantero.

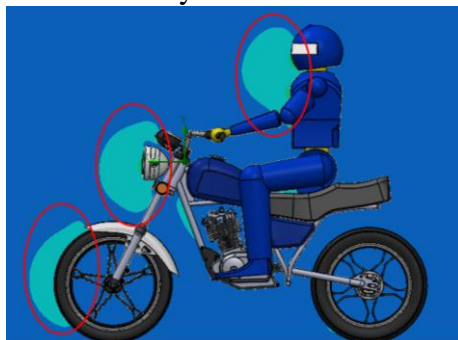
Figura 30. Análisis y simulación aerodinámica 1



Fuente: Autor

Análisis y simulación aerodinámica 2: Motocicleta-Piloto, con un mallado automático de malla fina y 382 iteraciones. En la siguiente figura se observa que, las zonas donde es más relevante la presión son: El faro delantero, neumático delantero y la parte frontal del piloto

Figura 31. Análisis y simulación aerodinámica 2

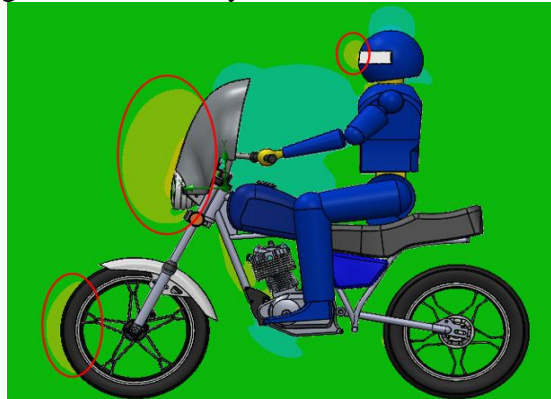


Fuente: Autor

Análisis y simulación aerodinámica 3: Motocicleta-Piloto-Carenado 1, con un mallado automático de malla fina y 547 iteraciones.

En la siguiente figura se observa que, las zonas donde es más relevante la presión son: El faro delantero, carenado, neumático delantero y la parte frontal del casco del piloto.

Figura 32. Análisis y simulación aerodinámica 3

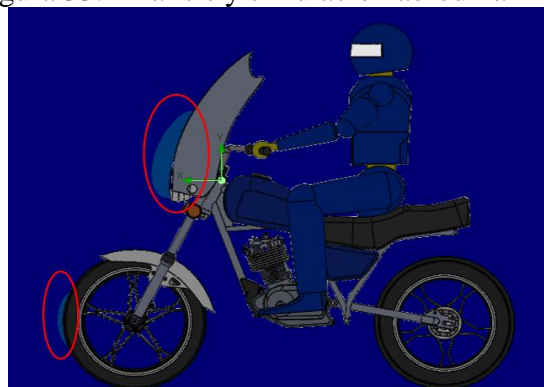


Fuente: Autor

Análisis y simulación aerodinámica 4: Motocicleta-Piloto-Carenado 2, con un mallado automático de malla fina y 592 iteraciones

En la siguiente figura se observa que, las zonas donde es más relevante la presión son: El faro delantero, carenado, neumático delantero.

Figura 33. Análisis y simulación aerodinámica 4



Fuente: Autor

### 3.8 Mallado

El funcionamiento de un programa de elementos finitos, se basa en los siguientes módulos

de trabajo: (VALERO, 2004 pág. 123)

Pre-Proceso: Aquí se prepara el modelo para su respectivo cálculo, llevándose a cabo las operaciones de:

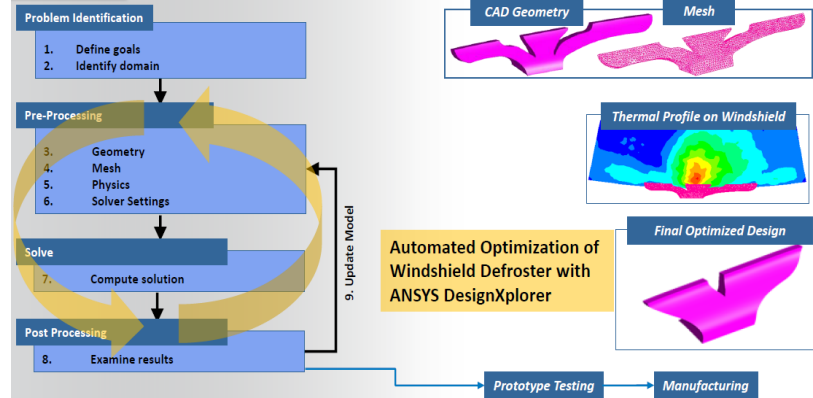
- Dibujo del modelo o importación, generado por un sistema CAD que genere ficheros compatibles.
- Selección de elementos a emplear, se seleccionan de acuerdo al tipo de cálculo a realizar
- Selección de los materiales a emplear.
- Asignación de elemento y propiedades de materiales a los diferentes componentes del modelo.
- Aplicación de cargas exteriores (puntuales, lineales, superficiales )
- Aplicaciones de las condiciones de contorno del modelo.

Proceso: Es la parte del programa que realiza todo el cálculo del MEF (Método de los Elementos Finitos), generando las soluciones y estos pasos son:

- Selección del tipo de cálculo a realizar por ejemplo si es un análisis transitorio, en régimen armónico, estático etc.
- Configuración de los parámetros de cálculo, selección de intervalos de tiempo, norma del error, numero de iteraciones etc.
- Inicio del cálculo, en el cual el programa empieza transfiriendo las cargas al modelo, genera las matrices de rigidez realiza la triangulación de la matriz, resuelve el sistema de ecuaciones y genera la solución.

Post-Proceso: Es la herramienta que permite la representación gráfica de los resultados, así como resultados indirectos que se pueden obtener operando las soluciones del modelo.

Figura 34. Funcionamiento de un programa de Elementos Finitos



Fuente: Lecture 2 Introduction to the CFD Methodology p.13

En base al análisis y simulación aerodinámica anterior, se observó que en si todo el conjunto de la motocicleta, no influye aerodinámicamente, ya que las zonas más relevantes están ubicadas en lámpara principal, carenados, neumático delantero y parte frontal del piloto, en vista de esto y tomando en cuenta que la capacidad del ordenador se limitara el momento de mallar con una tolerancia de 0,003 m, que representa un mallado excelente, pero limita las capacidades de cálculo, ya que para este Análisis y simulación aerodinámica es necesario crear un volumen de control adecuado, y se estima entre unas condiciones de frontera de, 3 m de longitud y 1,90 m de alto, suficiente como para poder visualizar los contornos de presión, velocidad, fuerzas etc.

Esto resulta sumamente complejo para un ordenador de capacidad normal, por lo cual se descartó el resto de partes, y se enfocó el análisis solo en las zonas antes mencionadas, para lo cual se utilizó un mallado por defecto de tolerancia media, con un dominio para el volumen de control más pequeño, optimizando el tiempo de cálculo del ordenador.

### 3.9 Calidad de la malla

Este criterio se evaluó con Element Quality, ya que este método es el más común, el cual muestra con una escala de colores, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 35. Calidad de malla

Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

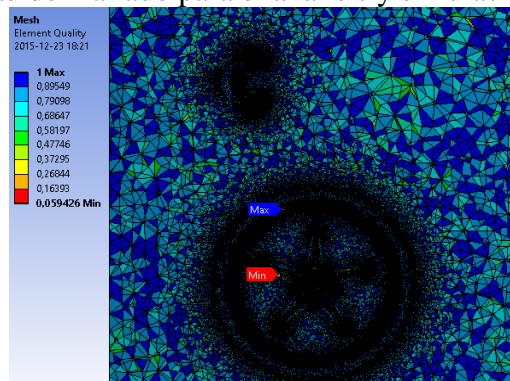
Fuente: Lecture 07 Mesh Quality Introduction to Ansys CFD Professional p.8

Estos colores varían desde un color rojo que indica una calidad de malla inaceptable, hasta un color azul que indica que el mallado es excelente.

Una vez descartados los componentes de la motocicleta, se muestran a continuación en las siguientes figuras la calidad de mallado, para los diferentes casos de análisis y simulación aerodinámica, con las respectivas zonas identificadas anteriormente.

Para el primer Análisis y simulación aerodinámica, solo de la motocicleta, con los dos componentes más relevantes como son: El faro delantero y el neumático delantero con un mallado máximo de 1 y un mallado mínimo de 0,059426, que no es preponderante como se muestra en la siguiente figura:

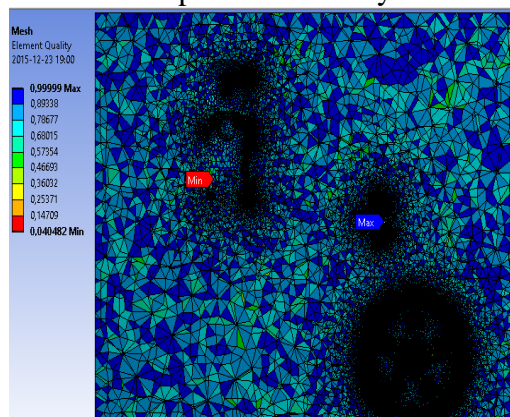
Figura 36. Calidad de mallado para el análisis y simulación aerodinámica 1



Fuente: Autor

Para el análisis y simulación aerodinámica 2, las zonas más relevantes para su estudio son: El faro delantero, neumático delantero, y la parte frontal del piloto con un mallado máximo de 0,99999 y un mallado mínimo de 0,040482, como se muestra a continuación:

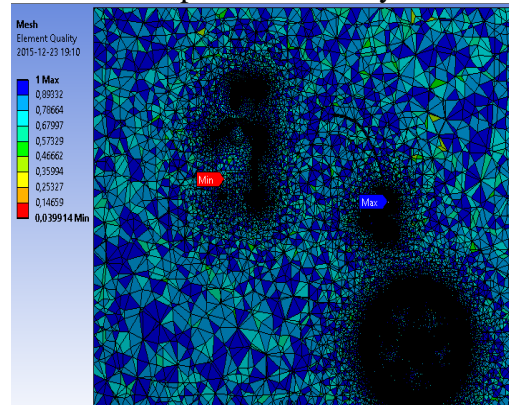
Figura 37. Calidad de mallado para el análisis y simulación aerodinámica 2



Fuente: Autor

Para el análisis y simulación aerodinámica 3, las zonas más relevantes para su estudio son: Faro delantero, neumático delantero, carenado frontal 1, y la parte frontal del piloto, con un mallado máximo de 1 y un mallado mínimo de 0,039914 como se muestra a continuación:

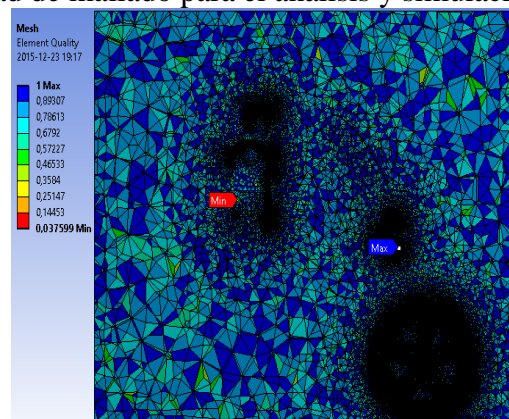
Figura 38. Calidad de mallado para el análisis y simulación aerodinámica 3



Fuente: Autor

Para el análisis y simulación aerodinámica 4 las zonas más relevantes para su estudio son: Faro delantero, neumático delantero, carenado frontal 2 y la parte frontal del piloto, con un mallado máximo de 1 y un mallado mínimo de 0,037599 como se muestra a continuación:

Figura 39. Calidad de mallado para el análisis y simulación aerodinámica 4

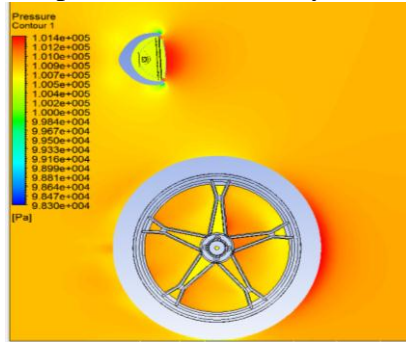


Fuente: Autor

### 3.10 Resultados obtenidos

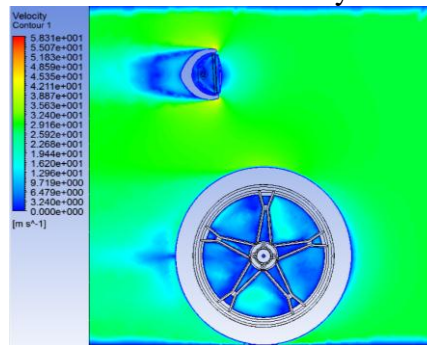
A continuación se muestran los contornos de presión, velocidad, fuerza en X, fuerza en Y del análisis y simulación aerodinámica 1

Figura 40. Contorno de presión del análisis y simulación aerodinámica 1



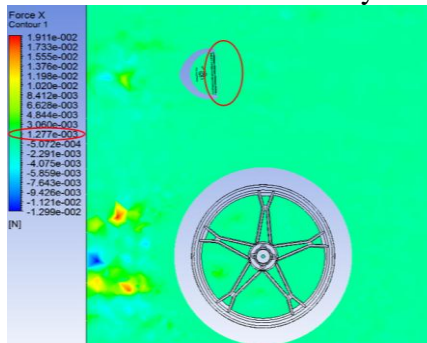
Fuente: Autor

Figura 41. Contorno de velocidad del análisis y simulación aerodinámica 1



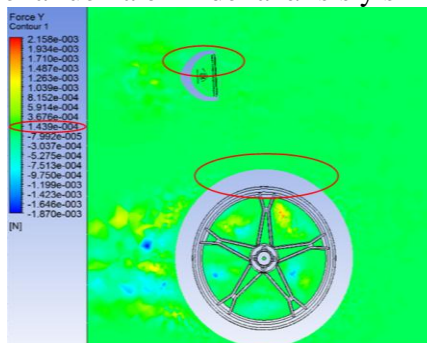
Fuente: Autor

Figura 42. Contorno de la fuerza en X del análisis y simulación aerodinámica 1



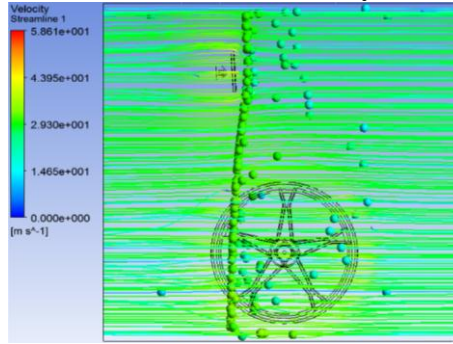
Fuente: Autor

Figura 43. Contorno de la fuerza en Y del análisis y simulación aerodinámica 1



Fuente: Autor

Figura 44. Trayectoria de velocidad del análisis y simulación aerodinámica 1



Fuente: Autor

El cálculo del primer estudio aerodinámico, solo motocicleta, se muestra a continuación con los siguientes valores de fuerzas:

$$F_x = F_d = 1,277 \times 10^{-3} \text{ [N]}$$

$$F_y = F_l = 1,439 \times 10^{-4} \text{ [N]}$$

El área se determinó con el ancho y alto de la motocicleta, un factor de corrección, de irregularidades de 0,7 y con un incrementó de 20 % en las fuerzas por los elementos restantes de la motocicleta, y errores de cálculo como se muestra a continuación:

$$\text{Ancho} = b = 0,815 \text{ m}$$

$$\text{Alto} = h = 1,110 \text{ m}$$

$$\text{Factor de corrección} = 0,7$$

$$A = b * h = 0,815 \text{ m} * 1,110 \text{ m} = 0,905 \text{ m}^2$$

Fineza

$$f = \frac{F_L}{F_d} = \frac{C_L}{C_x} \quad (18)$$

$$f = \frac{1,439 \times 10^{-4} * 1,2 \text{ [N]}}{1,277 \times 10^{-3} * 1,2 \text{ [N]}} = 0,113$$

