



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA FÓRMULA “SAE” EN FIBRA DE VIDRIO, PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

**BAYAS GUEVARA CHRISTIAN MARCELO
ROSERO SÁNCHEZ DIEGO RICARDO**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**RIOBAMBA – ECUADOR
2015**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2014-07-31

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

BAYAS GUEVARA CHRISTIAN MARCELO
ROSERO SÁNCHEZ DIEGO RICARDO

Titulada:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO
DE COMPETENCIA FÓRMULA “SAE” EN FIBRA DE VIDRIO, PARA LA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

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

INGENIERO AUTOMOTRIZ

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

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Celin Padilla P.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Miguel Aquino M.
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: BAYAS GUEVARA CHRISTIAN MARCELO

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA FÓRMULA “SAE” EN FIBRA DE VIDRIO, PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

Fecha de Examinación: 2015-08-11

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Dr. Mario Audelo PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Celin Padilla P. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Miguel Aquino M. 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

Dr. Mario Audelo
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ROSERO SÁNCHEZ DIEGO RICARDO

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA FÓRMULA “SAE” EN FIBRA DE VIDRIO, PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

Fecha de Examinación: 2015-08-11

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Dr. Mario Audelo PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Celin Padilla P. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Miguel Aquino M. 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

Dr. Mario Audelo
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado 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.

Bayas Guevara Christian Marcelo

Rosero Sánchez Diego Ricardo

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con mucho amor y cariño primeramente a Dios padre por concederme la salud y la vida, a mis apreciados padres dignos de admiración por toda su comprensión, por darme los mejores ejemplos de trabajo de constancia y por su apoyo incondicional haciendo posible la culminación de mi meta. A ustedes hermanos del alma Mauricio, Adrián ya que pensando en ustedes me he motivado, y fortalecido para culminar con mi carrera.

Christian Bayas Guevara

A Dios creador y dador de vida. A mis Padres Jesús e Hildita por ser ejemplo de humildad y perseverancia por formarme y apoyarme incondicionalmente para ser quien soy, a mis hermanos a mi maravillosa familia por siempre estar a mi lado y brindarme su comprensión y ayuda incondicional. A Oscar Paúl por todas las alegrías y por haber sido un ejemplo de vida.

Diego Rosero Sánchez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos mis familiares que confiaron en mí por darme su apoyo, por motivarme a ser una persona encaminada a conseguir metas. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión, y en especial a todo el personal Docente por los conocimientos impartidos, agradezco también a mis compañeros por su amistad y por el apoyo brindado para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

Christian Bayas Guevara

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Escuela de Ingeniería Automotriz por formarme profesionalmente. Un eterno agradecimiento al personal docente especialmente a mi Director y Asesor de Tesis por compartir sus conocimientos por su paciencia y motivación, a mis amigos y compañeros de clase por su amistad y apoyo brindado.

Diego Rosero Sánchez

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Generalidades	1
1.2 Antecedentes.....	1
1.3 Justificación	2
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Análisis de los procesos para la elaboración de una carrocería de un vehículo de competencia Fórmula “SAE”, en función de las últimas investigaciones científicas	4
2.2 Fórmula Student (SAE)	5
2.3 Materiales	6
2.3.1 <i>Resinas</i>	6
2.3.1.1 <i>Cargas aplicadas a la resina</i>	7
2.3.1.2 <i>Aditivos de las Resinas</i>	7
2.3.2 <i>Fibra de vidrio</i>	10
2.3.2.1 <i>Clasificación de hilados comerciales</i>	11
2.3.2.2 <i>Empleo de fibras de refuerzo</i>	12
2.4 Equipos	13
2.5 Teoría de la aerodinámica.....	14
2.6 Principios básicos de la aerodinámica	15
2.6.1 <i>Definición del Aire</i>	15
2.6.1.1 <i>Fluido</i>	15
2.6.2 <i>Propiedades de los fluidos</i>	16
2.6.2.1 <i>Densidad del aire</i>	16
2.6.2.2 <i>Presión</i>	17
2.6.2.3 <i>Presión absoluta y relativa</i>	18
2.6.2.4 <i>Viscosidad</i>	18
2.6.3 <i>Teorema de Bernoulli</i>	18
2.6.4 <i>Flujo Laminar y Turbulento</i>	19
2.6.4.1 <i>Flujo Laminar</i>	19
2.6.4.2 <i>Flujo Turbulento</i>	20
2.6.5 <i>Aerodinámica de un Fórmula SAE</i>	20
2.6.5.1 <i>Coefficiente de sustentación</i>	21
2.6.5.2 <i>Coefficiente de arrastre o de resistencia</i>	22
2.7 Carenado	23
2.8 Normativa de la Fórmula SAE.	24
3. DISEÑO DE LA CARROCERIA	
3.1 Diseño de la carrocería, asistido por Solidworks 2015	25
3.2 Bosquejos iniciales para el modelado.....	25
3.3 Consideraciones de espacio en la carrocería	26
3.4 Descripción del Software Solidworks 2015	26
3.5 Fases de modelación de la carrocería en SOLIDWORKS 2015	26

3.6	Descripción del Software de análisis de elementos Finitos.....	30
3.6.1	<i>La mecánica de fluidos computacional (CFD)</i>	30
3.6.2	<i>Aplicaciones de la CFD en la industria del automóvil</i>	31
3.7	Ansys Fluid Flow (Fluent).....	32
3.7.1	<i>Análisis Ansys Fluid Flow (Fluent)</i>	33
3.7.2	<i>Análisis de la carrocería SAE</i>	33
3.7.3	<i>Interpretación de Resultados de la Carrocería SAE</i>	36
3.7.3.1	<i>Análisis de Presión</i>	36
3.7.3.2	<i>Análisis de la presión Dinámica</i>	36
3.7.3.3	<i>Análisis de Velocidades</i>	37
3.7.3.4	<i>Análisis de Turbulencia</i>	37
3.7.3.5	<i>Trayectorias de Fluido</i>	38
3.7.4	<i>Análisis de coeficientes aerodinámicos</i>	39
3.7.4.1	<i>Cálculo del área transversal de la carrocería</i>	39
3.7.4.2	<i>Coefficiente de Sustentación</i>	40
3.7.4.3	<i>Coefficiente de arrastre</i>	41
3.7.4.4	<i>Cálculo de la Potencia</i>	41

4. PROCESOS Y CONSTRUCCION DE LA CARROCERÍA

4.1	Construcción de la carrocería	42
4.2	Proceso de fabricación del material compuesto	42
4.2.1	<i>Estratificación Manual</i>	42
4.2.2	<i>Ventajas de la estratificación manual</i>	43
4.3	Dimensionamiento y construcción del molde para probetas	43
4.4	Fracción volumétrica.	43
4.5	Tiempos de curado de las probetas	45
4.6	Proceso de construcción de probetas tracción, flexión e impacto.	46
4.6.1	<i>Elaboración de probetas de tracción</i>	47
4.6.2	<i>Elaboración de probetas de flexión</i>	47
4.6.3	<i>Elaboración de probetas de Impacto</i>	48
4.6.4	<i>Ensayos a tracción del material compuesto</i>	48
4.6.5	<i>Ensayos a flexión del material compuesto</i>	54
4.6.6	<i>Ensayos de impacto del material compuesto</i>	57
4.6.7	<i>Interpretación de datos</i>	58
4.6.7.1	<i>El coeficiente de Poisson para materiales compuestos</i>	59
4.7	Verificación del material asistido por Ansys.....	61
4.8	Procesos de Construcción de la Carrocería	63
4.8.1	<i>Creación de la matriz o moldes</i>	63
4.9	Creación de las piezas.....	65
4.10	Modelación de la Carrocería.....	66
4.11	Aplicación de la espuma de poliuretano.....	67
4.12	Aplicación de cera desmoldante	68
4.13	Aplicación de Yielcold	69
4.14	Aplicación de la fibra de vidrio	69
4.15	Recorte de la fibra de vidrio	70
4.16	Proceso de pintura	70
4.16.1	<i>Pulido</i>	70
4.17	Anclajes de la carrocería.....	71
4.18	Construcción del atenuador de impacto para la carrocería SAE	72
4.18.1	<i>Deformación mínima del atenuador</i>	74

4.18.2	<i>Tiempo de Deformación</i>	74
4.18.3	<i>Energía cinética</i>	75
4.18.4	<i>Análisis de Resultados</i>	75
4.18.4.1	<i>Análisis de Von Mises</i>	75
4.18.4.2	<i>Análisis de deformación del atenuador</i>	76
4.18.4.3	<i>Análisis de energía</i>	76
4.19	<i>Atenuador de Impacto (fibra-aluminio-poliuretano)</i>	77
4.19.1	<i>Pruebas de impacto.</i>	78
4.19.2	<i>Análisis de pruebas de impacto</i>	79
4.19.2.1	<i>Medición del material residual</i>	79
4.20	<i>Diagramas de procesos</i>	81
4.20.1	<i>Proceso 1: Molde de la carrocería</i>	81
4.20.2	<i>Proceso 2: Aplicación de la fibra de vidrio</i>	82
4.20.3	<i>Proceso 3: Carrocería</i>	83
5.	ANÁLISIS DE COSTOS	
5.1	<i>Costos</i>	84
5.2	<i>Costos directos</i>	84
5.3	<i>Costos indirectos:</i>	85
5.4	<i>Costos totales:</i>	85
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1	<i>Conclusiones</i>	86
6.2	<i>Recomendaciones</i>	86

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Ponderaciones de la competencia 6
2	Variación de la densidad del aire con la altura 17
3	Fuerzas resultantes 39
4	Fracción volumétrica de fibras, probetas de Tracción 45
5	Fracción volumétrica de fibras, probetas de Flexión 45
6	Fracción volumétrica de fibras, probetas de Impacto 45
7	Probetas de tracción a ensayar 47
8	Análisis de probetas a tracción con material de refuerzo 25 % 50
9	Análisis de probetas a tracción con material de refuerzo 30 % 51
10	Análisis de probetas a tracción con material de refuerzo 40 % 52
11	Representación en gráficas 53
12	Análisis de probetas a flexión con material de refuerzo 40 % 56
13	Análisis de probetas de impacto con material de refuerzo 57
14	Valores promedio deformación unitaria del Material Compuesto F.V. 40% 58
15	Propiedades Mecánicas del Material Compuesto F.V. 40 % 59
16	Comparación de propiedades típicas de las resinas epoxi y poliéster 60
17	Propiedades físicas y mecánicas del aluminio 73
18	Propiedades físicas y mecánicas del Poliuretano 73
19	Lista de Materiales y Costos 84
20	Lista de Equipos y Costos 85
21	Costos de mano de obra 85
22	Costos Indirectos 85
23	Costos totales 85

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Elaboración de una carrocería..... 4
2	Prototipo Fórmula Student..... 5
3	Diluyente..... 8
4	Catalizador..... 9
5	Pigmento de color..... 9
6	Gel-coat..... 9
7	Filamentos de fibra de vidrio..... 10
8	Woven Roving..... 11
9	Velos de superficie..... 11
10	Fibra de vidrio 375 g/m ² Preempacada..... 12
11	Máquina Universal. Tinius Olsen..... 13
12	Deformímetro digital..... 14
13	Péndulo de Charpy Ceast..... 14
14	Descomposición de la fuerza aerodinámica..... 15
15	Perfil del Ala..... 19
16	Trayectorias de un flujo laminar..... 19
17	Trayectorias de un flujo Turbulento..... 20
18	Fuerzas aerodinámicas..... 20
19	Ensayo de un vehículo Audi en el túnel de viento..... 22
20	Carenado de un automóvil tipo Fórmula..... 23
21	Bosquejo inicial de la carrocería..... 25
22	Inicio del Modelado..... 27
23	Superficies delanteras Laterales..... 27
24	Superficies posteriores laterales..... 27
25	Cuerpo de la Carrocería..... 28
26	Bosquejo Pontones..... 28
27	Optimización del Prototipo..... 29
28	Prototipo terminado..... 29
29	Apariencia final..... 30
30	Renderizado final..... 30
31	CFD en la industria del automóvil..... 32
32	Ansys Fluid Flow (Fluent)..... 32
33	Importación del modelado..... 33
34	Túnel de Viento..... 34
35	Mallado..... 34
36	Variables de simulación..... 34
37	Configuración de parámetros..... 35
38	Resultados Finales del Estudio..... 35
39	Presión estática medida en Pascales [Pa]..... 36

40	Presión Dinámica medida en Pascales [Pa]	37
41	Velocidad vista lateral medida en [m/s].....	37
42	Turbulencia en Porcentajes	38
43	Trayectorias de Flujo de Velocidad	38
44	Trayectorias de Flujos Turbulencia.....	39
45	Área frontal de la carrocería.....	40
46	Molde de vidrio laminar.....	43
47	Probetas de tracción a ensayar	47
48	Probetas de flexión a ensayar.....	48
49	Probetas de impacto a ensayar construidas	48
50	Diagrama Esfuerzo-Deformación	59
51	Creación del material compuesto en el software	61
52	Presiones en la carrocería.....	61
53	Presión Importada	62
54	Mallado	62
55	Deformación Total	63
56	Factor de seguridad	63
57	Cera desmoldante	64
58	Estructura	66
59	Adherencia de Madera de MDF al chasis	66
60	Moldes de la geometría superior de la parte frontal.....	67
61	Moldes de laterales y pontones	67
62	Aplicación de la espuma de poliuretano	68
63	Desbaste y forma de la espuma.....	68
64	Aplicación cera desmoldante y alcohol poli vinílico	68
65	Aplicación del Yielcold	69
66	Aplicación de la fibra de vidrio.....	69
67	Proceso de pintura de componentes	70
68	Platina soldada con tuerca M6	71
69	Anclajes nariz de la carrocería	71
70	Anclajes de los Pontones de Aire.....	72
71	Diseño y Análisis del Atenuador de Impact.....	72
72	Von Mises	76
73	Deformación.....	76
74	Gráfica de la Energía.....	77
75	Estructura de Aluminio	77
76	Llenado de la estructura	77
77	Recubrimiento con fibra de vidrio	78
78	Elevador, tanque para la prueba de impacto	78
79	Deformación del atenuador	79
80	Perno M8 grado 8,8.....	80
81	Plancha de acero de 1,5mm.....	80
82	Sujeción del atenuador y resultados finales	80

SIMBOLOGÍA

Cy	Coefficiente de Sustentación
Cz	Coefficiente de arrastre
Pot	Potencia necesaria para vencer la fuerza de arrastre
Vc	Volumen del material compuesto
Vf	Volumen de Fibras
Vm	Volumen de la matriz
fV _f	Fracción volumétrica de fibras
fV _m	Fracción volumétrica de la matriz
F.V.	Fibra de vidrio
R.P.	Resina Poliéster
μ	Coefficiente de Poisson
σ _{max}	Esfuerzo máximo
P	Carga máxima
A	Área de sección transversal
E	Elongación
L	Longitud
E	Módulo de elasticidad
B	Ancho de probeta
H	Espesor de probeta
Ef	Módulo de flexión
Σ	Deflexión de la probeta
L	Longitud entre apoyos

LISTA DE ABREVIACIONES

SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices
ASTM	Sociedad Estadounidense para pruebas y materiales.
CAD	Dibujo asistido por computadora
MEK	Peróxido de metil etil cetona
PVA	Alcohol polivinílico
M.R.U.V	Movimiento Rectilíneo Uniformemente Variado

LISTA DE ANEXOS

- A** Norma técnica Fórmula SAE
- B** Norma ASTM – D 3039 (Tracción)
- C** Norma ASTM – D 7264 (Flexión)
- D** Norma ASTM – D 6110 (Impacto)

RESUMEN

El análisis y construcción de la carrocería, para un vehículo de competencia Fórmula SAE tiene como objetivo promover el trabajo en equipo y fomentar la investigación en los participantes para lograr obtener nuevos conocimientos y habilidades que permitan sobresalir a nivel nacional e internacional en esta prestigiosa competición.

Mediante diversos métodos de recopilación de información se logró establecer las características indispensables que debe tener el prototipo para lograr un desempeño óptimo, además de poderse ensamblar fácilmente al chasis y cumplir con toda la normativa requerida por la Formula SAE para poder participar en el evento.

Con la ayuda del software SOLIDWORKS, se realizó la respectiva modelación poniendo énfasis en los detalles que podrían afectar al buen funcionamiento del conjunto, para posteriormente analizar el modelo en el software ANSYS; pudiendo simular las diferentes fuerzas que se producen en las distintas condiciones, observando así las deformaciones y esfuerzos máximos producidos para lograr determinar un factor de seguridad adecuado.

En el proceso de construcción se aplica la técnica de estratificación manual utilizando un material compuesto que contiene 40% de fibras de vidrio como refuerzo, para obtener los resultados esperados, proporcionando al modelo la resistencia y peso adecuado para un desempeño parejo en cualquier condición de trabajo, con geometrías aerodinámicas que ayudan a mejorar la eficiencia de combustible de todo el conjunto, parámetro muy importante ya que es evaluado en la competición.

Finalmente, al modelo se le somete a una etapa puramente estética aplicando los colores y emblemas que nos representen como institución.

ABSTRACT

The analysis and the bodywork construction for a racing car Formula SAE has as objective to promote teamwork and encourage research in participants to achieve new knowledge and skills that enable to excel at national and international level in this prestigious competition.

