



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PISO (FONDO PLANO CON DIFUSORES) PARA UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA TIPO FÓRMULA “SAE” EN FIBRA NATURAL PARA LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

**CHIMBO CHIMBO DARWIN VINICIO
CRUZ FREIRE JUAN DIEGO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**RIOBAMBA – ECUADOR
2016**

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2015-11-18

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**CHIMBO CHIMBO DARWIN VINICIO
CRUZ FREIRE JUAN DIEGO**

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PISO (FONDO PLANO CON DIFUSORES)
PARA UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA TIPO FÓRMULA “SAE” EN
FIBRA NATURAL PARA LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO”**

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

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Celin Padilla Padilla
DIRECTOR

Ing. Santiago López Ortiz
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CHIMBO CHIMBO DARWIN VINICIO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PISO (FONDO PLANO CON DIFUSORES) PARA UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA TIPO FÓRMULA “SAE” EN FIBRA NATURAL PARA LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

Fecha de Examinación: 2016-05-12

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Celin Padilla Padilla DIRECTOR			
Ing. Santiago López Ortiz ASESOR			

* 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. Oswaldo Pérez Rodríguez
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CRUZ FREIRE JUAN DIEGO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PISO (FONDO PLANO CON DIFUSORES) PARA UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA TIPO FÓRMULA “SAE” EN FIBRA NATURAL PARA LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

Fecha de Examinación: 2016-05-12

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Celin Padilla Padilla DIRECTOR			
Ing. Santiago López Ortiz ASESOR			

* 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. Oswaldo Pérez Rodríguez
PRESIDENTE TRIB. DE DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presentamos, 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 de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Chimbo Chimbo Darwin Vinicio

Cruz Freire Juan Diego

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Darwin Vinicio Chimbo Chimbo y Juan Diego Cruz Freire, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra 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 autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.

Chimbo Chimbo Darwin Vinicio
Cedula de Identidad: 020228161-4

Cruz Freire Juan Diego
Cedula de Identidad: 180475307-5

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado en primera instancia a Dios, quien me ha dado la oportunidad de vivir y la sabiduría suficiente para culminar con un objetivo de mi vida, también a mis padres, Elvia y Antonio, quienes son mis pilares fundamentales y mi fuente de inspiración para seguir adelante, así como también a mis hermanos y amigos con quienes he compartido grandes momentos siempre apoyándonos y mirando hacia el frente.

Juan Diego Cruz Freire

Este trabajo es dedicado con mucho amor y agradecimiento a Dios por su apoyo e infinita sabiduría que ayudo culminar mi meta.

A mis padres Juan José Chimbo y María Cecilia Chimbo quienes con su ejemplo de lucha y sacrificio estuvieron conmigo en los buenos y malos momentos dándome su cariño y apoyo incondicional, también a mis seis hermanas y mi hermano José por creer en mí, por haber estado a mi lado siempre dándome sus buenos consejos de humildad y sencillez.

A mis sobrinos que con sus ocurrencias y travesuras alegraban mis días, a Edwin Xavier Gaibor Pacheco que en paz descanse, por haber sido una persona admirable que me enseñó a sonreír siempre, nunca darse por vencido sin importar la situación en que nos encontremos y por ultimo a todos mis amigos por haber compartido momentos inolvidables llenos de alegría, los mismos que con el pasar de los días se convirtieron en mi segunda familia lejos de casa.

Darwin Vinicio Chimbo Chimbo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida y bendiciones que día tras día me regala y me va dando lecciones de vida para ser una mejor persona, a mis padres quienes me han apoyado y han realizado un esfuerzo incondicionalmente sin importar las condiciones en que se encuentren, a mi familia y amigos quienes con su carisma y amor me daban fuerzas y ánimos para seguir adelante, a mi director de proyecto, Ing. Celin Padilla e Ing. Santiago López asesor de proyecto, que con sus conocimientos sólidos me guiaron en la elaboración de este proyecto, así como también a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por darme la oportunidad de obtener una profesión, y ser útil a la sociedad y al país.

Gracias a todos

Juan Diego Cruz Freire

En primera instancia doy infinitamente gracias a Dios por brindarme salud, fuerzas, valor y una hermosa familia que han sido muy necesarias para culminar una etapa de mi vida con éxito. A mis padres por toda la paciencia, el apoyo incondicional y las esperanzas que han depositado en mí. Al director de este proyecto Ing. Celin Padilla como también al asesor del mismo Ing. Santiago López por su gran aporte para llevar a cabo este proyecto, a mis compañeros y amigos con los que pase cada uno de mis días de universidad gracias por su ayuda y apoyo brindado.

Por último quisiera agradecer a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a la Escuela de Ingeniería Automotriz por haberme dado la oportunidad de optar por un título profesional.

Darwin Vinicio Chimbo Chimbo

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
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
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Fórmula SAE	3
2.1.1 <i>Reglamentos de la Fórmula SAE.</i>	3
2.1.2 <i>Especificaciones del fondo plano con difusores.</i>	3
2.2 Materiales compuestos	4
2.2.1 <i>Aplicación de materiales compuestos.</i>	5
2.2.2 <i>Clasificación de materiales compuestos.</i>	5
2.2.3 <i>Componentes de los materiales compuestos.</i>	6
2.2.4 <i>Matriz y refuerzo.</i>	6
2.2.5 <i>Interfaz.</i>	6
2.2.6 <i>Funciones de las matrices.</i>	6
2.2.7 <i>Material de refuerzo.</i>	7
2.2.8 <i>Tipos de refuerzos.</i>	7
2.2.8.1 <i>Refuerzo de whiskers</i>	7
2.2.8.2 <i>Refuerzo de Fibras.</i>	7
2.2.8.3 <i>Propiedades mecánicas de las fibras naturales.</i>	8
2.2.8.4 <i>Refuerzo Alambres.</i>	9
2.3 Regla de mezclas en los compuestos reforzados por fibras.....	9
2.3.1 <i>Cantidad y orientación de la fibra.</i>	10
2.4 Resinas.....	10
2.4.1 <i>Resinas poliéster.</i>	11
2.4.2 <i>Curado de resinas poliéster.</i>	11
2.4.3 <i>Materiales compuestos de cabuya – poliéster</i>	11
2.5 Procesos de fabricación	12
2.5.1 <i>Estratificación manual.</i>	12
2.6 Aerodinámica.....	13
2.6.1 <i>Condiciones de diseño.</i>	14
2.7 Líneas de flujo	15
2.7.1 <i>Flujo laminar.</i>	15
2.7.2 <i>Flujo turbulento.</i>	15
2.7.3 <i>Número de Reynolds.</i>	15
2.7.4 <i>Número de match.</i>	16
2.8 Fuerzas actuantes	17
2.8.1 <i>Coefficiente de Sustentación.</i>	17
2.8.2 <i>Carga aerodinámica.</i>	18
2.8.3 <i>Resistencia aerodinámica.</i>	19
2.8.4 <i>Coefficiente de arrastre.</i>	20
2.8.5 <i>Fineza.</i>	20

2.8.6	<i>Potencia Absorbida.</i>	21
2.9	Dispositivos aerodinámicos	21
2.9.1	<i>Pontones.</i>	21
2.9.2	<i>Fondo plano.</i>	22
2.10	Tipos de análisis	22
2.10.1	<i>Análisis CFD.</i>	22
3.	DISEÑO Y ANÁLISIS AERODINÁMICO DEL FONDO PLANO CON DIFUSORES	
3.1	Consideraciones de diseño	23
3.2	Bosquejo inicial	23
3.3	Diseño del fondo plano en software	24
3.3.1	<i>Diseño 1 fondo plano con difusores rectos.</i>	24
3.3.2	<i>Diseño 2 fondo plano con difusores expandidos.</i>	25
3.3.3	<i>Diseño 3 fondo plano con difusores semi-circulares.</i>	25
3.3.4	<i>Ensamble del piso y carrocería.</i>	26
3.4	Parámetros iniciales para el análisis aerodinámico	26
3.5	Simulación en software CAD	28
3.6	Mallado	28
3.6.1	<i>Pre-proceso.</i>	28
3.6.2	<i>Proceso.</i>	29
3.6.3	<i>Post-proceso.</i>	29
3.7	Calidad de malla	30
3.8	Análisis y validación en el software Ansys	30
3.8.1	<i>Análisis y simulación aerodinámica del fondo plano con difusores rectos.</i>	30
3.8.2	<i>Análisis y simulación aerodinámica del fondo plano con difusores expandidos.</i>	34
3.8.3	<i>Análisis y simulación aerodinámica del fondo plano con difusores semi-circulares.</i>	37
3.8.4	<i>Análisis y simulación aerodinámica del Ensamble con fondo plano con difusores rectos.</i>	39
3.9	Tabla de resultados cada una de las simulaciones	42
3.10	Consideraciones a tener en los diferentes tipos de análisis	42
3.11	Análisis estático de tensiones	44
3.11.1	<i>Análisis estático de tensiones del fondo plano con fibra natural al 30% y 70% de resina.</i>	44
3.11.2	<i>Deformaciones.</i>	44
3.11.3	<i>Deformación máxima.</i>	44
3.11.4	<i>Esfuerzo equivalente de Von-Mises</i>	45
3.11.5	<i>Factor de seguridad.</i>	45
3.12	Análisis modal	46
3.13	Análisis en el túnel de viento	49
3.13.1	<i>Visualización de línea de flujo.</i>	49
3.13.2	<i>Fuerzas obtenidas en el túnel de viento.</i>	50
4.	PROCESO DE FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO	
4.1	Consideraciones para el cambio de material	51
4.1.1	<i>Disponibilidad del material.</i>	51
4.1.2	<i>Reducción de peso.</i>	51

4.1.3	<i>Costo de fabricación</i>	51
4.1.4	<i>Tiempo de fabricación</i>	51
4.1.5	<i>Resistencia a la corrosión</i>	52
4.1.6	<i>Combinación con otros materiales</i>	52
4.2	Construcción de la matriz para el fondo plano	52
4.3	Trazado en el triplex	52
4.4	Cortado del triplex	53
4.5	Ensamble de los elementos.....	53
4.6	Colocación de refuerzos	53
4.7	Materiales para la fabricación del fondo plano	54
4.7.1	<i>Fibra natural de cabuya</i>	54
4.7.2	<i>Yielcold</i>	55
4.7.3	<i>Mek</i>	55
4.7.4	<i>Cera y Desmoldante</i>	55
4.7.5	<i>Cobalto</i>	56
4.7.6	<i>Resina poliéster</i>	56
4.8	Proceso de construcción del fondo plano con difusores rectos empleando fibra natural	57
4.9	Aplicación de cera	57
4.10	Distribución del desmoldante en la superficie.....	58
4.11	Aplicación de Capa fina de Yielcold.....	58
4.12	Ubicación de los refuerzos	59
4.13	Aplicación de la resina poliéster.....	59
4.14	Colocación de la fibra de cabuya.....	59
4.15	Masillado de la superficie	60
4.16	Proceso de pulido.....	61
4.17	Separación del molde.....	61
4.18	Proceso de pintado.....	62
4.19	Anclajes del fondo plano	63
4.19.1	<i>Los anclajes del fondo plano</i>	63
4.19.2	<i>Cable tensor en los difusores</i>	64
4.20	Ensamble del fondo plano	64
4.20.1	<i>Perforación del fondo Plano</i>	64
4.20.2	<i>Montaje del fondo plano</i>	65
4.20.3	<i>Ensamble final del fondo plano</i>	65
5.	ANÁLISIS DE COSTOS	
5.1	Costos directos e indirectos de fabricación	66
5.1.1	<i>Costos directos de fabricación</i>	66
5.1.2	<i>Costos indirectos de fabricación</i>	67
5.1.3	<i>Costos totales de fabricación</i>	67
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1	Conclusiones.....	68
6.2	Recomendaciones	69

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Tipos de materiales compuestos 5
2	Cualidades de las fibras naturales y fibra de vidrio..... 8
3	Propiedades de fibras naturales. 9
4	Propiedades mecánicas de la cabuya. 11
5	Calidades de malla..... 30
6	Parámetro para simulación del fondo plano con difusores rectos 31
7	Contorno de fuerzas en X y Y 32
8	Parámetro para simulación del fondo plano con difusores expandidos..... 34
9	Contorno de fuerzas en los ejes X y Y. 36
10	Parámetro para simulación del fondo plano con difusores semi-circulares 37
11	Contorno de fuerzas en X y Y 38
12	Parámetro para simulación del ensamble con el fondo plano 40
13	Contorno de fuerzas en X y Y 41
14	Resultados obtenidos del análisis aerodinámico. 42
15	Valores de frecuencia y deformaciones..... 48
16	Detalles de los costos directos..... 66
17	Detalles de los costos indirectos..... 67
18	Detalles de los costos totales de fabricación. 67

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Parte trasera del vehículo..... 4
2	Parte que no excede los neumáticos. 4
3	Evolución de los materiales. 4
4	Aplicación de materiales compuestos..... 5
5	Componentes de un material compuesto. 6
6	Agrupaciones de materiales. 7
7	Refuerzo de whiskers..... 7
8	Refuerzo de fibras..... 8
9	Refuerzo de alambre. 9
10	Representaciones esquemáticas de compuestos reforzados con fibras..... 10
11	Tipos de tejidos de fibra de cabuya. 12
12	Fabricación de un domo por estratificación manual. 13
13	Aerodinámica del vehículo. 13
14	Fuerzas que intervienen en la aerodinámica del vehículo. 14
15	Fuerzas actuantes. 14
16	Recorrido del flujo sobre la superficie del vehículo..... 14
17	Líneas de flujo. 15
18	Flujo laminar..... 15
19	Flujo turbulento. 15
20	Dirección de las fuerzas actuantes. 17
21	Fuerza de sustentación. 18
22	Carga aerodinámica. 19
23	Comportamiento de un fluido frente a un objeto a gran velocidad. 19
24	Pontón del prototipo de la fórmula SAE. 22
25	Fondo plano con difusores..... 22
26	Análisis de flujo computacional. 22
27	Fondo Plano. 23
28	Diseño en el software Solidworks. 24
29	Fondo plano con difusores rectos. 25
30	Fondo Plano expandido. 25
31	Fondo Plano con difusores Semi-circulares. 25
32	Ensamble con fondo plano recto. 26
33	Encapsulado del fondo plano con difusores. 27
34	Funcionamiento de un programa MEF. 29
35	Calidad de malla. 31
36	Contorno de presión..... 31
37	Contorno de velocidad..... 32
38	Trayectoria de velocidad de las partículas..... 32
39	Calidad de malla. 34

40	Contorno de presión.....	35
41	Contorno de velocidad.....	35
42	Trayectoria de velocidad de las partículas.....	36
43	Calidad de malla.....	37
44	Contorno de presión.....	37
45	Contorno de velocidad.....	38
46	Trayectoria de velocidad de las partículas.....	39
47	Calidad de malla.....	39
48	Contorno de presión.....	40
49	Contorno de velocidad.....	40
50	Trayectoria de velocidad de las partículas.....	41
51	Creación del material en Ansys.....	43
52	Secuencia del análisis.....	43
53	Presiones máximas y mínimas.....	44
54	Análisis de tensiones.....	44
55	Esfuerzo equivalente de von-Mises.....	45
56	Factor de seguridad.....	46
57	Análisis modal forma 1.....	47
58	Análisis modal forma 2.....	47
59	Análisis modal forma 3.....	47
60	Análisis modal forma 4.....	48
61	Análisis Modal forma 5.....	48
62	Fondo plano impresión 3D.....	49
63	Visualización de vórtices.....	49
64	Visualización del flujo de aire con aristas corregidas y vórtices eliminados... 50	50
65	Proceso de construcción de la matriz.....	52
66	Trazado de las formas del fondo plano con difusores.....	53
67	Recortes de las formas a tomar del fondo plano.....	53
68	Ensamble de los cortes del fondo plano con difusores.....	53
69	Refuerzos en el molde.....	54
70	Molde del fondo plano con difusores.....	54
71	Fibra de cabuya utilizada en la construcción.....	54
72	Yielcold.....	55
73	Catalizador utilizado en el proceso de fabricación del molde (Mek).....	55
74	Desmoldante y cera utilizadas.....	55
75	Cobalto.....	56
76	Resina poliéster.....	57
77	Proceso de construcción de la fibra.....	57
78	Aplicación de la cera.....	58
79	Distribución homogénea del desmoldante.....	58
80	Aplicación de Yielcold.....	58
81	Colocación de refuerzos.....	59
82	Aplicación de resina poliéster.....	59

83	Ubicación de fibras recortadas.....	60
84	Fondo plano curado.	60
85	Masillado en las superficies deformes.....	61
86	Pulido de superficies.....	61
87	Separación de fondo plano.	61
88	Preparación de pintura.	62
89	Aplicación de pintura.....	62
90	Fondo plano terminado.....	63
91	Posicionamiento de anclajes en el software Solidworks.	63
92	Fondo plano con anclajes.	64
93	Ubicación de gancho y cable tensor.	64
94	Perforación del fono plano y chasis.....	64
95	Unión del fondo plano con el chasis.....	65
96	Ensamble completo.....	65

SIMBOLOGÍA

A	Área	m ²
T	Temperatura	K
Cv	Potencia Absorbida	Hp
v	Velocidad	m/s
p	Presión	Pa
F	Fuerza	kg
Fx	Fuerza X	kg
Fy	Fuerza Y	kg
V	Volumen	m ³
L	Longitud	m
ρ	Densidad	kg/m ³
F_L	Carga Aerodinámica	kg
F_D	Resistencia Aerodinámica Total	kg
F_D	Fuerza de arrastre o resistencia	kg
R	Constante de los gases	J/kg K

LISTA DE ABREVIACIONES

FSAE	Formula SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices)
CAD	Diseño Asistido por Computador
DFC	Dinámica de Fluidos Computacional
Cv	Potencia Absorbida
Cx	Coefficiente de resistencia
f	Fineza
F _L	Carga aerodinámica
C _L	Coefficiente de sustentación
F _d	Resistencia aerodinámica
H _P	Caballos de fuerza
M	Numero de Match
P	Presión
Pa	Pascales
Re	Número de Reynolds
v	Velocidad del objeto en estudio
ρ	Densidad del aire
V _s	Velocidad de transición del sonido
T	Temperatura

LISTA DE ANEXOS

- A** Reglamento fórmula SAE 2015

RESUMEN

El presente trabajo de titulación muestra el diseño y construcción del fondo plano con difusores acorde a especificaciones que la organización SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices) exige. En la fabricación del fondo plano se utiliza la fibra de cabuya tejida de forma normal con un hilo de diámetro 0,9 mm basándonos y haciendo realidad un estudio realizado en la Carrera de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH, debido que la fibra natural tiene menor costo, fácil obtención y principalmente contribuye con el medio ambiente.