Coefficiente de sustentación

$$C_L = \frac{2 * F_L}{\rho * v^2 * A * 0,7} \quad (19)$$



$$C_L = \frac{2 * 1,439x10 - 4 * 1,2}{1,225 * 27777^2 * 0,905 * 0,7} =$$

$$C_L = 0,577x10 - 6$$

Coefficiente de arrastre

$$C_x = \frac{2F_d}{\rho v^2 A} \quad (20)$$

$$C_x = \frac{2 * 1,277x10 - 3 * 1,2}{1,225 * 27,777^2 * 0,905 * 0,7} =$$

$$C_x = 5,119x10 - 6$$

Potencia Absorbida

$$CV \text{ Absorbidos por la resistencia} = \frac{C_x * A * V^3}{1225} \quad (21)$$

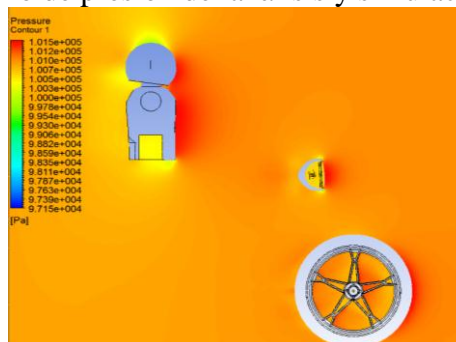
$$CV = \frac{5,119x10 - 6 * 0,905 * 27,777^3}{1225}$$

$$CV = 0,079x10 - 3Hp$$

$$CV = 0,000081$$

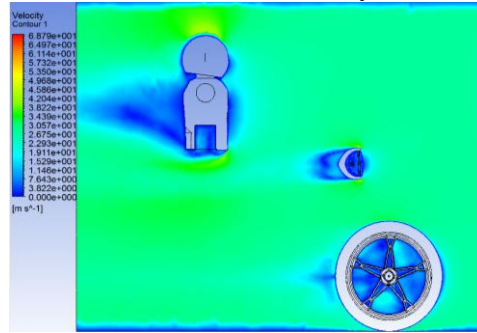
A continuación se muestran los contornos de presión, velocidad, fuerza en X, fuerza en Y del Análisis y simulación aerodinámica 2

Figura 45. Contorno de presión del análisis y simulación aerodinámica 2



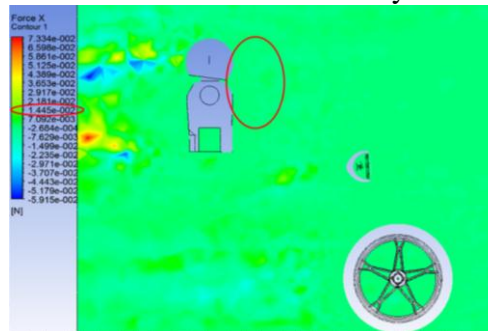
Fuente: Autor

Figura 46. Contorno de velocidad del análisis y simulación aerodinámica 2



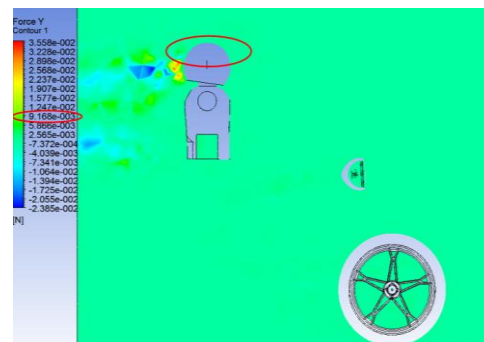
Fuente: Autor

Figura 47. Contorno de la fuerza en X del análisis y simulación aerodinámica 2



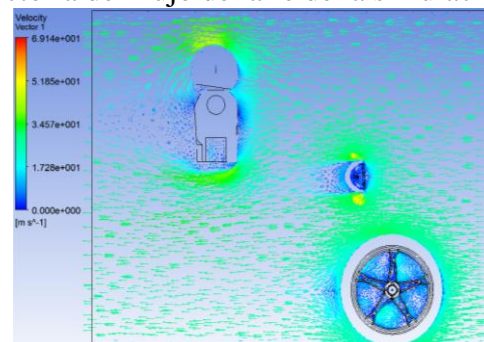
Fuente: Autor

Figura 48. Contorno de la fuerza en Y del análisis y simulación aerodinámica 2



Fuente: Autor

Figura 49. Trayectoria del flujo del aire de la simulación aerodinámica 2



Fuente: Autor

El cálculo del segundo estudio aerodinámico, motocicleta-piloto, se muestra:

$$F_x = F_d = 1,445 \times 10^{-2} \text{ N}$$

$$F_y = F_L = 9,168 \times 10^{-3} \text{ N}$$

Fineza

$$f = \frac{F_L}{F_d} = \frac{C_L}{C_x} \quad (22)$$

$$f = \frac{9,168 \times 10^{-3} * 1,2 \text{ N}}{1,445 \times 10^{-2} * 1,2 \text{ N}} = 0,634$$

Coefficiente de sustentación

$$C_L = \frac{2F_L}{\rho v^2 A}$$

$$C_L = \frac{2 * 9,168 \times 10^{-3} * 1,2}{1,225 * 27,777^2 * 0,905 * 0,7} = 0,036 \times 10^{-3}$$

Coefficiente de arrastre

$$C_x = \frac{2F_d}{\rho v^2 A}$$

$$C_x = \frac{2 * 1,445 \times 10^{-2} * 1,2}{1,225 * 27,777^2 * 0,905 * 0,7} = 0,057 \times 10^{-3}$$

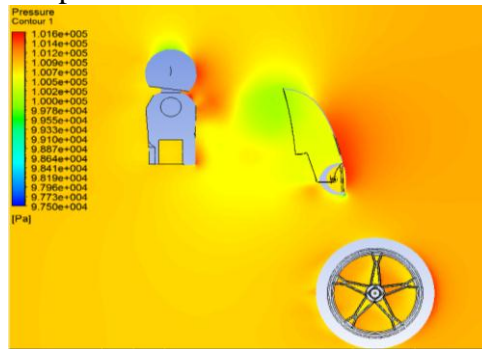
Potencia absorbida

$$CV \text{ absorbidos por la resistencia} = \frac{C_x * A * V^3}{1225}$$

$$CV = \frac{0,057 \times 10^{-3} * 0,905 * 27,777^3}{1225} = 0,000917 \text{ CV} = 0,904 \times 10^{-3} \text{ Hp}$$

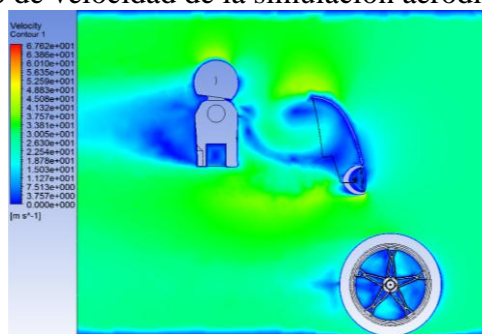
A continuación se muestra los contornos de presión, velocidad, fuerza, del estudio 3

Figura 50. Contorno de presión de la simulación aerodinámica 3 y carenado 1



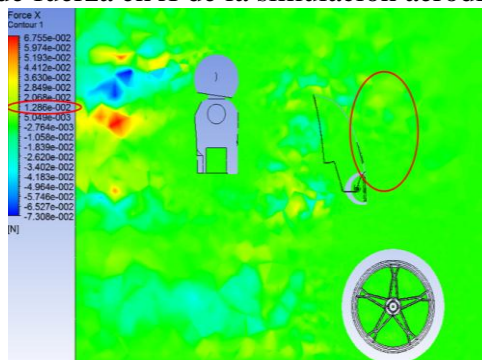
Fuente: Autor

Figura 51. . Contorno de velocidad de la simulación aerodinámica 3 y carenado 1



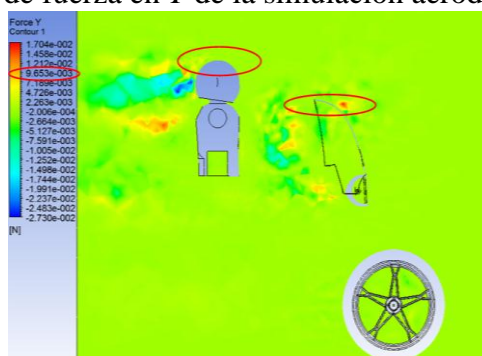
Fuente: Autor

Figura 52. Contorno de fuerza en X de la simulación aerodinámica 3 y carenado 1



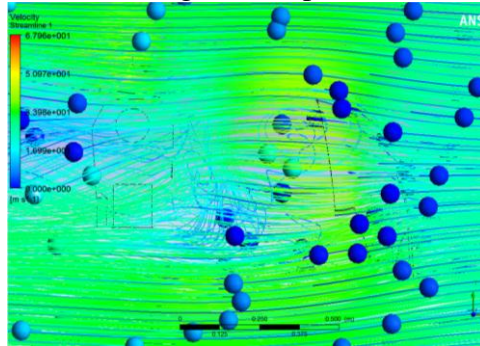
Fuente: Autor

Figura 53. . Contorno de fuerza en Y de la simulación aerodinámica 3 y carenado 1



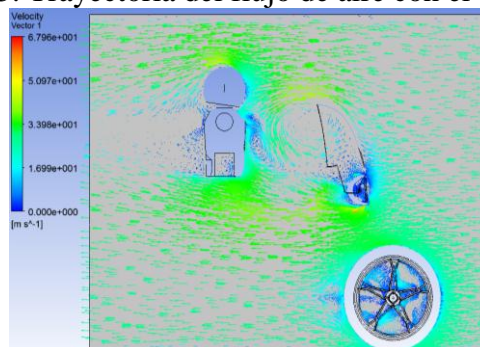
Fuente: Autor

Figura 54. Turbulencia generada por el carenado frontal 1



Fuente: Autor

Figura 55. Trayectoria del flujo de aire con el carenado1



Fuente: Autor

El cálculo del tercer estudio aerodinámico, motocicleta-piloto-carenado frontal 1, se muestra a continuación con los siguientes valores de fuerzas:

$$F_x = F_d = 1,286 \times 10^{-2} \text{ N}$$

$$F_y = F_L = 9,653 \times 10^{-3} \text{ N}$$

Fineza

$$f = \frac{F_L}{F_d} = \frac{C_L}{C_x}$$

$$f = \frac{9,653 \times 10^{-3} * 1,2 \text{ N}}{1,286 \times 10^{-2} * 1,2 \text{ N}} = 0,750$$

Coefficiente de sustentación

$$C_L = \frac{2F_L}{\rho v^2 A}$$

$$C_L = \frac{2 * 9,653 \times 10^{-3} - 3 * 1,2}{1,225 * 27,777^2 * 0,905 * 0,7} = 0,038 \times 10^{-3}$$

Coeficiente de arrastre

$$C_x = \frac{2F_d}{\rho v^2 A}$$

$$C_x = \frac{2 * 1,286 \times 10^{-2} - 2 * 1,2}{1,225 * 27,777^2 * 0,905 * 0,7} =$$

$$CV = 0,0515 \times 10^{-3}$$

Potencia absorbida

$$CV \text{ absorbidos por la resistencia} = \frac{C_x * A * V^3}{1225}$$

$$CV = \frac{0,0515 \times 10^{-3} * 0,905 * 27,777^3}{1225} =$$

$$CV = 0,000815 \quad CV = 0,804 \times 10^{-3} \text{ Hp}$$

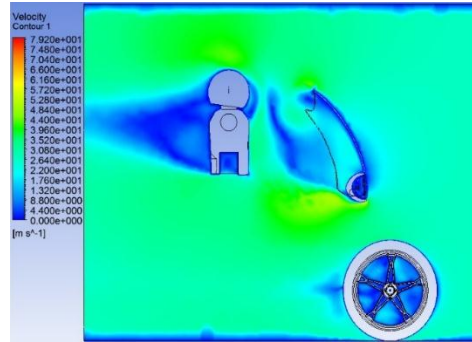
A continuación se muestran los contornos de presión, velocidad, fuerza en X, fuerza en Y del análisis y simulación aerodinámica 4, con carenado frontal 2, en la figura se puede observar una presión crítica, alrededor del carenado y del faro delantero de  $1,016 \times 10^5$  Pa y una presión mínima de  $1,010 \times 10^5$  Pa.