The essential characteristics that a prototype should have for optimal performance were established through the application of different methods of data collection, with the possibility to assemble the chassis easily and comply with all regulations that are required for Formula SAE to be allowed to participate in the competition.

With the help of SOLIDWORKS software, the respective modeling was performed with emphasis on details that could affect the proper functioning of the whole and then analyze the model in ANSYS software to simulate different forces that occur in different conditions and analyze deformations and maximum efforts produced, to achieve and determine an appropriate safety factor.

In the construction process the manual layering technique is applied by using a composite material which contains 40% of glass fibers as reinforcement to obtain the expected results, providing resistance and proper weight for the model, even performance in any working conditions with aerodynamic geometries that help improve fuel efficiency, that is a very important parameter due to it evaluated in the competition.

Finally, the model is immersed into an esthetic process in which the colors and emblems to represent the institution are applied.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

En el transcurso del tiempo los materiales compuestos, aparecieron en aplicaciones aeronáuticas y se extendió enseguida su uso para la automatización en general. Hoy en día, gracias al abaratamiento de estos materiales, comienzan a aplicarse en la construcción y su uso se va extendiendo a otros campos, como en la industria automotriz con la creación de autopartes. En la actualidad el uso de un material compuesto para diseños de carrocerías ha aumentado por la economía, seguridad y manejabilidad hacia mejores diseños aerodinámicos que este presta.

En el marco de la investigación planteada, referido al diseño y a la construcción de una carrocería en fibra de vidrio para vehículos de competencia de la Fórmula SAE; permitirá orientar desde el punto de vista científico – investigativo y guiar todo el proceso de exploración desde la recolección de los datos hasta los últimos detalles y alcanzar los objetivos planteados.

Las especificaciones indicadas en la presente tesis, establecen características, propiedades físicas y mecánicas del material de construcción de una carrocería para un vehículo de competencia de la Fórmula SAE, especificaciones realizadas con pruebas y ensayos basadas en las normativas ASTM para materiales plásticos compuestos. En el presente trabajo se utilizó la normativa SAE 2014, que establece confiabilidad, confort y seguridad al piloto.

1.2 Antecedentes

La Fórmula SAE nació en Michigan, Estados Unidos, siguiendo las directrices marcadas por Society of Automotive Engineers, es una competición entre estudiantes de universidades de todo el mundo que diseñan, construyen y compiten con un monoplaza promoviendo la excelencia en ingeniería a través de sus conocimientos.

Esta industria se ve beneficiada por el aporte a la ingeniería y escogimiento de profesionales, que se obtiene gracias a la Fórmula Student en un tiempo en que las carreras técnicas universitarias tienen dificultades para cubrir plazas.

En esta prestigiosa competición participan las mejores universidades de países como EEUU, Alemania, Italia, Brasil, Japón, entre otros; siendo la Escuela Politécnica del Ejército y la Universidad Politécnica Salesiana representantes de Ecuador en la Fórmula SAE. Todas estas universidades utilizan la misma normativa y juntas conforman hasta 120 equipos y más de 2000 estudiantes para la competencia. Los resultados son recogidos y registrados en el ranking mundial.

Esto ha hecho que nuestra Politécnica ESPOCH conjuntamente con la Escuela de Ingeniería Automotriz se enfoque a la construcción de un prototipo Fórmula SAE para que estudiantes en un futuro lleguen a ser partícipes de esta prestigiosa competición empleando recursos y medios disponibles de nuestro País, así como también recursos del extranjero ayudando de esta manera a futuras generaciones a tener una detallada información y un mejor conocimiento en el diseño del monoplaza.

1.3 Justificación

Esta tesis se centra en diseñar por medio de programas de computación y con la aplicación del método de elementos finitos la carrocería, que permita determinar la energía de deformación en el caso de un choque frontal con el fin de obtener resultados que interpreten la realidad en lo que es seguridad, estabilidad y consumo de combustible del monoplaza.

Nuestra Escuela de Ingeniería Automotriz respecto a este proyecto de tesis ha visto la necesidad de contar con un equipo para incursionar y realizar la mejora continua de un Fórmula SAE.

La constante necesidad de aumentar nuestros conocimientos en vista al desarrollo tecnológico, hizo propia la idea de referenciar el proyecto con simulaciones en software, planos y la búsqueda de un material que cumpla con las propiedades físicas y mecánicas necesarias para que trabaje de forma solidaria con los demás elementos del prototipo,

siendo el material más idóneo para esta aplicación la fibra de vidrio, la cual combinada con procesos de producción de última generación otorgan resultados sobresalientes demandando una menor cantidad de recursos, los mismos que se ven reflejados en la disminución de peso y en el mejoramiento de las características de conducción.

En la realización de este proyecto de tesis que corresponde al diseño y construcción de una carrocería del prototipo Fórmula SAE se deberá considerar parámetros principales de diseño y construcción, la cual se conforma de un conjunto de conocimientos, habilidades, capacidades, destrezas y aptitudes, las mismas que aportaran a la mejora de nuestra vida profesional.

Por lo tanto es muy importante ser competitivos mostrando nuestros conocimientos adquiridos en toda nuestra carrera profesional, aportando de esta manera a la sociedad con información tecnológica y principalmente a nuestra institución.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general.

Diseñar y construir una carrocería de un vehículo de competencia Fórmula “SAE” en fibra de vidrio, para la Escuela de Ingeniería Automotriz.

1.4.2 Objetivos específicos:

Recopilar información y normas vigentes para la correcta elaboración de la carrocería, en función del Estado Actual del Arte.

Diseñar una carrocería aerodinámica que permita un flujo laminar constante del aire, utilizando un software de elementos finitos considerando las restricciones de la Fórmula SAE.

Construir la carrocería utilizando materiales y procedimientos adecuados que garanticen un correcto desempeño del monoplaza dentro de una pista y al mismo tiempo asegure la protección del piloto.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

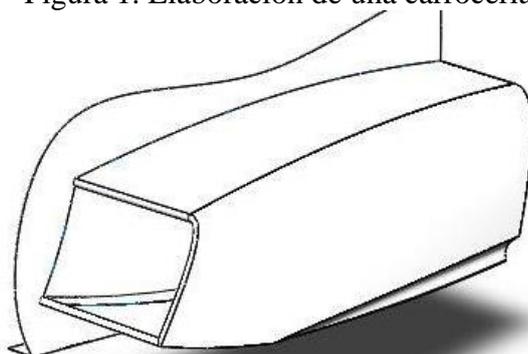
2.1 Análisis de los procesos para la elaboración de una carrocería de un vehículo de competencia Fórmula “SAE”, en función de las últimas investigaciones científicas.

Actualmente la mejora continua presente en la Ingeniería Automotriz cubre una gran cantidad de actividades en la fabricación de carrocerías como el desarrollo, diseño, detalles de piezas, simulación del producto; mejorando tecnologías de ahorro de energía y uno de los parámetros más importantes, la seguridad.

La carrocería es una de las estructuras más importantes en los vehículos de competición ya que es responsable de la seguridad del piloto y también del avance del monoplaza, tiene como función ser una de las bases para la construcción del prototipo, el cual requiere exigencias estructurales, de seguridad y aerodinámicas. La rigidez del material que se necesita debe ser la máxima posible para así ser poco influenciado por vibraciones, flexión y torsión.

Las vibraciones en la carrocería producidas por el impulso de las ruedas, suspensión, motor y tren de potencia pueden reducir considerablemente el desempeño y fiabilidad del coche. Una carrocería debido a sus condiciones de trabajo se encuentra amenazada por grietas en sus puntos de carga y apoyos para los diferentes elementos que completan el sistema, en caso de un accidente el coche se ve afectado por una gran cantidad de energía cinética, siendo la carrocería la responsable de disminuirla.

Figura 1. Elaboración de una carrocería



Fuente: Autores

2.2 Fórmula Student (SAE)

También conocida como Fórmula SAE, es una competición interuniversitaria de monoplazas que se desarrollan en países de todo el mundo esta competición tiene el objetivo de promover la excelencia en ingeniería a través del diseño, construcción y manejo en los distintos circuitos de competición mejorando las condiciones técnicas y económicas.

El grupo de alumnos deberá trabajar en equipo durante un año para construir el vehículo, el cual participará en la competición siendo examinado y comparado con los vehículos de otras aproximadamente 120 universidades de todo el mundo determinando cuál es el mejor vehículo, se evaluarán en una serie de análisis estáticos y dinámicos que incluyen: la inspección técnica, el análisis de costos, la presentación de marketing, el diseño de ingeniería, los ensayos y el rendimiento en pista.

Figura 2. Prototipo Fórmula Student



Fuente: <http://oregonstate.edu/terra/wp-content/uploads/2012/05/Racecar.jpg>

Las restricciones en la estructura del coche y el motor están diseñadas para potenciar la creatividad e imaginación de los estudiantes. La competición de la Fórmula Student, empezó a formarse en 1978 de la mano de la Sociedad de Ingenieros de Automovilismo, y fue evolucionando hasta que en 1981, en Texas (EEUU), se organiza por primera vez la que se conocería como SAE Mini Indy, donde participarían 6 universidades.

A lo largo de los años, esta competición entre estudiantes ha crecido exponencialmente y desde 1998, en Inglaterra, se formaliza lo que hoy conocemos como Fórmula Student, donde se compite a nivel mundial en circuitos de toda Europa como Michigan Siverstone, Hockenheim así como en Cataluña, Japón, Brasil, Australia, entre otras.

Tabla 1. Ponderaciones de la competencia

Eventos estáticos	
Presentación	75
Ingeniería Diseño	150
Análisis de Costos	100
Eventos dinámicos	
Aceleración	75
Skid-Pad	50
Autocross	150
Eficiencia	100
Resistencia	300
Puntos totales:	1000

Fuente: Autores

2.3 Materiales

2.3.1 Resinas. Se presenta en forma de líquido algo viscoso, las más utilizadas son las de tipo poliéster (resinas sintéticas), resultan de una combinación de ácido polibásico con glicoles. En estas resinas se disuelve una proporción de estireno, aditivo que mejora la viscosidad de la misma permitiéndola adherirse con mayor facilidad a superficies planas o curvas al momento de aplicarla.

Mediante una reacción química de un acelerador (octoato de cobalto) y un catalizador (peróxido de mek) las resinas pueden pasar de un estado líquido a un estado sólido, hasta que no se incorpora el catalizador no se produce ninguna reacción por lo que este componente debe ser siempre el último en ser incorporado. (RESINAS DE POLIESTER Y FIBRA DE VIDRIO.)

El cambio de estado de resina se produce por su curado o secado, este proceso se lleva a cabo en tres periodos:

- Fase de gelificación. Mediante una reacción química la resina cambia de un estado líquido a un gel blando.
- Fase de endurecimiento. La resina cambia de un gel blando a un material endurecido.

- Fase de maduración final. La resina adquiere sus propiedades mecánicas.

Usualmente existen 4 tipos de resinas:

- Resinas Poliéster:
 - Poliéster isoftálica. Buen desempeño mecánico, resistente al agua y a agentes químicos.
 - Poliéster ortoftálica. De uso general en ambientes no agresivos
 - Isoftálticas con neopentilglicol (ISO-NPG). Alta resistencia química y al ambiente
- Resinas Viniléster
- Resinas Epoxi
- Resinas Fenólicas

2.3.1.1 *Cargas aplicadas a la resina.* Son agregadas para mejorar sus propiedades en la aplicación de los laminados, estas cargas pueden ser:

- Reforzantes. Esta carga se da con la ayuda de micro esferas de vidrio, que por su geometría permiten repartir regularmente los esfuerzos, logra un aligeramiento en las piezas por la baja densidad que posee. Porcentaje a usarse entre 1 y 5%.
- No reforzantes. Son añadidos de carbonato cálcico, estos aumentan peso, rigidez y viscosidad, así como también disminuyen la resistencia a la tracción.
- Ignifugas. Son hidróxidos de aluminio y óxidos de antimonio que se le añaden a la resina estos compuestos reducen su combustión.

2.3.1.2 *Aditivos de las Resinas*

- Aditivos tixotrópicos. Se caracteriza por espesar la resina con el fin que este no resbale, al momento de realizar laminados en posición vertical, evita también la

mala impregnación y la concentración en el fondo del molde en aplicaciones sobre superficies no planas.

- Diluyente. Su función es disminuir la viscosidad de la resina poliéster o del gel-coat, limpiar la suciedad y desengrasar los moldes, permite también mejorar la adherencia a las superficies curvas y planas de la matriz o pieza.

Existen dos tipos de diluyentes los conocidos como Monómero de Estireno (no se evapora como un disolvente junto a la resinas) y los conocidos como Acetona (es aplicado como diluyente a pistola, para limpieza de herramientas y de manos que hayan permanecido en contacto con la resina)

Figura 3. Diluyente



Fuente: http://tiendaproductosquimicos.com/110-thickbox_default/estireno-monomero.jpg

- Acelerador. La resina generalmente se vende acelerada, contiene un elemento químico octoato de cobalto que presurizara el secado.

En el caso de adquirir la resina y el acelerador por separado siempre mezclar el acelerante con la resina de poliéster antes de añadir el catalizador ya que esta mezcla puede generar desprendimiento de calor con riesgo a incendios.

- Catalizador. Conocido también como peróxido de mek, este reacciona al mezclarse con la resina de poliéster como un agente de gelificación, de secado y como un endurecedor final.

Figura 4. Catalizador



Fuente: http://pinturasarpin.com/1330-large_default/peroxido-de-mec.jpg

- Colorantes. Los aditivos suelen producir un efecto llamado piel de naranja por tal razón se debe añadir colorantes, estos serán añadidos en último lugar, después de las cargas, acelerador y catalizador. Los colorantes suelen mezclarse en el gel-coat y en la primera capa de resina en una proporción de 0.1 al 3 %.

Figura 5. Pigmento de color



Fuente: http://usuaris.tinet.cat/jaranda/Poliester_archivos/image4441.jpg

- Gel-Coat. Es un elemento compuesto de resina de poliéster, brinda un acabado final perfecto de la pieza.

Figura 6. Gel-coat



Fuente: http://usuaris.tinet.cat/jaranda/Poliester_archivos/image4421.jpg

Por su aspecto visual y por ser protector de agresiones exteriores, la aplicación de un gel-Coat se puede dar manualmente o a pistola y al igual que la resina este requiere de un catalizador para su secado.

2.3.2 Fibra de vidrio. Es vidrio en forma de filamentos, cuando el vidrio se convierte en finos filamentos la tensión de rotura aumenta, dichos filamentos se pueden fabricar de varios tipos de vidrios, designados con las letras A, E, C, AR, S.

- Vidrio A. Resistente a los ácidos, sensible a la humedad, alto contenido en sílice.
- Vidrio E. Los elementos que conforman este tipo de vidrio son el boro silicato de calcio y aluminio, en aditamentos insignificantes contienen sodio y potasio. Entre sus propiedades se destaca sus buenas cualidades de rigidez, desgaste y su alta densidad, las fibras realizadas con este tipo de vidrio son las más utilizadas para aplicaciones automotrices y aeronáuticas, es la fibra más económica de todas.
- Vidrio C. Más costoso que el tipo de E. brinda una buena resistencia frente a los agentes químicos.
- Vidrio S y R. Supera a las de otros tipos por tener todas las cualidades de resistencia, su precio es elevado.
- Vidrio AR. Es una fibra de alto módulo que sirve para reforzar las matrices de cemento, con una excelente resistencia a la tracción, del orden de tres a cuatro veces la del acero.

Figura 7. Filamentos de fibra de vidrio



Fuente: <http://diazcaro.com/wp-content/uploads/2012/04/amianto4.gif>

2.3.2.1 Clasificación de hilados comerciales consignados al refuerzo de materiales poliméricos.

- Woven Roving 600/800. Es una fibra de tejidos continuos colocados vertical y horizontal sin amarres el cual puede adquirir distintas formas. Es un tejido pesado que adecua su configuración al aplicar el gel-coat cerca de su superficie. Mantiene una alta relación de fibra/resina, llega a obtener laminados fuertes por moldeo por contacto. Este tipo de fibra puede ser unida químicamente con la fibra Mat.

Figura 8. Woven Roving



Fuente: <http://p.globalsources.com/IMAGES/PDT/B1077235718/E-glass-Woven-Roving.jpg>

- Velos o Mats de superficie. Han sido creados para ser usados como barrera protectora, su labor es la de evitar que puedan salir fibras de vidrio de una estera Mat convencional. Este elemento puede ser sustituto del gel-coat ya que se puede aplicar como laminado interior para hacer de barrera anticorrosiva, o en laminados exteriores para protección contra los agentes medioambientales. Son resistentes a los ácidos y se adecuan a todo tipo de superficies.

Figura 9. Velos de superficie



Fuente: http://2.bp.blogspot.com/_lrVD8LHetlY/SShj0KbTFJI/AAAAAAAAADU/ccTY0w9swEM/s320/fibras+y+recinas+6.jpg

- Fibra tipo Mat. También conocida como manta, posee un gramaje de: 225, 250, 300, 375 y 600 g/m². Es un material de refuerzo compatible con resinas de poliéster, viniléster, poliuretano y epóxicas. Combina las excelentes propiedades mecánicas y eléctricas del vidrio “E” con la resistencia a la corrosión de ácidos del vidrio E-CR.