Se realiza 3 diseños en software CAD donde varían sus formas, curvas y tipos de difusores, se selecciona el diseño que brinde mayor carga de sustentación negativa todo esto realizado con una simulación mediante herramientas CAE y su paquete CFD – Fluent de Ansys.

El método empleado en la construcción del fondo plano con difusores es estratificación manual debido a que se tiene una buena impregnación de refuerzos con la ayuda de resina poliéster, esta se encuentra en estado líquido y con la ayuda de químicos adicionales cambia de estado hasta llegar a un curado final.

El resultado de la utilización de la fibra de cabuya como refuerzo en el fondo plano con difusores es muy buena garantizando así la utilización de materiales compuestos con fibras naturales en la industria automotriz.

ABSTRACT

This paper shows the design and construction of flat bottom with diffusers according to specifications SAE (Society of Automotive Engineers) organization requires. In the manufacture of flat bottom fiber woven cabuya normally used with a wire diameter 0,9mm based and realizing a study in the School of Automotive Engineering of the ESPOCH, having that natural fiber has lower cost, easy obtaining and mainly contributes to the environment.

3 CAD software designs which vary in shapes, curves and types of diffusers is performed, the design provides greater load supporting this negative performed with a simulation using CAE tools and CFD package - ANSYS FLUENT.

The method used in the construction of flat bottom with diffusers is manual stratification because it has a good impregnation of reinforcements with the help of polyester resin, this is in liquid form and with the help of additional chemical changes state to reach a final cure.

The result of using sisal fiber as reinforcement in the flat bottom with diffusers is very good and guaranteed the use of natural fiber composites in the automotive industry.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La Fórmula SAE tiene sus inicios en Michigan, Estados Unidos, es un concurso de diseño, construcción y competición de un monoplace entre estudiantes universitarios de prestigiosas universidades de todo el mundo. Esta industria tiene un gran aporte para la Ingeniería Automotriz ya que gracias a ella se puede aplicar todos los conocimientos adquiridos dentro de las aulas como son: “investigación, diseño, fabricación, pruebas, desarrollo, comercialización, administración y finanzas.” (Fórmula SAE) De esta forma se puede tener una imaginación real de un trabajo. En el país también se están desarrollando prototipos de estas características así como en la Universidad de las Fuerzas Armadas, ya ha participado en tres ocasiones en competencias válidas de la SAE en Hockenheim, Alemania además la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca ha participado en Silverton Inglaterra.

El prototipo que se está construyendo en la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo es una contribución de los estudiantes en el que estarán plasmados los conocimientos adquiridos en el transcurso de su formación, su objetivo es el mejoramiento continuo con el transcurso del tiempo adoptando las nuevas tecnologías en la Industria Automotriz. Este proyecto ya se ha venido realizando con temas de tesis terminadas como es el chasis, carrocería, y temas que se están ejecutando como la dirección y suspensión.

1.2 Justificación

La necesidad de tener un mejor rendimiento en vehículos al utilizar este tipo de fibras naturales en las situaciones de impacto, seguridad, aerodinámica y resistencia mecánica, así surge la idea de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) de Estados Unidos, la cual es convocar a alumnos de diferentes Universidades del mundo para que compitan construyendo un vehículo aplicando materiales alternos como lo son las fibras naturales. Con el presente trabajo no solamente se busca diseñar y construir un piso del

vehículo que siga el reglamento de la Fórmula SAE, sino contribuir con el proyecto que se está llevando a cabo en la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, convirtiéndose así en una escuela de investigación en el que los pilares fundamentales sean los estudiantes con el apoyo de un tutor. Que este proyecto sea el primer paso de grandes investigaciones en beneficio a futuras generaciones.

Por último con el diseño y construcción de este prototipo, se pretende implementar la investigación, diseño, análisis, procesos de manufactura obtenidos en el transcurso de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general. Diseñar y construir el piso para un vehículo de competencia tipo Fórmula “SAE” en fibra natural para la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Recopilar información en base a la normativa vigente de la formula SAE para diseñar y construir enfocado al estudio del arte.
- Realizar el diseño y el estudio aerodinámico mediante herramientas CAD/CAE, ANSYS, SOLIDWORKS del piso para validar la sustentación del prototipo.
- Determinar el factor de seguridad mediante la aplicación del método de elementos finitos para garantizar el funcionamiento del piso sin ocurrencia de falla.
- Identificar y aplicar el proceso de manufactura óptimo para la elaboración del piso en fibra natural que brinde un fácil procesamiento y buena adherencia al refuerzo.
- Construir el fondo plano con difusores en fibra natural con condiciones de diseño y aerodinámica requerida para que brinde una buena sustentación negativa y difusión de aire.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Fórmula SAE

La SAE nace en EEUU, 1905. El propósito es desarrollar estándares para todo tipo de vehículo. Se realiza doce concursos entre estudiantes Universitarios, estos eventos retan a estudiantes realizar un diseño y construcción capaz de superar al resto de coches en el ámbito competitivo. (GARCÍA, 2014)

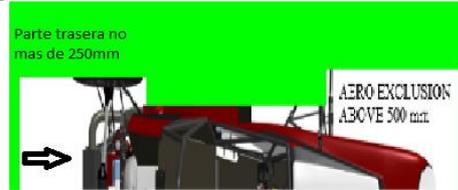
La SAE es la mejor competición estudiantil de coches a nivel mundial, Organizado por instituciones de ingenieros mecánicos y la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), inspirada por el avance tecnológico de la industria. Donde Universidades de todo el mundo son desafiadas a construir un coche, con el fin de participar en pruebas estáticas y dinámicas, en la cual se demostrará el conocimiento técnico sobre el proceso de fabricación y el funcionamiento de la misma. (GORDILLO BRAVO, 2015)

2.1.1 *Reglamentos de la Fórmula SAE.* Para el diseño del fondo plano con difusores se tomó en cuenta ciertos parámetros que establece en el reglamento de la SAE 2015. En las normas SAE se ha introducido realizar cambios cada 2 años después del año impar en este periodo se realizara las reformulaciones, Por lo cual el reglamento actual será vigente para el 2015 – 2016. (SAE, 2015)

2.1.2 *Especificaciones del fondo plano con difusores.* En el artículo 9, apartado 9.3 especifica que ninguna parte de un dispositivo aerodinámico ya sea alerón, fondo plano o cualquier otro dispositivo puede exceder las dimensiones que a continuación se mencionará todo esto observado de la parte inferior es decir de la vista planta.

- Ningún dispositivo podrá exceder 700 mm hacia delante de los frentes de los neumáticos delanteros.
- No podrá exceder más de 250 mm hacia atrás de la parte trasera de los neumáticos posteriores.

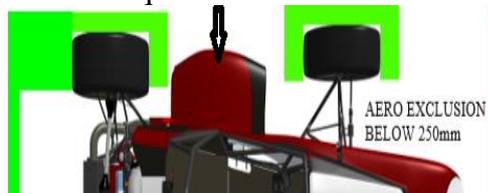
Figura 1. Parte trasera del vehículo



Fuente: (SAE, 2015)

- No podrán ser más ancha que la parte exterior de los neumáticos delanteros medidos a la altura de los centros.

Figura 2. Parte que no excede los neumáticos



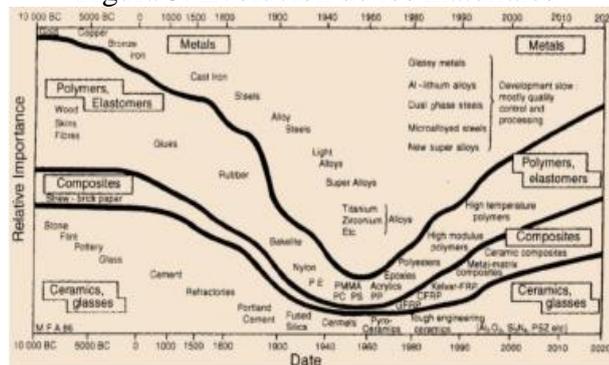
Fuente: (SAE, 2015)

- Todos los dispositivos aerodinámicos deben ser diseñados de tal manera que el montaje proporcione una rigidez adecuada en condición estática, que el dispositivo no oscilen excesivamente cuando el vehículo está en movimiento. (SAE, 2015)

2.2 Materiales compuestos

Son semejantes a una aleación del metal, en el cual se mezclan dos o más materiales para formar un nuevo material con propiedades diferentes a las del padre. El mismo que ayuda a cambiar su forma y mejorar sus propiedades mecánicas. (NEWELL, 2011)

Figura 3. Evolución de los materiales



Fuente: (ASHBY, 1999 pág. 4)

La figura 3 se indica la evolución del material y su aplicación en el sector automotriz

2.2.1 *Aplicación de materiales compuestos.* En la actualidad se ha creado un interés de utilizar compuestos lignocelulósicos, el cual consiste en la utilización de fibras o partículas de origen vegetal construidos principalmente por celulosa y lignina. Este tipo de materiales permite abaratar costos de producción, estos materiales se aplican comúnmente en exteriores como paneles de automóviles, muebles etc. (GUERRERO, 2011)

Figura 4. Aplicación de materiales compuestos



Fuente: (GUERRERO, 2011)

Los materiales compuestos vienen ligado altamente con la industria automotriz el mismo que se tiene aplicaciones interiores y exteriores de un vehículo, con la utilización de estos materiales han logrado optimizar el peso en diversas partes de un automotor. (GUERRERO, 2011)

2.2.2 *Clasificación de materiales compuestos.* La tecnología requiere de materiales que cumplan con grandes requerimientos y propiedades para su utilización lo que es imposible de conseguir con otros materiales como los aceros, polímeros y cerámicos. (TIXI, 2015)

Tabla 1. Tipos de materiales compuestos

Categoría de Compuesto	Definición	Diagrama	Ejemplo
Reforzados con fibras	Compuestos en el que un material se forma de la matriz externa y transfiere cualquier carga aplicada a las fibras		Compuesto Epóxico Kevlar
De partículas	Compuestos que contienen grandes números de partículas gruesas para reforzar la matriz		Concreto
Laminares	Compuestos que se hace al alternar juntas con un adhesivo capas de distintos materiales		Madera contrachapada
Híbridos	Compuestos hechos de otros materiales compuestos		Concreto reforzada con barras

Fuente: (NEWELL, 2011)

2.2.3 Componentes de los materiales compuestos. Son materiales que están formados por dos distintas fases, las combinaciones ayudan a cambiar o mejorar propiedades que un material posee antes de este proceso. (DAVIM, 2011)

Los componentes esenciales para un material compuesto son la matriz y refuerzo mientras que la superficie de conexión se denomina interfaz, también se podrá agregar agentes de acoplamiento, rellenos y revestimiento, lo que permite mejorar la superficie de interfaz de tal forma que el compuesto tenga mejores propiedades y que no se afecte.

Figura 5. Componentes de un material compuesto



Fuente: (GUERRERO, 2011)

2.2.4 Matriz y refuerzo. “La matriz es la fase continua en la que el refuerzo queda embebido, tanto materiales cerámicos o resinas orgánicas que puede cumplir con este papel”. Las funciones principales que desempeña una matriz son: definir las propiedades físicas y químicas, transmitir las cargas al esfuerzo, proteger y brindar cohesión. Mientras que el refuerzo ayuda a mejorar las propiedades mecánicas de un material. (STUPENGO, 2011)

2.2.5 Interfaz. Es la superficie que se encuentra entre la matriz y el refuerzo, lo que se conoce como interfaz este debe garantizar la unión de los componentes de un material.

2.2.6 Funciones de las matrices. La matriz en los materiales compuestos son una cavidad que ayuda a que una pieza tome forma cuando esta se encuentre en estado líquido y esta debe cumplir con varias funciones entre las cuales tenemos las siguientes (STUPENGO, 2011):

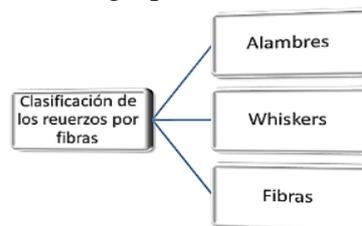
- Soporta las fibras manteniéndolas en su posición correcta.

- Transfiere las cargas en las fibras fuertes.
- Las protege de sufrir daños durante su manufactura y uso.
- Evita las prolongaciones de grietas en las fibras a todo lo largo del compuesto.

2.2.7 *Material de refuerzo.* El material de refuerzo puede ser materiales de fibras o partículas como regla general, la efectividad se encuentra en el menor tamaño que tiene las fibras o partículas, también en la distribución homogénea en la matriz.

2.2.8 *Tipos de refuerzos.* Existen tres tipos de refuerzos para realizarse un material compuesto.

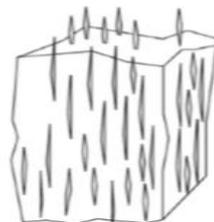
Figura 6. Agrupaciones de materiales



Fuente: (ASKELAND, 1998)

2.2.8.1 *Refuerzo de whiskers.* “Son monocristales muy delgados que tienen relación longitud/diámetro muy grande. Como consecuencia de su tamaño pequeño poseen un grado de perfección cristalina muy alto y son libres de defectos lo cual explica su resistencia efectivamente alta, la desventaja es su costo ya que son muy elevados” (GUERRERO, 2011)

Figura 7. Refuerzo de whiskers

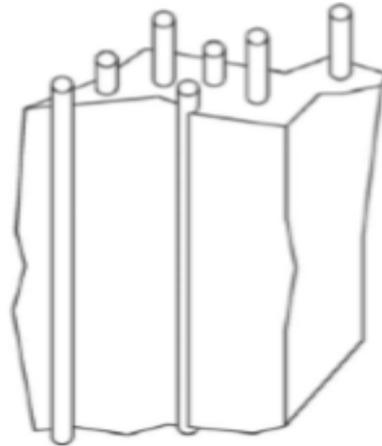


Fuente: (GUERRERO, 2011)

2.2.8.2 *Refuerzo de Fibras.* “Son materiales policristalinos y amorfos tienen diámetros pequeños y poseen grande longitud generalmente, las fibras son polímeros o cerámicos ya sean aramida, vidrio, carbono, boro, oxido de aluminio, carburo de silicio. Entre las fibras naturales usualmente utilizadas son la fibra de abacá, cabuya, coco, la

utilización de este tipo de fibras tiene ciertas ventajas frente a las anteriormente mencionadas ya que son menos costoso y son amigables con el ambiente”. (GUERRERO, 2011)

Figura 8. Refuerzo de fibras



Fuente: (GUERRERO, 2011)

2.2.8.3 *Propiedades mecánicas de las fibras naturales.* Todas las fibras tienen características inherentes a su naturaleza, las características que pueden aportar al metal son: resistencia al esfuerzo de tracción, flexión, compresión e impacto. (GUERRERO, 2011). Actualmente la fibras sintéticas son muy utilizadas en las industrias por sus diversas y excelentes propiedades que presentan para su fabricación, a raíz de nuevos experimentos que se han realizado con fibras naturales están empezando a reemplazarlas. A continuación mostraremos una tabla que muestra las cualidades de las fibras naturales con la fibra de vidrio. (GUERRERO, 2011)

Tabla 2. Cualidades de las fibras naturales y fibra de vidrio

Cualidades	Fibras naturales	Fibra de vidrio
Densidad	Bajo	Doble que las FN
Costo	Bajo	Bajo, mayor a las FN
Renovable	Si	No
Reciclable	Si	No
Abrasión a las maquinas	No	Si
Eliminación	Biodegradable	No biodegradable

Fuente: (GUERRERO, 2011)

A continuación se muestra la Tabla 3 en la que se puede observar las propiedades mecánicas de los diferentes tipos de fibras naturales y la fibra de vidrio.

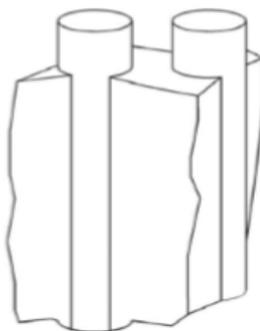
Tabla 3. Propiedades de fibras naturales

Fibras	Densidad [g/cm ³]	Resistencia a la tracción [Mpa]	Módulo de elasticidad	Elongación Fractura [%]	Absorción de humedad [%]
Vidrio - S	2,5	2000 – 3500	70	2,5	--
Vidrio - E	2,5	4570	86	2,8	--
Aramida	1,4	3000 – 3150	63 – 67	3,3 – 3,7	--
Carbón	1,4	4000	230 – 240	1,4 – 1,8	--
Cáñamo	1,4	690	35	1,6	8
Yute	1,3	393 -773	26,5	1,5 – 1,8	12
Ramio	1,5	400 – 938	61,4 – 128	3,6 – 3,8	12 - 17
Coco	1,2	175 – 220	4 – 6	15 – 30	10
Sisal	1,5	511 – 635	9,4 – 22	2,0 – 2,5	11
Abacá	1,3	400 – 1289	45	2,7	8 – 10
Lino	1,5	345 – 1035	27,6	2,7 – 3,2	7
Algodón	1,5	393 - 773	26,5	7 - 8	8 - 25

Fuente: (GUERRERO, 2011)

2.2.8.4 Refuerzo Alambres. Sus diámetros son usualmente grandes generalmente en este tipo de materiales se introduce el acero, molibdeno y tungsteno.