Figura 56. . Contorno de presión de la simulación aerodinámica 4 y carenado 2



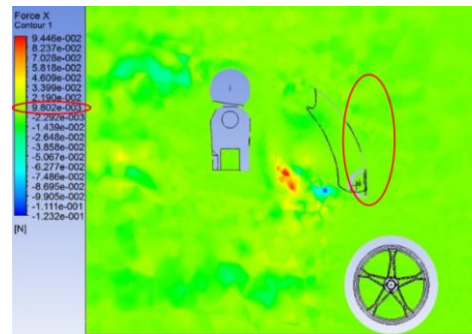
Fuente: Autor

Figura 57. Contorno de velocidad de la simulación aerodinámica 4 y carenado 2



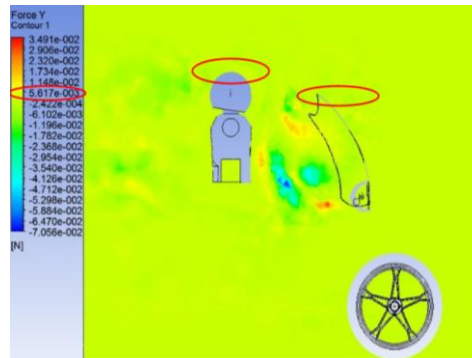
Fuente: Autor

Figura 58. . Contorno de fuerza en X de la simulación aerodinámica 4 y carenado 2



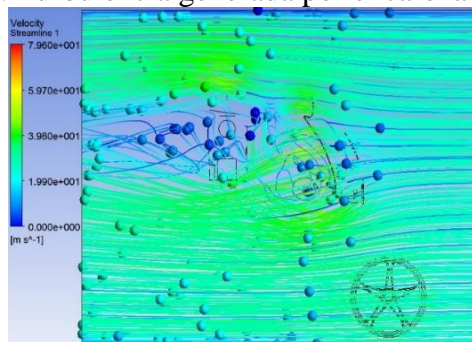
Fuente: Autor

Figura 59. Contorno de fuerza en Y de la simulación aerodinámica 4 y carenado 2



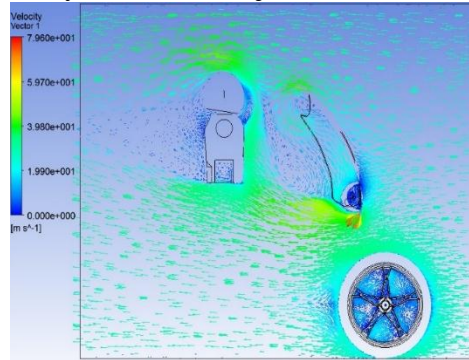
Fuente: Autor

Figura 60. Turbulencia generada por el carenado frontal 2



Fuente: Autor

Figura 61. Trayectoria del flujo de aire con el carenado 2



Fuente: Autor

El cálculo del cuarto análisis motocicleta-piloto-carenado frontal 2, se muestra a continuación con los siguientes valores de fuerzas.

Para realizar estos cálculos se tomaron los valores más críticos, señalados con círculos en los contornos anteriormente observados, de los cuatro estudios aerodinámicos de la motocicleta para, fuerzas tanto en  $X$  como también en  $Y$ .

$$F_x = F_d = 9,802 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$F_y = F_L = 5,617 \times 10^{-3} \text{ N}$$

Fineza

$$f = \frac{F_L}{F_d} = \frac{C_L}{C_x} = \frac{5,617 \times 10^{-3} \times 1,2 \text{ N}}{9,802 \times 10^{-3} \times 1,2 \text{ N}} = 0,573$$

Coefficiente de sustentación

$$C_L = \frac{2F_L}{\rho v^2 A}$$

$$C_L = \frac{2 * 5,617 \times 10^{-3} * 1,2}{1,225 * 27,777^2 * 0,905 * 0,7} = 0,022 \times 10^{-3}$$

Coefficiente de arrastre

$$C_x = \frac{2F_d}{\rho v^2 A}$$



$$C_x = \frac{2 * 9,802x10 - 3 * 1,2}{1,225 * 27,777^2 * 0,905 * 0,7} = 0,0392x10 - 3$$

Potencia Absorbida

$$CV \text{ Absorbidos por la resistencia} = \frac{C_x * A * V^3}{1225}$$

$$CV \text{ Absorbidos por la resistencia} = \frac{0,0392x10 - 3 * 0,905 * 27,777^3}{1225}$$

$$= 0,000621CV = 0,612x10 - 3 \text{ Hp}$$

Los resultados obtenidos del análisis y simulación aerodinámica, de una motocicleta se resumen a continuación en la siguiente tabla con los siguientes valores.

Tabla 5. Resultados obtenidos del análisis y simulación aerodinámica

Fases del Análisis	Carga $F_Y$ [N]	Resistencia $F_X$ [N]	Fineza $f = F_Y/F_X$	Coefficiente de sustentación $C_L$	Coefficiente de arrastre $C_x$	Potencia absorbida [Hp]
Solo la Motocicleta	1,439x10-4	1,277x10-3	0,113	0,577x10-6	5,119x10-6	0,079x10-3
Motocicleta-piloto	9,168x10-3	1,445x10-2	0,634	0,036x10-3	0,057x10-3	0,904x10-3
Motocicleta-piloto-Carenado 1	9,653x10-3	1,286x10-2	0,751	0,038x10-3	0,0515x10-3	0,804x10-3
Motocicleta-piloto Carenado 2	5,617x10-3	9,802x10-3	0,573	0,022x10-3	0,0392x10-3	0,612x10-3

Fuente: Autor

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede observar el incremento de la resistencia al avance ( $F_X$ ), con  $F_X = 1,277x10-3$  N, en la primera fase,  $F_X = 1,445x10-2$  N, en la segunda fase de estudio con piloto incluido, en la tercera fase con el carenado 1, se produce una  $F_X = 1,286x10-2$  N, y en la última fase de estudio con el carenado frontal 2 la resistencia disminuye a un valor de  $F_X = 9,802x10-3$  N.

La diferencia de fineza entre los carenados se muestra a continuación:

$$\text{Diferencia de fineza} = \text{Carenado 2} - \text{Carenado 1}$$

$$\text{Diferencia de fineza} = 0,751 - 0,573 = 0,178$$

De acuerdo a este análisis existe una diferencia de finezas de 0.178 entre los dos diseños de carenados, siendo el más óptimo aerodinámicamente el carenado frontal 2.

La diferencia de la potencia absorbida por el carenado frontal 2 es la diferencia entre la potencia absorbida de la motocicleta piloto carenado 2 y solo la motocicleta como se muestra a continuación:

$$P_{\text{pot. abs. por el carenado 2}} = P_{\text{pot. abs. de la motocicleta piloto carenado 2}} - P_{\text{pot. abs. solo de la motocicleta}}$$

$$P_{\text{pot. abs. por el carenado 2}} = (0.612 \times 10^{-3} - 0.079 \times 10^{-3}) = 0,00053 \text{ Hp}$$

El consumo de combustible efectuado por del carenado frontal 2 es igual a 0,00053 Hp, esto indica un consumo de combustible mínimo, en comparación, con la potencia inicial de la motocicleta que es de 12,5 Hp.

### 3.11 Comportamiento aerodinámico a diferentes condiciones mediante DFC

Durante 7 días y a diferentes horas se tomaron las lecturas de: temperatura, presión, y altura en la ciudad de Riobamba, en el laboratorio de aerodinámica, de la escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH, con un anemómetro digital cuya tolerancia es de  $\pm 3\%$ . Cuando la unidad está apagada, los datos no se acumulan entre 2 y 5 segundos, una vez obtenidos estos datos se promedió, la temperatura, presión, y altura respectivamente cuyos resultados son los nuevos parámetros de entrada, al software Ansys, esto se lo realizo con el objetivo de estudiar la aerodinámica de la motocicleta en diferentes condiciones de carga y velocidad, como se muestra a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 5. Lecturas tomadas durante 7 días en abril del 2015

Lectura	Día	Hora	T [°C]	Presión [hPa]	Altura [m]
1	06	14:18	24,3	726,8	2713
2	08	08:53	16,7	730,3	2675
3	15	09:18	17,4	732,0	2654
4	16	10:30	17,2	733,2	2647
5	17	11:30	18,9	730,2	2678
6	20	8:25	15,1	731,4	2664
7	29	9:22	16,3	730,8	2668
Promedio			18,0	730,7	2671

Fuente: Autor

Los valores tomados por la mañana presentan una variación mínima, en la temperatura, presión y altura, esto indica que el fluido es más volátil y liviano a mayor temperatura.

Temperatura: De acuerdo a los datos obtenidos en la ciudad de Riobamba la temperatura tiene un promedio de  $17,986\text{ }^{\circ}\text{C} = 290,986\text{ K}$

Presión: El promedio de presión obtenido durante los 7 días es de:  $730,671\text{ hPa} = 73067,100\text{ Pa}$ .

Velocidad: El parámetro de velocidad se consideró, a la mitad del parámetro crítico inicial o sea  $50\text{ km/h} = 13,889\text{ m/s}$

Datos:

$$V = 13,889\text{ m/s}$$

$$P = 73067,100\text{ Pa}$$

$$T = 290,986\text{ K}$$

$$L = \text{longitud total de la motocicleta} = 1945\text{ mm} = 1,945\text{ m}$$

El cálculo inicial es el mismo que se realizó en los casos anteriores, para las características del fluido, como es el número de Reynolds, número de Match.

Donde:

$$R_e = 67,778 * v * l$$

$$R_e = 67,778 * 13,889 * 1,945 = 1830,962$$

Por lo tanto con el número de Reynolds obtenido, determinamos que el flujo es laminar.

Número de Match:

$$M = \frac{V}{C}$$

$$C = \sqrt{K * R * T}; K = cte = 1.4$$

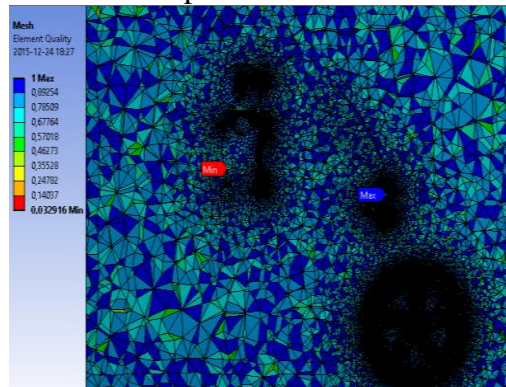
$$C = \sqrt{1,4 * 287_{Kg^{\circ}K} * 290,986^{\circ}K} = 341,933$$

$$M = \frac{V}{C} = \frac{13,889}{341,933} = 0,041 \text{ El fluido es incompresible}$$

### 3.12 Calidad de mallado

Se malló con las mismas consideraciones realizadas anteriormente, para este análisis y simulación aerodinámica se consideró, realizarlo con el carenado frontal propuesto, ya que este posee menor fineza, y sus zonas principales son: faro delantero, neumático delantero, parte frontal del piloto y carenado frontal 2, con un mallado máximo de 1 y un mallado mínimo de 0,032916 como se muestra a continuación en la siguiente figura:

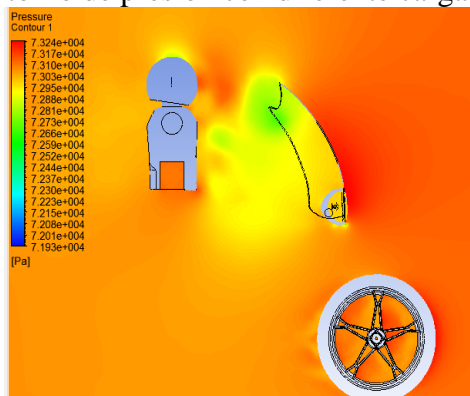
Figura 62. Calidad de mallado para diferentes condiciones mediante DFC.



Fuente: Autor

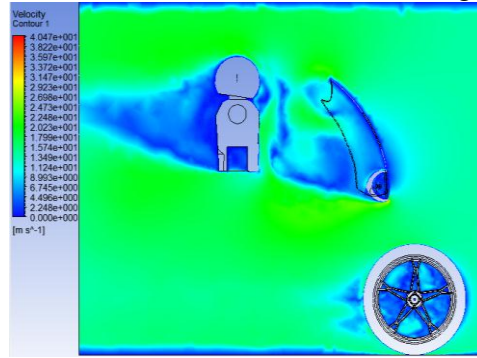
A continuación se muestran los contornos de presión, velocidad, fuerza del Análisis y simulación aerodinámica con diferentes condiciones de, velocidad y carga mediante DFC.

Figura 63. Contorno de presión con diferente carga mediante DFC.



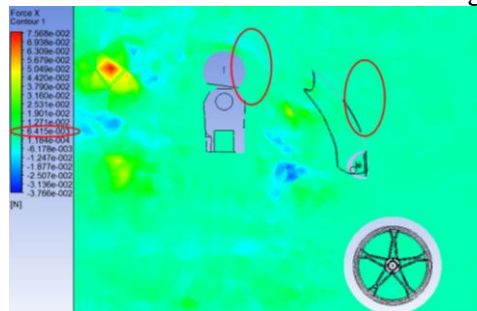
Fuente: Autor

Figura 64. Contorno de velocidad con diferente carga mediante DFC.



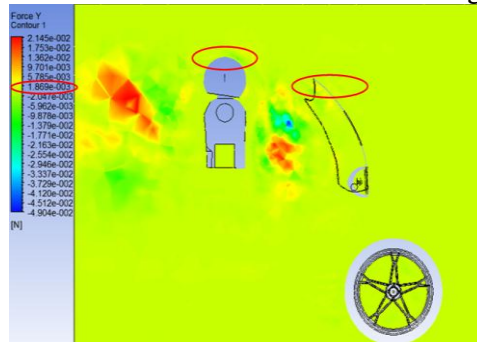
Fuente: Autor

Figura 65. Contorno de la fuerza en X a diferente carga mediante DFC.



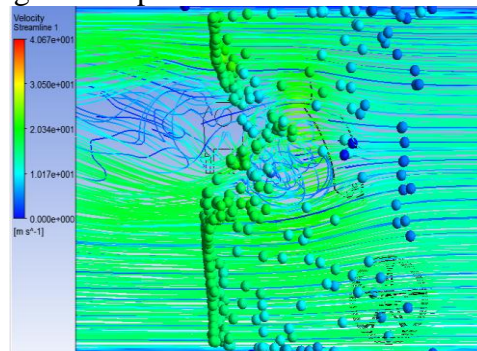
Fuente: Autor

Figura 66. Contorno de la fuerza en Y a diferente carga mediante DFC.