Las fibras son cortadas y distribuidas de manera uniforme y aleatoria, originando en el plano de las mantas, laminados con propiedades isotrópicas; posee un espesor aproximado de 0,83 mm, un peso de 375 g/m² y con un ancho de 1,2 m (PINTULAC, 2014).

Algunas ventajas de la fibra Mat 375 g/m² son:

Excelente facilidad de moldeo manual.

Ideal para adaptarse a superficies curvas y planas

Facilidad de remoción de aire atrapado

Buen acabado gracias a su facilidad de trabajo

Se la puede utilizar para la elaboración de auto partes, carrocerías.

Figura 10. Fibra de vidrio 375 g/m² Preempacada



Fuente: <http://pintulac.com.ec/images/productos/extragrande/fibra-vidrio-375.jpg>

2.3.2.2 Empleo de fibras de refuerzo. En si el poliéster aplicado a ciertos elementos es frágil a la rotura, por otra parte la combinación de este con refuerzo de fibra, sobrelleva a la creación de piezas delgadas y dotadas de flexibilidad a más ofrecen resistencia como ligereza evitando así roturas.

Por lo general el método de laminación es el más utilizado para realizar figuras de plástico reforzado, hay que considerar que el que efectuó el moldeado de una pieza debe certificar que la fibra quede impregnada totalmente en la matriz resinosa y que no se formen huecos o burbujas de aire producidos por una mala técnica de impregnación o por excesiva viscosidad de la resina lo que hace difícil la impregnación de la fibra teniendo como consecuencia un producto terminado defectuoso.

Precisamente se necesita de una buena técnica en la aplicación de resina, para evitar el afloramiento de las fibras ya que en ellas pueden penetrarse eventuales sustancias las mismas que provocan un debilitamiento y envejecimiento adelantado, como resultado mermaran las propiedades mecánicas y estéticas de la pieza que se vaya a realizar.

2.4 Equipos

Para los ensayos de las probetas de material compuesto FV+RP se hizo uso de la Máquina universal y péndulo Charpy maquinas ubicadas en el laboratorio de resistencia de materiales de la Facultad de Mecánica.

- Máquina universal. Esta máquina tiene una capacidad de carga de 100 000 kg se hizo uso de ella para ensayos de tracción y flexión.

Figura 11. Máquina Universal. Tinius Olsen



Fuente: Autores

- Deformímetro. Para ensayos de tracción y flexión con el fin de apreciar el valor de deformación del material se hizo uso de un deformímetro digital y articulado utilizados respectivamente para dichos ensayos.

Figura 12. Deformímetro digital



Fuente: Autores

- Péndulo Charpy. Los ensayos de impacto se realizan en el péndulo Charpy, en nuestro caso para las pruebas sobre el material compuesto se utilizó un péndulo con una energía de absorción de 7,5 J siendo este el valor necesario para la obtención de mejores resultados.

Figura 13. Péndulo de Charpy Ceast



Fuente: Autores

2.5 Teoría de la aerodinámica

La aerodinámica es una rama de la dinámica de los fluidos que se ocupa del estudio del movimiento del aire y de las acciones que el mismo ejerce sobre los cuerpos que se mueven inmersos en él.

La dinámica de fluidos maneja una ley muy importante fundamentada como la ley de Bernoulli que relaciona un aumento de velocidad de flujo de aire con una disminución de presión y viceversa.

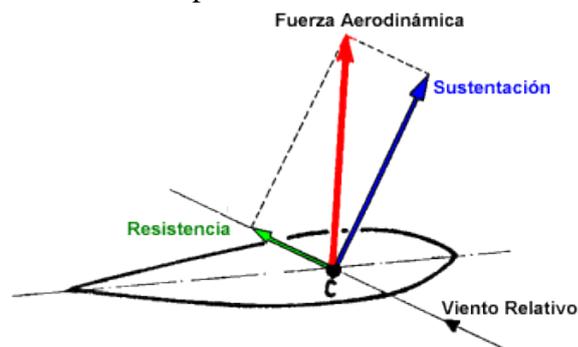
Este principio se utiliza para expresar la elevación del ala de un avión cuando está en vuelo, está diseñada de manera que el aire que pasa por la superficie superior de ella fluya con mayor velocidad mientras que por la parte inferior fluya con menor velocidad.

Esto hace que exista una disminución de la presión en la parte superior, es así como se genera la fuerza de sustentación la que hace que los aviones puedan volar.

En el caso del automovilismo, la fuerza de sustentación es la fuerza ocasionada por el fluido en dirección perpendicular al movimiento del piloto en el vehículo, dicha fuerza mejora la adherencia de los neumáticos al suelo.

La diferencia es que el ala va al revés en el caso de un monoplaa a esta se la conoce como alerón, estos ahora generan una fuerza negativa o downforce mejorando la estabilidad del vehículo al momento de adquirir altas velocidades o al momento de girar, brindando así mayor seguridad al ocupante.

Figura 14. Descomposición de la fuerza aerodinámica



Fuente:<http://www.reocities.com/CapeCanaveral/Launchpad/5249/aerodinamica/imagenes/fuerza.gif>

2.6 Principios básicos de la aerodinámica

2.6.1 Definición del Aire. Se denomina aire; como una sustancia gaseosa transparente, limpia e insípida, está constituido principalmente por moléculas de oxígeno, nitrógeno y por cantidades variables de vapor de agua, argón y anhídrido carbónico, esta mezcla de gases compone la atmosfera terrestre y gracias a la gravedad se encuentran sujetas al planeta tierra.

2.6.1.1 Fluido. Es una sustancia capaz de fluir, carece de rigidez y elasticidad.

Se deforma continuamente cuando es sometido a un esfuerzo cortante por más mínimo que sea, adopta también así la forma del recipiente que lo contiene. Los fluidos pueden ser gases o líquidos según como se hallen presentes la intensidad de las fuerzas de cohesión.

2.6.2 *Propiedades de los fluidos*

2.6.2.1 Densidad del aire. Es la cantidad de masa por unidad de volumen, tiene una gran importancia en el campo de la aeronáutica y otras disciplinas de la ciencia, es importante saber que la densidad del aire disminuye o varia con la altura, cambio de presiones, temperatura y por la humedad.

El valor de la densidad del aire generalmente viene dada en kilogramos por centímetro cubico la misma que debe ser calculada en lugar de medirla.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Dónde:

ρ = Densidad [kg/cm³]

m= Masa [kg]

v= Volumen [cm³]

La densidad del aire varía de acuerdo a las siguientes propiedades físicas:

- Presión. El aire se vuelve más denso según aumente su presión, la presión adicional hace que las moléculas de aire se junten por tal motivo resulta que habrá más masa de aire en un volumen dado.
- Altitud. En cambio se tiene que conforme la altitud aumente la densidad del aire ira reduciéndose ya que hay menos presión empujando las moléculas entre sí.
- Temperatura. Cuando esta aumenta las moléculas de aire tienden a moverse más rápido provocando un rebote entre ellas y apartándose. Esta es la razón por la que

a una mayor temperatura la densidad del aire disminuye rápidamente y a una menor temperatura la densidad aumenta.

- **Humedad.** Cuando más humedad haya menor será la densidad. Cuando el número de moléculas de agua aumentan las de nitrógeno y oxígeno bajan, el peso molecular del agua es menor que la del aire. Por tanto en una alta humedad, la densidad del aire se reduce debido a la reducción de la masa en un volumen dado.

Tabla 2.Variación de la densidad del aire con la altura

Altitud [m]	Densidad [kg/m ³]				
	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C	25 °C
0	1,28	1,25	1,23	1,21	1,17
500	1,21	1,19	1,17	1,15	1,11
1000	1,14	1,12	1,1	1,08	1,05
1500	1,07	1,06	1,04	1,02	0,98
2000	1,01	0,99	0,97	0,96	0,92
2500	0,94	0,92	0,91	0,89	0,86
3000	0,87	0,86	0,84	0,83	0,8
3500	0,81	0,79	0,78	0,76	0,74
4000	0,74	0,73	0,71	0,7	0,68
4500	0,67	0,66	0,65	0,64	0,62
5000	0,61	0,6	0,58	0,57	0,56

Fuente: <http://www.fullmecanica.com/d/densidad-del-aire>

2.6.2.2 Presión. Es una magnitud física que mide la proyección de una fuerza distribuida sobre una determinada superficie. Existen dos tipos de presiones la que se refiere a la acción de los fluidos sobre las paredes del recipiente que los contiene y la que describe a las fuerzas distribuidas aplicadas a sólidos que comúnmente debe llamarse tensión.

Su valor en el Sistema Internacional se da en unidad de pascuales [Pa – N/m²] y en el Sistema Inglés el valor se da en unidad de libras por pulgada cuadrada [lb/in²].

Existen dos tipos de presiones según la presión ejercida por los fluidos:

- **Presión estática.** Esta presión es producida por los fluidos en reposo sobre las paredes del recipiente.

- Presión dinámica. Dicha presión es la que se produce sobre una superficie perpendicular a la dirección del movimiento de un fluido.

$$P = \frac{F}{\dot{A}} \quad (2)$$

P= Presión [Pa]

F= Fuerza [N]

Á= Área [m²]

Los fluidos al moverse en un conducto producen una inercia de movimiento lo que provoca un aumento de la presión estática. En el estudio de este proyecto se hará uso de la presión dinámica ya que el fluido no tendrá presión en las paredes y no estará en reposo.

2.6.2.3 Presión absoluta y relativa. La diferencia entre la presión relativa y absoluta radica en que la presión relativa guarda relación directamente con la atmosfera es decir en el caso de tener un recipiente abierto al exterior, sobre la superficie del líquido actuara la presión atmosférica. Mientras que la presión absoluta es la presión con respecto al vacío es decir se da cuando se genera vacío sobre el líquido en un recipiente cerrado o hermético. De tal manera en las paredes del recipiente la presión absoluta como la presión relativa son presiones que difieren a la presión atmosférica.

$$P.\textit{relativa} = P.\textit{absoluta} + P.\textit{atmosférica} \quad (3)$$

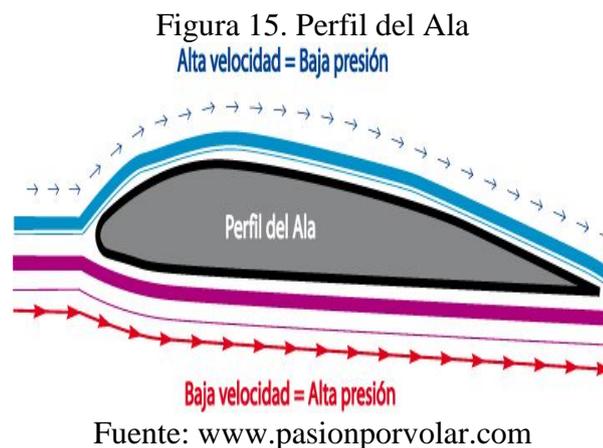
La presión atmosférica varía con la altitud y por ciertos factores climatológicos.

2.6.2.4 Viscosidad. Es una propiedad que se pone de manifiesto cuando los fluidos están en movimiento, la misma que muestra una tendencia de oposición hacia su flujo ante la aplicación de una fuerza. Los fluidos de más viscosidad presentan mayor lentitud al desplazarse por lo tanto aquellos de baja viscosidad fluirán con facilidad esto quiere decir que mientras más viscoso sea el fluido más resistencia opondrá a su deformación.

2.6.3 Teorema de Bernoulli. El Principio de Bernoulli es uno de los sucesos más importantes en la aerodinámica establece que la energía total de un sistema de fluidos

con flujo uniforme permanece constante a lo largo de la trayectoria de flujo, demostrándose que el aumento de velocidad del fluido debe verse compensado por una disminución de su presión. Al aplicar este teorema a un perfil aerodinámico podemos observar que la corriente de aire es obligada a fluir con mayor velocidad en la parte superior del perfil en comparación con la parte inferior, por ende la presión es mayor en la parte inferior en comparación con la parte superior.

Esta diferencia de presión crea la fuerza de sustentación que permite a los aviones volar, y mantiene a los autos adheridos al piso en el caso de invertir el perfil aerodinámico.

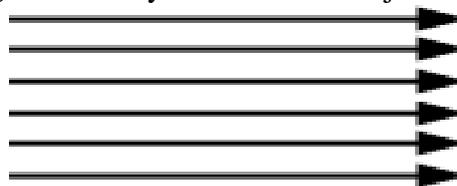


2.6.4 Flujo Laminar y Turbulento

2.6.4.1 Flujo Laminar. Llamado también corriente laminar, al movimiento de un fluido cuando éste es ordenado, estratificado, suave y las distintas capas de aire se desplazan paralela y ordenadamente.

En un flujo laminar cada partícula de fluido sigue una trayectoria suave, llamada línea de corriente, es típico de fluidos a velocidades bajas o viscosidades altas, mientras fluidos de viscosidad baja, velocidad alta o grandes caudales suelen ser turbulentos.

Figura 16. Trayectorias de un flujo laminar



Fuente: www.manualvuelo.com

2.6.4.2 Flujo Turbulento. Llamado también corriente turbulenta cuando las distintas capas de aire se desplazan de una manera caótica y desordenada, las partículas chocan entre sí y cambian de rumbo en forma errática formando pequeños remolinos periódicos.

Características del flujo turbulento:

- Las partículas del fluido no se mueven siguiendo trayectorias definidas.
- La acción de la viscosidad es despreciable.

Las partículas del fluido poseen energía de rotación apreciable, y se mueven en forma errática chocando unas con otras. Al entrar las partículas de fluido a capas de diferente velocidad, su momento lineal aumenta o disminuye, y él de las partículas vecinas la hace en forma contraria.

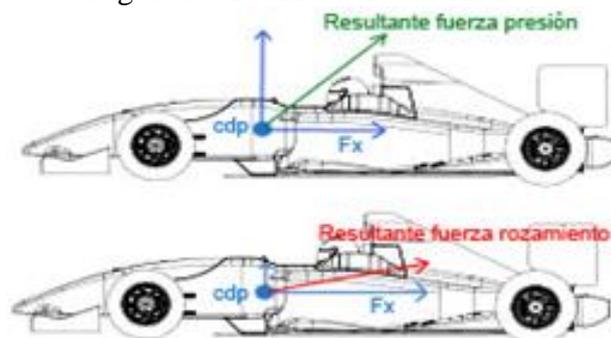
Figura 17. Trayectorias de un flujo Turbulento



Fuente: www.manualvuelo.com

2.6.5 Aerodinámica de un Fórmula SAE. La aerodinámica es considerado como la clave para el éxito de un monoplaza es por ello que hay millones invertidos para el estudio y desarrollo de este campo.

Figura 18. Fuerzas aerodinámicas



Fuente: <http://www.que-formula1.com/wp-content/uploads/2009/03/resultantes.jpg>

Los ingenieros que se desempeñan en la aerodinámica de un fórmula SAE tienen dos objetivos principales una es desarrollar más carga aerodinámica (downforce) que ayude al vehículo a mejorar el agarre del coche contra el suelo a altas velocidades minimizando primordialmente la resistencia (drag) al avance provocado por la turbulencias.

Se puede observar que las resultantes de las fuerzas aerodinámicas tienen una componente en el eje (X) que se opone al avance del vehículo llamada fuerza de arrastre (F_x) o Resistencia aerodinámica, y una componente en el eje (Y) que tiende a elevar esta se la conoce como fuerza de sustentación, en esta fuerza lo que se trata es cambiar su dirección con el fin de favorecer al agarre y la tracción del vehículo. Las fuerzas aerodinámicas interactúan con el vehículo causando arrastre, sustentación, fuerzas laterales, momentos y ruidos, las alteraciones de estas influyen en el consumo de combustible, rendimiento, estética y manejo del auto. La eficiencia aerodinámica, y las restricciones de cada competición son las que le dan forma a un monoplaza; mientras que en los coches de calle se determina por su uso particular, para lograr una mejor estabilidad del vehículo sería importante que las fuerzas aerodinámicas se concentren lo más cercano al centro de gravedad pero esto es complicado lograr porque el flujo de aire cambia completamente conforme aumente la velocidad, para contrarrestar esto los vehículos sofisticados hacen uso de alerones y spoilers.

2.6.5.1 *Coefficiente de sustentación.* El coeficiente de sustentación suele representarse como (C_y), es un valor adimensional este coeficiente es útil porque representa la efectividad de la forma de un cuerpo para producir sustentación facilitando los cálculos y diseños. Los vehículos de competencia utilizan el coeficiente opuesto es decir el coeficiente de anti sustentación (sustentación negativa) que relaciona la fuerza aerodinámica o dowforce y el producto de la presión dinámica del aire por el área característica, normalmente se utiliza como superficie de referencia el área frontal del vehículo.

Fuerza de Sustentación:

$$F_y = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot C_y \cdot A_f \quad (4)$$

Coefficiente de Sustentación:

$$C_y = \frac{F_y}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_f^2 \cdot A_f} \quad (5)$$

2.6.5.2 Coeficiente de arrastre o de resistencia. El coeficiente de arrastre conocido generalmente como (C_x , C_z , C_d) es un coeficiente adimensional que cuantifica la resistencia que opone un objeto ante un flujo ya sea de aire o agua.