Figura 9. Refuerzo de alambre



Fuente. (GUERRERO, 2011)

2.3 Regla de mezclas en los compuestos reforzados por fibras

La regla para realizar el proceso de mezclado nos proporcionará la densidad de las fibras que son utilizados como material de refuerzo. (ASKELAND, 1998). Con la ecuación que se menciona a continuación se podrá calcular la relación de masa y volumen del compuesto. (GUERRERO, 2011)

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad (1)$$

Dónde:

ρ_c = Densidad del material compuesto [kg/m³]

ρ_m = Densidad de la matriz

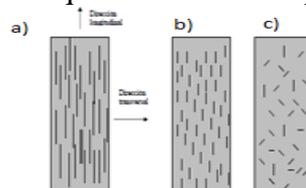
ρ_f = Densidad de la fibra [kg/m³]

f_m = Fracción volumétrica de la matriz

f_f = Fracción volumétrica de la fibra

2.3.1 *Cantidad y orientación de la fibra.* Las fibras tienen mucho que ver en el desempeño ya que estas soportan las cargas. “La fracción máxima de volumen de la fibra es alrededor del 80% y si excede esta cantidad el material matriz no rodea en su totalidad a la fibra”. (ASKELAND, 1998). La disposición de los refuerzos es un punto primordial en el desempeño del compuesto, ya que estos pueden ir en distintas disposiciones sin que sean afectadas sus propiedades como son. a) continuas y alineadas, b) discontinuas y alineadas y c) orientadas al azar.

Figura 10. Representaciones esquemáticas de compuestos reforzados con fibras



Fuente: (CALLISTER, 2007)

2.4 Resinas

Existen cuatro tipos de resinas.

- Resina poliéster
- Resina viniléster
- Resina epoxi
- Resinas fenólicas

La más utilizada para la elaboración de partes y autopartes de un vehículo es la resina poliéster por lo tanto es la que se utilizará para la fabricación del fondo plano.

2.4.1 Resinas poliéster. “Esta resina ocupa el 75% en el mercado que se utiliza matrices termoestables, se encuentra en el método de matriz más económico. Al añadir estireno a la resina esta disminuye su viscosidad para que exista buena fluidez en el material de refuerzo, además un sistema catalítico iniciador y un acelerador (octoato de cobalto), que se elige en función al iniciador o catalizador (peróxido). El tipo iniciador determina el tiempo de gelificación y endurecimiento de la matriz una vez catalizada”. (TIXI, 2015)

2.4.2 Curado de resinas poliéster. El proceso de curado en una resina poliéster consiste en pasar de un estado líquido a un estado sólido por medio de reacciones que realizan los compuestos en la formación de la matriz, que al mezclarse empieza el proceso de endurecimiento. (BESEDNJAK, 2005).

Los periodos del curado de la resina poliéster son:

- Gelificación: La resina cambia de un estado líquido a un gel blando.
- Endurecimiento: La resina cambia de un gel blando a un material endurecido.
- Curado final: La resina adquiere sus propiedades mecánicas.

2.4.3 Materiales compuestos de cabuya – poliéster. “Esta fibra es extraída de la hoja de cabuya, Esta planta que crece en forma silvestre o cultivada en los valles y laderas de los andes. La cabuya es ampliamente distribuida en la sierra del Ecuador, esta se cultiva en los valles y en la estribaciones de la cordillera para la obtención de su fibra. Se trata de una planta arrosetada que alcanza hasta 1,5 metros de altura en su parte vegetativa y si se incluye la estructura reproductora puede alcanzar hasta los 5 metros. La cabuya es una fibra resistente, durable y áspera, sus propiedades mecánicas se muestran a continuación”. (GUERRERO, 2011 pág. 235)

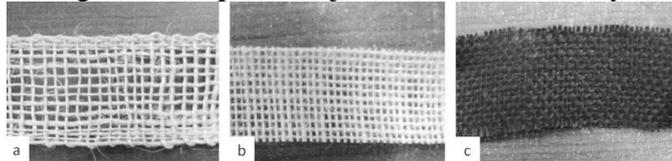
Tabla 4. Propiedades mecánicas de la cabuya

Resistencia a la tracción	305 (MPa)
Resistencia al corte	112 (MPa)
Módulo de elasticidad	7,5 (MPa)
Elongación a la fractura	5 %
Densidad	1,3 g/cm ³

Fuente: (TIXI, 2015)

La fibra de cabuya es muy utilizada para realizar artesanías y materiales compuestos, en nuestro medio existe dos tipos de hilos de cabuya los mismos que son: el hilo fino e hilo grueso con diámetros de 0,9 y 1,5 mm respectivamente. Existen también diferentes tipos de tejidos de fibra de cabuya entre estos se puede nombrar los más comunes: tejido grueso, normal y fino.

Figura 11. Tipos de tejidos de fibra de cabuya



Fuente: (GUERRERO, 2011 pág. 236)

2.5 Procesos de fabricación

Es de mucha importancia saber escoger el método adecuado para la fabricación, con esto podemos llegar a abaratar costos y obtener resultados muy buenos aplicando ciertos parámetros como: “tipo de matriz, el tipo y la geometría de refuerzo, aplicaciones del producto terminado, entre otros”. (GUERRERO, 2011 pág. 101).

Los procesos de fabricación son los siguientes:

- Estratificación manual.
- Estratificación de preimpregnados.
- Moldeo por aspersión.
- Moldeo por compresión.
- Extrusión.
- Inyección.
- Moldeo por transferencia de resina (RTM).
- Moldeo por pultrusión.

De los procesos de fabricación que se menciona se ha seleccionado el método de estratificación manual por sus propiedades y facilidades de uso.

2.5.1 Estratificación manual. “Estratificación manual, también llamada hand lay – up, es la técnica más simple y antigua para la obtención de materiales compuestos de

matriz termoestable. Las resinas termoestables permiten un fácil procesamiento y una buena impregnación de refuerzo en forma de fibra, dado que se encuentran en estado líquido a temperatura ambiente. Las matrices más comunes son: poliésteres, resinas epóxicas y fenólicas”. (SANJAY, 2002) “El material de refuerzo puede presentarse en forma de fibra corta, fibra continua, tejido o mat (no tejido) y es adicionado en un porcentaje en volumen máximo del 40%. Se han observado porcentajes de espacios vacíos (burbujas de aire atrapadas) de hasta un 15%. (LEVY, 2006)

Figura 12. Fabricación de un domo por estratificación manual

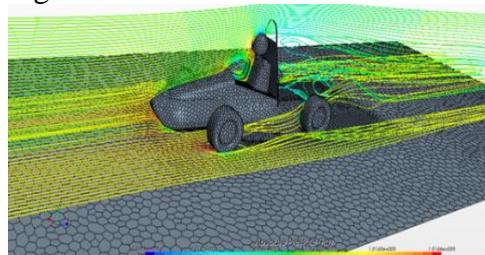


Fuente: (GUERRERO, 2011)

2.6 Aerodinámica

“Estudio de las leyes que regulan el movimiento de los gases, y de los sólidos dentro de aquellos.” (POTTER, 1997 págs. 243-244). La aerodinámica es considerada como una ciencia a pesar de que lleva en sí mucho arte y creatividad para verificar el diseño y comportamiento, se ha dotado de herramientas en las que se realiza una simulación del comportamiento del aire conllevado a la forma real.

Figura 13. Aerodinámica del vehículo

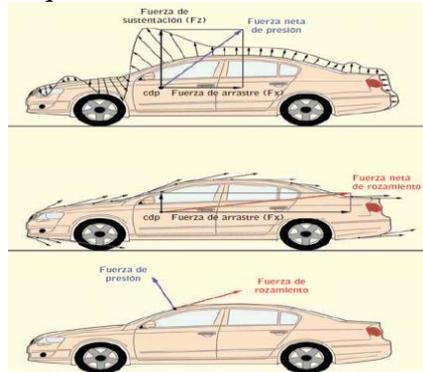


Fuente: (Fórmula SAE)

Las fuerzas aerodinámicas y momentos dependen principalmente de las características del aire los cuales intervienen en el control, rendimiento y estabilidad del automóvil. El automóvil considerado como sólido siempre mantendrá su rugosidad, forma, superficie de contacto y la velocidad entre dos. Por lo cual da como resultado, en cada punto de

contacto entre el aire y el sólido ejercen fuerzas tales como: normal a la superficie en nuestro caso el automóvil, fuerza de presión y fuerza de rozamiento provocada por la viscosidad del aire.

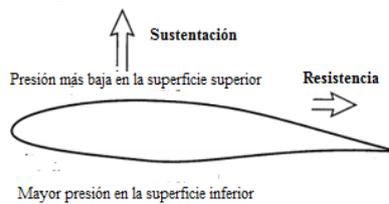
Figura 14. Fuerzas que intervienen en la aerodinámica del vehículo



Fuente: (Engineering, 2014)

2.6.1 Condiciones de diseño. El diseño aerodinámico óptimo que debe optar un sólido es parecido a la gota de agua ya que esta va tomando la forma de las fuerzas actuantes tendiendo a un flujo ideal y una simetría del aire ganando así una menor resistencia.

Figura 15. Fuerzas actuantes



Fuente: (KATZ, 1995 pág. 2)

Una superficie optima ya sea de la carrocería o cualquier otro elemento que va estar involucrado con el aire debe mantener un flujo laminar durante toda su trayectoria, siempre evitando que pueda existir turbulencias, en el caso que aparezcan hay que procurar que los elementos vayan al mismo nivel de la carrocería.

Figura 16. Recorrido del flujo sobre la superficie del vehículo



Fuente: (Engineering, 2014)

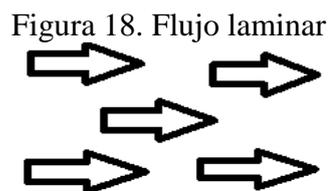
2.7 Líneas de flujo

“Son las curvas asociadas con una descripción pictórica de un flujo en movimiento”. (KATZ, 1995 pág. 24).



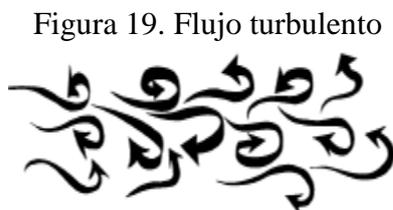
Fuente: (KATZ, 1995 pág. 24)

2.7.1 Flujo laminar. Son líneas paralelas que siguen una misma trayectoria, estas no se cruzan ni se desvían. Circulan con una velocidad y temperaturas constantes.



Fuente: Autores

2.7.2 Flujo turbulento. También se conoce como corriente turbulenta comúnmente son desarrolladas con tendencia natural al desorden, estas líneas no tienen una trayectoria definida, se cruzan y se desvían en todas las direcciones.



Fuente: (KATZ, 1995 pág. 27)

2.7.3 Número de Reynolds. “El comportamiento de un fluido, en particular en lo que se refiere a las pérdidas de energía, depende de que el flujo sea laminar o turbulento”. (MOTT, 2006 pág. 230). “El número de Reynolds es un número adimensional que relaciona las propiedades físicas de los fluidos, su velocidad y la geometría del ducto por el que fluye”. (Número Reynolds, 2008).

Para aplicaciones en el campo automotriz o la parte dinámica del automóvil se emplea la siguiente expresión simplificada.

$$R_e = 67,778 * v * l \quad (2)$$

Dónde:

v = Velocidad del auto [m/s]

l = Longitud de ancho del auto [m]

El resultado del número de Reynolds es adimensional y se deberá comparar con los parámetros que a continuación se mencionan para corroborar si el flujo es laminar, transitorio o turbulento.

$$0 \leq R_e \leq 2000 \quad \text{Flujo es laminar} \quad (3)$$

$$2000 \leq R_e \leq 4000 \quad \text{Flujo es Transitorio} \quad (4)$$

$$R_e \geq 4000 \quad \text{Flujo es Turbulento} \quad (5)$$

2.7.4 *Número de mach.* Es la relación entre la velocidad local de flujo con la velocidad local del sonido dentro del fluido es adimensional. Este número mach es muy dependiente de la temperatura, es comúnmente utilizado con relevación en la parte aeronáutica para corroborar el comportamiento del fluido.

$$M = \frac{V}{V_s} \quad (6)$$

$$V_s = \sqrt{K * R * T} \quad (7)$$

Dónde:

M = Número de Mach

V = Velocidad del móvil [m/s]

V_s = Velocidad de transmisión del sonido [m/s]

K = Constante = 1,4

R = Constante de los gases = 287 [J/ kg * K]

T = Temperatura del lugar de estudio. [K]

Dentro de la mecánica de flujo el número mach se relaciona con los gases para comprobar si este es compresible o incompresible.

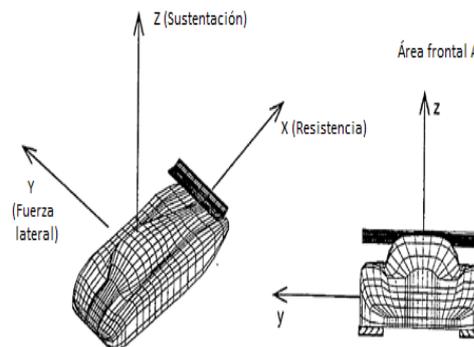
$$\text{Mach} \leq 0,3 \text{ Fluido incompresible} \quad (8)$$

$$\text{Mach} \geq 0,3 \text{ Fluido compresible} \quad (9)$$

2.8 Fuerzas actuantes

La sumatoria de todas las fuerzas aerodinámicas nos da como resultado una fuerza neta total que estará actuando en un punto denominado centro de presiones. Al descomponerse la fuerza neta total obtenemos dos componentes entre las más importantes a las que son llamadas fuerza de arrastre y fuerza de sustentación o adherencia, la primera fuerza es la que se opone al movimiento del vehículo y la segunda es la que le permite que el automóvil se adhiera al suelo. A las dos fuerzas anteriormente nombradas hay que agregarle una fuerza lateral, esta interviene cuando hay vientos cruzados pero en nuestro caso como son autos de competencia se vuelve despreciable.

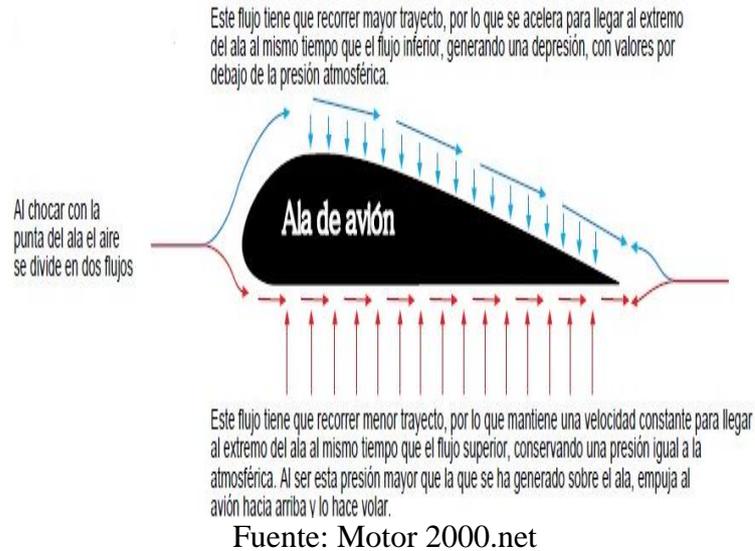
Figura 20. Dirección de las fuerzas actuantes



Fuente: (Joseph Katz, 1995)

2.8.1 Coeficiente de Sustentación. Todos los elementos que estén en contacto o estén relacionados con el aire se ven muy involucrados con los coeficientes aerodinámicos, estos coeficientes son parámetros que analizan y determinan el comportamiento del vehículo u objeto que se vaya analizar.

Figura 21. Fuerza de sustentación



Se definen con respecto un área en peculiaridad del sólido a ser estudiado, para la facilitación del cálculo nos ayudamos de una fórmula:

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

Dónde:

F_L = Resistencia aerodinámica [kg]

C_L = Coeficiente de resistencia aerodinámica

ρ = Densidad del aire [kg/m³]

v = velocidad del fluido [m/s]

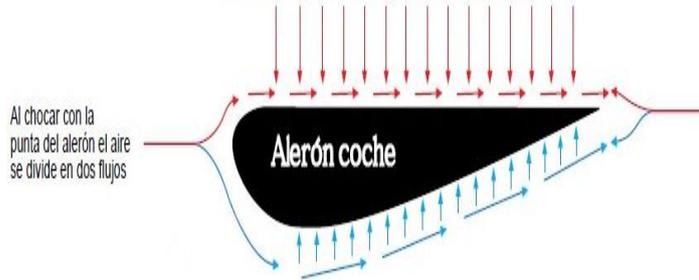
A = Área frontal del vehículo [m²]

Con la ecuación 10 se calculará la capacidad de penetración aerodinámica, mientras más baja sea la cifra mayor será la capacidad de penetración.

2.8.2 Carga aerodinámica. Es conocida también como sustentación negativa básicamente se basa en utilizar el aire para que el vehículo pueda mantenerse pegado al piso, lo cual se puede conseguir con la ayuda de una presión del aire. Esto se consigue con la presión baja de aire en la parte inferior y una cantidad elevada de presión de aire en la parte superior, esta fuerza influye en su estabilidad se mide desde la parte central de un coche en el centro de la distancia entre ejes. (ESPE, 2015 pág. 31)

Figura 22. Carga aerodinámica

Este flujo tiene que recorrer menor trayecto, por lo que mantiene una velocidad constante para llegar al extremo del alerón al mismo tiempo que el flujo inferior, conservando una presión igual a la atmosférica. Al ser esta presión mayor que la que se ha generado bajo el ala, empuja al coche hacia abajo, creando carga aerodinámica o downforce



Este flujo tiene que recorrer mayor trayecto, por lo que se acelera para llegar al extremo del alerón al mismo tiempo que el flujo superior, generando una depresión, con valores por debajo de la presión atmosférica.

Fuente: Motor 2000.net

$$F_L = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * A * C_L \quad (11)$$

Dónde:

F_L = Resistencia aerodinámica [kg]

ρ = Densidad del aire [kg/cm³]

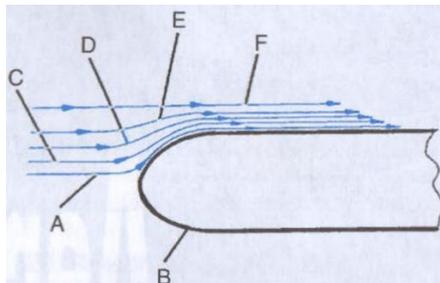
V = velocidad del fluido [m/s]

A = Área frontal del vehículo [m²]

C_L = Coeficiente de resistencia aerodinámica

2.8.3 Resistencia aerodinámica. Se considera como la fuerza que actúa contrariamente y de forma paralela al objeto provocando resistencia cuando el dicho objeto circula a una velocidad determinada.