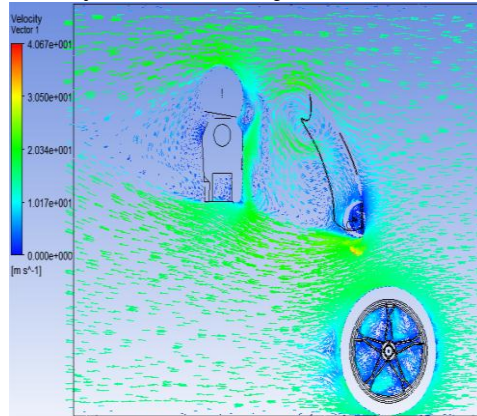
Fuente: Autor

Figura 67. Turbulencia generada por el carenado 2 a diferente carga mediante DFC.



Fuente: Autor

Figura 68. Trayectoria del flujo de aire con carenado 2



Fuente: Autor

El cálculo del análisis y simulación aerodinámica con diferentes condiciones de, velocidad y carga mediante DFC. Se muestra a continuación con las siguientes fuerzas:

$$F_x = F_d = 6,415 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$F_y = F_L = 1,869 \times 10^{-3} \text{ N}$$

Fineza

$$f = \frac{F_L}{F_d} = \frac{C_L}{C_x}$$

$$f = \frac{1,869 \times 10^{-3} * 1,2 \text{ N}}{6,415 \times 10^{-3} * 1,2 \text{ N}} = 0,291$$

Coefficiente de sustentación

$$C_L = \frac{2F_L}{\rho v^2 A}$$

$$C_L = \frac{2 * 1,869 \times 10^{-3} * 1,2}{1,225 * 27,777^2 * 0,905 * 0,7} = 7,491 \times 10^{-6}$$

Coefficiente de arrastre

$$C_x = \frac{2F_d}{\rho v^2 A}$$

$$C_x = \frac{2 * 6,415 \times 10^{-3} - 3 * 1,2}{1,225 * 27,777^2 * 0,905 * 0,7} = 0,026 \times 10^{-3}$$

Potencia absorbida

$$CV \text{ absorbidos por la resistencia} = \frac{C_x * A * V^3}{1225}$$

$$CV \text{ absorbidos por la resistencia} = \frac{0,026 \times 10^{-3} * 0,905 * 27,777^3}{1225}$$

$$= 0,000411 CV = 0,406 \times 10^{-3} Hp$$

Tabla 6. Resultados obtenidos a diferentes condiciones mediante DFC.

Fases del Análisis	Carga $F_Y$ [N]	Resistencia $F_X$ [N]	Fineza $f = F_y/F_x$	Coefficiente de Sustentación $C_L$	Coefficiente de Arrastre $C_x$	Potencia Absorbida [Hp]
Carenado #2	$1,869 \times 10^{-3}$	$6,415 \times 10^{-3}$	0,291	$7,491 \times 10^{-6}$	$0,026 \times 10^{-3}$	$0,406 \times 10^{-3}$

Fuente: Autor

Con una velocidad de 13,889 m/s, se produce una resistencia al avance de  $F_x = 0,006145$  N,  $F_y = 0,001869$  N, dando como resultado una fineza de 0,291 que son valores mucho menores, en comparación con los resultados anteriores en condiciones críticas.

## CAPÍTULO IV

### 4. PROPUESTA DE DISEÑO DEL CARENADO FRONTAL PARA LA MOTOCICLETA.

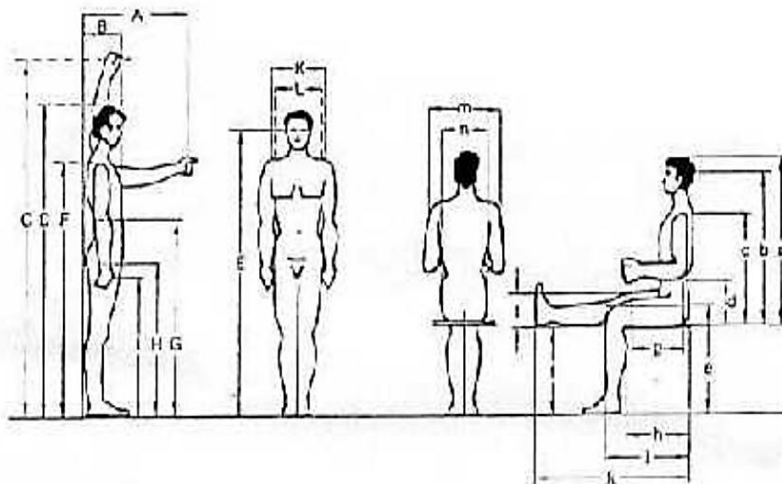
#### 4.1 Aspectos de: Ergonomía, Estabilidad, Espacio disponible.

Ergonomía: Es la adaptación de los medios tecnológicos al hombre, esta tecnología influye directamente en el sistema Hombre-Máquina, el resultado es una perspectiva de evolución centrado en estos dos, creando eficiencia en su desempeño de trabajo.

La postura normal de conducción en una motocicleta Custom es de 90 grados, con una posición cómoda, de todo el cuerpo para evitar cansancio al transitar y distribuir el peso correctamente con la entrepierna y glúteos a cada lado, con las rodillas a los costados del tanque de combustible, los pies deben estar libres para frenar y efectuar cambios de marcha si es necesario, el piloto debe pararse en los apoya pies cuando sea necesario, para evitar transmitir fuerzas a la columna vertebral, debido a condiciones físicas difíciles de la carretera. Con una ligera inclinación hacia abajo permitiendo que los dedos caigan rápidamente optimizando el tiempo de reacción y eficacia de maniobra.

Para identificar la zona crítica de choque entre el aire y la parte frontal del piloto, se diseñó un piloto acorde a una estatura promedio de un hombre ecuatoriano, que varía en un rango de 1,68 m-1,70 m y las medidas corporales, acorde a la norma DIN 33402.

Figura 69. Dimensiones del cuerpo humano según DIN 33402 parte 2 Junio 1981



Fuente: ESPINOZA, Tabango Patricia Soledad p.82



Tabla 7. Dimensiones del cuerpo humano según DIN 33402 parte 2 Junio 1981

Designación	HOMBRES			MUJERES		
	Valor límite inferior	Valor medio	Valor límite superior	Valor límite inferior	Valor medio	Valor límite superior
En posición erguida						
A Alcance hacia delante	662	722	787	616	690	762
B Profundidad del cuerpo parado	233	276	318	238	285	357
C Alcance hacia arriba	1910	2051	2210	1748	1870	2000
D Estatura	1629	1733	1841	1510	1619	1725
E Altura de los ojos parado	1509	1613	1721	1402	1502	1596
F Altura de los Hombros	1349	1445	1542	1234	1339	1436
G Altura de los codos desde el piso	1021	1096	1179	957	1030	1100
H Altura entre piernas	752	816	886	-	-	-
I Altura de la mano	728	767	828	664	738	803
K Ancho de hombros entre acromios	367	398	428	323	355	388
L Ancho de la cadera	310	344	368	314	358	405
En posición de sentado						
a Altura del cuerpo desde asiento	849	907	962	805	857	914
b Altura de los ojos desde asiento	739	790	844	680	735	785
c Altura de los hombros	561	610	655	538	585	631
d Altura de los ojos desde asiento	193	230	280	191	233	278
e Altura de las rodillas	493	535	574	462	500	542
f Largo de pantorrilla a pie	399	442	480	351	395	434
g Distancia de codo a pie de agarre	327	362	389	292	322	364
h Profundidad del cuerpo sentado	452	500	552	426	484	532
i Distancia nalga rodilla	554	559	645	530	587	631
k Distancia nalga pie	964	1035	1125	955	1044	1126
l Espesor del muslo	117	136	157	118	144	173
m Ancho sobre los codos	399	451	512	370	456	544
n Ancho de asiento	325	362	391	340	387	451

Fuente: ESPINOZA, Tabango Patricia Soledad p.82

Tomando la referencia en las cotas corporales de la norma y en posición de sentado, se toma las medidas más relevantes que influyen en este estudio para una persona promedio con estatura de 1,70 m, en la cual se obtuvo las siguientes medidas (FOROS, 2013):

a = Altura del cuerpo desde el asiento = 810 mm

b = Altura de los ojos desde el asiento = 745 mm

m = Ancho sobre los codos = 450 mm

Acorde a estas medidas se diseñaron los carenados, para el espesor del casco se referencio en la ley nacional de tránsito y seguridad vial, N 24.449 Art. 40 J.1.1-Argentina, que reglamentan el uso obligatorio del casco por parte de los motociclistas, mediante la cual recomienda que la cascara exterior dura lisa, con el perfil de la cabeza, y con un relleno amortiguador integral de alta densidad, que lo cubra interiormente, debe ser de un espesor no inferior a veinticinco milésimas de metro 0,025 m = 25 mm, una vez conocido el

espesor mínimo que se debe tomar en cuenta en los cascos, se realizó el análisis y simulación aerodinámica, con un espesor considerable de 50 mm, ya que esto varia en el mercado de acuerdo a su calidad y modelos, para obtener la altura total de diseño, se sumó la altura del cuerpo desde el asiento, más el espesor considerable del casco como se muestra a continuación: (BONAVERA)

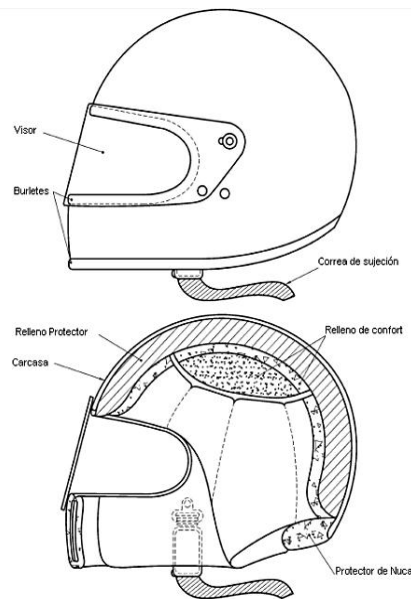
Altura total = altura del cuerpo desde el asiento + espesor considerable del casco.

Altura total = (810+50) mm

Altura total = 860 mm

En las siguientes figuras se muestran algunos tipos de cascos, de acuerdo a la norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 2669, y a modelos existentes en el mercado.

Figura 70. Cascos cerrados



Fuente: Norma técnica Ecuatoriana NTE INEN2669 primera revisión 2014-xx p.3

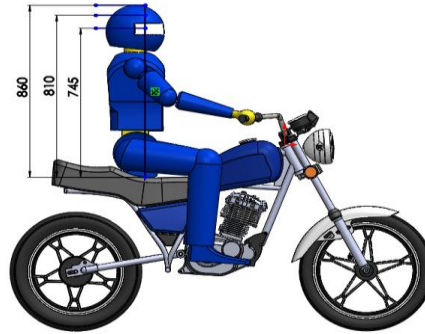
Figura 71. Modelo de un casco de protección.



Fuente: <http://www.preciolandia.com/mx/casco-icon-moto-airmada-gloss-rojo>.

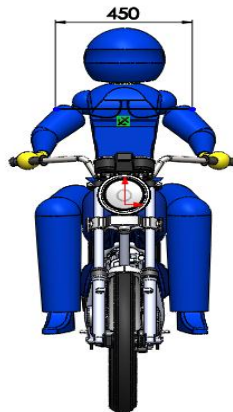
Una vez que se analizó, el espesor del casco, y la altura correspondiente del piloto, se muestra a continuación las dimensiones consideradas, para el análisis y simulación aerodinámica de la motocicleta, así como también para el diseño de los carenados.

Figura 72. Alturas correspondientes para el diseño de los carenados



Fuente: Autor

Figura 73. Ancho entre codos



Fuente: Autor

Estabilidad: Esta se crea cuando entra en movimiento el conjunto piloto-motocicleta, inicialmente parte de un fenómeno llamado precesión giroscópica, este fenómeno se produce cuando actúa inicialmente una fuerza externa hasta vencer la inercia, cuando las ruedas se dotan de velocidad aumenta la inercia en una dirección.

Hoy en día las motocicletas de gran rendimiento cuentan con un sistema MSC (Motorcycle Stability Control), control de estabilidad para motocicletas, fue ideado por Bosch para ayudar a mantener la estabilidad en las diferentes condiciones de terreno, al frenar, acelerar y curvar este sistema registra constantemente las condiciones relevantes como el número de revoluciones de los neumáticos, inclinación, ángulo de cabeceo, aceleración, presión de frenado, entre otros parámetros más, actuando de manera rápida

en condiciones críticas, evitando que las ruedas se bloqueen o resbalen en curvas, la presión de frenado es distribuida de forma óptima hacia los dos neumáticos incluso solo con el accionamiento de un freno, este sistema ofrece al conductor seguridad a altas velocidades, manteniendo los neumáticos firmes sobre la calzada.

Figura 74. Tecnología Bosch de frenado para mejorar la seguridad en motos



Fuente: <http://www.motorpasionfuturo.com/ayudas-a-la-conduccion/tecnologia-bosch>

Espacio disponible y condiciones externas: El diseño del carenado frontal se realizó, tomando en cuenta que sea fácil el anclaje para las bases, ya que la parte frontal ofrece buena disponibilidad tanto de ancho como de alto, un carenado más ancho tendera a proteger toda la zona delantera del piloto, ya sea de impurezas existentes en el aire o lluvia, si el carenado es más alto desviara el aire por encima de la cabeza del piloto, esto también se lo puede lograr con el incremento o decremento del ángulo de ataque, y de la forma aerodinámica que tome, esto influirá dentro de las condiciones externas ya que si más aerodinámico es un elemento, menor será la turbulencia y también el consumo de combustible.

Figura 75. Modelo de un carenado frontal





Fuente: <http://masgasmotos.blogspot.com/2014/08/tecnicas-de-conduccion.html>

## 4.2 Diseño de carenado frontal 1.

Para el diseño de los carenados frontales, se tomó como una referencia realizar un estudio de algunos modelos de carenados existentes, para motocicletas de paseo como se muestra a continuación.