Se utiliza en la ecuación de arrastre en donde el mismo coeficiente indica si el objeto tendrá menos o más arrastre.

Ecuación de arrastre:

$$F_z = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_f^2 \cdot C_z \cdot A_f \quad (6)$$

Coefficiente de arrastre:

$$C_z = \frac{2 \cdot F_z}{\rho \cdot v_f^2 \cdot A_f} \quad (7)$$

Para encontrar el coeficiente aerodinámico es primordial obtener la fuerza de arrastre la misma que se puede determinar con la ayuda de un túnel de viento con vehículos de escala real o con vehículos a escala reducida.

Figura 19. Ensayo de un vehículo Audi en el túnel de viento



Fuente:http://www.audi.es/content/dam/ngw/es/experiencia/tecnologia_y_seguridad/climatico_5.jpg

Se puede encontrar el coeficiente de arrastre aerodinámico de forma experimental reemplazando en la fórmula datos referenciales de su misma fuerza para una determinada densidad de aire y velocidad.

El coeficiente de arrastre se puede considerar constante para cualquier velocidad o densidad en los intervalos que se mueva el monoplaza.

2.7 Carenado

En algunos tipos de automóviles de competición, se denomina carenado al revestimiento externo realizado con aluminio, madera, fibra de vidrio, fibra de carbono, plástico u otro material al chasis cuyo propósito principal es reducir la resistencia del aire.

Las funciones secundarias son la protección del piloto a la exposición de riesgos en el aire y la hipotermia inducida por el viento y de los componentes del motor en el caso de un accidente.

Protege de los fenómenos meteorológicos tanto el motor como otros equipamientos y dispositivos internos, y de este modo conservarlos de una degradación más severa.

Carenados de fibra de vidrio se utilizan comúnmente en la pista de carreras ya que son ligeros y duraderos pueden ser reparados mediante la aplicación de nuevas capas de tela de fibra de vidrio tejida mezclada con un polímero tal como poliéster, sobre el área dañada seguido lijado y acabado.

Un carenado en fibra de carbono es más ligero pero más caro. (MOTOR GIGA, 2014)

Figura 20. Carenado de un automóvil tipo Fórmula



Fuente: <http://kimerius.com>

2.8 Normativa de la Fórmula SAE.

Es muy importante el cumplimiento del reglamento Fórmula SAE 2014 para el diseño de una carrocería ya que de este depende que el vehículo pueda ser homologado como un vehículo de competencia. El monoplace debe tener un rendimiento muy alto en términos de aceleración, frenado y manejo además ser suficientemente resistente para completar con éxito todos los eventos descritos en las reglas de la Fórmula SAE. (SAE, INTERNATIONAL, 2014)

Antes de empezar a realizar un bosquejo de la carrocería del prototipo se deben aclarar cada uno de los artículos que especifican el diseño de la carrocería estas aclaraciones se toman del reglamento de la Fórmula SAE 2014 (ver anexo A).

CAPITULO III

3. DISEÑO DE LA CARROCERIA

3.1 Diseño de la carrocería, asistido por Solidworks 2015.

Las carrocerías de los Fórmula Student es un elemento importante de un monoplace en su diseño se puede llegar a conseguir coeficientes relativamente bajos los cuales aportan un adecuado rendimiento en distintas condiciones de manejo, disminuyendo la resistencia al avance, aumentando el agarre respecto al suelo y mejorando la estabilidad.

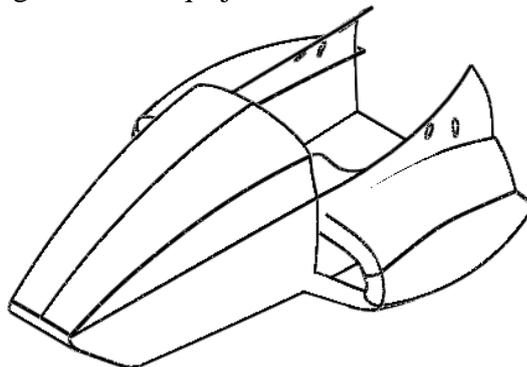
La carrocería también es un elemento que en conjunto con el chasis guardan protección al ocupante y protegen los componentes internos del monoplace, para su construcción se tomó los parámetros: T 4.1.1 Abertura de la Cabina, T4.7 Conductor Visibilidad y demás restricciones detalladas en el Anexo A.

En este capítulo se definirá cual es el proceso para diseñar en el software Solidworks 2015, simultáneamente se analizarán factores aerodinámicos de la carrocería.

3.2 Bosquejos iniciales para el modelado

Se realizan bosquejos iniciales manuales y digitales sobre lo que podría ser la imagen externa de la carrocería y entradas de aire laterales (pontones), teniendo en cuenta requisitos técnicos y económicos que permitan el desarrollo de un proyecto sustentable además de especificaciones establecidas por Fórmula Sae.

Figura 21. Bosquejo inicial de la carrocería



Fuente: Autores

3.3 Consideraciones de espacio en la carrocería

Los espacios en la carrocería se consideran adaptando las dimensiones del chasis y los elementos de funcionamiento del motor, electrónica y mecánica, otro punto a considerar es la seguridad del piloto, esto radica en dar al ocupante la comodidad necesaria para maniobrar el volante, la adaptabilidad para accionar los pedales, el confort para que el cuerpo del piloto en una competición no oscile excesivamente.

Como punto más relevante para seguridad del piloto se considera el espacio que debe existir entre el casco del piloto con el arco principal del chasis en el caso de que exista un vuelco.

3.4 Descripción del Software Solidworks 2015

Se hizo uso del software Solidworks porque su filosofía de trabajo permite plasmar ideas de forma rápida sin necesidad de realizar operaciones complejas reduciendo el tiempo del diseño.

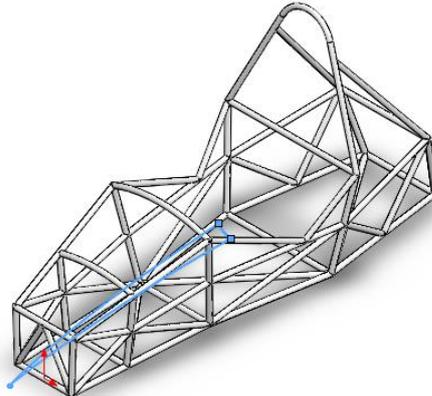
Es un programa de diseño mecánico en 3D que utiliza un entorno gráfico basado en Microsoft Windows, intuitivo y fácil de manejar. Utiliza el Gestor de diseño (FeatureManager) que facilita enormemente la modificación rápida de operaciones tridimensionales y de croquis de operación sin tener que rehacer los diseños.

Junto con las herramientas de diseño de piezas, ensamblajes y dibujos, Solidworks incluye herramientas de productividad, de gestión de proyectos, de presentación de análisis y simulación que lo hacen uno de los estándares de diseño mecánico más competitivo del mercado.

3.5 Fases de modelación de la carrocería en SOLIDWORKS 2015

Utilizando el software Solidworks 2015 y tomando como referencias las dimensiones del chasis se empieza a realizar un bosquejo para modelar cada parte de la carrocería tomando en cuenta el espacio que utiliza el atenuador de impacto, la apertura de la cabina, tamaño de los pontones y requerimientos aerodinámicos que influyen en el desempeño del monoplaza.

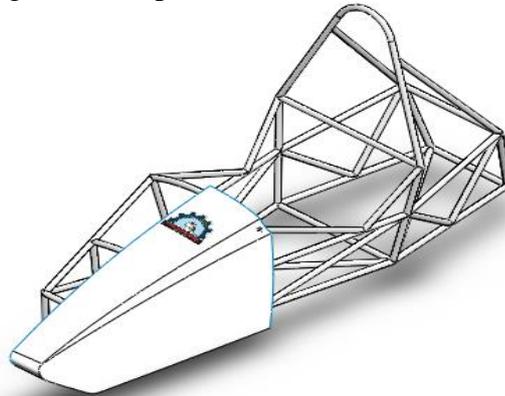
Figura 22. Inicio del Modelado



Fuente: Autores

Con los croquis definidos se procede a la creación de las primeras superficies siendo estas las delanteras laterales.

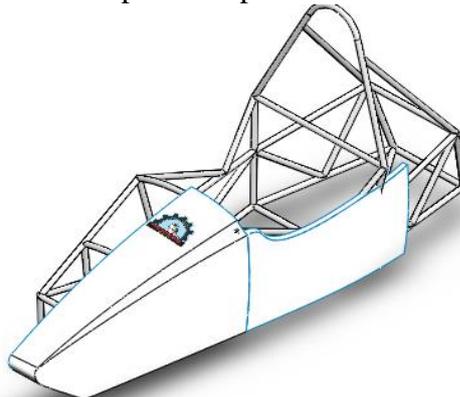
Figura 23. Superficies delanteras Laterales



Fuente: Autores

Con la misma metodología se procede a realizar los diferentes croquis para poder obtener las superficies posteriores laterales.

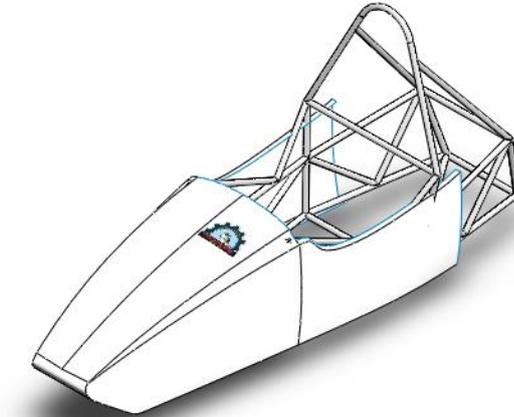
Figura 24. Superficies posteriores laterales



Fuente: Autores

Con las primeras superficies creadas se procede a ejecutar el comando simetría para copiar las distintas geometrías en el lado opuesto del cuerpo de la carrocería, posteriormente se utiliza el comando coser superficie para fusionar entidades y obtener un solo cuerpo.

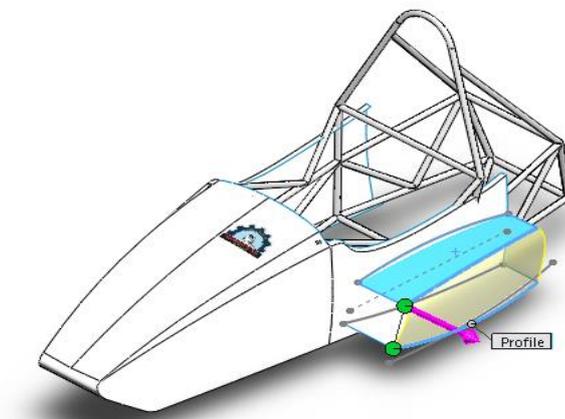
Figura 25. Cuerpo de la Carrocería



Fuente: Autores

Una vez creada la base de la carrocería se empieza a trabajar sobre sus paredes laterales con el objetivo de delimitar el espacio que utilizará la toma de aire o pontón en donde estarán alojados los radiadores para el sistema de refrigeración del motor, para definir sus dimensiones se debe tener en cuenta la distancia entre ejes y los orificios para los sistemas de dirección y suspensión.

Figura 26. Bosquejo Pontones

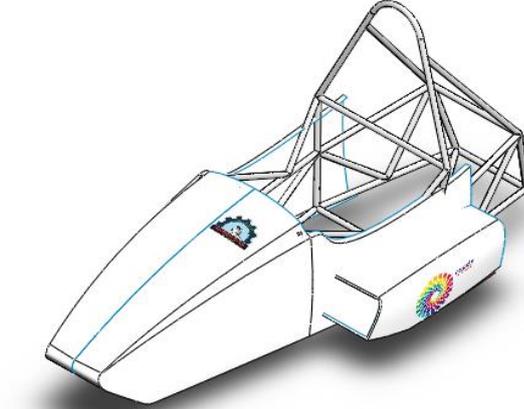


Fuente: Autores

Teniendo definido un modelo básico de la toma de aire se procede a realizar las modificaciones necesarias para lograr un mejor rendimiento aerodinámico y cumplir

con la distancia de 68.6 mm que debe existir entre el pontón y la parte exterior del neumático considerando una distancia entre ejes de 1600 mm.

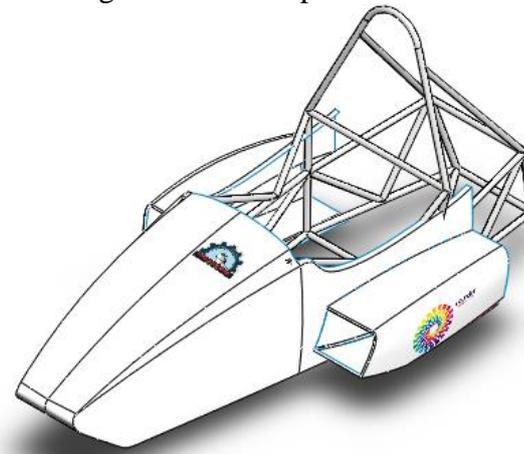
Figura 27. Optimización del Prototipo



Fuente: Autores

Una vez realizadas las modificaciones necesarias en el diseño de la carrocería y revisando que el gestor de operaciones no muestre errores se ejecuta el comando simetría para copiar todas las instrucciones y modificaciones realizadas hacia la cara opuesta obteniendo un modelo uniforme.

Figura 28. Prototipo terminado



Fuente: Autores

Para culminar el modelado se ejecuta el comando dar espesor para convertir las superficies en cuerpos sólidos permitiendo que el software de elementos finitos pueda determinar el volumen del prototipo quedando listo para pasar a la siguiente etapa que es la realización de un análisis aerodinámico de las distintas fuerzas y presiones que actúan sobre las caras de nuestro modelo con una velocidad de 100 km/h y condiciones

ambientales de la ciudad de Riobamba, mediante este proceso se valida el diseño de la carrocería, se procede a la etapa final donde se construye la misma y se añaden los detalles estéticos y colores representativos de la institución como lo establece la normativa Fórmula Sae.

Figura 29. Apariencia final



Fuente: Autores

Para tener una visualización más cercana a la realidad se realiza un renderizado final pudiendo apreciar los distintos cortes y redondeos del modelo con mayor facilidad además de su correcto ensamblaje con el chasis.

Figura 30. Renderizado final



Fuente: Autores

3.6 Descripción del Software de análisis de elementos Finitos

3.6.1 *La mecánica de fluidos computacional (CFD).* Es una de las ramas de la mecánica de fluidos que utiliza métodos numéricos y algoritmos para resolver y analizar problemas sobre el flujo de sustancias.

Los ordenadores se utilizan para realizar millones de cálculos requeridos para simular la

interacción de los líquidos y los gases con superficies complejas proyectadas por la ingeniería ayudando a reducir tiempo en la realización de ensayos reales disminuyendo el costo en el producto terminado.

Básicamente, la metodología de CFD se basa en subdividir el dominio de cálculo en elementos discretos formando una malla en la cual las ecuaciones diferenciales gobernantes son resueltas.

En el mercado existen numerosos softwares de CFD tales como Fluent, Fidap, Star-CD, Flow3D, OpenFoam, etc.

3.6.2 *Aplicaciones de la CFD en la industria del automóvil.* La CFD permite un acceso directo a datos que no se pueden medir directamente, así como a una visualización de las estructuras transitorias del flujo. Todo ello posibilita un análisis de las modificaciones propuestas, antes de realizar el proyecto siendo en la actualidad una herramienta indispensable al momento de validar un prototipo.

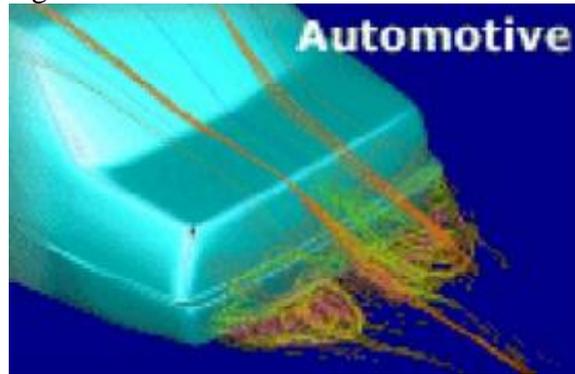
Las aplicaciones más interesantes en este sector son:

- Aerodinámica externa
- Sistema de ventilación
- Refrigeración del motor
- Sistema de escape

En el estudio aerodinámico de un vehículo, de calle o de competición, la industria automotriz emplea extensivamente los ensayos en túnel de viento para determinar la resistencia que produce el aire en cada uno de sus modelos.

Mediante las técnicas de la dinámica de fluidos computacional (CFD), se pretende estimar, por un lado, los valores de fuerzas y momentos que son, usualmente, la información que se obtiene en un túnel de viento y, de esta forma, tener una idea de las fuerzas de resistencia al avance y de sustentación sobre el vehículo. Además, ofrece la ventaja de entregar otras variables del problema que son difíciles de medir o registrar en ensayos, por ejemplo, líneas de corriente, desprendimiento de campos de presiones.