Figura 23. Comportamiento de un fluido frente a un objeto a gran velocidad



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

En la Figura 23 se puede observar que actúa un fluido laminar, la fricción o rozamiento

básicamente depende de tres factores importantes como es la resistencia la forma del objeto y la resistencia inducida. La resistencia aerodinámica viene dado por:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho v^2 A C_x \quad (12)$$

Dónde:

F_d = Resistencia aerodinámica total [kg]

ρ = Densidad del fluido [kg/m³]

v = Velocidad del fluido [m/s]

A = Área perpendicular al movimiento del fluido [m²]

C_x = Coeficiente de resistencia o arrastre

2.8.4 *Coeficiente de arrastre.* Es un numero adimensional, dentro de la mecánica de fluido este se considera como la resistencia del objeto dentro de un fluido ya sean estos líquidos a gases. El coeficiente de arrastre se lo asocia mediante la siguiente expresión.

$$C_x = \frac{2F_d}{\rho v^2 A} \quad (13)$$

Dónde:

C_x = Coeficiente de resistencia o arrastre

F_d = Resistencia aerodinámica total [kg]

ρ = Densidad del fluido [kg/m³]

v = Velocidad del fluido [m/s²]

A = Área perpendicular al movimiento del fluido [m²]

2.8.5 *Fineza.* La fineza o eficiencia aerodinámica es la relación entre el coeficiente de sustentación y el coeficiente de resistencia, determina el valor de la eficiencia aerodinámica, su cálculo se realiza con la fórmula que se muestra a continuación.

$$f = \frac{F_L}{F_d} = \frac{C_L}{C_x} \quad (14)$$

Dónde:

f = Fineza

F_L = Carga aerodinámica [kg]

F_d = Fuerza de arrastre o resistencia [kg]

C_L = Coeficiente de sustentación

C_x = Coeficiente de resistencia

2.8.6 *Potencia Absorbida.* Es la cantidad de trabajo que realiza un elemento o maquina en un determinado tiempo. En la dinámica del automóvil o aerodinámica se conoce como el parámetro que determina la potencia necesaria para vencer una carga aerodinámica. Se puede calcular esta potencia mediante la expresión a se muestra a continuación.

$$\text{CV Absorbidos por la resistencia} = \frac{C_x * A * V^3}{1225} \quad (15)$$

Dónde:

C_V = Potencia Absorbida [Hp]

C_x = Coeficiente de arrastre

A = Área [m²]

V = Velocidad [m/s]

2.9 Dispositivos aerodinámicos

El principal objetivo de estos dispositivos es dirigir el aire por la superficie del automóvil venciendo así la resistencia y aumentando la sustentación, estos dispositivos son muy empleados en el sector automotriz para eliminar las turbulencias producidas al momento de que el vehículo circule o este en movimiento.

2.9.1 *Pontones.* Son los encargados de enfriar al motor y los radiadores de aceite y agua, en los pontones se aplica en efecto Venturi para lograr un mejor flujo de corrientes de aire, con esto se logra una menor presión y mayor velocidad del aire ayudando así la refrigeración del motor.

Figura 24. Pontón del prototipo de la fórmula SAE



Fuente: (GÓMEZ, 2012)

2.9.2 *Fondo plano.* “Es la parte más baja del monoplaza, la parte más cercana al asfalto. El objetivo, en lo que respecta al fondo plano, es hacer que circule la menor cantidad de flujo de aire posible por debajo del vehículo, para que la carga aerodinámica del monoplaza aumente”. (BLANES, 2013)

Figura 25. Fondo plano con difusores



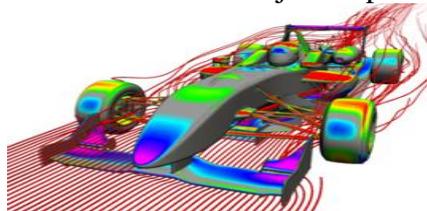
Fuente: (Fórmula SAE)

2.10 Tipos de análisis

Al realizar investigaciones y estudios hay que seguir un proceso de validación de datos y resultados con herramientas CFD (Computacional Fluid Dynamics).

2.10.1 *Análisis CFD.* Gracias a los avances tecnológicos hoy en día podemos realizar un Análisis Computacional de los Fluidos (CFD) aplicados a la ingeniería, con esta herramienta podemos ver su comportamiento y aproximación a la realidad del diseño, con esto veremos si son favorables para luego poder construir ya en forma real el prototipo.

Figura 26. Análisis de flujo computacional



Fuente: (Ingeenious, 2013)

CAPITULO III

3. DISEÑO Y ANÁLISIS AERODINÁMICO DEL FONDO PLANO CON DIFUSORES

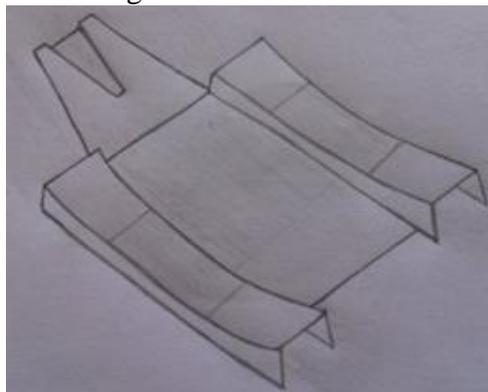
3.1 Consideraciones de diseño

Al momento de realizar un diseño dispuesto para competencia hay que tomar en cuenta la aerodinámica y los materiales con los que se va a construir ya que estos puntos influyen en la sustentación y el peso del prototipo que está dispuesto para la formula SAE.

3.2 Bosquejo inicial

El primer paso a realizar en el diseño es un bosquejo a lápiz del fondo plano con difusores para tener idea clara a donde queremos llegar donde se graficara todas las formas y curvas que son necesarias para cumplir su objetivo. Este fondo plano que se diseñara debe cumplir con características del chasis y carrocería ya que así cuando este llegue a su etapa final no se complicara en su ensamble. Lo cual se realiza con el fin de cumplir con las especificaciones impuestas por la competencia de la fórmula SAE.

Figura 27. Fondo Plano



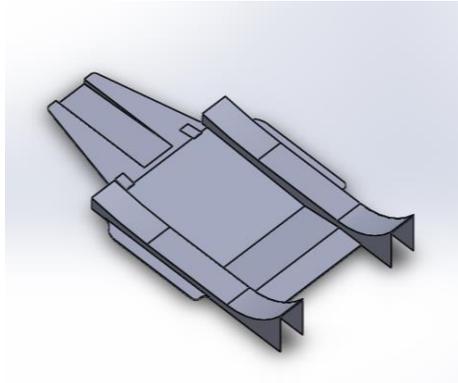
Fuente: Autores

Partiendo del bosquejo se obtuvo el modelo adecuado para realizar su diseño en un software, acatando las líneas y formas que podría tomar en el que se puede observar de una mejor manera su comportamiento, tomando en cuenta que estas formas no son la definitivas ya que estas varían dependiendo el análisis aerodinámico que se realizara.

3.3 Diseño del fondo plano en software

Con la culminación de bosquejo del fondo plano con difusores se procede a la modelación de una geometría temporal ya que esta sufrirá modificaciones dependiendo de los resultados del análisis que se realice, las principales modificaciones a realizar serán las formas, curvas y líneas de flujo dependiendo del análisis arrojado por el software ANSYS 16.0. Además hay que conocer y tomar en cuenta las restricciones como; el espacio que dispone el chasis y la carrocería para la posterior colocación del fondo plano con difusores ya que esto debe estar dentro del reglamento vigente por la SAE.

Figura 28. Diseño en el software Solidworks



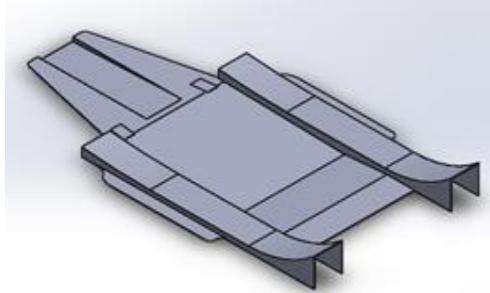
Fuente: Autores

Con la presencia del fondo plano se eliminan las turbulencias ayudando la evacuación del aire con más rapidez eliminando así la resistencia presentada en la parte baja del prototipo por elementos sobresalidos ya sean por diseño de chasis o carrocería.

Al variar las formas del modelado se obtendrán diferentes valores como la fuerza de sustentación, esta fuerza ayuda a mantener el prototipo sobre el asfalto cuando recorre a grandes velocidades debido a una succión que se crea bajo el fondo plano. Razón por la cual a continuación se mostrarán los tres diseños realizados en Solidworks cada uno con una breve descripción las mismas que se analizarán posteriormente.

3.3.1 *Diseño 1 fondo plano con difusores rectos.* Presenta un difusor más plano y recto la misma que permite una fácil y rápida evacuación del aire en toda la superficie debajo de fondo. Su superficie es más regular que el resto de modelos.

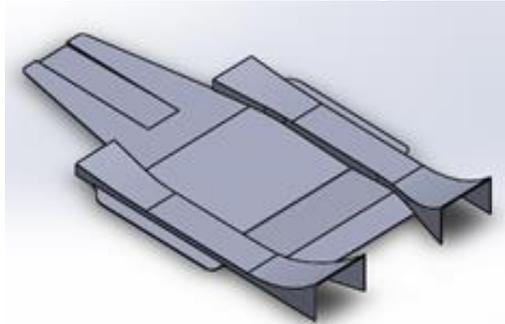
Figura 29. Fondo plano con difusores rectos



Fuente: Autores

3.3.2 *Diseño 2 fondo plano con difusores expandidos.* Es similar al fondo plano con difusores rectos con la diferencia que los difusores de este fondo plano son más anchas en la parte delantera y posterior que permite la evacuación del aire y formación de turbulencia debido al cambio de sección.

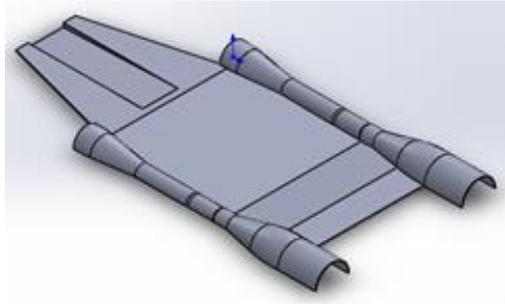
Figura 30. Fondo Plano expandido



Fuente: Autores

3.3.3 *Diseño 3 fondo plano con difusores semi-circulares.* La diferencia de este fondo plano es que los difusores son semicirculares, en la parte delantera y posterior de los difusores son más anchas que permite la toma de más cantidad de aire y evacuación rápida de la misma.

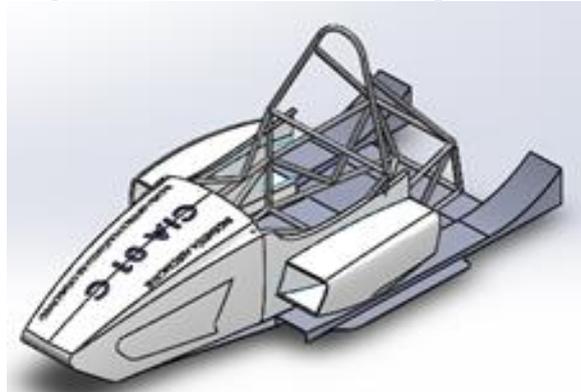
Figura 31. Fondo Plano con difusores semi-circulares



Fuente: Autores

3.3.4 *Ensamble del piso y carrocería.*

Figura 32. Ensamble con fondo plano recto



Fuente: Autores

Con la ayuda de la simulación aerodinámica se observara que geometría es la que genera mayor zona de baja presión por la superficie del fondo plano así como también se podrá ver la forma que desfavorezca el no pegar el monoplaza al asfalto, variando dichos inconvenientes se podrá ganar estabilidad y mejor comportamiento aerodinámico del vehículo.

Las simulaciones aerodinámicas en las diferentes formas geométricas se realizaran con dominio de iguales dimensiones para todas las geometrías para garantizar la igualdad de condiciones en la simulación. Así también la temperatura para todas las simulaciones se encuentran en estado isotérmico. La velocidad referencia que se utiliza en las simulaciones es de 20,83 m/s ya que este valor representa la velocidad máxima que el motor puede brindar en la pista.

3.4 **Parámetros iniciales para el análisis aerodinámico**

Para realizar el análisis y simulación del fondo plano se tomaran los parámetros de entrada haciendo referencia la temperatura y presión de Hockenheim/Alemania a razón que la mayoría de la competiciones estudiantiles de la SAE se realizan en esta ciudad y la Carrera de Ingeniería Automotriz pretende llegar a una competición de estas por el cual el diseño se realiza con los datos más críticos de esta región.

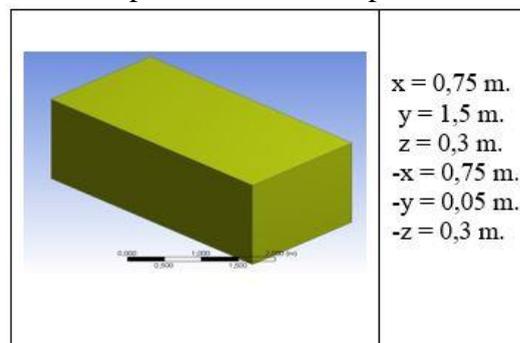
Temperatura Máxima: Según el portal web CLIMATEDATA.ORG la temperatura más elevada de esta ciudad es de 32°C = 305 K. (2012 CLIMATE-DATA.ORG)

Presión Atmosférica: Esta presión es referente a la temperatura máxima de Hockenheim la misma que es 101 268 Pa = 0,999 437 atm. (2012 CLIMATE-DATA.ORG)

Velocidad del prototipo: este es el parámetro el cual está estipulado por el reglamento de la formula SAE con el rango máximo de 75 km/h = 20,83 m/s. (Fórmula SAE)

Las coordenadas para realizar el encapsulado son las siguientes:

Figura 33. Encapsulado del fondo plano con difusores



Fuente: Autores

Con los parámetros planteados al inicio de este capítulo, fórmulas y criterios de simulación ya establecidos y estudiados en el capítulo anterior se procederá a realizar los cálculos respectivos de la propiedad del fluido como son: número de Reynolds, número de mach las mismas que se desarrollara a continuación.

Dónde:

$$R_e = 67,77 * v * l$$

$$R_e = 67,77 * 20,83 \frac{m}{s} * 2,35 m = 3 320,59$$

Y

$$M = \frac{v}{c}$$

$$C = \sqrt{K * R * T}; \quad K = cte = 1,4$$

$$C = \sqrt{1,4 * 287_{Kg * K}^J * 305K}$$

$$C = 350,35$$

$$M = \frac{V}{c} = \frac{20,83 \text{ m/s}}{350,35} = 0,06 \quad \text{El flujo es incompresible}$$

3.5 Simulación en software CAD

Con el diseño ya realizado y los parámetros iniciales establecidos, se procederá a realizar el estudio aerodinámico del fondo plano con difusores. Se realizara tres simulaciones de los distintos fondos diseñados con su respectiva validación en el software Ansys Fluent (CFD) con un mallado automático de malla fina y con una total de 100 iteraciones en cada diseño, en el cual se verificará el comportamiento frente a la resistencia aerodinámica.

Mediante cálculos se determina que es un flujo transitorio pero por situaciones críticas en las que este prototipo va trabajar se opta por realizar la validación con flujo turbulento para así garantizar la estabilidad del prototipo.

3.6 Mallado

El programa de elementos finitos para realizar un estudio o análisis en diferentes ventanas se fundamenta con tres módulos de trabajo las mismas que son: Pre-proceso, Proceso y Post-proceso. (VALERO, 2004)

3.6.1 Pre-proceso. en este módulo prepara los cálculos necesarios para finalizar las operaciones que a continuación se mencionan.

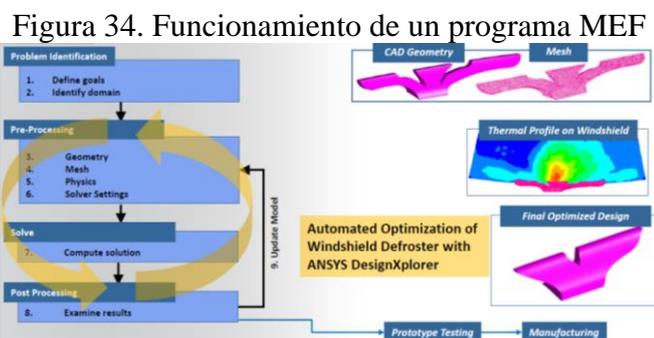
- Modelado o importación originado por un programa CAD las mismas que tengan formatos compatibles.
- Elección del elemento a utilizar dependiendo el tipo que calculo que se realizara.
- Optar por un material que se utilizara en el estudio o análisis.

- Establecer las propiedades del material a cada uno de los componentes dependiendo donde y que tipo de propiedades se utilizara.
- Asignar Cargas que actúan en las partes exteriores ya sean estos. Puntuales, Lineales y Superficiales.
- Asignar condiciones de contorno.

3.6.2 *Proceso.* En esta parte el programa realiza la solución mediante elementos finito.

- Asignar si el cálculo realizara un análisis transitorio, e régimen armónico, estático, etc.
- Configurar parámetros de cálculo, selección del tiempo norma de error, numero de iteraciones, etc.
- Arranque del cálculo, en esta fase el programas empieza primero a transferir las cargas a modelo a continuación genera matrices, realiza la triangulación de la matriz, resuelve el sistema de ecuación y genera la solución de análisis.

3.6.3 *Post-proceso.* En este punto el programa representa gráficamente todos los resultados que se generan al momento de resolver el problema.