Tabla 8. Análisis de ventajas y desventajas de algunos carenados existentes

Carenados	Ventajas	Desventajas
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es ligero</li> <li>- Es transparente</li> <li>- Posee dimensiones pequeñas</li> <li>- Posee bases de acoplamiento ligero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No posee ninguna forma Aerodinámica</li> <li>- Debido a la geometría pequeña el aire, impurezas y lluvia choca directamente con la parte frontal del piloto.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es ligero</li> <li>- Posee bases de acoplamiento ligero</li> <li>- Posee una ligera forma aerodinámica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En el caso de lluvia no protege los hombros del piloto</li> <li>- Es ligeramente opaco</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es ligero</li> <li>- Posee una ligera forma aerodinámica</li> <li>- Las bases de acoplamiento son ligeras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Por la geometría pequeña el aire, impurezas, lluvia choca directamente con la parte frontal del piloto.</li> <li>- Es opaco</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es ligero</li> <li>- Posee curvas aerodinámicas</li> <li>- Tiene una estética deportiva</li> <li>- Posee bases de acoplamiento ligero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Debido a la geometría un tanto cerrada genera turbulencia</li> <li>- Es opaco</li> <li>- Debido a la geometría pequeña el aire, impurezas, lluvia choca con la parte frontal del piloto.</li> </ul>

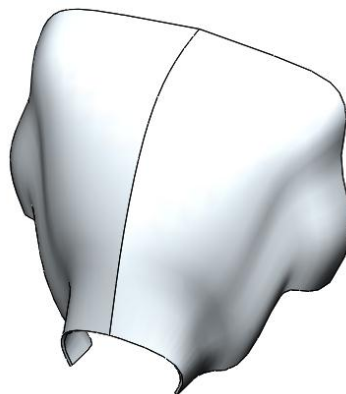
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es ligero</li> <li>- Posee un aspecto deportivo</li> <li>- Posee una ligera forma aerodinámica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las bases de acoplamiento son rusticas.</li> <li>- No es transparente</li> <li>- Debido a la geometría pequeña el aire, impurezas, lluvia choca con la parte frontal del piloto.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es ligero</li> <li>- Posee curvas aerodinámicas</li> <li>- Tiene una estética deportiva</li> <li>- Posee bases de acoplamiento ligero</li> <li>- Es transparente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La forma aerodinámica horizontal creara mayor resistencia al avance</li> <li>- No protege en su totalidad la parte frontal de impurezas, lluvia, ya que no tiene altura suficiente.</li> </ul>

Fuente: Autor

En base a los modelos, ventajas y desventajas descritas anteriormente, se diseño dos alternativas de carenados, con variación en los modelos aerodinámicos, haciendo que el diseño sea ligero, y cubra toda la parte frontal del piloto, y a la vez ocupe un espacio mínimo, con un ancho y alto considerable que pueda cubrir la parte de los hombros, y la parte frontal del piloto.

El primer diseño se realizó haciendo uso de la herramienta superficies complejas, planos en 3D y simetría como se muestra a continuación:

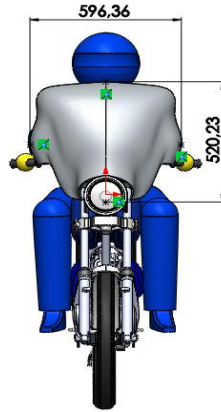
Figura 76. Diseño del carenado Frontal 1



Fuente: Autor

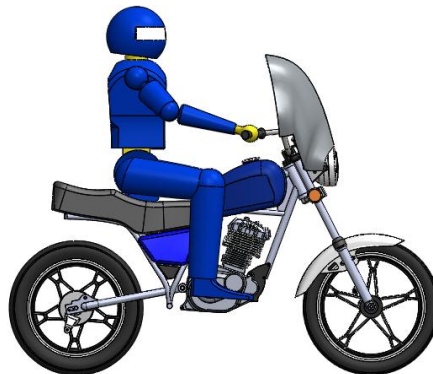
Este modelo cubre en su totalidad toda la parte delantera con un ancho de 596.36 mm y un alto de 520.230 mm, el cual no cubre la parte delantera de la cabeza del piloto como se muestra en la siguiente figura.

Figura 77. Vista previa de la motocicleta con el carenado frontal 1



Fuente: Autor

Figura 78. Vista lateral derecha de la motocicleta con el carenado frontal 1



Fuente: Autor

En la siguiente figura renderizada se puede observar las curvas aerodinámicas, que posee el carenado frontal 1.

Figura 79. Curvas aerodinámicas del carenado frontal 1

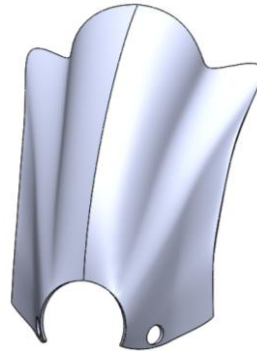


Fuente: Autor

### 4.3 Diseño del carenado frontal 2.

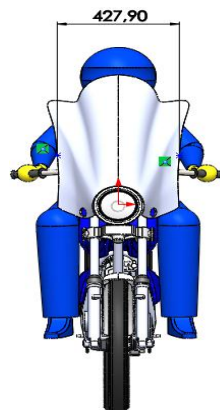
El carenado frontal 2 se realizó optimizando el diseño del carenado anterior, cubriendo toda la parte delantera del piloto, con un ancho de 427,90 mm, y su altura llega hasta un nivel aproximado de los ojos de 745 mm, con una forma aerodinámica deportiva, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 80. Diseño del carenado frontal 2



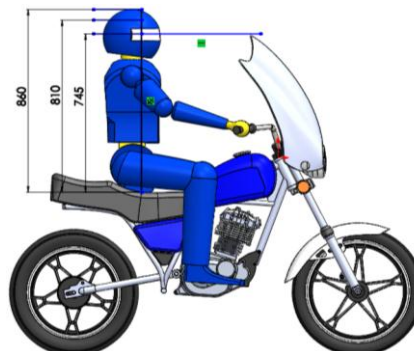
Fuente: Autor

. Figura 81. Vista previa de la motocicleta con el carenado frontal 2



Fuente: Autor

Figura 82. Vista lateral derecha de la motocicleta con el carenado frontal 2



Fuente: Autor



En la siguiente figura renderizada se puede observar las curvas aerodinámicas del carenado frontal 2

Figura 83. Curvas aerodinámicas del carenado frontal 2

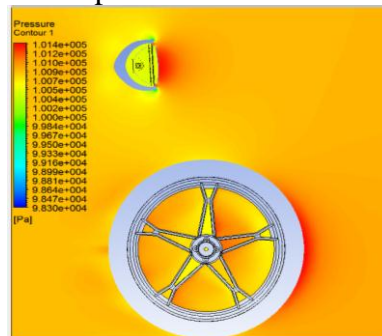


Fuente: Autor

#### 4.4 Análisis comparativo de la motocicleta con y sin carenado frontal

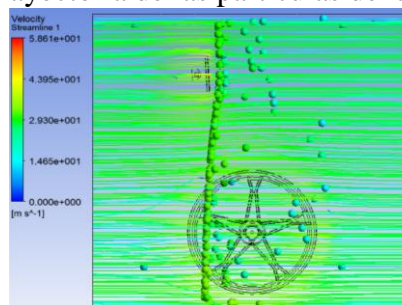
Como se puede observar en la siguiente figura, el aire pasa directamente bañando toda la motocicleta, con una resistencia mínima al avance o  $F_x = 0,00128$  N, con una fineza igual a 0,113 y con una presión crítica ubicada en el faro delantero y neumático delantero de  $1,014 \times 10^5$  Pa.

Figura 84. Contorno de presión de la simulación aerodinámica 1



Fuente: Autor

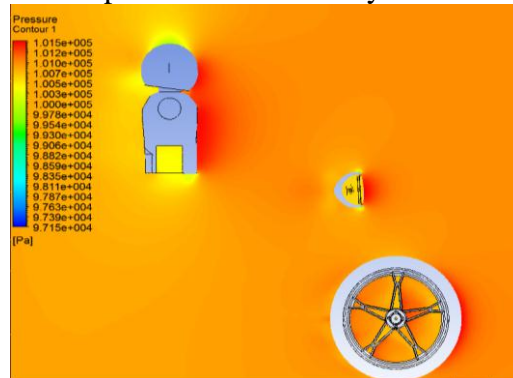
Figura 85. Trayectoria de las partículas de la simulación 1



Fuente: Autor

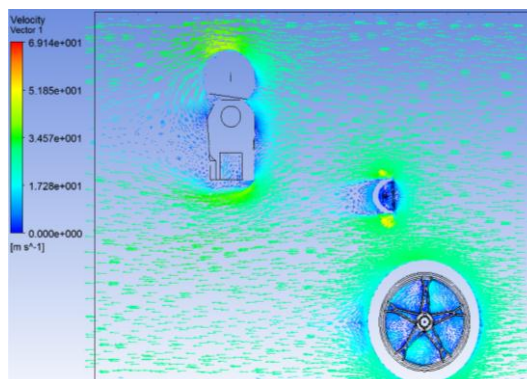
En el segundo Análisis y simulación aerodinámica, se observa que el fluido choca directamente con la parte frontal del piloto, con un incremento de resistencia al avance,  $F_x = 1,445 \times 10^{-2}$  N, y fineza igual a 0,634, produciendo una y presión crítica de  $1,015 \times 10^5$  Pa, en la zona frontal del piloto, faro delantero y neumático delantero tenemos las siguientes figuras:

Figura 86. Contorno de presión del Análisis y simulación aerodinámica 2



Fuente: Autor

Figura 87. Trayectoria de las partículas de aire, sin carenado

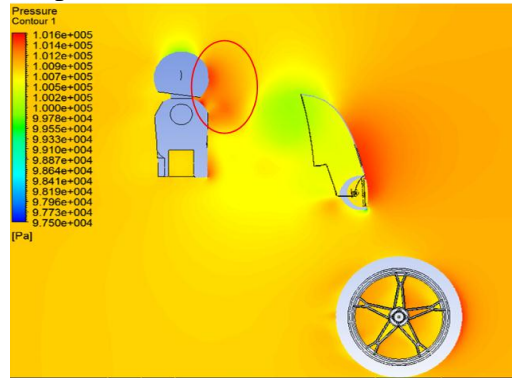


Fuente: Autor

En el tercer análisis y simulación aerodinámica, se puede observar que el carenado frontal 1 desvía el aire hacia los costados, pero debido a que no tiene una altitud adecuada el aire continúa chocando directamente con la cabeza del piloto, generándose una resistencia al avance de,  $F_x=1,286 \times 10^{-2}$  N, con una fineza de 0,751, y una presión crítica en la parte frontal del casco del piloto, carenado y neumático delantero de valor  $1,016 \times 10^5$  Pa.

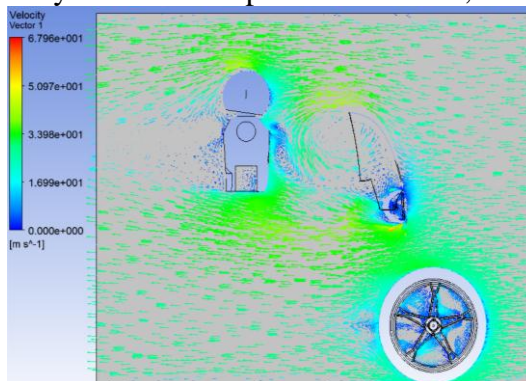
Además se puede notar claramente que se genera una turbulencia en la zona frontal del piloto, y parte interna del carenado como se muestra en las siguientes figuras:

Figura 88. Contorno de presión de la simulación aerodinámica 3, con carenado 1



Fuente: Autor

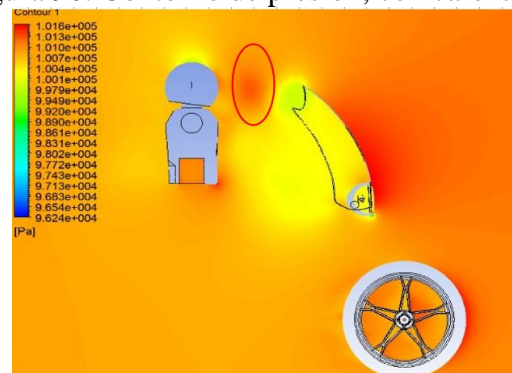
Figura 89. Trayectoria de las partículas de aire, con carenado 1



Fuente: Autor

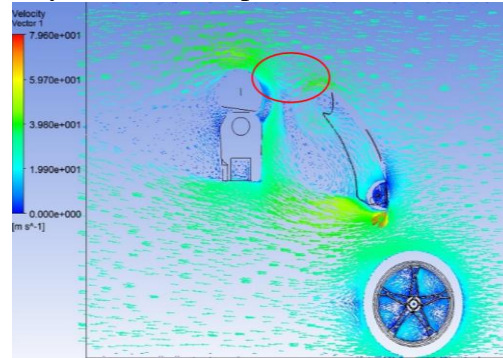
En el cuarto análisis y simulación aerodinámica con carenado frontal 2, se observa que la presión en la zona frontal del casco del piloto es mínima, con un valor igual a  $1,010 \times 10^5$  Pa, y el valor máximo de presión se ubica en la zona del carenado frontal, con un valor igual a  $1,016 \times 10^5$  Pa, con una resistencia con un valor igual a  $F_x = 9,802 \times 10^{-3}$  N, y fineza igual a 0,573 como se demuestra claramente en la siguientes figuras:

Figura 90. Contorno de presión, con carenado 2



Fuente: Autor

Figura 91. Trayectoria de las partículas con carenado frontal 2



Fuente: Autor

#### 4.5 Propuesta de carenado frontal

A partir de los comportamientos aerodinámicos, visualizados, analizados en los contornos anteriores, y en función de los resultados obtenidos en la tabla anterior, se realizó la propuesta de un carenado frontal, siendo el más óptimo el carenado frontal 2, ya que desvía el aire por encima de la cabeza del piloto, a excepción de la zona marcada con el círculo rojo de la Fig. 91 donde, la trayectoria de las partículas de aire decaen ligeramente, pero esto se corrige con la posición de conducción, cuando el piloto inclina su cuerpo y cabeza un ángulo aproximado de 5 a 8 grados, hacia adelante por comodidad, porque conducir todo el tiempo con una posición estática de 90 grados resulta cansado.

No genera presiones altas alrededor del casco en la parte frontal del piloto, a diferencia del carenado frontal 1, que genera presión en esta zona, la fuerza de resistencia al avance es mínima comparada con la fuerza de avance del carenado frontal 1, posee una menor fineza en comparación con la fineza de la motocicleta-piloto, y motocicleta-piloto-carenado frontal 1 respectivamente.

Una vez seleccionado el carenado más óptimo aerodinámicamente, se seleccionó el material adecuado, para el carenado frontal, tomando en cuenta algunos factores como, la facilidad de encontrar el material en el país, (Ecuador) costo, además diseñar la forma de sujeción de las bases, entre el carenado y la motocicleta, pernos, abrazaderas, platinas tuercas, etc.