Figura 31. CFD en la industria del automóvil



Fuente: Interés y posibilidades de la Dinámica de fluidos Computacional (Eurocásbil Estudios y Proyectos)

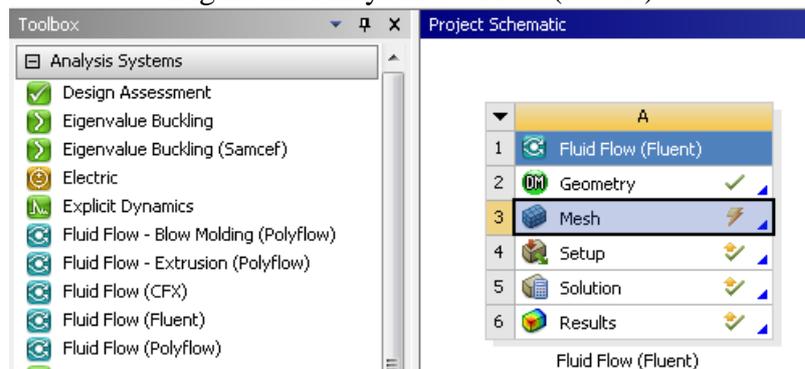
3.7 Ansys Fluid Flow (Fluent).

Utiliza el análisis de dinámica computacional (CFD) para permitir la simulación rápida y eficiente de flujo de fluidos y transferencia de calor, es muy amigable permitiéndonos configurar variedad de parámetros como por ejemplo unidades de medida, tipo de flujo, temperatura, velocidad etc.

Mediante este paquete se puede simular un fluido que pasa a través o alrededor de un objeto para obtener un mejor conocimiento del comportamiento del producto que es fundamental para el éxito del diseño, además nos permite calcular fácilmente las fuerzas de fluido y comprender el impacto en el rendimiento del producto.

Una vez que se ha culminado la modelación del prototipo Fórmula SAE se procede a la utilización de esta herramienta con el propósito de realizar modificaciones y validar el diseño aerodinámico del monoplaça.

Figura 32. Ansys Fluid Flow (Fluent)



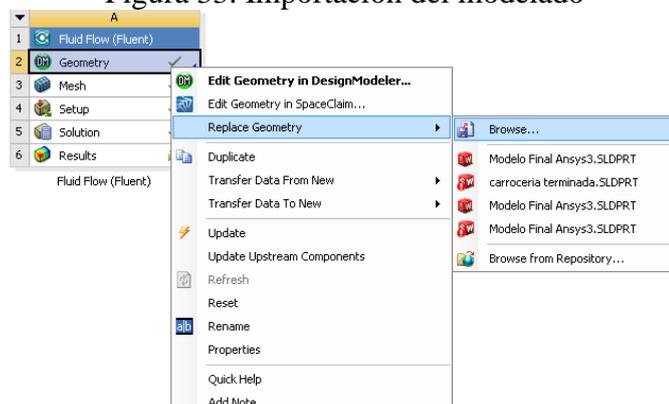
Fuente: Autores

3.7.1 Análisis Ansys Fluid Flow (Fluent). Se considera la utilización de esta herramienta muy importante del software Ansys para realizar el análisis de fluido, ya que conlleva a la obtención de resultados claros mediante los cuales se deduce si la influencia aerodinámica que tiene una carrocería SAE se encuentran dentro del rango establecido.

Para la obtención de parámetros útiles en nuestro análisis aerodinámico se configura el software con las condiciones climáticas de Riobamba (densidad, presión y temperatura del fluido), área transversal y la velocidad del vehículo, parámetros que arrojan resultados más exactos.

3.7.2 Análisis de la carrocería SAE. Para la carrocería se analiza resultados de presiones, presión total, velocidad y trayectorias de flujo. Se procede a la simulación importando el modelado al módulo de Ansys Fluid Flow (Fluent) de Ansys Workbench 16.0 para la importación del modelado se hace uso de la opción Geometry.

Figura 33. Importación del modelado



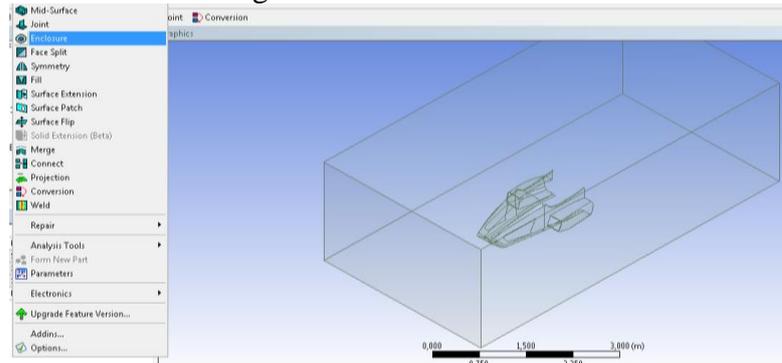
Fuente: Autores

Una vez importado el modelado se da clic en Edit Geometry para abrir el mismo, en esta plataforma con la ayuda de enclosure encontrada en el desplegable de tools se crea el túnel de viento.

Para dar la ubicación al modelo dentro del túnel de viento las dimensiones del mismo se denotan de acuerdo al centro de gravedad tentativo para un monoplaza terminado con el fin de obtener resultados realistas.

Dimensiones del túnel de viento real: X= (1,15; -1,15) m; Y= (1,20; -0,18) m; Z= (1,85; -3,0) m.

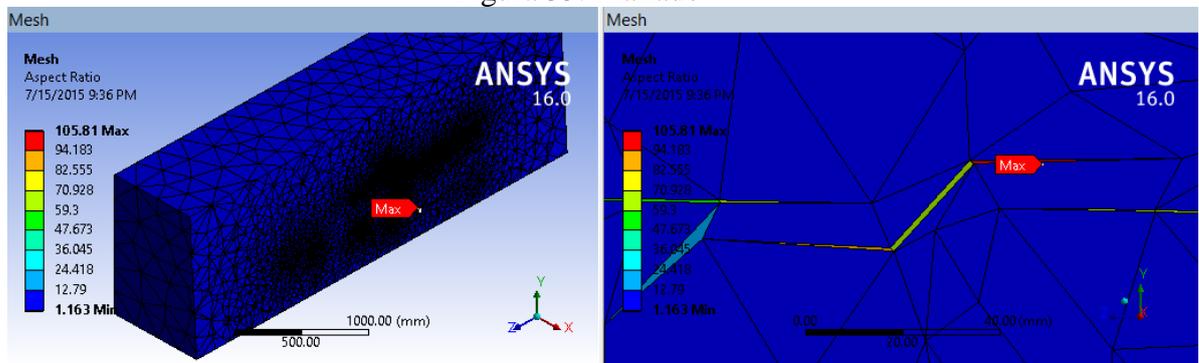
Figura 34. Túnel de Viento



Fuente: Autores

Al momento de generar el mallado de la carrocería en el túnel de viento se observa que la calidad de malla es buena mostrándose uniforme casi en su totalidad, existiendo puntos donde varía el mallado pero al ser muy pequeños no influyen en la eficacia de los resultados.

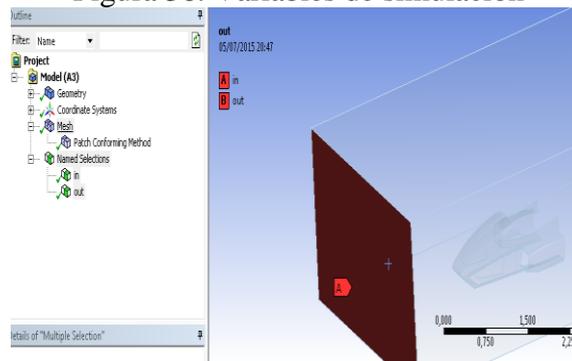
Figura 35. Mallado



Fuente: Autores

La primera variable es la entrada del túnel de viento denominada in y la variable denominada out es la salida del túnel de viento.

Figura 36. Variables de simulación

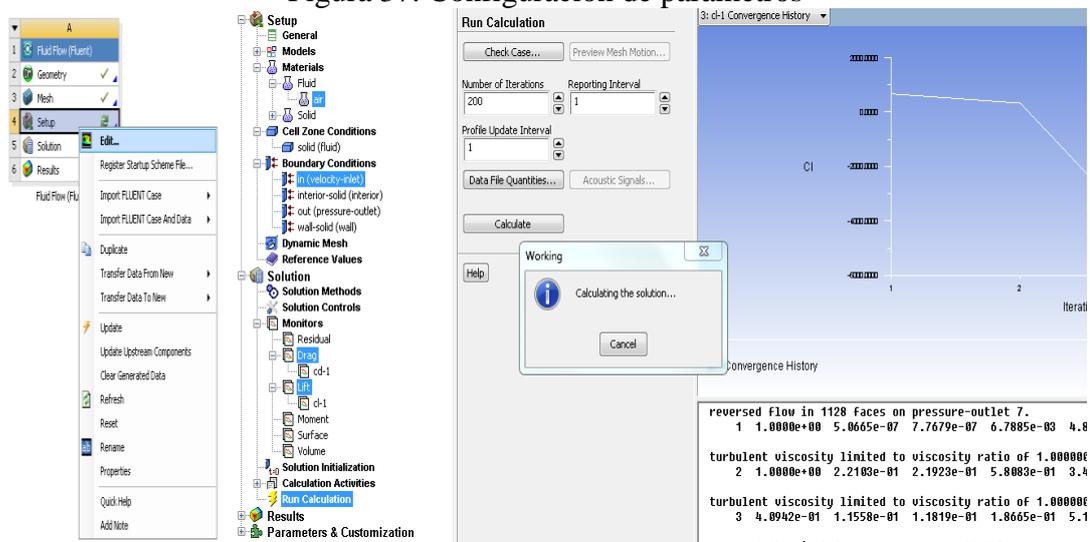


Fuente: Autores

Para configurar la simulación abrir la opción setup. En ella editamos parámetros principales como la velocidad de entrada del fluido (in) a 100 km/h velocidad tomada por ser la velocidad que puede alcanzar en pista y para out se considera un valor de presión estática relativa de 0. Otros parámetros a editar son la densidad del aire a 0,931 kg/m³ escogida de la ciudad de Riobamba con su temperatura promedio de 15 °C dichas condiciones a editar se encuentran en Boundary Conditions, Materials.

Se deberá anotar las iteraciones con las que se quiere analizar en nuestro caso se tomó un valor de 200 iteraciones para una mejor exactitud en los resultados, para empezar los cálculos dar clic en RUN.

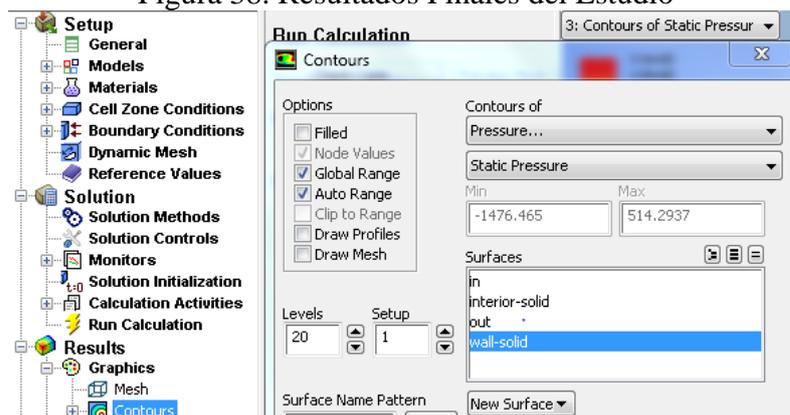
Figura 37. Configuración de parámetros



Fuente: Autores

Al finalizar se pueden observar en contornos los análisis o resultados finales propuestos.

Figura 38. Resultados Finales del Estudio

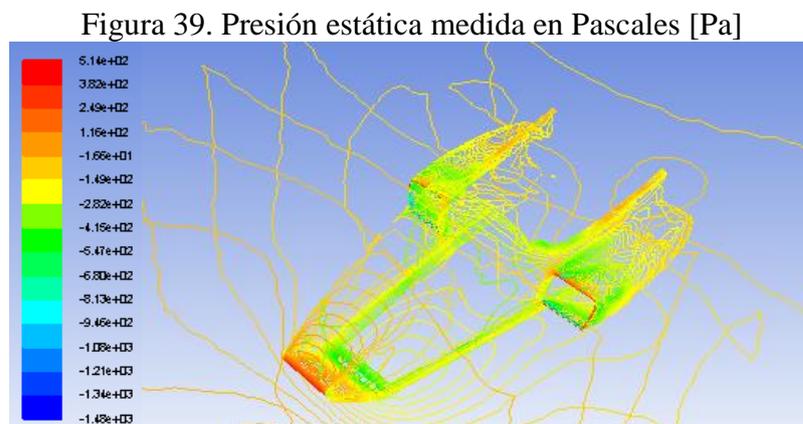


Fuente: Autores

3.7.3 Interpretación de Resultados de la Carrocería SAE. Es de importante consideración; en si por dar a conocer el comportamiento aerodinámico ante la presencia de esfuerzos máximos ejercidos en la carrocería y por permitir comprender el rendimiento del producto.

Como ya se mencionó para la interpretación de resultados se hará uso de contornos proyectados en vistas tridimensionales con una gama de colores además de un valor numérico. Los parámetros a presentar son: presión total, presión dinámica, velocidad promedio, turbulencia intensiva y trayectorias de flujo que ayudaran a definir si es laminar o turbulento.

3.7.3.1 Análisis de Presión. En la figura 39 se observa mayor presión en la saliente de la nariz del modelado y en las entradas de los pontones de aire, en estas caras hay relevancia de presión por ser las caras que chocan directamente con el fluido, esta presión denota no tener gran incidencia por lo que no produciría resistencia al avance.

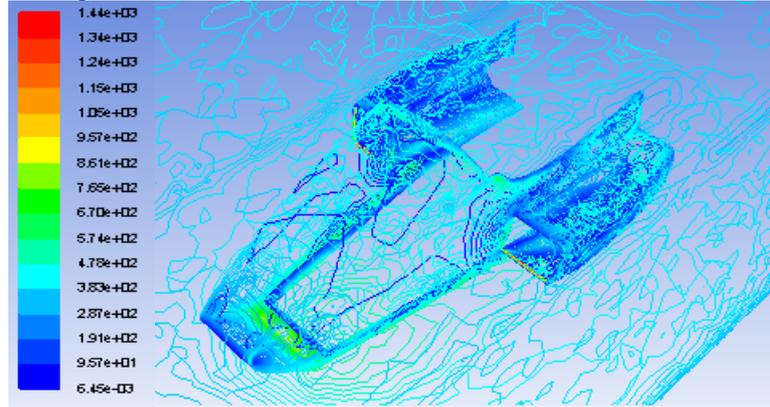


Fuente: Autores

3.7.3.2 Análisis de la presión Dinámica. Esta presión dinámica es ejercida por una masa de aire en movimiento o bien por la velocidad relativa de un fluido, dicha velocidad puede llegar a ser cero debido a la interrupción de una línea de corriente de flujo.

Como se puede observar en la figura 40 la incidencia de las presiones a lo largo de la carrocería varían de acuerdo a la velocidad relativa del fluido llegando en ciertos puntos a tener una presión dinámica mínima lo que beneficia a la fácil circulación del flujo a lo largo de las distintas superficies de la carrocería.

Figura 40. Presión Dinámica medida en Pascales [Pa]

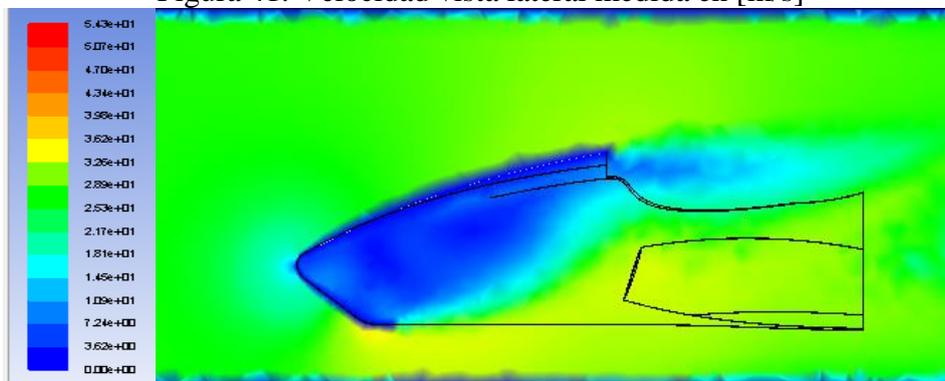


Fuente: Autores

3.7.3.3 Análisis de Velocidades. En la figura 41 se observa la velocidad con la que se mueve el fluido, y el comportamiento del mismo. Se sabe que la velocidad del aire toma un valor de cero al chocar con una superficie perpendicular, cumpliéndose el teorema de Bernoulli, en donde a menor velocidad mayor presión.

Este principio se identifica en la parte superior de la carrocería en donde la velocidad tiene valores menores en comparación con la parte inferior del modelo donde alcanza valores más altos, por lo tanto produce una presión considerable mejorando la adherencia del vehículo hacia el suelo, es decir se produce una fuerza de sustentación negativa.