Fuente: <http://Lecture 2 Introduction to the CFD Methodology> p.13

El análisis aerodinámico se lo realizara de tres fondos planos y del ensamble total, el mallado recomendado para realizar la simulación del fondo plano es con una tolerancia de 0,003 m, pero se tomara en cuenta la capacidad del ordenador ya que esto podría

limitar las funciones y capacidades que requiere para realizar el cálculo. Para realizar este tipo de cálculo es necesario definir las condiciones de frontera de 3,8 m de longitud y 1,5 m de alto el cual es suficiente para visualizar el contorno de presión, velocidad, fuerza, etc. Para un ordenador de capacidad normal es muy complejo realizar este tipo de cálculos por lo cual se realizara el análisis de los tres fondos planos y del ensamble con una malla triangular de tolerancia media, con un dominio para el volumen de control más pequeño para poder optimizar la memoria computacional.

3.7 Calidad de malla

La calidad de malla con el que se evaluó es el Element Quality, ya que este método es muy común y el más utilizado en el mallado, En el figura siguiente se muestra los rangos de mallado con una escalada de colores.

Tabla 5. Calidades 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: <http://Lecture 07 Mesh Quality Introduction to Ansys CFD Professional p.8>

La variación de los colores va desde el rojo hasta el azul donde el rojo nos indica que es una malla no aceptable mientras que el azul es un mallado excelente.

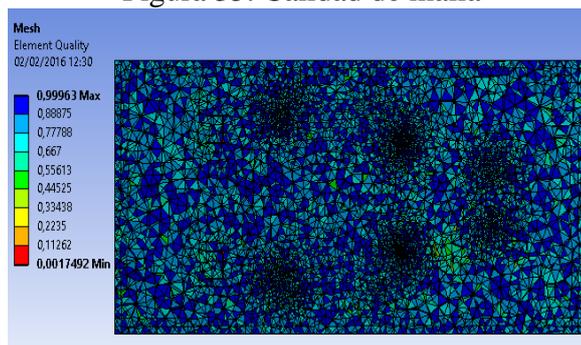
3.8 Análisis y validación en el software Ansys

El análisis y la validación del fondo plano con difusores se realizara en el software Ansys con su herramienta análisis de flujo, en la que se puede observar el comportamiento del fondo plano y llegar a obtener las fuerzas generadas en el mismo, tomando en cuenta que los datos para simulación en el software serán los mismos para los tres diseños de fondo plano con difusores.

3.8.1 *Análisis y simulación aerodinámica del fondo plano con difusores rectos.* Para el análisis y simulación del fondo plano con difusores rectos hay que conocer las condiciones de entrada y los datos a ingresar para la simulación.

Las condiciones ingresadas están dadas en la tabla 6.

Figura 35. Calidad de malla



Fuente: Autores

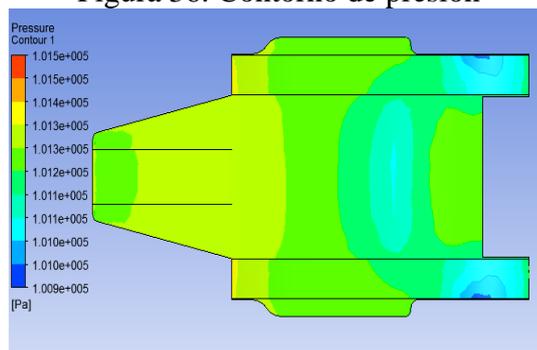
Tabla 6. Parámetro para simulación del fondo plano con difusores rectos

Condiciones de entrada		Datos de entrada para simulación	
Tipo de malla	Fina	Presión de referencia	1 atm
Nodos	55 713	Temperatura del fluido	305 K
Elementos	285 989	Modelo de turbulencia	K-épsilon
Tipo de elemento	Triangular	Condiciones de entrada	101 268 Pa
Malla máxima	0,99	velocidad	20,83m/s
Malla promedio	0,81	Presión condiciones de salida	101 268 Pa
Malla mínima	$1,49 \times 10^{-3}$	Numero de iteraciones	100

Fuente: Autores

Resultados de los contornos de presión

Figura 36. Contorno de presión



Fuente: Autores

En la Figura 36 se observa la:

Presión máxima = 101 500 Pa

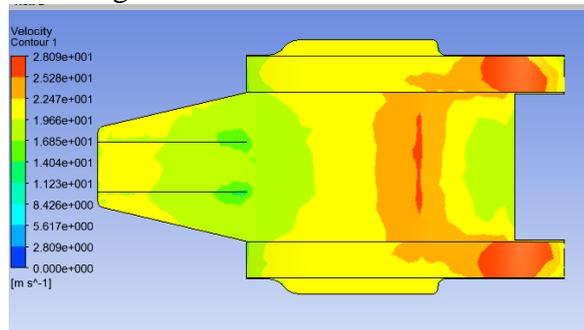
Presión mínima = 100 900 Pa

El área donde mayor presión ejerce es en la entrada de los difusores con una

Presión = 101 400 Pa.

Contorno de velocidad

Figura 37. Contorno de velocidad



Fuente: Autores

Velocidad máxima = 28,09 m/s

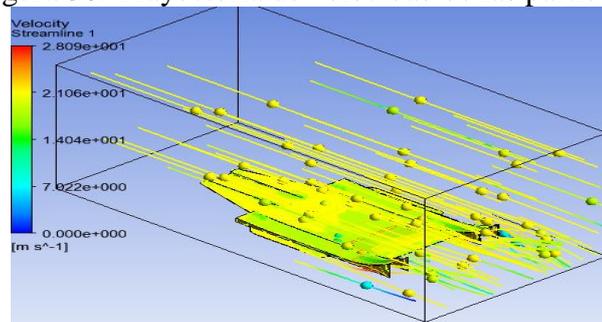
Velocidad mínima = 0 m/s

Tabla 7. Contorno de fuerzas en X y Y

Fuerzas en X	Fuerzas en Y
<p>Fx máximo = $1,84 \times 10^{-2}$ N Fx mínimo = $-7,57 \times 10^{-3}$ N</p>	<p>Fy máximo = $7,63 \times 10^{-4}$ N Fy mínimo = $-3,43 \times 10^{-4}$ N</p>

Fuente: Autores

Figura 38. Trayectoria de velocidad de las partículas



Fuente: Autores

Para realizar los cálculos de fineza, sustentación, arrastre y potencia absorbida de los tres diseños se utiliza las formulas mencionadas en el marco teórico. Para ello se emplea las fuerzas que muestra a continuación.

$$F_x = F_d = 1,84 \times 10^{-2} \text{ N}$$

$$F_y = F_L = 7,63 \times 10^{-4} \text{ N}$$

Se realiza los cálculos del área con un factor de corrección de 0,3

$$\text{Ancho} = b = 1,29 \text{ m}$$

$$\text{Alto} = h = 0,23 \text{ m}$$

$$\text{Factor de correccion} = 0,3$$

$$A = b * h = 1,29 \text{ m} * 0,23 \text{ m} = 0,29 \text{ m}^2$$

Caculo de la fineza: ecuación 14

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

$$f = \frac{7,63 \times 10^{-4}}{1,84 \times 10^{-2}} = 4,20 \times 10^{-2}$$

Coefficiente de sustentación: ecuación 10

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

$$C_L = \frac{2 * 7,63 \times 10^{-4}}{1,225 * 20,83^2 * 0,29 * 0,7} = 1,38 \times 10^{-4}$$

Coefficiente de arrastre: ecuación 13

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

$$C_x = \frac{2 * 1,838 \times 10^{-2}}{1,23 * 20,83^2 * 0,29} = 2,32 \times 10^{-4}$$

Potencia absorbida: ecuación 15

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

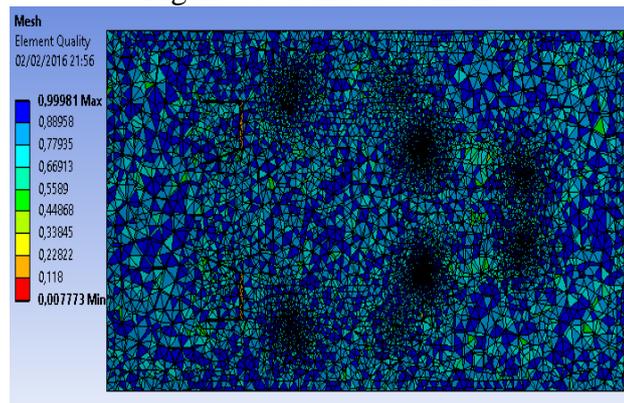
$$CV \text{ Absorbidos por la resistencia} = \frac{0,000\ 232 * 0,29 * 20,83^3}{1225} = 4,84 \times 10^{-4} \text{ cv}$$

$$= 4,77 \times 10^{-4} \text{ Hp}$$

3.8.2 *Análisis y simulación aerodinámica del fondo plano con difusores expandidos.* Para el análisis y simulación del fondo plano con difusores rectos hay que conocer las condiciones de entrada y los datos a ingresar para la simulación.

Las condiciones ingresadas están dadas en la tabla 8.

Figura 39. Calidad de malla



Fuente: Autores

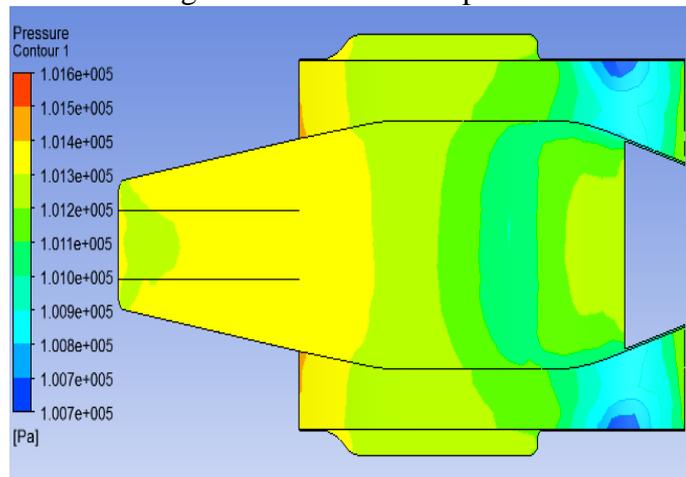
Tabla 8. Parámetro para simulación del fondo plano con difusores expandidos

Condiciones de entrada		Datos de entrada para simulación	
Tipo de malla	Fina	Presión de referencia	1 atm
Nodos	56 501	Temperatura del fluido	305 K
Elementos	288 334	Modelo de turbulencia	K-épsilon
Tipo de elemento	Triangular	Condiciones de entrada	101 268 Pa
Malla máxima	0,99	Velocidad	20,83m/s
Malla promedio	0,81	Presión condiciones de salida	101 268 Pa
Malla mínima	$7,77 \times 10^{-3}$	Numero de iteraciones	100

Fuente: autores

Resultados contorno de presión

Figura 40. Contorno de presión



Fuente: Autores

En la Figura 40 se observa la:

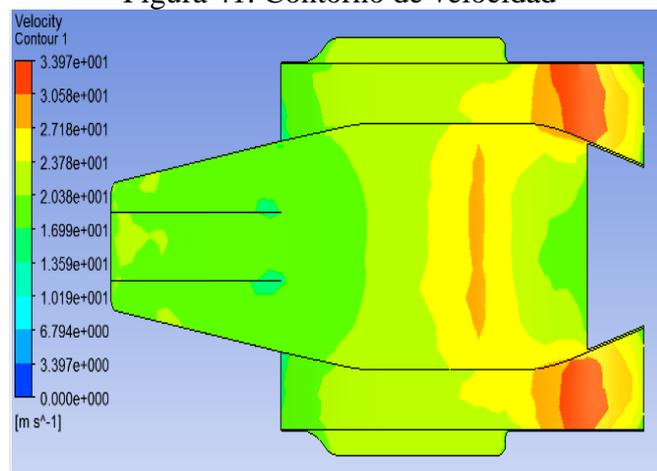
Presión máxima = 101 600 Pa

Presión mínima = 100 700 Pa

El área donde mayor presión ejerce son los difusores con una Presión = 101 500 Pa.

Contorno de velocidad

Figura 41. Contorno de velocidad

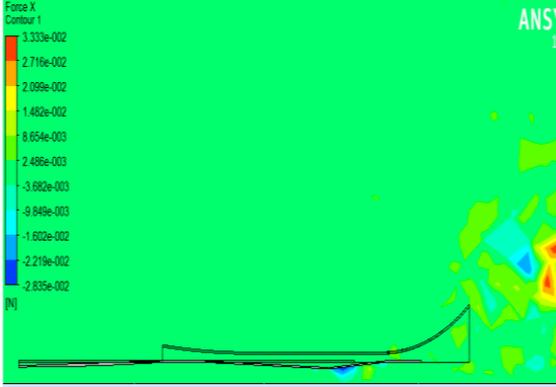
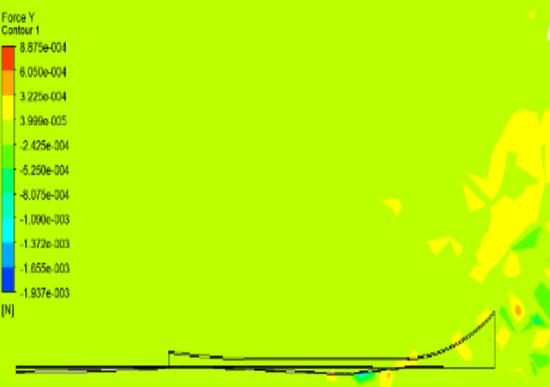


Fuente: Autores

Velocidad máxima = 33.97 m/s

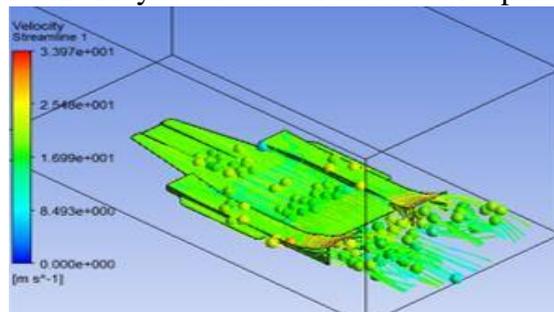
Velocidad minina = 0 m/s

Tabla 9. Contorno de fuerzas en los ejes X y Y

Fuerzas en X	Fuerzas en Y
	
<p> $F_x \text{ máximo} = 3.33 \times 10^{-2} \text{ N}$ $F_x \text{ mínimo} = -2.84 \times 10^{-2} \text{ N}$ </p>	<p> $F_y \text{ máximo} = 8,88 \times 10^{-4} \text{ N}$ $F_y \text{ mínimo} = -1.94 \times 10^{-3} \text{ N}$ </p>

Fuente: Autores

Figura 42. Trayectoria de velocidad de las partículas



Fuente: Autores

Los cálculos de fineza, sustentación, arrastre y potencia absorbida no se realizaron de manera detallada pero sus resultados se colocaran en la tabla 14. Para ello se emplea las fuerzas que muestra a continuación.

$$F_x = F_d = 1,48 \times 10^{-2} \text{ N}$$

$$F_y = F_L = 6,05 \times 10^{-4} \text{ N}$$

Se realiza el cálculo del área con un factor de corrección de 0,3.

$$\text{Ancho} = b = 1,34 \text{ m}$$

$$\text{Alto} = h = 0,22 \text{ m}$$

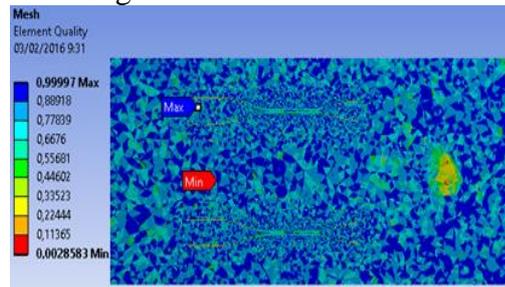
$$\text{Factor de correccion} = 0,3$$

$$A = b * h = 1,33 \text{ m} * 0,22 \text{ m} = 0,29 \text{ m}^2$$

3.8.3 *Análisis y simulación aerodinámica del fondo plano con difusores semi-circulares.* Para el análisis y simulación del fondo plano con difusores rectos hay q conocer las condiciones de entrada y los datos a ingresar para la simulación.

Las condiciones ingresadas están dadas en la tabla 10.

Figura 43. Calidad de malla



Fuente: Autores

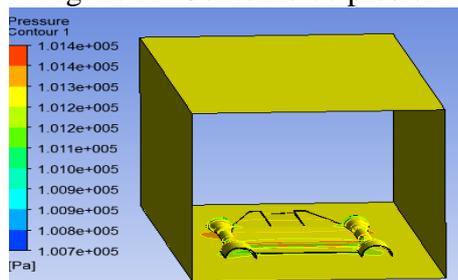
Tabla 10. Parámetro para simulación del fondo plano con difusores semi-circulares

Condiciones de entrada		Datos de entrada para simulación	
Tipo de malla	Fina	Presión de referencia	1 atm
Nodos	67 341	Temperatura del fluido	305 K
Elementos	334 479	Modelo de turbulencia	K-épsilon
Tipo de elemento	Triangular	Condiciones de entrada	101 268 Pa
Malla máxima	0,99	Velocidad	20,83m/s
Malla promedio	0,81	Presión condiciones de salida	101 268 Pa
Malla mínima	$2,86 \times 10^{-3}$	Numero de iteraciones	100

Fuente: Autores

Resultados de los contornos de presión

Figura 44. Contorno de presión



Fuente: Autores

En la Figura 44 se observa la:

Presión máxima = 101 400 Pa

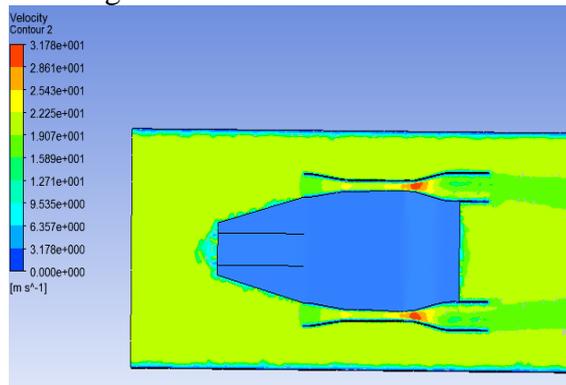
Presión mínima = 100 700 Pa

El área donde mayor presión se ejerce es en los difusores con una presión equivalente a:

Presión = 101 400 Pa.