Estas motocicletas por lo general son ligeras, y para obtener mayor ligereza se pueden emplear principalmente el plástico o acrílico, y estos dependen de algunos factores como:

- Resistencia a la tracción
- Resistencia a la compresión
- Costo
- Conformado
- Peso
- Accesibilidad
- Durabilidad
- Si es transparente o no

Acrílico: El polimetilmetacrilato o metacrilato PMMA, es un acrílico obtenido de la polimerización del metacrilato de metilo, este material es fácil de trabajar posee buena resistencia al impacto, es moldeable por calentamiento, excelente tolerancia a rigores de radiación ultravioleta e intemperie, 5% más transparente que el vidrio común, peso liviano, aísla el calor y el ruido, estas laminas también pueden ser moldeadas en frío.

Las rayaduras que se producen en la superficie se las puede reparar, es fácil de limpiar, es el mejor de los plásticos transparentes, es reciclable y este puede ser nuevamente polimerizado como un producto de calidad inferior tiene una resistencia a la tracción de 72 MPa y un módulo de elasticidad de 3300 MPa (BOVE-AG)

Plásticos: Son compuestos constituidos por moléculas que forman estructuras muy resistentes, que permiten el moldeo mediante presión y calor, los plásticos se caracterizan por tener excelentes propiedades para el aislamiento térmico, y eléctrico, buena resistencia a los ácidos, no es recomendable utilizarlos en temperaturas elevadas, poseen baja densidad.

Son fáciles de trabajar y moldear, son resistentes a la corrosión, tienen bajo costo, los plásticos comerciales sin plastificar, ni llevar fibras poseen de 14 hasta 140GPa, presentan ligereza de peso y es reciclable. (GARAVITO, 2007 pág. 8)

Polycarbonato (PC): El polycarbonato nace de un experimento de poliéster y fosgeno gaseoso, fue registrado con el nombre comercial de Makrolon, es fácil de trabajar moldear, termo formar, es transparente, buena resistencia a impactos, buen comportamiento frente a temperaturas relativamente elevadas.

Tiene variadas aplicaciones como sustituto del vidrio, en numerosas aplicaciones como en el campo automovilístico, telecomunicaciones etc. Posee un módulo de tracción de 2,3-2,4 GPa, y resistencia a la tracción de 55-75 MPa. (BLOG, 2011)

Como se puede observar en la tabla el material más conveniente para el carenado propuesto es el Acrílico, tomando en cuenta algunas características como:

Es un material ligero, Fácil de conseguir en el país, 100% reciclable, posee 5% de transparencia que un vidrio normal, es fácil de moldear en frío.

Tabla 9. Selección del material adecuado para el carenado frontal propuesto.

<b>Material</b>	<b>Resistencia a la Tracción (GPa)</b>	<b>Costo</b>	<b>Conformado</b>	<b>Peso</b>	<b>Accesibilidad</b>
Acrílico	0,072GPa	42\$ el $m^2$	Fácil	Ligero	Fácil
Plástico	14-140GPa	50\$ el $m^2$	Difícil	Medio	Media
Policarbonato PC	55-75 MPa	60\$ el $m^2$	Medio	Liviano	Media

Fuente: Autor

Como se puede observar en la tabla el material más conveniente para el carenado propuesto es el Acrílico, tomando en cuenta que es un material ligero, Fácil de conseguir en el país, 100% reciclable, posee 5% de transparencia que un vidrio normal, es fácil de moldear en frío.

Para una persona que transita a diario en una motocicleta, reemplazarlo por un carenado nuevo cada dos años dependiendo del uso, el costo es insignificante, además es favorable ya que con este se obtiene buenos resultados, como la protección de impurezas en el aire, y sobre todo cuando las condiciones de circulación en invierno son difíciles, protegiendo toda la parte delantera del piloto de la lluvia.

Para el montaje de las bases inferiores, con el manillar de la motocicleta, se utilizó barras ligeras de aluminio, 5/16 de plg, de diámetro con un dobléz variable. Esta se acopla, a un soporte PLT 30X12, que es mecanizado, y este a la vez, se acopla a una abrazadera de diámetro 7/8 de plg, que se acopla al manillar y se ajusta con un perno M10-1,5X50, y una tuerca M10-1,5x8 seleccionadas por catálogo.

Una vez realizado el montaje de las bases inferiores con el manillar, se montan el carenado y los soportes PLT 30X12, que son mecanizados, y estos articulan a las barras de aluminio.

Un esparrago M10-1,5x60, traspasa por la perforación realizada en la parte superior del carenado, uniendo los soportes PLT 30X12 y el carenado, por la parte exterior se sujeta, con una tuerca de sombrerete M10-1,5x10,37 y por la parte interna se ajusta con, una tuerca M10-1,5x8 estos fueron seleccionados por catálogo.

Para el montaje inferior de las bases, se realizó un acople a la Cabeza Stem Dirección, mediante una platina de 1 plg de largo por un espesor de 5 mm, y una varilla doblada de 5/16 plg de diámetro, con el mismo tipo de soporte mecanizado anteriormente, con los mismos espárragos y tuercas de los acoples anteriores, que sujetan al carenado por la parte inferior.

Cabe resaltar que hay que sustituir el perno de ajuste original de la Cabeza Stem Dirección, por otro de más longitud, ya que aquí se acopla la platina de espesor 5 mm, en las siguientes figuras se muestran los respectivos montajes de las bases, con el carenado frontal 2 y material de acrílico.

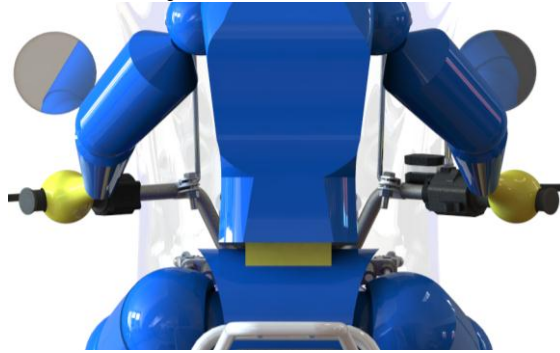
El momento de realizar el montaje es recomendable, extraer los direccionales delanteros de la motocicleta, y montarlos al final ya que el carenado en su modelo tiene, orificios laterales para el montaje de los direccionales.

Figura 92. Vista frontal del montaje bases-carenado



Fuente: Autor

Figura 93. Montaje de las bases inferiores al manillar



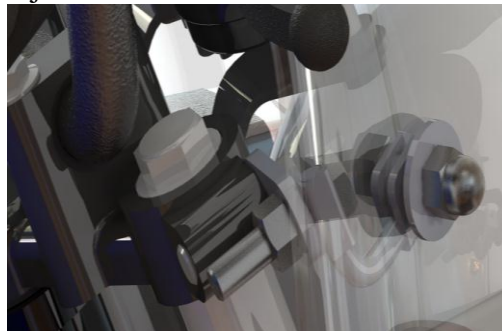
Fuente: Autor

Figura 94. Unión de los soportes y el carenado



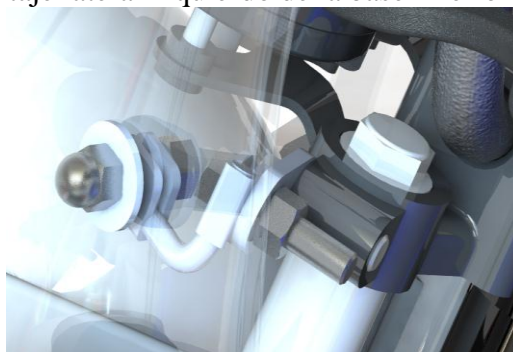
Fuente: Autor

Figura 95. Montaje lateral derecho de la base inferior con el carenado.



Fuente: Autor

Figura 96. Montaje lateral izquierdo de la base inferior con el carenado



Fuente: Autor



Figura 97. Vista trimétrica de la motocicleta con el carenado frontal propuesto.



Fuente: Autor

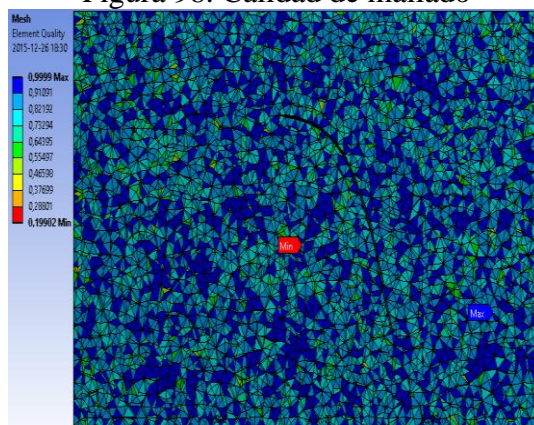
## 4.6 Validación de carenados

**4.6.1 Validación del carenado frontal 1.** La validación de carenados se realizó con el fin de determinar la deformación total, esfuerzos y factor de seguridad, haciendo uso del mismo software Ansys Fluent, donde inicialmente se determina la presión total y posterior a esto la presión será transferida al paquete de datos Static Structural en el mismo software.

Calidad del mallado. Fue necesario mallar con una tolerancia de 0,028 m ya que esta nos permite tener mejor calidad en el diseño como se podrá notar claramente en la siguiente figura.

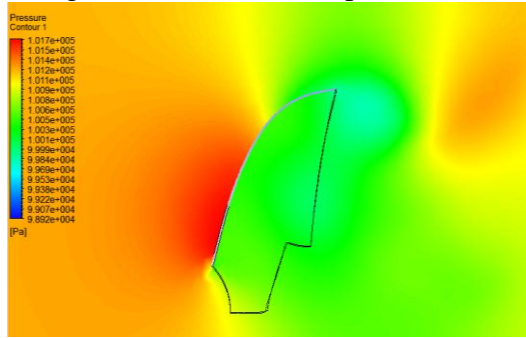
Para lograr una calidad de malla aceptable donde el valor máximo es de 0,9999 y un valor mínimo de 0,19902 que es insignificante.

Figura 98. Calidad de mallado



Fuente: Autor

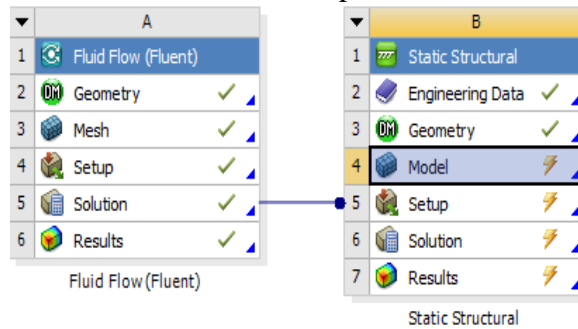
Figura 99. Contorno de presión total



Fuente: Autor

La presión total será transferida al paquete de datos Static Structural para su respectivo análisis como se muestra a continuación en la siguiente figura.

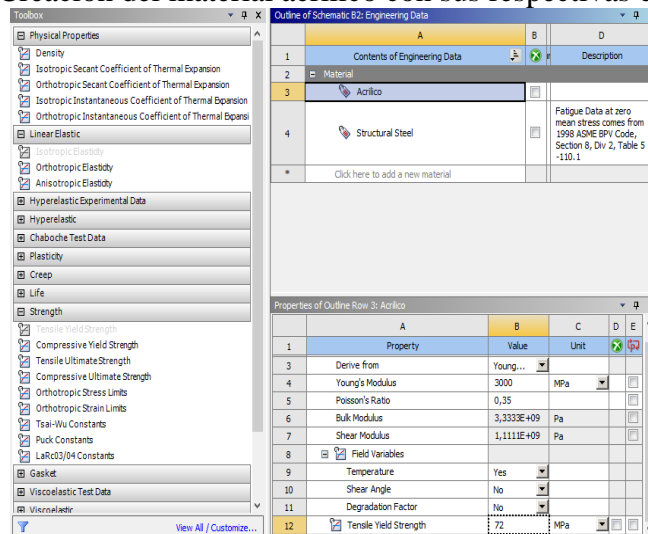
Figura 100. Transferencia de la presión a Static Structural



Fuente: Autor

Fue necesario crear el material acrílico con sus respectivas características mecánicas, ya que no se encontró dentro de los demás materiales disponibles en este paquete.

Figura 101. Creación del material acrílico con sus respectivas características.



Fuente: Autor

En la siguiente figura se muestra, la calidad de malla, aplicada al carenado frontal 1 para el análisis de la deformación total, esfuerzo máximo y factor de seguridad.

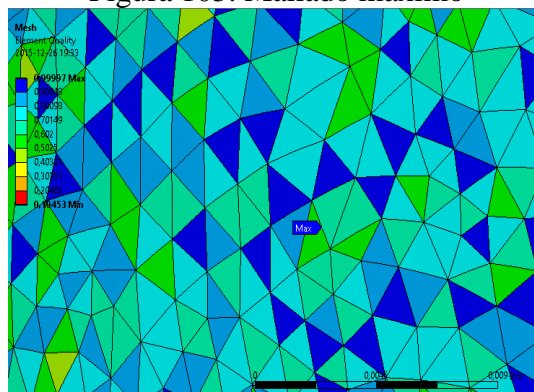
Figura 102. Calidad de mallado del carenado frontal 1



Fuente: Autor

En la siguiente figura se observa la calidad de mallado máximo de 0,99997

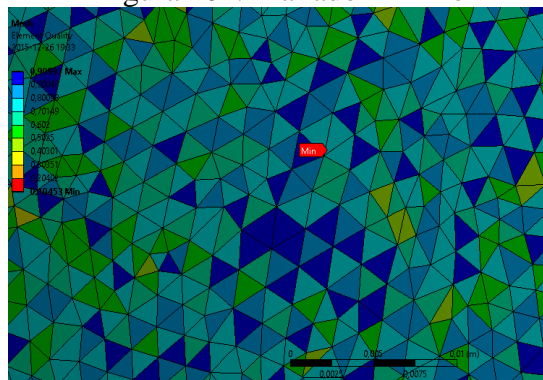
Figura 103. Mallado máximo



Fuente: Autor

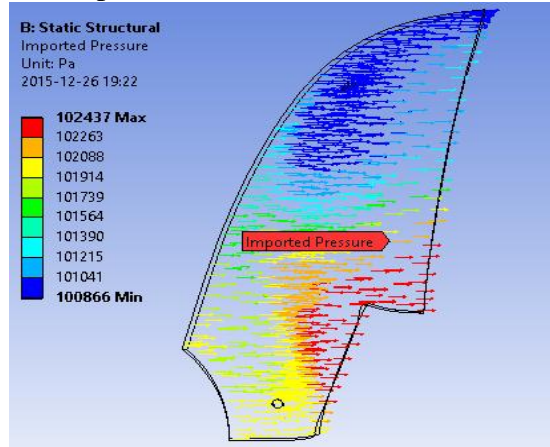
En la siguiente figura se observa la calidad de mallado mínimo de 0,10453

Figura 104. Mallado mínimo



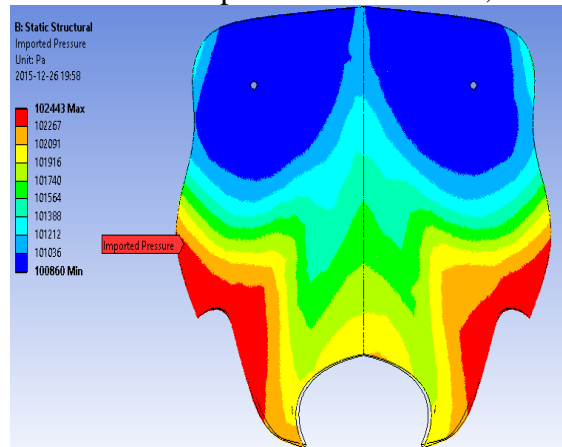
Fuente: Autor

Figura 105. Presión importada sobre la cara exterior del carenado frontal 1.