Figura 41. Velocidad vista lateral medida en [m/s]

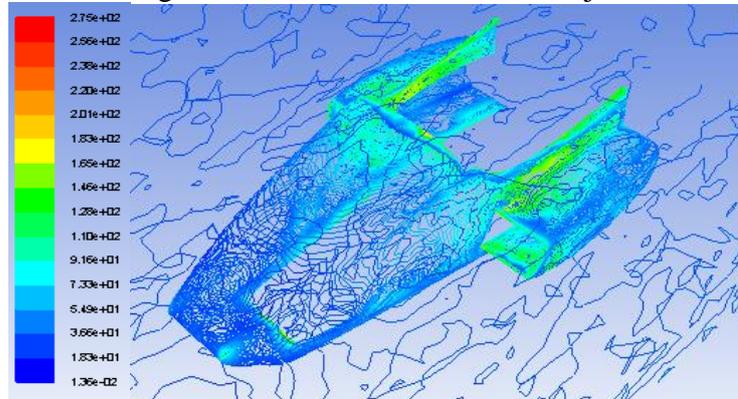


Fuente: Autores

3.7.3.4 Análisis de Turbulencia. El análisis de turbulencia implica desordenamiento del flujo de aire, es decir las trayectorias de partículas generan pequeños remolinos, generalmente se produce en las zonas bajas, en las secciones de las ruedas y en la parte trasera de un vehículo.

Al realizar un análisis netamente a la carrocería, se observa en la figura 42 un porcentaje mínimo de turbulencias, siendo benéfico para no producir fuerza de sustentación positiva que tienda a que le vehículo pierda estabilidad.

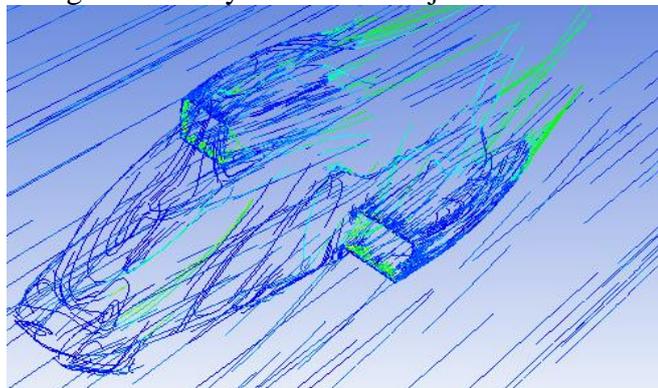
Figura 42. Turbulencia en Porcentajes



Fuente: Autores

3.7.3.5 Trayectorias de Fluido. El flujo de velocidad sobre la carrocería muestra que las partículas de aire en cada una de las trayectorias no pierden su orden al momento de desplazarse esto deduce que la velocidad del fluido continua su camino sin producir remolinos que intenten levantar la carrocería afectando negativamente a la estabilidad del monoplaza, además se observa en la figura 43 un cambio de velocidad en dichas partículas confirmando el cumplimiento del teorema de Bernoulli.

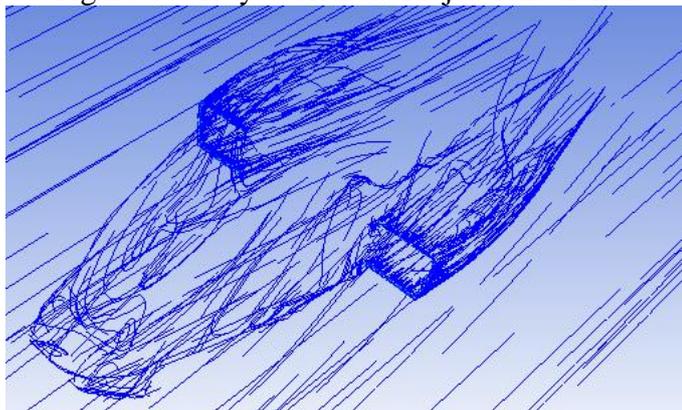
Figura 43. Trayectorias de Flujo de Velocidad



Fuente: Autores

En las trayectorias de turbulencia se observa que en cada línea de flujo las partículas avanzan sin impedimento alguno, en donde se puede identificar una mínima incidencia de turbulencia en la cabina del piloto pero es de poca consideración lo que no conlleva a un problema relevante.

Figura 44. Trayectorias de Flujos Turbulencia



Fuente: Autores

3.7.4 *Análisis de coeficientes aerodinámicos.* Para dicho análisis se considera realizar el cálculo de variables como son: fuerzas aerodinámicas resultantes y el área transversal de la carrocería, la densidad del aire y velocidad del fluido son datos tomados de los análisis realizados anteriormente.

Las fuerzas de sustentación y fuerza de arrastre, son el promedio de fuerzas calculadas por el software de elementos finitos.

Tabla 3. Fuerzas resultantes

Parámetros	Unidad	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo	Progreso [%]
Fuerza (Y)	[N]	-27,931	-30,754	-26,732	100
Fuerza (Z)	[N]	-86,667	-88,466	-85,986	100

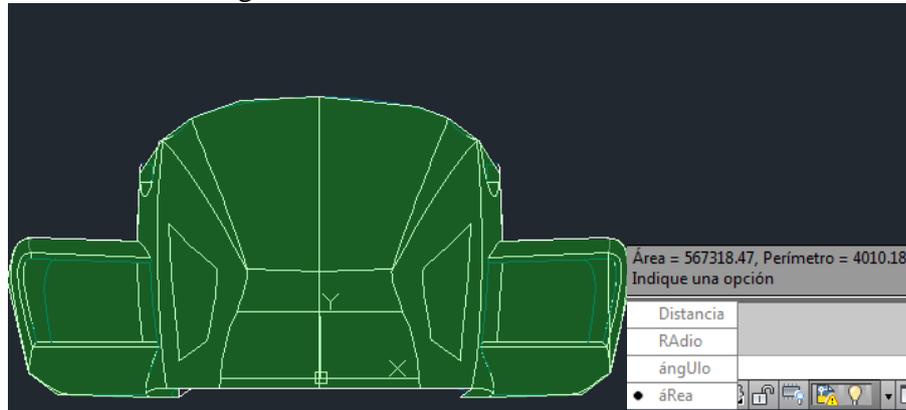
Fuente: Autores

3.7.4.1 *Cálculo del área transversal de la carrocería.* Al hablar del área en si es referirse al área característica de un cuerpo. Lo más común es considerar el área transversal o frontal como el área característica o área proyectada ya que dicha superficie será la primera que entrara en contacto con el flujo o fluido.

Sin embargo en cuerpos con diseños muy característicos como vagones de trenes o dirigibles se utiliza el área de la superficie. Cuando se emplea el área transversal se habla de un arrastre de forma o presión, mientras que al utilizar el área de la superficie se habla de un arrastre de fricción. Para calcular el área frontal de la carrocería se hizo uso de AUTO CAD 2012 software muy eficaz en lo que se refiere a cálculos de áreas, perímetros, volúmenes, etc.

Antes del cálculo del área se hizo necesaria la exportación del modelado de la carrocería en formato dwg tomando como referencia la vista frontal.

Figura 45. Área frontal de la carrocería



Fuente: Autores

La unidad del área encontrada está en milímetros al cuadrado, para este análisis se transformó a metros cuadrados.

$$\text{Área frontal total} = 567318,47\text{mm}^2$$

$$\text{Área frontal total} = 0,567\text{m}^2$$

3.7.4.2 Coeficiente de Sustentación. Para análisis y cálculos se utilizan los valores máximos de las fuerzas mostradas en la tabla 3 y el área frontal de la carrocería determinada en la figura 45.

$$F_y = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_f^2 \cdot C_y \cdot A_f$$

$$26,73\text{N} = \frac{1}{2} \cdot 0,9193 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 27,77^2 \frac{\text{m}^2}{\text{seg}^2} \cdot C_y \cdot 0,567 \text{m}^2$$

$$C_y = 0,14$$

Se obtiene como resultado un coeficiente de sustentación C_y de 0,14 a una velocidad de 100 km/h (27,77 m/s) con una densidad de aire en la ciudad de Riobamba y una temperatura de 15 °C.

Mediante las geometrías aerodinámicas que se dio a la carrocería SAE, se llegó a obtener un coeficiente de sustentación relativamente bajo, producto de lo cual la fuerza de sustentación actúa a favor del vehículo en el sentido de ganar adherencia al suelo.

3.7.4.3 Coeficiente de arrastre

$$F_z = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_f^2 \cdot C_z \cdot A_f$$

$$85,98N = \frac{1}{2} \cdot 0,9193 \frac{kg}{m^3} \cdot 27,77^2 \frac{m^2}{seg^2} \cdot C_z \cdot 0,567 m^2$$

$$C_z = 0,42$$

Se obtiene como resultado un coeficiente de arrastre o de resistencia C_z de 0,42 el cual es aceptable por el hecho de que en el análisis propuesto se realizó cálculos aplicados directamente a la carrocería. Se comprueba que el modelado tendrá facilidad de atravesar la fuerza de resistencia al avance, así también se verifica que el coeficiente obtenido es un valor mínimo respecto al valor de 0,74 que se permite como coeficiente de arrastre final para un vehículo terminado.

3.7.4.4 Cálculo de la Potencia necesaria para vencer la fuerza de arrastre

$$Pot = \frac{1}{2} \cdot C_z \cdot A_f \cdot \rho \cdot v_f^3 \quad (8)$$

$$Pot = \frac{1}{2} \cdot (0,42) \cdot 0,567 m^2 \cdot 0,9193 \frac{kg}{m^3} \cdot 27,77^3 \frac{m^3}{seg^3}$$

$$Pot = 4134,32 W ; Pot = 5,54 Hp$$

La potencia que se necesita para atravesar el fluido a la velocidad de 100 km/h es de 5,54 Hp, con una densidad del aire evaluada en la ciudad de Riobamba a 15 °C. Mediante la interpretación de resultados, análisis y cálculos se da validación al modelado de la carrocería para su construcción, por cumplir con los requerimientos aerodinámicos como rendimiento del mismo.

CAPITULO IV

4. PROCESOS Y CONSTRUCCION DE LA CARROCERÍA

4.1 Construcción de la carrocería

Para la construcción de la carrocería, se toma en cuenta los parámetros del reglamento de la Fórmula SAE, los fundamentos de ingeniería como la aerodinámica y en vista que en la actualidad uno de los requerimientos es disminuir el consumo de combustible se optó por el material fibra de vidrio como estrategia para la reducción del peso del vehículo.

El desarrollo del presente procedimiento se encuentra sustentado en el marco teórico investigado en el capítulo I.

4.2 Proceso de fabricación del material compuesto

4.2.1 Estratificación Manual. En la actualidad existen varios procesos para la fabricación de materiales compuestos tales como: estratificación manual, moldeo por extrusión, moldeo por inyección, moldeo por aspersión, moldeo por compresión, moldeo por pultrusión y moldeo por transferencia de resina. En nuestro caso para la construcción del tema propuesto se hará uso del proceso de estratificación manual, por ser una de las técnicas más simples para obtener materiales compuestos con matriz termoestable (todas las resinas de poliéster son termoestables, es decir son maleables hasta que se calientan, por consiguiente quedan permanentemente endurecidas sin cambiar su estado incluso si se las somete al mismo calor una segunda vez). 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 un volumen máximo del 40 % (GUERRERO, V H; DAVILA, J; GALES, S; PONTÓN, P; ROSAS, N, 2011 pág. 102)

En el proceso de Estratificación manual la fibra más utilizada como refuerzo es la fibra de vidrio debido a su bajo costo, sobre todo en forma de Mat por la facilidad de acoplarse a distintas formas de la pieza, y su posible remoción de aire atrapado logrando obtener piezas de calidad.

4.2.2 *Ventajas de la estratificación manual.* Entre los beneficios que se tienen en este proceso es la simple operación, que permite fabricar piezas de diversos tamaños, con alto contenido de refuerzo, y la baja inversión, debido a que no requiere aplicación de calor su curado es libre a temperatura del ambiente y los reactivos son baratos. Además, este proceso ha sido utilizado durante muchos años, razón por la cual la técnica ha sido optimizada.

4.3 Dimensionamiento y construcción del molde para probetas de tracción, flexión e impacto (según las normas)

El dimensionamiento y construcción de los moldes para la elaboración de las probetas de ensayos (tracción, flexión e impacto) se realizó bajo parámetros establecidos por las normas (ASTM D-3039, ASTM D-7264 y ASTM D-6110), los ensayos a realizar con las probetas tienen como fin especificar características, propiedades del material compuesto fibra más resina poliéster.

Para la construcción de los moldes se utilizó como material vidrio laminar, el mismo que se dio uso por ser un material adecuado en el sentido de llegar a brindar una buena interfaz entre el material base y el material de aporte, así como también permite disminuir pérdidas de resina, puede resistir compresión, temperatura hasta 600 °C y por ser transparente da a notar las etapas de secado del material compuesto.

Figura 46. Molde de vidrio laminar



Fuente. Autores

4.4 Fracción volumétrica.

Pensemos en un material compuesto que tiene como elementos fibras y matriz, tomemos las siguientes notaciones de símbolos:

V_c = volumen del material compuesto [mm^3]

V_f = volumen de fibras [mm^3]

V_m = volumen de la matriz [mm^3]

Se especifica la fracción de volumen de las fibras fV_f y la fracción de volumen de la matriz fV_m como:

$$fV_f = \frac{V_f}{V_c} \quad (9)$$

$$fV_m = \frac{V_m}{V_c} \quad (10)$$

Por consiguiente la suma de las fracciones volumétricas de fibras y matriz son equivalentes a la unidad:

$$fV_f + fV_m = \frac{V_f}{V_c} + \frac{V_m}{V_c} = \frac{V_f + V_m}{V_c} = \frac{V_c}{V_c} = 1, \text{ es decir: } fV_f + fV_m = 1 \quad (11)$$

Debido a que: $V_f + V_m = V_c$

Los contenidos volumétricos de fibras más habituales que se obtienen en los materiales compuestos dependen de su sistema de procesado en nuestro caso al utilizar el proceso de Estratificación Manual su porcentaje en volumen máximo es del 40% (GUERRERO, V H; DAVILA, J; GALES, S; PONTÓN, P; ROSAS, N, 2011 pág. 102)

Una fracción mayor de volumen de fibras incrementará la resistencia del compuesto, como lo indica la regla de las mezclas. No obstante, la fracción máxima de volumen de fibras dependiendo del proceso de fabricación es aproximadamente 80 %, más allá de esta cantidad las fibras ya no quedan totalmente cubiertas por la matriz (resina poliéster más aditivos) ocasionando una interfaz deficiente entre los elementos integrantes del material compuesto y por ende fallas prematuras en las piezas.

Considerando como volumen máximo el 40 % de fibras de refuerzo en el proceso de Estratificación Manual, se plantea tres fracciones volumétricas de fibras las cuales son: 25 %, 30 % y 40 %.

En la siguiente tabla podemos observar las diferentes fracciones volumétricas de fibra necesarias para las distintas probetas:

Tabla 4. Fracción volumétrica de fibras, probetas de Tracción

Probetas de Tracción			
Volume = 30000.00 cubic millimeters			
Norma ASTM D – 3039			
Porcentaje	25 %	30 %	40 %
Volumen de fibras (mm ³)	7500	9000	12000
Nota: La fibra de vidrio tipo mat de 375 g/m ² tiene un espesor aproximado 0,83 mm. Dato que sirve para calcular el volumen exacto de fibra en cada uno de los casos.			