Contorno de velocidad

Figura 45. Contorno de velocidad



Fuente: Autores

Velocidad máxima = 31,78 m/s

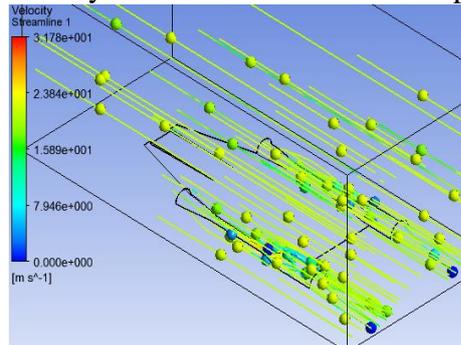
Velocidad mínima = 0 m/s

Tabla 11. Contorno de fuerzas en X y Y

Fuerzas en X	Fuerzas en Y
<p>Fx máximo = $4,95 \times 10^{-3}$ N Fx mínimo = $-6,81 \times 10^{-3}$ N</p>	<p>Fy máximo = $1,10 \times 10^{-4}$ N Fy mínimo = $-2,59 \times 10^{-4}$ N</p>

Fuente: Autores

Figura 46. Trayectoria de velocidad de las partículas



Fuente: Autores

Los cálculos de fineza, sustentación, arrastre y potencia absorbida no se realizaron de manera detallada pero sus resultados se colocaran en la tabla 14. Para ello se emplea las fuerzas que muestra a continuación.

$$F_x = F_d = 4,951 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$F_y = F_L = 1,10 \times 10^{-4} \text{ N}$$

Se realiza el cálculo del área con un factor de corrección de 0,3.

$$\text{Ancho} = b = 0,15 \text{ m}$$

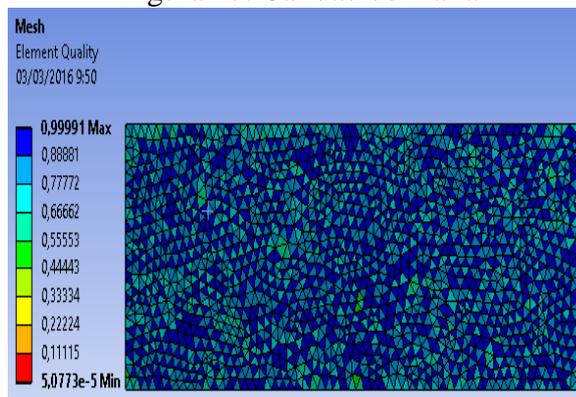
$$\text{Alto} = h = 1,18 \text{ m}$$

$$\text{Factor de correccion} = 0,3$$

$$A = b * h = 0,15\text{m} * 1,18 \text{ m} = 0,17 \text{ m}^2$$

3.8.4 *Análisis y simulación aerodinámica del Ensamble con fondo plano con difusores rectos.* En este apartado se realizara un estudio aerodinámico del ensamble.

Figura 47. Calidad de malla



Fuente: Autores

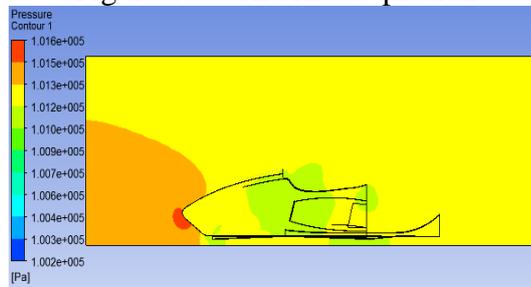
Tabla 12. Parámetro para simulación del ensamble con el fondo plano

Condiciones de entrada		Datos de entrada para simulación	
Tipo de malla	Fina	Presión de referencia	1 atm
Nodos	399 872	Temperatura del fluido	305 K
Elementos	2 171 977	Modelo de turbulencia	K-épsilon
Tipo de elemento	Triangular	Condiciones de entrada	101 268 Pa
Malla máxima	0,99	Velocidad	20,83m/s
Malla promedio	0,82	Presión condiciones de salida	101 268 Pa
Malla mínima	$7,77 \times 10^{-3}$	Numero de iteraciones	100

Fuente: Autores

Resultados de los contorno de presión

Figura 48. Contorno de presión



Fuente: Autores

En la Figura 48 se observa la:

Presión máxima = 101 600 Pa

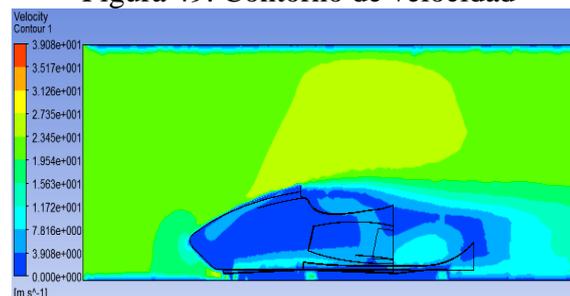
Presión mínima = 100 200 Pa

El área donde mayor presión ejerce es en el fondo plano y gran parte de la carrocería.

Presión = 101 200 Pa

Contorno de velocidad

Figura 49. Contorno de velocidad

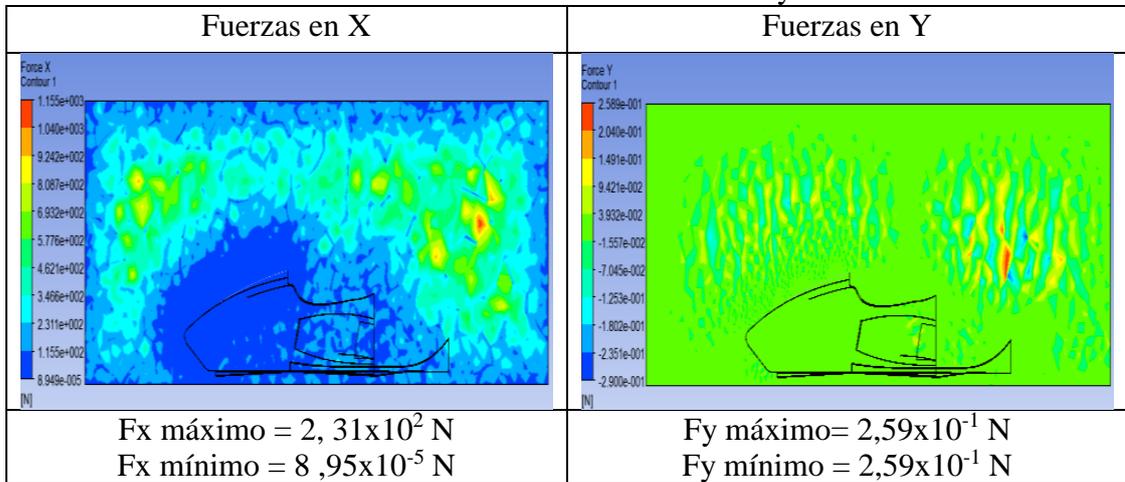


Fuente: Autores

Velocidad máxima = 39,08 m/s

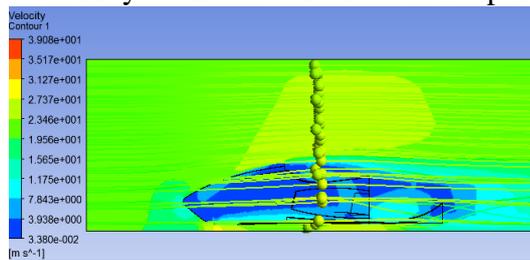
Velocidad mínima = 0 m/s

Tabla 13. Contorno de fuerzas en X y Y



Fuente: Autores

Figura 50. Trayectoria de velocidad de las partículas



Fuente: Autores

Los cálculos de fineza, sustentación, arrastre y potencia absorbida no se realizaron de manera detallada pero sus resultados se colocaran en la tabla 14. Para ello se emplea las fuerzas que muestra a continuación.

$$F_x = F_d = 2,31 \times 10^2 \text{ N}$$

$$F_y = F_L = 2,59 \times 10^{-1}$$

Se realiza el cálculo del área con un factor de corrección de 0.3.

$$\text{Ancho} = b = 1,34 \text{ m}$$

$$\text{Alto} = h = 1,15 \text{ m}$$

$$\text{Factor de correccion} = 0,3$$

$$A = b * h = 1,34 \text{ m} * 1,15 \text{ m} = 1,54 \text{ m}^2$$

3.9 Tabla de resultados cada una de las simulaciones

Tabla 14. Resultados obtenidos del análisis aerodinámico

Fases del análisis	Carga F_y [N]	Resistencia F_x [N]	Fineza $f = \frac{F_y}{F_x}$	Coefficiente de sustentación C_L	Coefficiente de arrastre C_x	Potencia absorbida [H_p]
Fondo Plano con difusores rectos	$7,63 \times 10^{-4}$	$1,84 \times 10^{-2}$	$4,20 \times 10^{-2}$	$-1,38 \times 10^{-4}$	$2,32 \times 10^{-4}$	$4,77 \times 10^{-4}$
Fondo plano con difusores expandidos	$6,05 \times 10^{-4}$	$1,48 \times 10^{-2}$	$4,11 \times 10^{-2}$	$-1,13 \times 10^{-7}$	$1,87 \times 10^{-4}$	$4,05 \times 10^{-4}$
Fondo plano con difusores semi-circulares	$1,10 \times 10^{-4}$	$4,95 \times 10^{-3}$	$2,22 \times 10^{-2}$	$-3,42 \times 10^{-6}$	$1,08 \times 10^{-7}$	$1,36 \times 10^{-4}$
Ensamble con fondo plano con difusores rectos	$2,31 \times 10^{-3}$	$2,59 \times 10^{-2}$	$1,12 \times 10^{-2}$	$-9,08 \times 10^{-6}$	$2,92 \times 10^{-2}$	$1,56 \times 10^{-2}$

Fuente: Autores

Con los datos mostrados en la Tabla 14 se puede escoger cual es el prototipo adecuado para realizar la construcción, llegando así a la conclusión que el fondo plano con difusores rectos es el recomendable debido a que el coeficiente de sustentación es mayor comparado con los demás diseños, el coeficiente de sustentación es el que mantendrá el fondo plano con difusores pegado al suelo es por tal razón que nos basamos en dicho coeficiente.

3.10 Consideraciones a tener en los diferentes tipos de análisis

Para realizar cualquier tipo de análisis en Ansys 16.0 el primer paso es crear el material en la ventana Engineering data colocando todas las características y esfuerzos del material. Para realizar el piso se utilizara la fibra natural que consiste en 30% cabuya y 70% de resina poliéster el mismo que presenta características siguientes: Esfuerzo ultimo de tracción 305 Mpa, resistencia a la tracción 112 Mpa, resistencia a la compresión 112 Mpa y el módulo de Young de 4 157 Mpa con un radio de poisson de

0,25 estos datos son obtenidos del trabajo de titulación de. (TIXI, 2015)

Figura 51. Creación del material en Ansys

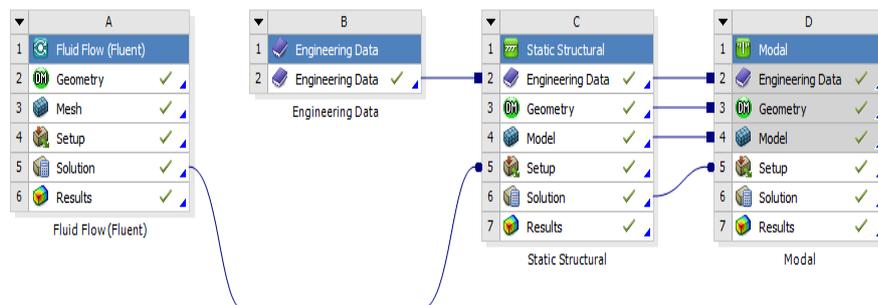
Outline of Schematic B2, C2, D2: Engineering Data				
	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data	Source		Description
2	Material			
3	FIBRA DE CABUYA			
4	Structural Steel			Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material			

Properties of Outline Row 3: FIBRA DE CABUYA					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	1,3	g cm ⁻³		
3	Isotropic Elasticity				
4	Derive from	Young's ...			
5	Young's Modulus	4157	MPa		
6	Poisson's Ratio	0,25			
7	Bulk Modulus	2,7713E+09	Pa		
8	Shear Modulus	1,6628E+09	Pa		
9	Field Variables				
10	Temperature	Yes			
11	Shear Angle	No			
12	Degradation Factor	No			
13	Tensile Yield Strength	112	MPa		
14	Compressive Yield Strength	112	MPa		
15	Tensile Ultimate Strength	305	MPa		

Fuente: Autores

Para realizar un análisis Static Structural y modal se deberá arrastrar los resultados de fuerzas, presiones a las ventanas de las mismas, de manera que se enlacen todos los resultados así evitar una variación del valor, conservando lo anteriormente creado que es el tipo de material.

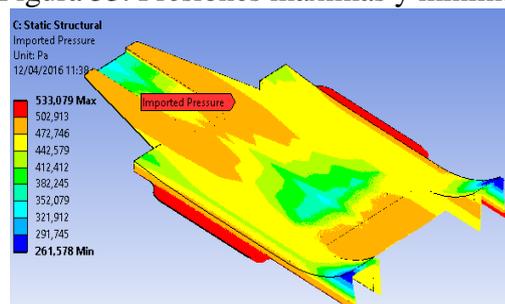
Figura 52. Secuencia del análisis



Fuente: Autores

Los valores importados de presiones en el fondo plano son: presión máxima 533,08 Pa, presión mínima 261,58 Pa con estos valores se parte al análisis del Static structural y modal.

Figura 53. Presiones máximas y mínimas



Fuente: Autores

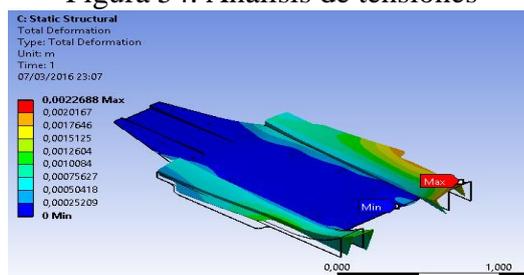
3.11 Análisis estático de tensiones

3.11.1 Análisis estático de tensiones del fondo plano con fibra natural al 30% y 70% de resina. Todo elemento que está sometido a esfuerzos o se encuentran en contacto con presiones y fuerzas requiere ser analizado minuciosamente las deformaciones máximas que se producen en diferentes zonas, los esfuerzos máximos en el elemento como también el factor de seguridad para tomar correcciones necesarias antes de ser construidas y así garantizar su diseño.

3.11.2 Deformaciones. Se conoce por deformación cuando un elemento cambia de dimensión de un miembro que soporta carga. Calcular la magnitud exacta de la deformación es importante en diseño de mecanismos de precisión como son máquinas herramientas, estructuras de edificios y estructuras de máquinas. (MORAN, 2013)

3.11.3 Deformación máxima. Las presiones que se aplicara para realizar este análisis son todas las que han sido calculadas en el análisis aerodinámico Fluent, El material que se utilizara es la fibra natural que consiste en 30% de cabuya y 70% de resina Poliéster, del cual según los estudios y pruebas realizados por. (TIXI, 2015). Tenemos un módulo de Young de 4 157 Mpa con un radio de poisson de 0,25.

Figura 54. Análisis de tensiones

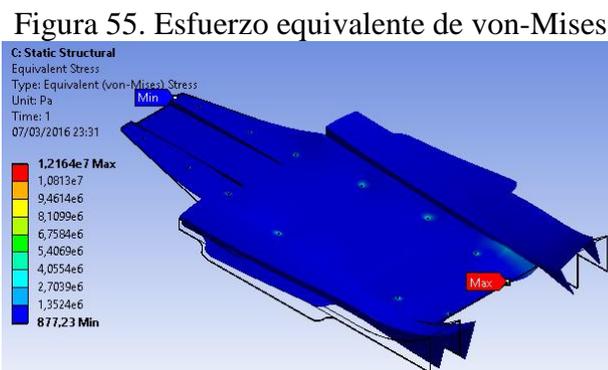


Fuente: Autores

En la Figura 54 se observa una deformación máxima de $2,27 \times 10^{-3}$ m y una deformación mínima de 0 m. La zona donde se produce la mayor deformación es en los difusores debido a que existen una variación de forma además se puede decir que los empotramientos se encuentran muy alejados y los difusores sobresalen de la parte posterior del chasis razón por la cual se colocara unos tensores regulables sujetos directamente al chasis para contrarrestar dichas deformaciones.

3.11.4 *Esfuerzo equivalente de Von-Mises.* Teoría de falla de von-mises es un modelo principal para un análisis de fallas. Se conoce como falla la perdida de utilidad es decir ha cumplido su vida útil, el modelo de Von-Mises permite corroborar el comportamiento del material frente a la acción de una carga. (MORAN, 2013)

Al realizar el análisis con el modelo de Von-Mises se corrobora que el prototipo estará sometido a esfuerzos donde el máximo de Von-Mises es 12,16 Mpa y un esfuerzo mínimo de 877,23 Pa la misma que se producen en la parte posterior de los difusores.



Fuente: Autores

De la Figura 55 se puede decir que los esfuerzos máximos y mínimos son producidos por la variación de la forma del fondo plano con difusores debido a que tiene un espesor de 5 mm en toda su superficie.

3.11.5 *Factor de seguridad.* La resistencia mecánica es la propiedad que presenta un material o un elemento mecánico esto depende mucho del tratamiento o procesado del material, vale recalcar que un esfuerzo es algo que ocurre en un elemento debido a la aplicación de fuerzas. Por otra parte se dice que la resistencia es una propiedad intrínseca del elemento que mucho depende del material o el proceso de manufactura que se aplicaron en su fabricación. (MORAN, 2013)

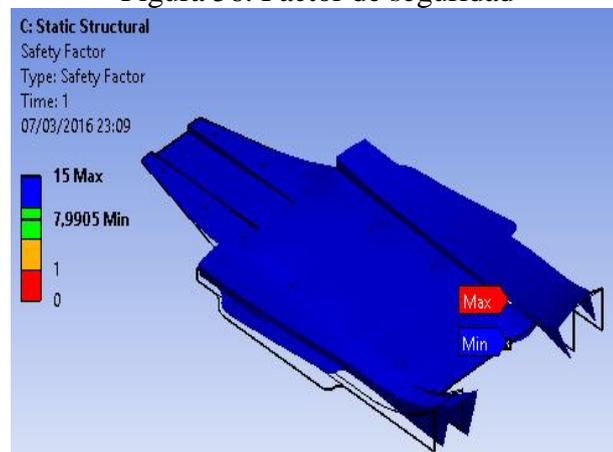
El termino factor de seguridad es el factor utilizado para evaluar la condición segura del elemento, también se puede decir que es la relación entre la carga ultima con la carga admisible se puedo expresar de la siguiente manera. (MORAN, 2013)

A continuación se indicara los parámetros para corroborar si un factor de seguridad es el óptimo o está en condiciones requerida para garantizar su diseño.