Fuente: Autor

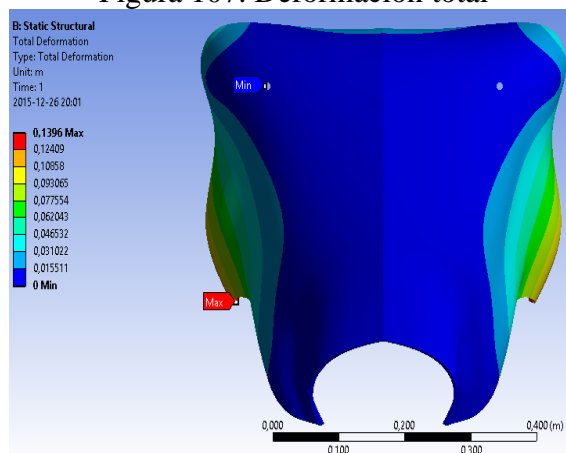
Figura 106. Diferentes zonas de presión sobre la cara, del carenado frontal 1



Fuente: Autor

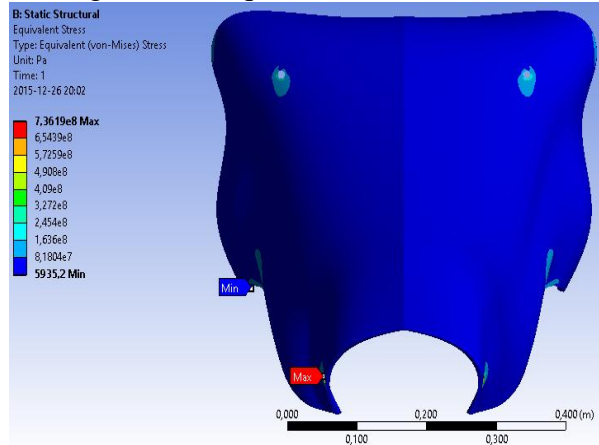
En la siguiente figura se observa que la deformación total es de 0,1396 m, en la parte inferior posterior del carenado.

Figura 107. Deformación total



Fuente: Autor

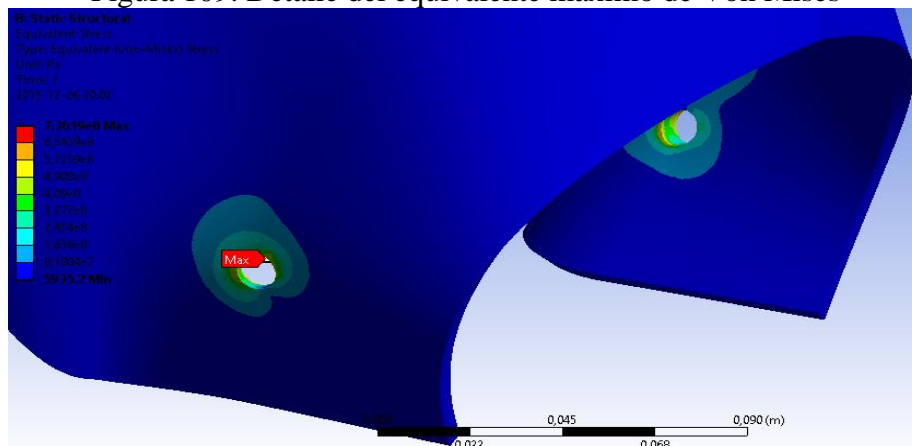
Figura 108. Equivalente de Von Mises



Fuente: Autor

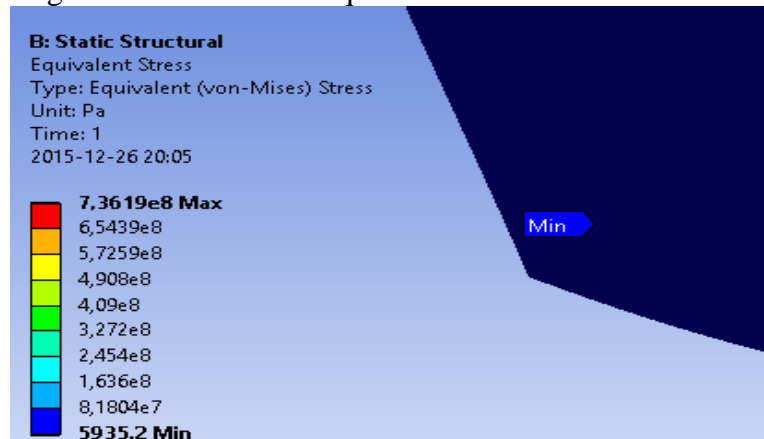
En la siguiente figura se observa que el esfuerzo máximo, se encuentra ubicado en los orificios delanteros de sujeción al carenado con un valor de  $6,5439 \times 10^8$  Pa.

Figura 109. Detalle del equivalente máximo de Von Mises



Fuente: Autor

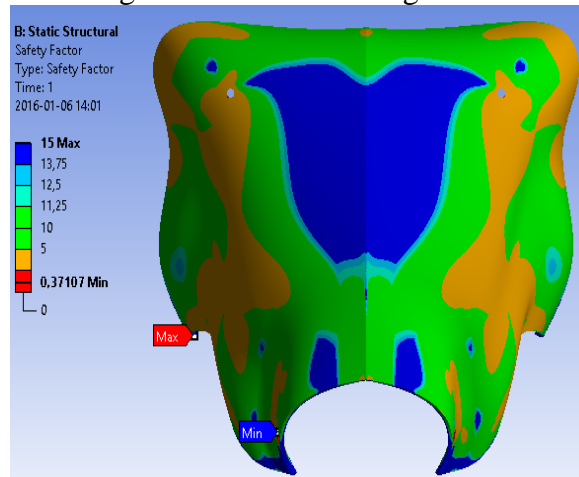
Figura 110. Detalle del equivalente mínimo de Von Mises



Fuente: Autor

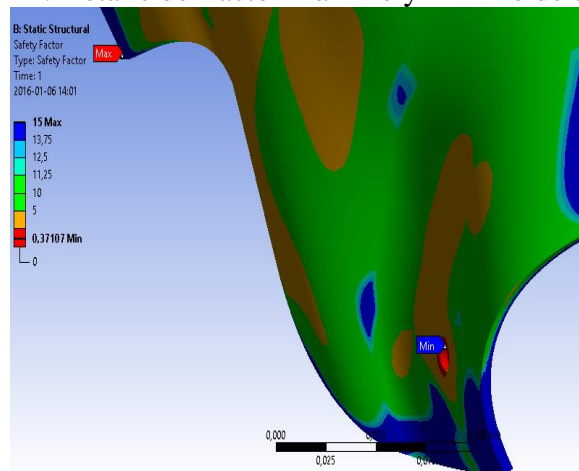
En las siguientes figuras se observa el factor de seguridad y el detalle del factor de seguridad máximo y mínimo del carenado frontal 1 respectivamente, donde se observa que el factor de seguridad mínimo está ubicado en los orificios de sujeción, con un valor de 0,371 y un valor máximo de 15 que indica, que el carenado está sobredimensionado.

Figura 111. Factor de seguridad.



Fuente: Autor

Figura 112. Detalle del factor máximo y mínimo de seguridad

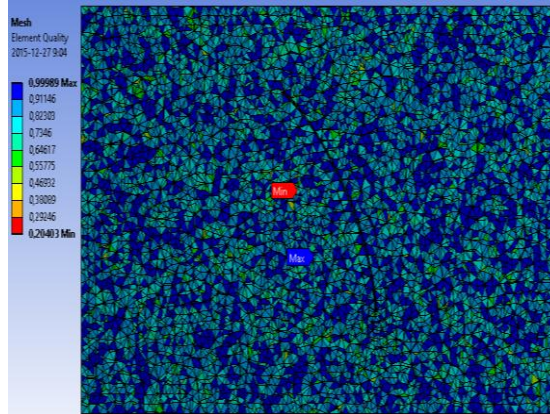


Fuente: Autor

**4.6.2 Validación del carenado 2.** Para la validación del carenado 2 se repiten los pasos anteriores y se realiza el análisis de la misma manera.

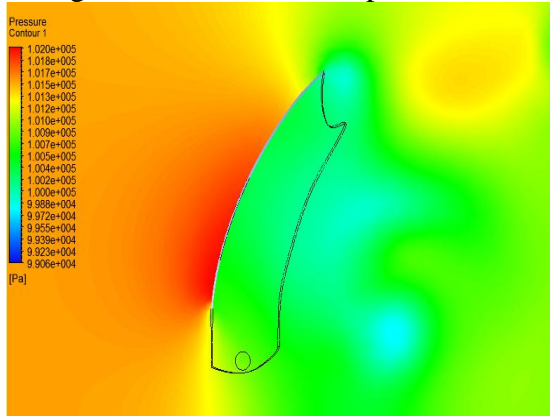
**4.6.2.1 Calidad del mallado.** Como se muestra en la siguiente figura, se realizó el mallado con la misma tolerancia de mallado del carenado anterior con una tolerancia de 0,028 donde el valor máximo es de 0,99997 y un valor mínimo de 0,17618 que no es relevante.

Figura 113. Calidad de mallado



Fuente: Autor

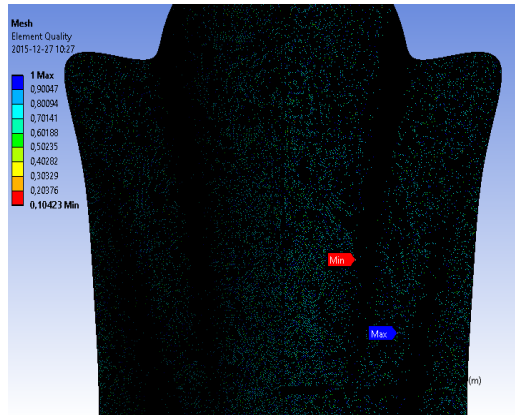
Figura 114. Contorno de presión total



Fuente: Autor

La presión total se transfirió de la misma manera que en el caso anterior, así como también nuevamente se creó el material acrílico, en el paquete de datos Static Structural respectivamente. En la siguiente figura se muestra la calidad de mallado aplicado al carenado, con una tolerancia de 0,001m.

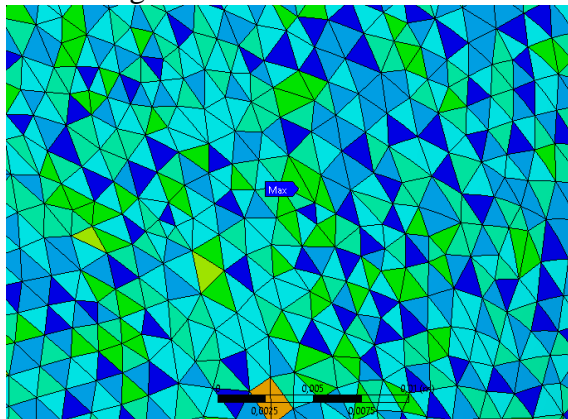
Figura 115. Calidad de mallado del carenado frontal 1



Fuente: Autor

En la siguiente figura se observa, que la calidad máximo de mallado es de 1

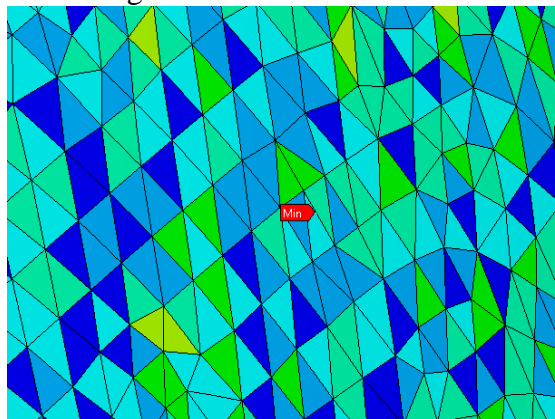
Figura 116. Mallado máximo



Fuente: Autor

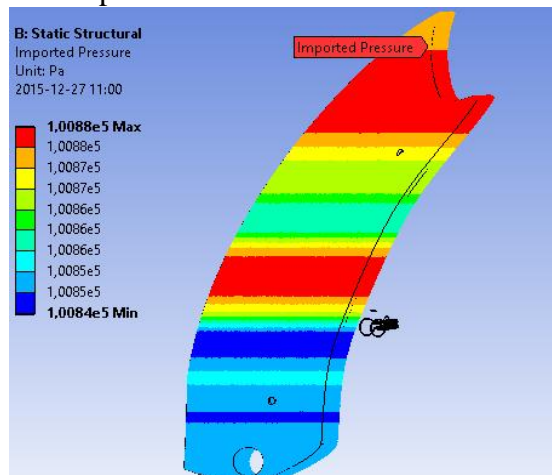
En la siguiente figura se observa, que la calidad mínima de mallado es de 0,104

Figura 117. Mallado mínimo



Fuente: Autor

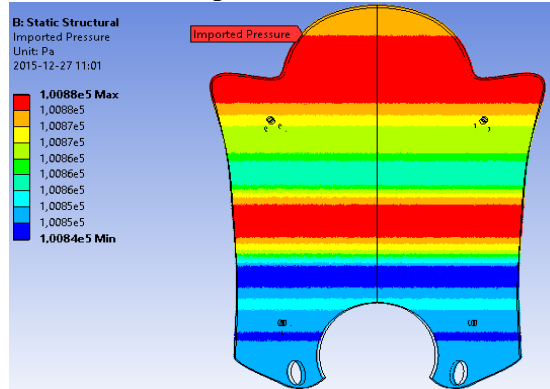
Figura 118. Presión importada sobre la cara exterior del carenado frontal 1.