Fuente: Autores

Tabla 5. Fracción volumétrica de fibras, probetas de Flexión

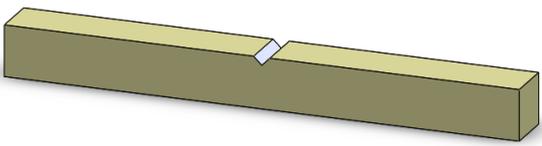
Probetas de Flexión			
Volume = 8320.00 cubic millimeters			
NORMA ASTM D – 7264			
Porcentaje	25 %	30 %	40 %
Volumen de fibras (mm ³)	2080	2496	3328



Fuente: Autores

Tabla 6. Fracción volumétrica de fibras, probetas de Impacto

Probetas de Impacto			
Volume = 20433.03 cubic millimeters			
ASTM - D 6110			
Porcentaje	25 %	30 %	40 %
Volumen de fibras (mm ³)	5108,25	6129,90	8173,21



Fuente: Autores

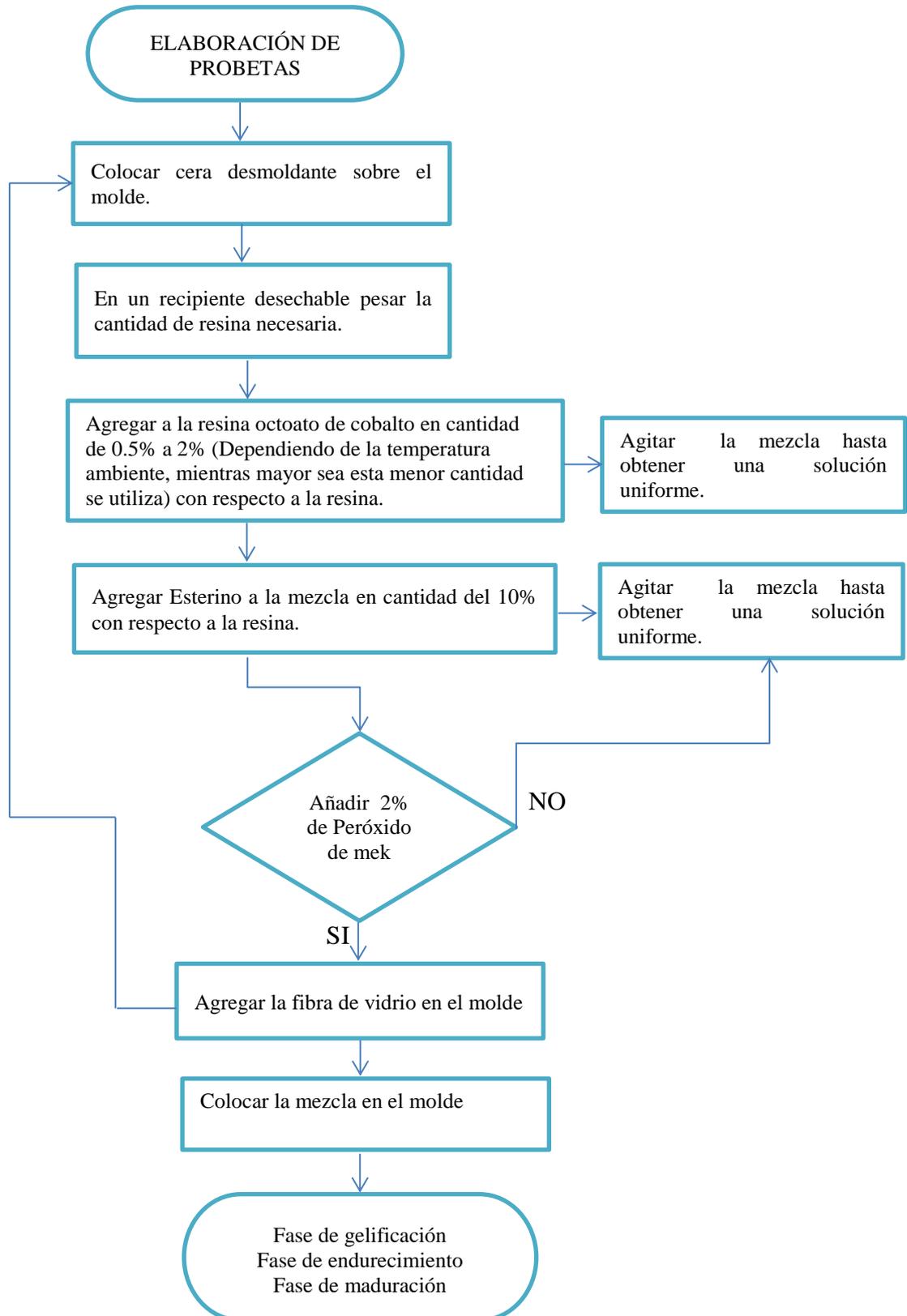
4.5 Tiempos de curado de las probetas

El tiempo de curado es importante para poder determinar las propiedades en el nuevo material compuesto el cual debe ser de 15 días a temperatura ambiente pero a una temperatura de 40 °C el tiempo oscila entre 16 y 24 horas.

En nuestro caso el tiempo de curado fue de 15 días antes de proceder con los ensayos destructivos.

4.6 Proceso de construcción de probetas tracción, flexión e impacto.

Se establece un diagrama de procesos para la elaboración de las distintas probetas según lo establecido por la normativa ASTM para ensayos con material compuesto.



4.6.1 *Elaboración de probetas de tracción.* Se construyeron 30 probetas de tracción en las cuales el material de refuerzo utilizado fue fibra de vidrio hilada tipo mat de 375 g/m² obteniendo así 10 probetas con cada composición volumétrica estudiada.

Posteriormente mediante un control de calidad seleccionar 7 probetas de cada caso de estudio con el fin de garantizar los resultados al momento de realizar los ensayos destructivos. El volumen específico de fibra para cada caso se tomó de la tabla 4.

Tabla 7. Probetas de tracción a ensayar

Probetas de tracción según fracción volumétrica				
Tipo de material	% Volumétrico de refuerzo	Nº de Probetas	Tipo de Ensayo	Norma
Fibra de vidrio hilada tipo mat de 375 g/m ²	25	10	Tracción	ASTM-D 3039
	30	10	Tracción	ASTM-D 3039
	40	10	Tracción	ASTM-D 3039
Probetas totales		30		

Fuente. Autores

Figura 47. Probetas de tracción a ensayar



Fuente. Autores

4.6.2 *Elaboración de probetas de flexión.* Las probetas de flexión fueron elaboradas según la norma ASTM D-7264 procurando impregnar correctamente el material de refuerzo con la matriz termoestable y cuyo volumen de fibras de refuerzo se muestra en la tabla 5.

La cantidad de probetas se toman en base a los mejores resultados obtenidos en los ensayos de tracción en este caso con el 40 % de material de refuerzo.

Figura 48. Probetas de flexión a ensayar



Fuente. Autores

4.6.3 *Elaboración de probetas de Impacto.* Las probetas de impacto se fabrican según la norma ASTM - D 6110, se realizan 7 probetas con una fracción volumétrica del 40% de F.V. ya que con este porcentaje se obtienen mejores resultados según los ensayos de tracción y flexión y su proporción exacta en fibra de refuerzo se observa en la tabla 6.

Figura 49. Probetas de impacto a ensayar construidas



Fuente. Autores

4.6.4 *Ensayos a tracción del material compuesto.* Una vez elaboradas las probetas de tracción con las consideraciones establecidas anteriormente se procede a realizar los ensayos destructivos con el fin de determinar las características mecánicas y escoger el material adecuado para nuestro proyecto teniendo en cuenta:

- Esfuerzo máximo. Como su nombre lo indica es la máxima cantidad de esfuerzo que el material puede soportar y se determinó bajo la siguiente ecuación:

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} \quad (12)$$

Dónde:

σ_{max} = Esfuerzo Máximo [MPa]

F = Carga máxima o fuerza aplicada [N]

A = Área de la sección transversal [m²]

- Deformación. Es el cambio de tamaño o forma que sufre el material debido a esfuerzos internos producido a través de fuerzas efectuadas sobre él, se determina mediante la ecuación:

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \quad (13)$$

Dónde:

ε = Elongación.

l_f = Longitud final [mm]

l_o = Longitud inicial [mm]

- Módulo de elasticidad. Es la resistencia de un material a una extensión longitudinal reversible y es un parámetro útil para predecir hasta qué punto se estirará una pieza bajo una carga determinada.

Se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (14)$$

Dónde:

E = Módulo de elasticidad. [MPa]

σ_{max} = Esfuerzo Máximo [MPa]

ε = Elongación.

Todos los ítems mostrados en el apartado 4.6.4 ayudan a establecer el comportamiento a tracción del material compuesto.

En la tabla 8, se muestra los resultados de las probetas de tracción elaboradas a partir de la normativa ASTM-D 3039 para ensayos de materiales compuestos plásticos, los cuales nos ayudan a determinar las propiedades mecánicas del material.

Tabla 8. Análisis de probetas a tracción con material de refuerzo 25 %

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO 						
Fibra de vidrio hilada tipo Mat de 375 g/m² 25 %						
Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de "Mecánica"						
Máquina:	Máquina Universal Tinius Olsen					
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D 3039			
Matriz:	Resina Poliéster	Fracc. Volumétrica	75 %			
Refuerzo:	Fibra de Vidrio Mat	Fracc. Volumétrica	25 %			
Estratificación:	Manual	Velocidad de Ensayo	2 mm/min			
Dimensión de Probeta (mm)	250 x 25 x espesor	Número de Probetas	7			
Espesor Promedio	2,9	Responsable:	Ing. Caicedo I.			
Datos y resultados						
#	Carga Máxima [Kg]	Deformación Máxima [mm]	Carga Máxima [N]	Esfuerzo Máximo [MPa]	Elongación	Módulo de Elasticidad [MPa]
1	360	0,65	3528	48,66	0,013	3743,24
2	380	0,68	3724	51,37	0,014	3776,88
3	340	0,71	3332	45,96	0,014	3236,52
4	370	0,56	3626	50,01	0,011	4465,52
5	360	0,62	3528	48,66	0,012	3924,36
6	350	0,65	3430	47,31	0,013	3639,26
7	380	0,53	3724	51,37	0,011	4845,80
Promedio	362,86	0,63	3556	49,05	0,013	3947,37
Desv. Estándar	14,96	0,064	146,61	2,02	0,0013	539,62

Fuente: Autores

Tabla 9. Análisis de probetas a tracción con material de refuerzo 30 %

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO 						
Fibra de vidrio hilada tipo Mat de 375 g/m² 30 %						
Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de "Mecánica"						
Máquina:	Máquina Universal Tinius Olsen					
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D-3039			
Matriz:	Resina Poliéster	Fracc. Volumétrica	70 %			
Refuerzo:	Fibra de Vidrio Mat	Fracc. Volumétrica	30 %			
Estratificación:	Manual	Velocidad de Ensayo	2 mm/min			
Dimensión de Probeta (mm)	250 x 25 x espesor	Número de Probetas	7			
Espesor Promedio	2,8	Responsable:	Ing. Caicedo I.			
Datos y resultados						
#	Carga Máxima [Kg]	Deformación Máxima [mm]	Carga Máxima [N]	Esfuerzo Máximo [MPa]	Elongación	Módulo de Elasticidad [MPa]
1	330	0,45	3234	46,2	0,0090	5133,33
2	320	0,38	3136	44,8	0,0076	5894,74
3	310	0,45	3038	43,4	0,0090	4822,22
4	330	0,42	3234	46,2	0,0084	5500,00
5	300	0,65	2940	42	0,0130	3230,77
6	310	0,48	3038	43,4	0,0096	4520,83
7	320	0,68	3136	44,8	0,0136	3294,12
Promedio	317,14	0,50	3108	44,4	0,0100	4628,00
Desv. Estándar	11,12	0,12	109,04	1,56	0,0023	1032,88

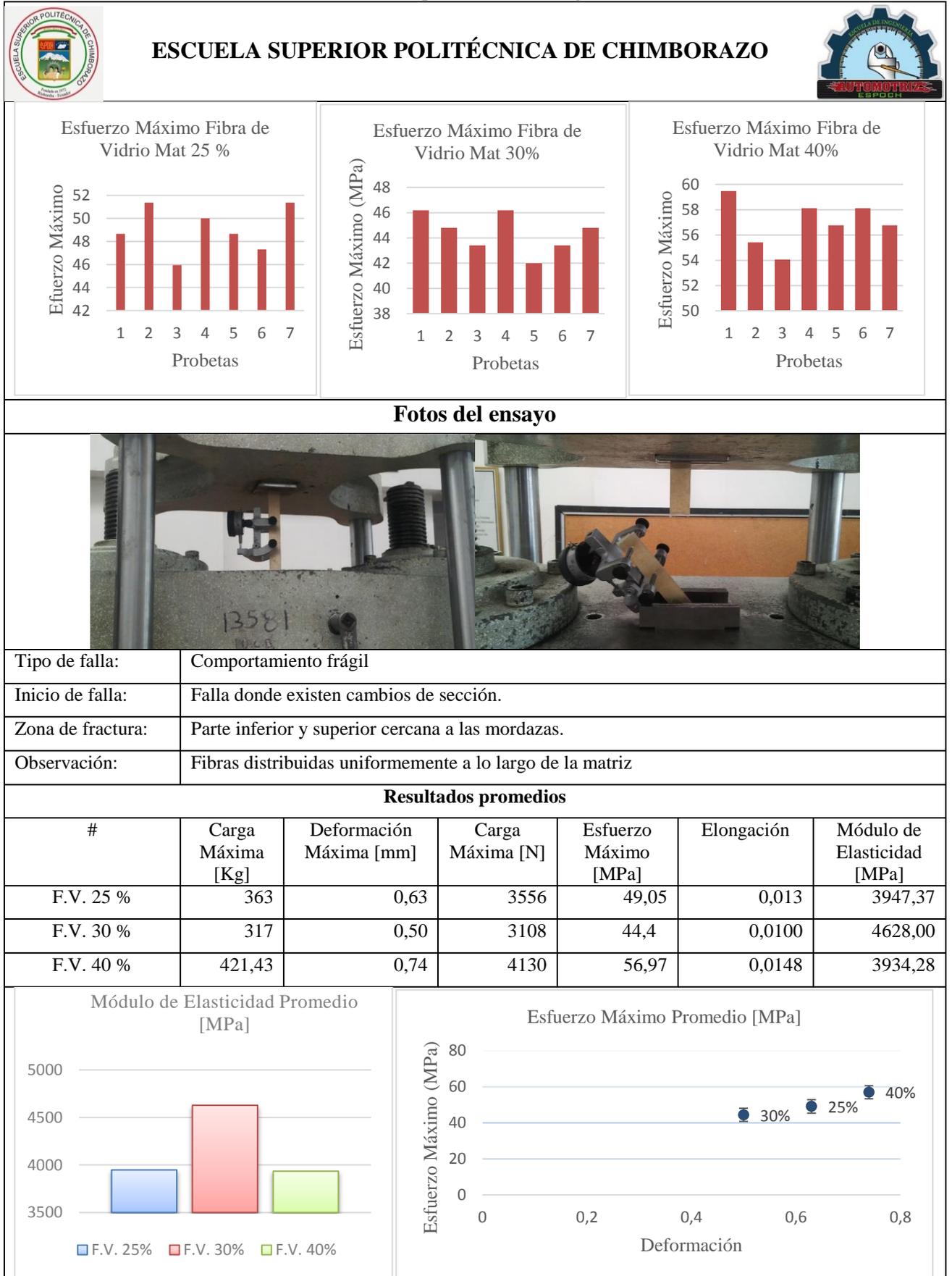
Fuente: Autores

Tabla 10. Análisis de probetas a tracción con material de refuerzo 40 %

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO 						
Fibra de vidrio hilada tipo Mat de 375 g/m² 40 %						
Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de "Mecánica"						
Máquina:	Máquina Universal Tinius Olsen					
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D 3039			
Matriz:	Resina Poliéster	Fracc. Volumétrica	60 %			
Refuerzo:	Fibra de Vidrio Mat	Fracc. Volumétrica	40 %			
Estratificación:	Manual	Velocidad de Ensayo	2 mm/min			
Dimensión de Probeta (mm)	250 x 25 x espesor		Número de Probetas	7		
Espesor Promedio	2,9		Responsable:	Ing. Caicedo I.		
Datos y resultados						
#	Carga Máxima [Kg]	Deformación Máxima [mm]	Carga Máxima [N]	Esfuerzo Máximo [MPa]	Elongación	Módulo de Elasticidad [MPa]
1	440	0,79	4312	59,48	0,0158	3764,30
2	410	0,6	4018	55,42	0,012	4618,39
3	400	0,75	3920	54,07	0,0150	3604,60
4	430	0,82	4214	58,12	0,0164	3544,15
5	420	0,76	4116	56,77	0,0152	3735,03
6	430	0,58	4214	58,12	0,0116	5010,70
7	420	0,87	4116	56,77	0,0174	3262,78
Promedio	421,43	0,74	4130	56,97	0,0148	3934,28
Desv. Estándar	13,45	0,11	131,83	1,82	0,0022	633,39

Fuente: Autores

Tabla 11. Representación en gráficas



Fuente. Autores

Al comparar los resultados obtenidos mediante los ensayos de tracción con las distintas fracciones volumétricas se observa que la configuración de 40 % y 25 % generan mejores resultados, en cada uno de los casos se observa que no existe una variación significativa entre sus valores máximos y mínimos lo cual demuestra la solidez del material compuesto.

Mediante los resultados obtenidos se puede deducir que el material compuesto con fibras de refuerzo en un porcentaje de 40 % otorga mejores propiedades mecánicas razón por la cual se realizan las probetas para las diferentes etapas con esta relación.

4.6.5 *Ensayos a flexión del material compuesto.* Este ensayo se utiliza especialmente como medida de la rigidez, es habitual en materiales poliméricos duros, pero no en materiales blandos como espumas flexibles y los cauchos.

Se realizó en la Máquina universal Tinius Olsen bajo los criterios especificados en la norma ASTM D-7264 para el dimensionamiento de las probetas cuyas longitudes fueron de 160 mm de largo, 13 mm de ancho y se consideró un espesor de 4 mm todas ellas bajo la normativa.

El parámetro más importante que se obtiene de un ensayo de flexión es el módulo de elasticidad (también llamado módulo de flexión).

En función del número de puntos o apoyos pueden realizarse varios tipos de ensayos de flexión: flexión en tres puntos, en cuatro puntos o incluso flexión de una viga en voladizo.

La distancia entre puntos de apoyo fue de 128 mm tomada del (Procedimiento A¹³ de la Norma ASTM D-7264) que corresponde a 32 veces el espesor.

Las ecuaciones que sirven para conocer las propiedades mecánicas a flexión son:

- Esfuerzo máximo. Una vez determinada la distancia entre apoyos se procede a la aplicación de carga en la zona media de la probeta para cuando llegue a su ruptura poder obtener la deflexión máxima del material compuesto F.V+R.P, se calcula mediante la relación:

$$\sigma_{\max f} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (15)$$

Dónde:

$\sigma_{\max f}$ = Esfuerzo máximo de flexión [MPa]

P = Fuerza aplicada [N]

L = Longitud entre apoyos (32 h) [mm]

b = Ancho de la probeta [mm]

h = Espesor de la probeta [mm]

- Deflexión de ruptura. Es aquella deformación que sufre un elemento por el efecto de las flexiones internas y su esfuerzo se traza en función de deflexiones.
- Módulo de Flexión. Llamado también módulo de elasticidad a la flexión y se calcula por medio de la siguiente ecuación.

$$E_f = \frac{L^3 P}{4bh^3 \delta} \quad (16)$$

Dónde:

E_f = Módulo de flexión [MPa]

P = Fuerza aplicada [N]

L = Longitud entre apoyos (32h) [mm]

b = Ancho de la probeta [mm]

h = Espesor de la probeta [mm]

δ = Deflexión de la probeta [mm]

En la tabla 12, se muestra los resultados de las probetas de flexión elaboradas a partir de la normativa ASTM D-7264 para ensayos de materiales compuestos plásticos.