Si $n > 1$ el diseño es el adecuado, entre mayor sea n más seguro será el diseño.

Si $n < 1$ el diseño es inadecuado y necesitará un rediseño.

Figura 56. Factor de seguridad



Fuente: Autores

Con lo expuesto anteriormente y observando la figura 64 donde se corrobora un factor de seguridad igual a 7,99 podemos deducir que el material presenta un factor muy confiable para poder garantizar el diseño y proceder a su fabricación.

3.12 Análisis modal

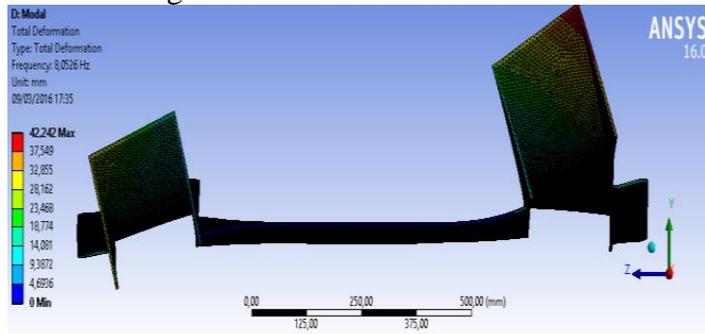
Debido a las vibraciones producidas por el motor y las irregularidades de la pista es necesario realizar un análisis Modal en Ansys 16.0 para determinar las posibles vibraciones y las formas modales a las que va estar expuesto el fondo plano.

El análisis modal es el más importante de todos los análisis dinámicos, generalmente este es el punto de partida para otros análisis. Al igual que un análisis estático hay que considerar el material, la geometría y el mallado siempre tomando en cuenta que las únicas restricciones en el análisis Modal son las de desplazamiento.

A continuación se detalla las posibles formas modales a las que el fondo plano está sometido, las mismas que se realiza en 5 etapas con un intervalo de 2.5 Seg.

Primera Forma:

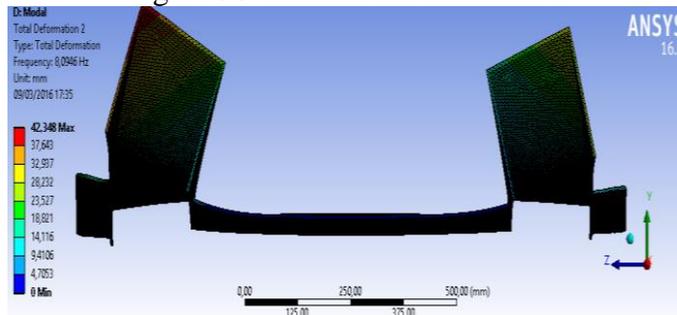
Figura 57. Análisis modal forma 1



Fuente: Autores

Segunda Forma:

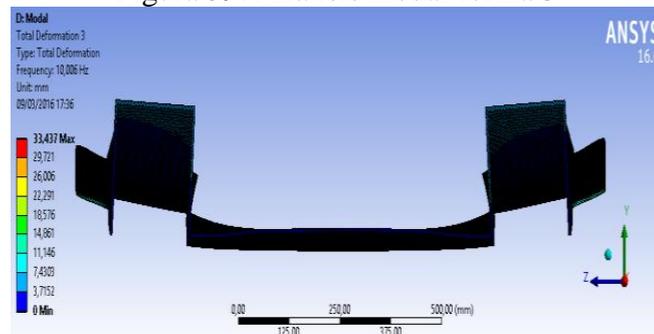
Figura 58. Análisis modal forma 2



Fuente: Autores

Tercera Forma:

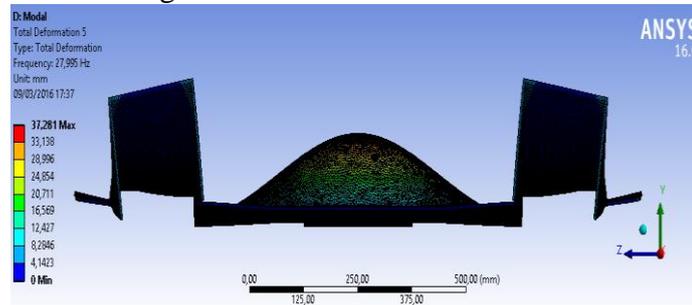
Figura 59. Análisis modal forma 3



Fuente: Autores

Cuarta Forma:

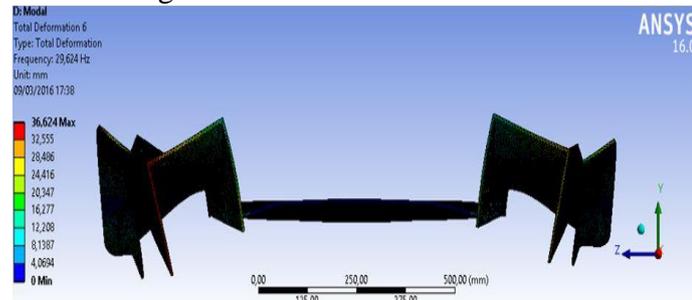
Figura 60. Análisis modal forma 4



Fuente: Autores

Quinta Forma:

Figura 61. Análisis Modal forma 5



Fuente: Autores

Los valores de frecuencia y deformaciones totales de las diferentes formas modales se representan en la siguiente tabla respectivamente:

Tabla 15. Valores de frecuencia y deformaciones

Formas modales	Frecuencia [Hz]	Deformaciones [mm]
1	8,05	42,24
2	8,09	42,39
3	10,00	33,44
4	10,00	33,99
5	27,99	37,28

Fuente: Autores

Con las geometrías y datos mostrados anteriormente se puede tener una idea del lugar donde se debe colocar las platinas metálicas como refuerzos para evitar posibles deformaciones que se generaran en el fondo plano con sus difusores. También se puede observar que mientras mayor sea la frecuencia menor será la deformación producida.

Todas estas formas modales varían dependiendo del lugar de empotramiento así como también de los valores de presión que ejercen a lo largo de la superficie del fondo plano.

3.13 Análisis en el túnel de viento

Para la realización de este análisis se procedió a la elaboración del mismo en una escala 1:0,11 lo cual se consiguió con una impresión 3D con un material PLA. Este material es ecológico ya que está compuesto por plantas como de maíz razón por la cual este material no emite gases nocivos.

Figura 62. Fondo plano impresión 3D



Fuente: Autores

3.13.1 Visualización de línea de flujo. En este análisis se pudo corroborar que el diseño cumple con las características requeridas permitiendo disipar el aire de una manera óptima por la parte posterior donde se encuentran los difusores. Existe un leve inconveniente en la entrada de los difusores, en esta arista se genera vórtices lo cual es malo según la teoría aerodinámica. La misma que se observa en circunferencia roja de la figura 63.

Figura 63. Visualización de vórtices



Fuente: Autores

Para corregir este inconveniente se procede a realizar un chaflán en la arista viva que ocasiona estos vórtices. De esta manera se elimina considerablemente la acumulación

de aire o los conocidos vórtices, así tendrán una mejor disipación de aire mediante los difusores sin que el aire se acumule en ningún sector. Como se observa en la figura 64.

Figura 64. Visualización del flujo de aire con aristas corregidas y vórtices eliminados



Fuente: Autores

3.13.2 *Fuerzas obtenidas en el túnel de viento.* Este análisis no se pudo concluir ya que el túnel de viento de la Escuela de Ingeniería Automotriz no se encuentra debidamente calibrado con galgas sensibles para la obtención de valores muy bajos. Por tal razón al momento de realizar las pruebas se obtuvieron datos erróneos. Es decir datos muy elevados que no concuerdan con los del análisis en software Ansys 16.0.

CAPITULO IV

4. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO

4.1 Consideraciones para el cambio de material

Para la elaboración del fondo plano con difusores se debe tomar en cuenta varios aspectos las mismas que ayudaran a realizar un prototipo adecuado. Los factores que se debe tomar en cuenta son: disponibilidad del material, costo, duración del material, tiempo del proceso de fabricación y sobre todo el peso que este material puede proporcionar. (TIXI, 2015)

Los aspectos mencionados anteriormente van de acuerdo a la necesidad o requerimiento para el que el prototipo ha sido diseñado. Cuando se trata de pieza en la cual el esfuerzo será notorio se deberá elegir o hacer un cambio del material tomando en cuenta las propiedades del mismo para así garantizar seguridad con dicho elemento o máquina. Cuando el material ha sido seleccionado se deberá proteger del medio ambiente utilizando recubrimientos inorgánicos como es la pintura. (TIXI, 2015).

4.1.1 *Disponibilidad del material.* En el mercado nacional el material como la resina poliéster y la fibra de cabuya es de fácil adquisición ya que en su gran parte son muy utilizados en la industria de componentes automotrices. (TIXI, 2015)

4.1.2 *Reducción de peso.* La resina poliéster es muy alivianado en comparación con chapa metálica razón por la cual su uso es muy variado en la industrias en general. (TIXI, 2015)

4.1.3 *Costo de fabricación.* Son económicos debido a que se utiliza para la elaboración de autopartes. La elaboración de la matriz no es muy costosa por lo que se puede realizar en triplex o cartón prensado etc. (TIXI, 2015)

4.1.4 *Tiempo de fabricación.* En comparación con el resto de materiales sintéticos el tiempo de secado es sumamente corto y de fácil moldeado haciendo más fácil la elaboración de un elemento ya que la resina viene en líquido. (TIXI, 2015)

4.1.5 Resistencia a la corrosión. Los plásticos son muy ventajosos frente a la corrosión en comparación con los metales, por lo que tendrá mayor durabilidad. (TIXI, 2015)

4.1.6 Combinación con otros materiales. Los plásticos pueden combinarse fácilmente con otros materiales para mejorar características y propiedades mecánicas como los materiales compuestos. (TIXI, 2015)

Todos estos aspectos importantes mencionados se deberán tomar en cuenta al momento de elegir un nuevo material.

4.2 Construcción de la matriz para el fondo plano

Para la construcción del fondo plano se empezará realizando el molde o matriz en madera triplex con las medidas trazadas en los planos realizados en Solidworks, el triplex que se utilizó en la fabricación es de 9 mm de espesor para evitar pandeos y deformaciones al momento de realizar el proceso de estratificación manual.

Figura 65. Proceso de construcción de la matriz



Fuente: Autores

4.3 Trazado en el triplex

Se deberá tomar en cuenta en lo posible las medidas exactas así evitar inconformidades al momento de elaborar el ensamble de la matriz y en posterior proceso cuando el fondo se haya construido evitando problemas de sobre dimensionamiento.

Figura 66. Trazado de las formas del fondo plano con difusores



Fuente: Autores

4.4 Cortado del triplex

Una vez que ha sido marcadas todas las zonas con sus medidas correspondientes se procederá a recortar cuidadosamente para no sobrepasar los límites marcados. Primero se procede recortar la parte de los difusores ya que será el primer elemento a ensamblarse.

Figura 67. Recortes de las formas a tomar del fondo plano

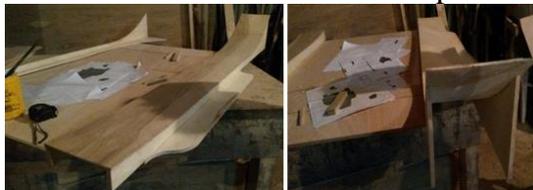


Fuente: Autores

4.5 Ensamble de los elementos

Cuando ya todas las partes del fondo plano se han recortado se procede unir cada una de las piezas dando así las formas de los difusores y todo el fondo, estos deberán ser unidos por medio de clavos, grapas y tornillos.

Figura 68. Ensamble de los cortes del fondo plano con difusores



Fuente: Autores

4.6 Colocación de refuerzos

Se tomara en cuenta la colocación de refuerzos en la matriz para evitar inconvenientes como pandeo o aberturas en zonas como los difusores al momento de realizar la

fabricación. Se colocara dos tiras de madera horizontales en la parte inferior de la matriz y en la parte de los difusores.

Figura 69. Refuerzos en el molde



Fuente: Autores

Cuando el molde o matriz ya esté terminada quedara de la siguiente manera véase en la Figura 70 en la cual está lista para poder realizar el proceso de fabricación o elaboración del fondo plano con difusores en fibra natural.

Figura 70. Molde del fondo plano con difusores



Fuente: Autores

4.7 Materiales para la fabricación del fondo plano

4.7.1 *Fibra natural de cabuya.* Este material tiene su origen en México aunque actualmente lo distribuyen por Estados Unidos, Venezuela y Colombia, Su campo de aplicación es muy amplia para hacer artesanías hasta realizar productos industriales el cual se utiliza como fibra de refuerzo con materiales compuestos. El mismo que es un elemento biodegradable es decir que cuando esta cumple su vida útil se puede utilizar como abono orgánico o alimento y no contamina. Vale mencionar que la fibra utilizada para la elaboración del fondo plano tiene un diámetro de 0,9mm

Figura 71. Fibra de cabuya utilizada en la construcción



Fuente: Autores

4.7.2 *Yielcold.* Consiste en una mezcla de talco chino, resina poliéster, dióxido de titanio, peróxido y cobalto. Se utiliza para dar el acabado final evitando imperfecciones en zonas donde se requiere que no existe rugosidad.

Figura 72. Yielcold



Fuente: <http://es.wikihow.com/utilizar-un-kit-de-fibra-de-vidrio>

4.7.3 *Mek.* Es Metil etil cetona es un catalizador, se utiliza para acelerar el tiempo de secado o curado, es usado especialmente con resinas poliéster y tintas.

Figura 73. Catalizador utilizado en el proceso de fabricación del molde (Mek)



Fuente: Autores

4.7.4 *Cera y desmoldante.* Sirven para que la resina no se pegue a la matriz así evitar desperfecciones al momento de realizar el separado de la matriz. Algunas ceras contiene grasas que cortan la película separadora haciendo que se quede pegado al molde por lo cual este tipo de ceras no son recomendable para el uso en este tipo de procesos.

Figura 74. Desmoldante y cera utilizadas



Fuente: Autores

4.7.5 *Cobalto*. Sirve como acelerante es decir disminuir el tiempo de secado de la resina poliéster. Técnicamente a esto se lo llama el curado de la resina

Figura 75. Cobalto



Fuente: Autores

4.7.6 *Resina poliéster*. Se encuentran en líquido a temperatura ambiente pueden ser llevadas a sólidos mediante la adición de acelerante y catalizadores. El proceso de transformación de estado líquido a sólido se llama curado mediante MEK que es un catalizador y cobalto como acelerante.

Hay que tomar en cuenta algunos factores que intervienen en el proceso de curado.

- Algunas resinas no curan a temperatura menor a 16 ° C tampoco sobrepasar la temperatura ambiente es decir los 27°C.
- Debe tener una humedad relativa entre 40 a 50%
- No exceder con la exposición al sol.
- El espesor que tiene el laminado.
- El tipo de resina que se está utilizando.

Todos estos parámetros mencionados se deben tomar en cuenta al momento de realizar el curado. También se tendrá cuidado en revisar su fecha de elaboración ya que si este sobrepasa el límite de uso recomendado afectara la calidad y la viscosidad de la resina lo que afecta en el curado.

Figura 76. Resina poliéster



Fuente: Autores

4.8 Proceso de construcción del fondo plano con difusores rectos empleando fibra natural

Para llevar a cabo la fabricación del fondo plano se deberá tomar en cuenta consideraciones importantes como: el acabado de la parte inferior, en el cual no debe existir rugosidad ya que esto problema afectaría en el paso del flujo por los difusores para evitar este tipo de inconvenientes primero se colocara en toda la superficie una capa de yielcold que dejara con un acabado superficial más liso en su parte inferior.

Figura 77. Proceso de construcción de la fibra



Fuente: Autores

4.9 Aplicación de cera

Con la matriz ya realizada se procederá a su construcción, primero se colocara una ligera capa de cera utilizando un paño o guaipe esta debe quedar uniforme en todas el área de la matriz. Una vez secada la capa inicial se procederá aplicar una segunda capa teniendo mucho cuidado en no levantar la primera así se deberá aplicar por lo menos cinco veces para que se mantenga encerado durante todo el proceso.

Figura 78. Aplicación de la cera



Fuente: Autores

4.10 Distribución del desmoldante en la superficie

El proceso de aplicación del desmoldante se lo realizara una vez que la capa de cera se encuentre seca. Una vez que la cera se encuentre distribuida en toda la superficie del molde se procede a colocar el desmoldante con un paño o guaipe mojado la cual evitara que el molde se pegue con la matriz al momento de separarlo.

Figura 79. Distribución homogénea del desmoldante



Fuente: Autores

4.11 Aplicación de Capa fina de Yielcold

Una vez colocada la cera y desmoldante se procederá a distribuir de manera homogénea en toda la superficie la primera capa de Yielcold que tiene características similares al gel-coat para lo cual se deberá emplear una brocha posterior a eso se dejara secar durante 20 a 25 min, Esto es con el objetivo de garantizar el acabado superficial en la parte inferior por donde circula el flujo de aire en el cual se deberá conseguir en lo posible eliminar rugosidades para evitar turbulencias.

Figura 80. Aplicación de Yielcold



Fuente: Autores

4.12 Ubicación de los refuerzos

Se procederá a colocar refuerzos en zonas donde produce mayor esfuerzo y deformación excesiva basándose en el análisis estructural de Ansys para evitar posibles fracturas, también se colocara en las zonas donde se realizaran los anclajes con pernos es decir donde serán perforados se detalla en la Figura 91 utilizando una platina de acero estructural de 5 cm de ancho y 0,3 cm de espesor.