Fuente: Autor



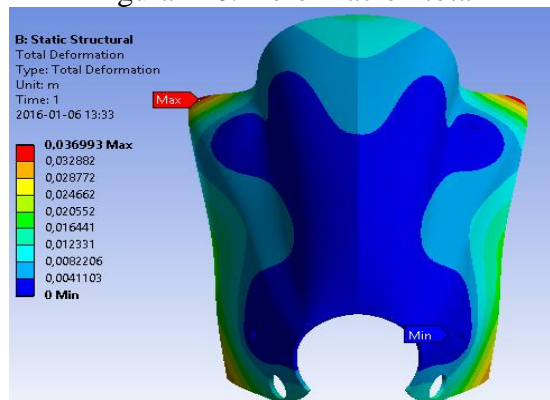
Figura 119. Diferentes zonas de presión sobre la cara del carenado frontal 1.



Fuente: Autor

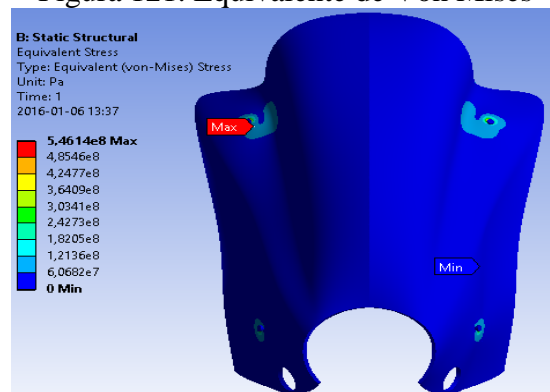
En la siguiente figura, se puede observar que se produce una deformación máxima, en una pequeña parte de los de los extremos superiores del carenado, con un valor de 0,0368 m, y toda la zona central que impacta con el aire presenta una deformación de 0 m, y en la parte superior del carenado una deformación de 0,0163 m, esto representa con los parámetros más críticos.

Figura 120. Deformación total



Fuente: Autor

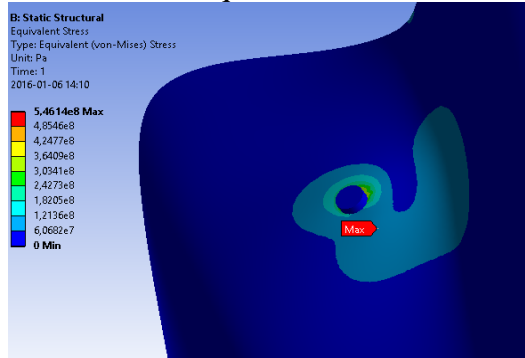
Figura 121. Equivalente de Von Mises



Fuente: Autor

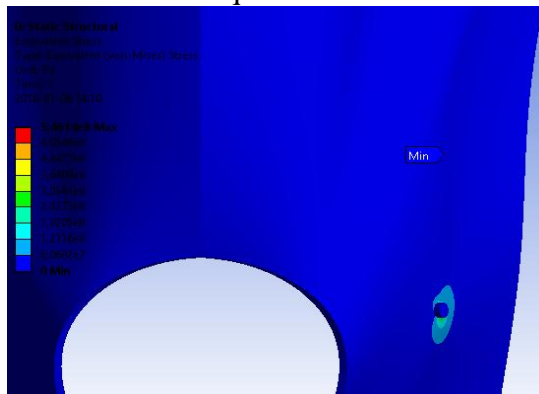
En la siguiente figura se observa que el esfuerzo máximo, se encuentra ubicado alrededor de los orificios de sujeción con las bases, con un valor de  $1,555 \times 10^8$  Pa que no es un valor preponderante en comparación con el carenado anterior.

Figura 122. Detalle del equivalente máximo de Von Mises



Fuente: Autor

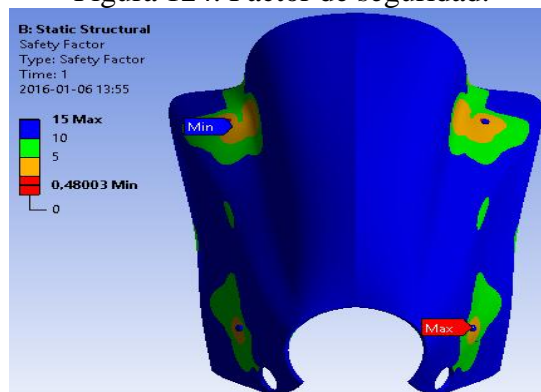
Figura 123. Detalle del equivalente mínimo de Von Mises



Fuente: Autor

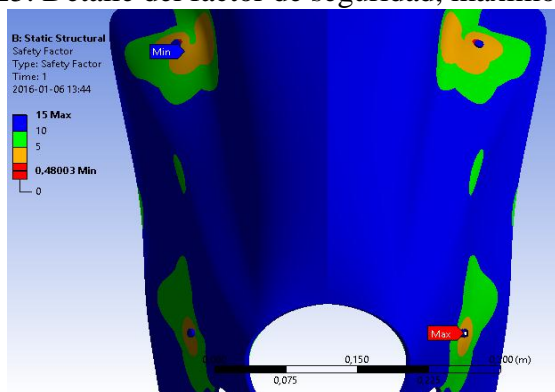
En la siguiente figura se puede observar el factor de seguridad mínimo de 0.102, del carenado 2, está ubicado en las zonas más críticas de sujeción con las bases.

Figura 124. Factor de seguridad.



Fuente: Autor

Figura 125. Detalle del factor de seguridad, máximo y mínimo



Fuente: Autor

Al realizar la comparación de los resultados obtenidos de la deformación total, equivalente de Von Mises, y factor de seguridad, se aprecia que el carenado frontal 2, posee mejores características mecánicas de diseño ya que la carga ejercida por el viento sobre el carenado se distribuye de mejor manera.

Tabla 10. Validación del diseño de los carenados

Carenados	Material	Deformación Total [m]	Esfuerzo Máximo [Pa]	Factor de Seguridad
Carenado frontal 1	Acrílico	0,1396	7,361x10+8	5
Carenado frontal 2	Acrílico	0,0369	5,46x10+8	10

Fuente: Autor

#### 4.7 Estudio de mercado

En los últimos años el cambio de la matriz productiva de Ecuador, ha sido un punto crítico donde el gobierno nacional ha puesto su mayor enfoque, con el afán de impulsar el desarrollo tecnológico, y poder construir e importar un producto nacional bajo normas y estrictos estándares de calidad, siendo una de ellas las ensambladoras de motocicletas, la mayor parte de motocicletas que circulan en el país cuentan con, un 15% de componentes nacionales en su ensamblaje, aunque la asociación de empresas ensambladoras de motos aseguran que aún existen empresas que ensamblan las motos con más del 90% de piezas importadas, el gobierno propone que las empresas utilicen en su mayoría piezas elaboradas en el país, en tanto la empresa Motofacil, dio a conocer que una moto posee el 15% de sus piezas elaboradas en el Ecuador. Así lo confirmó el gerente comercial de la compañía, Marco Veintimilla, la parrilla deportiva, el basculante reforzado, las patas de apoyo y el volante, que son fabricadas en el país. Por su parte el presidente de la

asociación de empresas ensambladoras de motos Oswaldo Landázuri, aseguro que llegar a implementar el 20% de piezas nacionales en el 2015, representa un reto para las compañías, y además espera que el gobierno respete el plazo que se les han otorgado (NACION, 2014).

La preocupación del sector por alcanzar este año un porcentaje mayor de componente local es sustentada. La falta de proveedores locales hace que para las ensambladoras el tema quede por ahora en buenas intenciones. En Ecuador 5 empresas fabrican volantes, parrillas, protectores de motor, baterías, adhesivos, asientos y otros accesorios pero no hay llantas ni bases de los asientos, lo que genera molestias en el proceso de armado expreso Francisco Páez, gerente de DKparts, ensambladora que coloca en el mercado alrededor de 4.000 motos al año, y posee una capacidad de ensamblaje de 25 unidades por día. Diego Egas Subsecretario de Industrias y Productividad señalo que, tan pronto como empiecen a funcionar las empresas básicas de siderurgia y plásticos, Ecuador podrá fabricar incluso un automóvil 100% nacional, esto estaría previsto para el 2018 (TELEGRAFO, 2014).

El sector motociclista tiene un importante impacto social, ya que para muchos ecuatorianos la motocicleta se ha convertido en una herramienta de trabajo. La implementación de empresas que se dediquen a construir piezas nacionales, tiene como objetivo incrementar nuevas plazas de trabajo, y en base a esto impulsar el desarrollo tecnológico del país y su matriz productiva, en la lectura de los diarios, La Nación y diario El Telégrafo no se menciona específicamente a empresa alguna quien este dedicada a la fabricación de carenados, sin embargo existen talleres dedicados al tuning, exclusivamente de motocicletas quienes construyen carenados en fibra de vidrio, dependiendo de la estética y personalización que desee el cliente, llevar a la realidad este diseño de carenado estudiado aerodinámicamente con un software de diseño como lo es Ansys, resulta fácil para la persona que interese construir, además de que el acrílico es un material manejable, que se lo puede moldear en frio, es accesible a que cualquier persona lo realice y personalice su motocicleta, de acuerdo a la necesidad, desarrollando de esta manera un diseño nacional de carenado, en base a este estudio se podría analizar diferentes tipos de carenados para motocicletas, tanto deportivas como de paseo, y posterior a ello su construcción, con una producción en serie y así cubrir la demanda de las empresas que requieren proveedores.

El costo de un carenado frontal, con todo montaje se estima en un valor de 55 dólares americanos incluyendo, pernos, varillas, abrazaderas, espárragos, tuercas de ajuste y acrílico.

El proceso de construcción del carenado se lo realizaría por moldeo en frío, realizando dobleces o mediante dos procesos, el de termo formado y prensado, primero se debería calentar el acrílico ya sea en hornos eléctricos o de radiación infrarroja, a una temperatura continua máxima recomendada, para hoja termo formada de 75-80 °C, ya que se produce esfuerzos internos y fisuras, cuando la temperatura es muy baja y cuando la temperatura es muy alta se producen burbujas superficiales.

Una vez calentada la plancha de acrílico, el siguiente paso sería, transferir esta plancha a una prensa hidráulica que contenga el modelo del carenado, con placas metálicas hembra y macho respectivamente, para su moldeo con un mínimo esfuerzo de prensado, y luego de un enfriamiento lento se obtendría el modelo terminado, que después de ser sometido a un breve control de calidad estaría listo para comercializarse, a través de este estudio se podría crear una gran variedad de carenados, no específicamente en el modelo propuesto, sino también como carenados para motocicletas de competencias, e incluso industrias automovilísticas entre otras, con diseño y fabricación nacionales aportando de esta manera al desarrollo de la matriz productiva de Ecuador. (ACRILICO, 2011)

## **CAPÍTULO V**

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

Se digitalizó los elementos más relevantes de la motocicleta, que están en contacto con el fluido externo, con sus medidas reales en un programa CAD.

Se analizó el comportamiento aerodinámico de la motocicleta, en diferentes condiciones de velocidad y carga mediante DFC.

Se diseñó dos alternativas de carenado frontal para la motocicleta.

Una vez obtenido los resultados del comportamiento aerodinámico de la motocicleta, se propuso el carenado frontal más óptimo en función de los mismos.

El software Ansys-Fluent es una herramienta potente y compleja, que ayuda a analizar no solo aplicaciones de automoción, sino también aplicaciones aeronáuticas.

En base a un estudio de materiales y diseños, se puede fabricar productos nacionales, para cubrir la demanda de las empresas ensambladoras de motocicletas, impulsando de esta manera la matriz productiva de Ecuador.

#### **5.2 Recomendaciones**

Si se trata de analizar un ensamblaje demasiado grande, y de geometría irregular descartar algunos elementos que no influyen aerodinámicamente.

Disponer de un computador de un mínimo de 32 Gb de Memoria RAM y 3,5 GHz de velocidad, ya que este análisis demanda de mucha capacidad de memoria, debido al ensamblaje y al volumen de control necesario, en el que pueda caber toda la motocicleta.

Crear un volumen de control suficiente, para poder visualizar claramente todos los contornos tanto de presión, velocidad, fuerzas etc.

Antes de importar la geometría al software Ansys, verificar que la geometría este digitada correctamente en SolidWorks, que no existan interferencias entre elementos del ensamblaje ni de líneas constructivas, caso contrario habrá problemas al momento de generar el volumen de control.

La Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo debería implementar un laboratorio con fines investigativos para análisis y simulaciones mediante Ansys, adquiriendo computadores con buenas capacidades de procesamiento.

Imprimir a escala 3D el carenado propuesto y validar resultados con un túnel de viento.

## BIBLIOGRAFÍA

**Bonavera, Geronimo.** Normas que reglamentan el uso obligatorio del casco por parte de los motociclistas. [En línea] [Citado el: 23 de Noviembre de 2015.] <http://www.concienciavial.com.ar/casco.html>.

**Bove-ag.** Plasticos mecanizables. *Plasticos mecanizables*. [En línea] [Citado el: 26 de Noviembre de 2015.] [http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos\\_metacrilato.html](http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos_metacrilato.html).

**Cardona Alberto, Storti Mario , Zuppa Carlos. 2008.** Solucion de las ecuaciones de Navier-Stokes por el metodo de volumenes finitos aplicando a mallas no ortogonales . San Luis Argentina : s.n., 2008. Vol. XXVII.

**Cordoba Gazolaz, Diego. 2011.** Las ecuaciones de Navier-Stokes. *Jornadas so bre problemas del milemio*. Barcelona : s.n., 2011.

**Lema, Jorge.** *Mecanica de fluidos Epoch*.

**Mott, Robert L. 2006.** *Mecanica de Fluidos* . Mexico : s.n., 2006.

**Paz, Arias.** *Motocicletas*.

**Valero, Eduardo Frias. 2004.** *Aplicacion de metodo de los Elementos Finitos*. 2004.

**William, Smith F.** *Fundamentos de la ciencia e ingenieria de materiales*.

**Zitnik, Juan.** Manual de vuelo del PIPER PA-11. *Aerodinamica*.