Figura 81. Colocación de refuerzos



Fuente: Autores

4.13 Aplicación de la resina poliéster

Se procede aplicar una primera capa de resina poliéster de manera que quede homogénea en toda la superficie, para sobre esta colocar los refuerzos.

Se coloca primero una capa de resina poliéster tomando en cuenta que el refuerzo que completamente oculto en la parte inferior y no interfiera en la circulación del flujo de aire así evitamos en lo posible generar rugosidad.

Figura 82. Aplicación de resina poliéster



Fuente: Autores

4.14 Colocación de la fibra de cabuya

Primero más que nada se deberá realizar recortes de la fibra para todas las superficies curvas o partes con detalles, ya que es muy difícil dar forma requerida en estos lugares

donde es necesario ubicarlo. Esta lámina de cabuya se colocara sobre el refuerzo de platina ya que esta deberá quedar completamente oculta.

Se coloca la primera capa de fibra natural ya recortada y se procederá aplicar resina poliéster en toda la superficie utilizando una brocha, con esto se deberá en lo posible eliminar burbujas de aire producidos al momento de colocar la fibra.

Figura 83. Ubicación de fibras recortadas



Fuente: Autores

Cuando ya finalice la aplicación de todo el fondo plano se debe colocar una segunda capa de fibra pero esta vez las láminas de cabuya deberán colocarse en dirección contraria a la primera es decir que debe quedar cruzada ya que de esta forma podrá resistir esfuerzos grandes. Y se deberá aplicar resina en toda la superficie como anteriormente indicada. Cuando se haya cubierto de resina todo el fondo plano se deberá dejar 24 horas para su respectivo secado o curado.

Figura 84. Fondo plano curado



Fuente: Autores

4.15 Masillado de la superficie

Se realiza este procedimiento ya que es muy necesario para conseguir una superficie externa más regular. Existen zonas porosas y superficies irregulares lo cual se deberá corregir el mismo que se produce debido a la separación de la fibra.

Figura 85. Masillado en las superficies deformes



Fuente: Autores

4.16 Proceso de pulido

Cuando el masillado se encuentre completamente seco se deberá realizar el pulido y lijado de tal manera que toda la superficie quede homogénea y regular para esto se utilizara una pulidora y lija gruesa número 60 y 80 así como también lija de agua para tener un mejor terminado.

Figura 86. Pulido de superficies



Fuente: Autores

4.17 Separación del molde

Se realiza la separación del molde cuidadosamente evitando esfuerzos bruscos para no dañar el prototipo.

Figura 87. Separación de fondo plano



Fuente: Autores

4.18 Proceso de pintado

Primero se deberá proceder a realizar una descontaminación del área que va ser pintado es decir quitar suciedades, polvos etc. La superficie debe encontrarse completamente libre de impurezas ya que la pintura de fondo no podrá adherirse adecuadamente.

Se aplica un fondo de color gris lo cual sirve como base de esta manera la siguiente capa de pintura podrá adherirse mejor. Posterior a esto de preparar de pintura realizando una mezcla de azul oscuro y blanco para así obtener un color azul eléctrico.

Figura 88. Preparación de pintura



Fuente: Autores

También se deberá tomar en cuenta la mezcla que se realice con el tinner esta debe ser equilibrada es decir que no debe ser muy espesa ni muy diluida lo cual implicara en la adhesión a la superficie y en la calidad de acabado superficial.

Una vez finalizada toda la preparación del color adecuado se procederá a la aplicación con la ayuda de una pistola de aire.

Figura 89. Aplicación de pintura



Fuente: Autores

Cuando se termine el proceso de pintado se deberá dejar a temperatura ambiente para su respectivo secado. Una vez secado el prototipo deberá quedar como se visualiza en la Figura 90.

Figura 90. Fondo plano terminado



Fuente: Autores

4.19 Anclajes del fondo plano

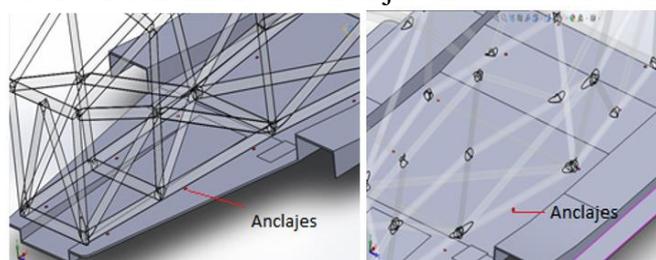
Los anclajes del fondo plano con el chasis deben cumplir con todos los requerimientos y especificaciones del reglamento de la Fórmula SAE. Las consideraciones son las siguientes:

- Debe tener fácil acceso para el montaje y desmontaje.
- Los puntos de anclaje no deben sobresalir del chasis.
- Para la simplificación en el montaje se puede soldar tuercas.

Partiendo de las consideraciones anteriormente mencionadas se procede a analizar el lugar donde se colocaran los anclajes para que el fondo plano quede fijo al chasis.

4.19.1 *Los anclajes del fondo plano.* Tienen que ver con los refuerzos que se colocó en la construcción del fondo plano, ya que estas platinas nos sirven de refuerzo y soportes para los anclajes evitando así que las fibras se destruya al momento de realizar los orificios por donde van a pasar los pernos. Los pernos a utilizar son pernos Allen milimétricos con cabeza redonda tipo G8. Estos pernos sean colocados desde la parte inferior hacia la parte superior por lo que en la parte superior estarán sujetos con tuercas tipo M8 garantizando así la sujeción.

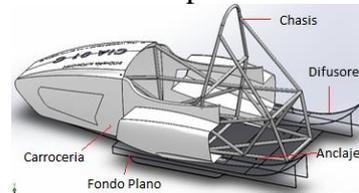
Figura 91. Posicionamiento de anclajes en el software Solidworks



Fuente: Autores

Partiendo de los análisis realizados en el software Ansys, su ventana Static Structural y Modal se ha optado por 14 perforaciones las mismas que estarán sujetas con los pernos y tuercas anteriormente mencionados.

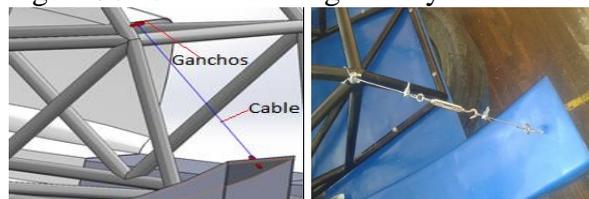
Figura 92. Fondo plano con anclajes



Fuente: Autores

4.19.2 *Cable tensor en los difusores.* En la parte de los difusores se colocaran dos ganchos empotrados al fondo plano que irán sujetos por medio de un cable de acero diagonal con un regulador de tensiones. La misma que ayude a contrarrestar las vibraciones producidas por el motor y las irregularidades de la pista.

Figura 93. Ubicación de gancho y cable tensor



Fuente: Autores

4.20 Ensamble del fondo plano

4.20.1 *Perforacion del fondo Plano.* Para la fijacion del fondo plano es necesario realizar las 14 perforaciones que han sido mencionado y utilizado como agujeros de soporte fijos en el analisis Static Structural de Ansys, de la misma manera en la parte del chasis se a utilizando brocas de 3, 6 y 8 mm. Esta perforaciones se realizaran en posiciones realizadas en el software ansys.

Figura 94. Perforación del fono plano y chasis



Fuente: Autores

4.20.2 *Montaje del fondo plano.* Una vez que los agujeros se encuentren listos se procede a la unión de estos componentes para lo cual es necesario utilizar los pernos mencionados en el apartado 4.19.1 con un total de 14.

Cuando todo los pernos se encuentren en la posición de los agujeros se deberá proporcionar un ajuste ligero hasta que todo el fondo plano se encuentre completamente centrado evitando que se desigualen ya que es posible que se produzca una fractura.

Figura 95. Unión del fondo plano con el chasis



Fuente: Autores

4.20.3 *Ensamble final del fondo plano.* Una vez ajustados todos los pernos tenemos el ensamble final como se observa en la Figura 96 de la misma manera se puede observar la parte de los difusores con un cable tensor regulable del cual se mencionó en el apartado

Figura 96. Ensamble completo



Fuente: Autores

CAPITULO V

5. ANÁLISIS DE COSTOS

El principal objetivo de este análisis es dar a conocer el costo y la cantidad de materiales empleados en el proceso de fabricación del fondo plano con sus difusores, sumados todos estos valores nos dará a conocer el costo total. Además a esto podemos agregar que el proceso de fabricación nos tomó un tiempo de dos semanas para llegar a obtener buenos resultados acatando así el tiempo de secado, lijado ya que todo esto se realizó al aire libre.

5.1 Costos directos e indirectos de fabricación

5.1.1 Costos directos de fabricación. Dentro de los costos directos están todos los materiales cuantificables y medibles empleados esto determinara el costo de la materia prima y la mano de obra.

Tabla 16. Detalles de los costos directos

Orden	Cantidad	Detalle	Precio unitario [USD]	Precio total [USD]
1	2	Plancha de Triplex	28,00	56,00
2	16	Fibra de Cabuya (m ²)	3,50	42,00
3	20	Resina Poliéster (kg)	8.00	160.00
4	3	Talco Chino (libras)	3.00	9,00
5	1	Meck (kg)	4.00	4,00
6	½	Cobalto (kg)	2,50	2,50
7	1½	Masilla plástica (Galón)	10.00	15,00
8	¼	Masilla Roja	2.50	2,50
9	1	Desmoldante (Litro)	4,00	4,00
10	1	Cera	2,30	2,30
11	8	Lijas	0,50	4.00
12	1	Tinner (Galón)	7,00	7,00
13	1	Pintura (Galón)	12,00	12,00
14	2	Brochas	1,20	2,40
15	1	Impresión a escala	57,12	57,12
16	1	Enseres	10.00	10,00
17	1	Encapsulado de cristal	10,00	10,00

18	14	Pernos	0,63	8,82
19	1	Broca	1,20	1,20
20	2	Cable de acero	0,80	1,60
21	28	Anillos planos y tuercas	0,10	2,80
22	8	Prisioneros	0,50	4,00
23	2	tensores	1,30	2,60
			TOTAL	420,84

Fuente: Autores

5.1.2 *Costos indirectos de fabricación.* Consiste de la suma de los gastos indirectos por uso de maquinaria y herramientas para la fabricación del fondo plano con difusores, los cuales no son cuantificable ni medibles de una manera directa por lo cual se realiza una aproximación de los valores para determinas el costo indirecto de fabricación. (GUANO, 2012)

Tabla 17. Detalles de los costos indirectos

Detalle	Precio (\$)
Transporte	100.00
Documentación e investigación	250.00
Maquinaria utilizada	50.00
TOTAL	400.00

Fuente: Autores

5.1.3 *Costos totales de fabricación.*

Tabla 18. Detalles de los costos totales de fabricación

Sumatoria	
Costos directos	420,84
Costos indirectos	400
Costos totales	820,84

Fuente: Autores

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se pudo recopilar toda la información necesaria utilizando normas y reglamentos oficiales y actualizados de la formula SAE que ayudaron a realizar la construcción de dicho fondo plano.

Se realizó 3 diseños modelados en Solidworks de los cuales se optó por el fondo plano con difusores rectos debido a que en el análisis aerodinámico realizado en Ansys 16.0 con la herramienta de análisis de flujo dinámico se obtuvo valores de sustentación negativa mayor que los otros dos diseños así como también se realizó el análisis de una forma real del prototipo gracias a una impresión 3D en material PLA, donde se pudo corroborar y analizar el comportamiento de líneas de flujo realizado en el laboratorio de aerodinámica de la ESPOCH, En la misma se visualiza que los difusores permiten una buena difusión del aire evitando vórtices y flujos turbulentos en la superficie del fondo plano, con esto se pudo validar el análisis realizado en CFD.

El factor de seguridad obtenida mediante el software Ansys workbench es de 7,99 con dicho valor se puede garantizar la construcción del fondo plano en fibra natural de cabuya. Este prototipo estará expuesto a vibraciones por tal razón se realiza la validación en Ansys modal donde se corrobora zonas con mayor esfuerzo y producen deformaciones excesivas para evitar dicho problema se opta por colocar refuerzos metálicos y evitar posible fracturas.

El proceso de manufactura que se utilizó para realizar la fabricación del fondo plano es el método de estratificación manual debido a que es una técnica simple, antigua, menos costosa y de fácil obtención de materiales compuestos. La cantidad de material empleado en todo el proceso de fabricación es de 15 kg de resina poliéster y 14 m² de fibra de cabuya, estos valores nos da unos porcentajes aproximados de 75% y 37.3% respectivamente.

6.2 Recomendaciones

La primera recomendación que se puede hacer antes de ejecutar el proyecto de titulación es conocer y estudiar muy detenidamente las reglas vigentes que rigen a la fórmula SAE para así cumplir con cada uno de los ítems citados respecto al fondo plano con difusores.

En el proceso de construcción se debe tener cuidado con la preparación de resinas al momento de mezclar cobalto y meck debido a que son inflamables, así como también la colocación de la fibra de cabuya tomando en cuenta que esta debe estar seca para que pueda absorber la resina y tome la forma de la matriz deseada evitando desperfecciones y vacíos entre capas.

Al momento de la manipular materiales compuestos para la fabricación se debe utilizar equipos de protección adecuado para evitar posibles quemaduras por sustancias químicas como la resina y sus aditivos que se le adiciona ya que estos pueden causar dolor de cabeza, infecciones respiratorias, visuales y de la piel.

Concluir con dicho proyecto servirá para próximas promociones a enaltecer nuestra querida institución dentro y fuera de nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

ASHBY, Michael F. 1999. *Materials selection in Mechanical Desing.* England : s.n., 1999.

ASKELAND, D. 1998. *Ciencia e ingeniería de los materiales.* México : s.n., 1998.—. **1998.** *Ciencias en ingeniería de materiales .* mexico : international thomson editores., 1998. ISBN 968-7529-36-8.

BESEDNJAK, A. 2005. *Los materiales compuestos.* Barcelona : UPC, 2005.

BIRON, M. 2007. *Thermosets and composites.* Oxford, Inglaterra : Elsevier, 2007.

BLANES, Briet. 2013. *Aerodinámica y aero post rig aplicados al diseño de coches de competicion.* s.l. : Circulo rojo , 2013.

CALLISTER, W. 2007. *Materials Science and Engeneering an introduction.* Estado unidos : s.n., 2007.

2012 CLIMATE-DATA.ORG. CLIMATE-DATA.ORG. *CLIMATE-DATA.ORG.* [En línea] AmbiWeb GmbH, 2012 CLIMATE-DATA.ORG. <http://es.climate-data.org/info/privacy/>.

composites, matrasur. 2011. www.matrasur.com. [En línea] Septiembre de 2011.

DAVIM, P. 2011. *Machining of metal matrix composites.* Portugal : s.n., 2011.

ESPE. 2015. *Diseño, simulación, optimización y construcción de una carrocería de un vehículo.* Latacunga : s.n., 2015.

GARCÍA, VILLEGAS JOSÉ MANUEL. 2014. *SISTEMA DE CONTROL DE TRACCIÓN Y SALIDA PARA UN MONOPLAZA DE LA FORMULA SAE.* MADRID-ESPAÑA : s.n., 2014.

GORDILLO BRAVO, EDISON XAVIER, LARA SALAS, LUIS EDUARDO. 2015. *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CAMBIADOR DE MARCHAS INTELIGENTE UTILIZANDO SISTEMAS FPGA PARA EL PROTOTIPO FESPE 2013.* LATACUNGA : s.n., 2015.

GUANO, A. 2012. *Diseño y construcción de una máquina para el reciclaje de fibra de vidrio.* Riobamba : s.n., 2012.

GUERRERO, Victor Hugo. 2011. *Nuevos Materiales, Aplicaciones Estructurales e Industriales.* Quito - Ecuador : s.n., 2011.

J., GUANO A. TIERRA. 2012. *Diseño y construccion de unamaquina para el reciclajede fiba de vidrio.* Riobamba : s.n., 2012.

- KATZ, Joseph. 1995.** *Race Car Aerodynamics*. Massachusetts : s.n., 1995.
- LEVY, F. 2006.** *Compositos estruturais: Ciência e tecnologia*. Brasil : s.n., 2006.
- MORAN, Ivan. 2013.** *DISEÑO DE ELEMENTOS Y MAQUINAS I*. Riobamba : s.n., 2013.
- MOTT, Robert L. 2006.** *Mecánica de fluidos. Sexta edición*. Mexico : Pearson educación, 2006.
- NEWELL, J. 2011.** *Ciencia de Materiales Aplicaciones en Ingeniería*. Mexico : Mexico:Alfaomega Grupo Editor, S.A de C.V, 2011, 2011. ISBN: 987-607-707-114-3..
- Número Reynolds.* **CANUT, Arlette. UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA. 2008.** México : s.n., 2008.
- POTTER, Merle y D.C., Wiggerl. 1997.** *Mecánica de Fluidos*. México : Prentice Hall, 1997.
- RAUWWENDAAL, Estrusion Engineering Inc.** Curso Interactivo de extrusión.
- SAE, international. 2015.** *Reglamentos 2014*. Muchigan : s.n., 2015.
- SANJAY, K. 2002.** *Composites manufacturing, materials, product, and process Engineering*. Estados Unidos : s.n., 2002.
- Schwarz, Tobias. CLIMATE-DATA.ORG (2012).** CLIMATE-DATA.ORG. *CLIMATE-DATA.ORG*. [En línea] AmbiWeb GmbH, CLIMATE-DATA.ORG (2012). <http://es.climate-data.org/location/60096/>.
- STUPENGO, Franco. 2011.** *Materiales y materias primas*. Buenos Aires : Buenos Aires :, 2011. ISBN: 789.C1229ACE..
- TIXI, JOFFRE y VISTÍN JONATHAN. 2015.** *APLICACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS PARA LA FORMACIÓN DE GUARDABARROS Y TAPAS LATERALES DE UNA MOTO DE 125CC, 4 TIEMPOS*. RIOBAMBA : s.n., 2015.
- VALERO, Eduardo Frias. 2004.** *Aplicacion de metodo de los elementos finitos*. Barcelona : s.n., 2004.