Mediante los cuales se determinó que no existe una variación significativa en los resultados entre las diferentes probetas ensayadas garantizando que el material compuesto con una configuración del 40 % de fibras de refuerzo es estable.

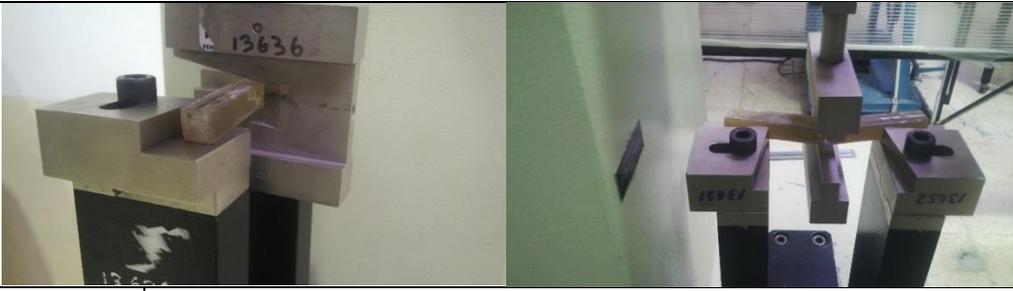
Tabla 12. Análisis de probetas a flexión con material de refuerzo 40 %

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO 					
Fibra de vidrio hilada tipo Mat de 375 g/m² 40 %					
Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de "Mecánica"					
Máquina:	Máquina Universal Tinius Olsen				
Tipo de Ensayo:	Flexión				
Matriz:	Resina Poliéster				
Refuerzo:	Fibra de Vidrio Mat				
Estratificación:	Manual				
Dimensión de Probeta [mm]	160 x 13 x espesor				
Espeor Promedio	3,9				
Norma:	ASTM D 7264				
Fracc. Volumétrica	60 %				
Fracc. Volumétrica	40 %				
Velocidad de Ensayo	1 mm/min				
Número de Probetas	7				
Responsable:	Ing. Caicedo I.				
Datos y resultados					
#	Carga Máxima [Kg]	Deflexión Máxima Ruptura [mm]	Carga Máxima [N]	Esfuerzo Máximo [MPa]	Módulo de Flexión [MPa]
1	14	26,50	137,2	129,89	3262,53
2	15	25,50	147	139,17	3632,65
3	14	27,50	137,2	129,89	3143,89
4	16	27,50	156,8	148,45	3593,02
5	16	26	156,8	148,45	3800,31
6	14	24,70	137,2	129,89	3500,29
7	14	26,82	137,2	129,89	3223,61
PROMEDIO	14,71	26,36	144,2	136,52	3450,90
Desv. Estándar	0,95	1,04	9,32	8,83	244,66
Fotos del ensayo					
					
Tipo de falla:	Fractura frágil				
Inicio de falla:	Lugar donde se aplica la fuerza				
Zona de fractura:	Parte central de la probeta				
Observación:	Fibras distribuidas uniformemente a lo largo de la matriz				

Fuente. Autores

4.6.6 *Ensayos de impacto del material compuesto.* Mediante el ensayo de impacto se encuentra la resistencia del material a un golpe.

Tabla 13. Análisis de probetas de impacto con material de refuerzo

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO 			
Fibra de vidrio hilada tipo Mat de 375 g/m² 40 %			
Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de "Mecánica"			
Máquina:	Péndulo Charpy		
Tipo de Ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D 6110
Matriz:	Resina Poliéster	Fracc. Volumétrica	60 %
Refuerzo:	Fibra de Vidrio Mat	Fracc. Volumétrica	40 %
Dimensión de Probeta [mm]	127 x 12,7 x espesor	Número de Probetas	7
Espesor Promedio	12,6	Responsable:	Ing. Caicedo I.
Datos y resultados			
#	PÉNDULO	RESISTENCIA MAXIMA AL IMPACTO [J]	
1	7.5 J	4,75	
2		5,8	
3		6,4	
4		5,9	
5		6,1	
6		4,8	
7		5,6	
Promedio		5,6	
Desviación estándar		0,57	
FOTOS DEL ENSAYO			
			
Tipo de falla:	Fractura frágil		
Inicio de falla:	Inicio de falla en la matriz en el lugar que se realizó la muesca		
Zona de fractura:	Parte central de la probeta		
Observación:	Fibras distribuidas uniformemente a lo largo de la matriz		

Fuente. Autores

Las dimensiones de las probetas a ensayar se realizaron tomando en cuenta las consideraciones de la normativa ASTM D-6110 y fueron realizados con el equipo Charpy utilizando un péndulo que puede absorber hasta 7,5 J.

4.6.7 Interpretación de datos. Mediante los distintos ensayos destructivos realizados se observa que en todos los casos de estudio las fibras se distribuyen uniformemente aportando al material resultante su propiedad isotrópica además logran una buena interfaz con la matriz termoestable, en la tabla 14, se observa los resultados del esfuerzo máximo [Pa] con su respectiva deformación unitaria de un material compuesto reforzado con fibra de vidrio mat a un porcentaje de 40 % aplicando distintas condiciones de carga.

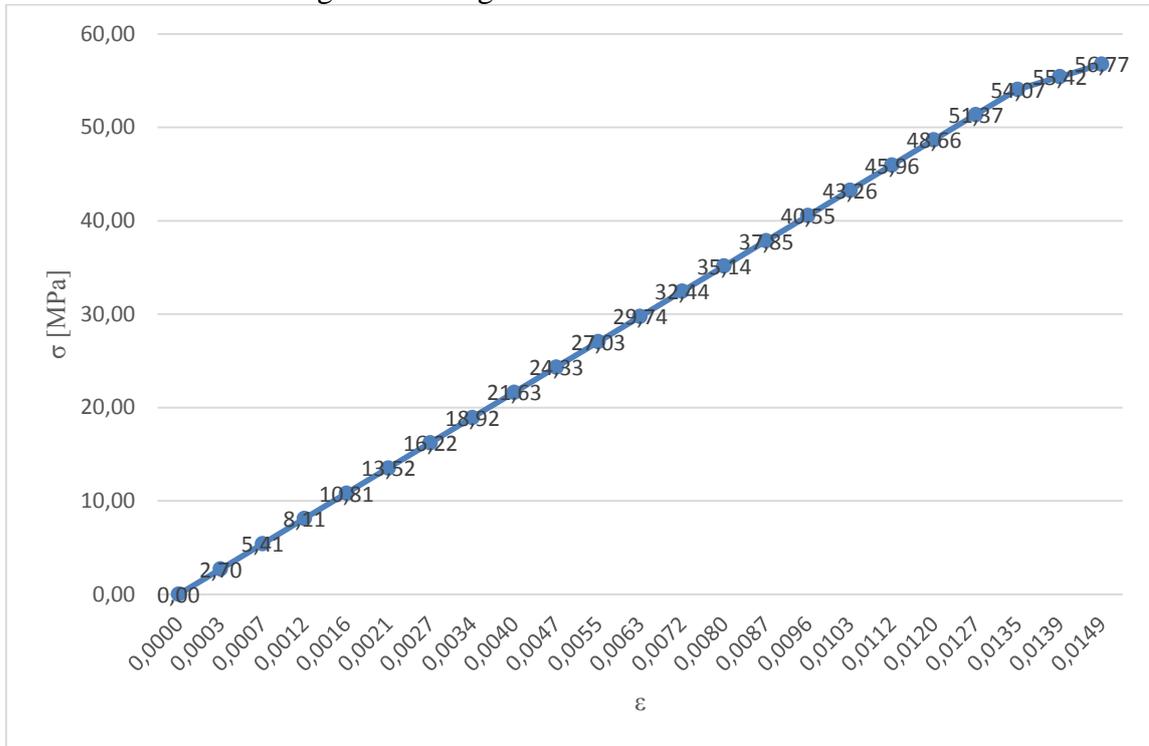
Tabla 14. Valores promedio deformación unitaria del Material Compuesto F.V. 40%

Datos y resultados		
Carga [kg]	Esfuerzo Máximo [MPa]	Promedio Deformación Unitaria
	σ_{max}	ϵ
0	0,00	0,0000
20	2,70	0,0003
40	5,41	0,0007
60	8,11	0,0012
80	10,81	0,0016
100	13,52	0,0021
120	16,22	0,0027
140	18,92	0,0034
160	21,63	0,0040
180	24,33	0,0047
200	27,03	0,0055
220	29,74	0,0063
240	32,44	0,0072
260	35,14	0,0080
280	37,85	0,0087
300	40,55	0,0096
320	43,26	0,0103
340	45,96	0,0112
360	48,66	0,0120
380	51,37	0,0127
400	54,07	0,0135
410	55,42	0,0139
420	56,77	0,0149

Fuente: Autores

Con los datos medios obtenidos de la deformación unitaria se procede a realizar su correspondiente gráfico para notar su comportamiento.

Figura 50. Diagrama Esfuerzo-Deformación



Fuente: Autores

Mediante el diagrama Esfuerzo-Deformación se puede observar que nuestro material compuesto se comporta como un material frágil al no presentar una zona de deformación plástica y una característica de los materiales frágiles es que la resistencia a compresión es superior a la resistencia a tracción por consecuencia $\sigma_c > 56,97$ MPa.

Tabla 15. Propiedades Mecánicas del Material Compuesto F.V. 40 %

Propiedades Mecánicas del Material Compuesto						
Ensayo	Ensayo a Tracción		Ensayo a Flexión		Ensayo a Impacto	Aceptabilidad del Material Compuesto
	Esfuerzo Máximo [MPa]	Módulo Elástico [MPa]	Esfuerzo Máximo [MPa]	Módulo de Flexión [MPa]	Resistencia al Impacto [J]	
F.V. 40 %	56,97	3934,28	136,52	3450,90	5,6	Aceptable

Fuente. Autores

4.6.7.1 El coeficiente de Poisson para materiales compuestos. La fórmula del coeficiente de poisson sigue así mismo la ley de las mezclas:

$$\mu_x = \mu_f v_f + u_m v_m \quad (17)$$

Dónde:

μ = coeficiente de poisson

v = fracción volumétrica

Los subíndices x, f, m equivalen a compuesto, fibra, matriz respectivamente.

El coeficiente de poisson de la fibra de vidrio tipo E es igual a 0,22 (MIRAVETE, A; CUARTERO, J, 2004 p. 155)

El coeficiente de poisson para la resina poliéster se puede obtener de la siguiente tabla:

Tabla 16. Comparación de propiedades típicas de las resinas epoxi y poliéster usadas en los materiales compuestos

Propiedad	Unidades	Resinas epoxi	Resinas poliéster
Densidad	Mg m ⁻³	1,1-1,4	1,2-1,5
Módulo de Young	GN m ⁻²	3-6	2-4,5
Relación de Poisson		0,38-0,4	0,37-0,39
Resistencia a tracción	MN m ⁻²	35-100	40-90
Resistencia a compresión	MN m ⁻²	100-200	90-250
Alargamiento de rotura (tracción)	%	1-6	2
Conductibilidad térmica	W m ⁻¹ °C ⁻¹	0,1	0,2
Coefficiente de dilatación térmica	10 ⁻⁶ °C ⁻¹	60	100-200
Temperatura de distorsión por calor	°C	50-300	50-110
Contracción de curado	%	1-2	4-8
Absorción de agua (24 h. a 20°C)	%	0,1-0,4	0,1-0,3

Fuente: Diseño y análisis de materiales compuestos

Tomando un valor medio de 0,38 y con base a estos datos se puede calcular el coeficiente de poisson del material compuesto con un 40 % de material de refuerzo.

En nuestro caso el coeficiente de poisson será:

$$\mu_x = \mu_f v_f + u_m v_m$$

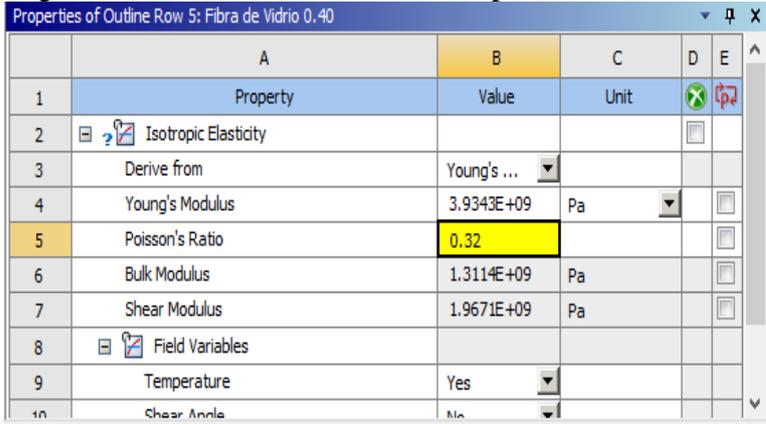
$$\mu_x = (0.22)(0.40) + (0.38)(0.60)$$

$$\mu_x = 0,32$$

4.7 Verificación del material asistido por Ansys

Una vez determinadas las diferentes propiedades mecánicas del material compuesto se procede a ingresar los datos en el software de elementos finitos con el fin de crear el material que será utilizado en las distintas pruebas de la carrocería.

Figura 51. Creación del material compuesto en el software

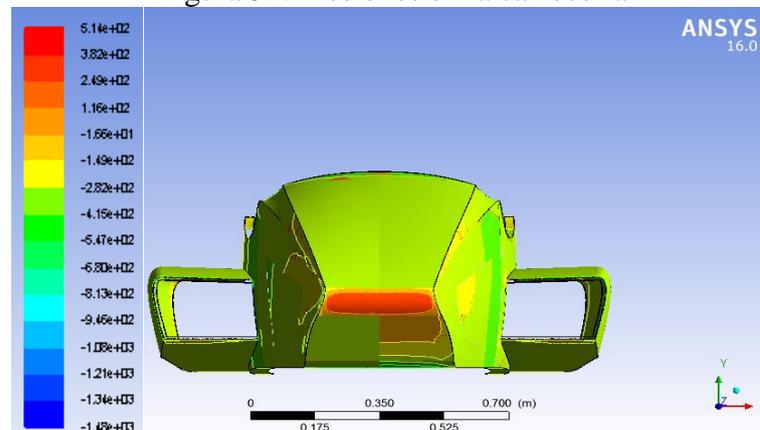


	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Isotropic Elasticity				
3	Derive from	Young's ...			
4	Young's Modulus	3.9343E+09	Pa		
5	Poisson's Ratio	0.32			
6	Bulk Modulus	1.3114E+09	Pa		
7	Shear Modulus	1.9671E+09	Pa		
8	Field Variables				
9	Temperature	Yes			
10	Shear Angle	No			

Fuente: Autores

Cuando nuestro proyecto alcance su fase final y sea montado junto con los demás elementos del vehículo de competencia Fórmula SAE quedará expuesto a una serie de factores que actuarán sobre este en el momento de poner en marcha el vehículo, siendo la presión un factor predominante debido a que se incrementa junto con la velocidad. Mediante una simulación de Fluid Flow se puede observar las partes de la carrocería donde existe mayor cantidad de presión pudiendo ocasionar una falla en el material compuesto.

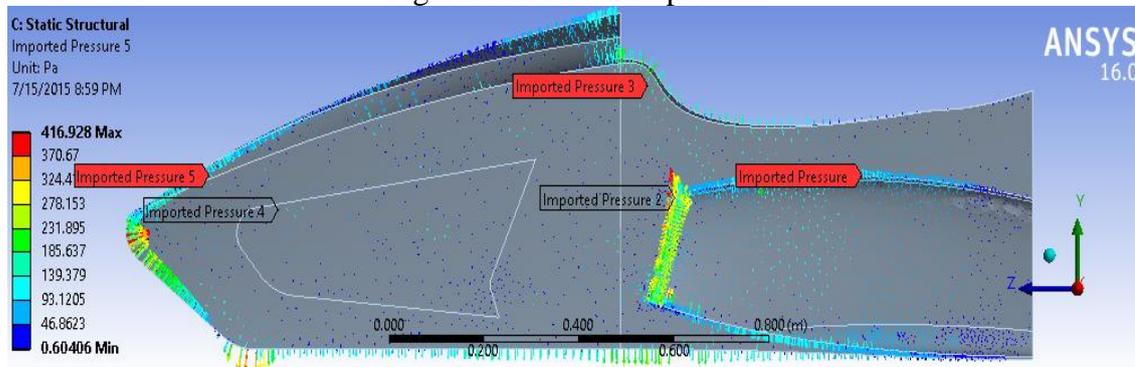
Figura 52. Presiones en la carrocería



Fuente: Autores

Con el fin de obtener resultados exactos se importan los valores de la presión en cada una de las respectivas caras que conforman nuestro diseño, este proceso nos permite realizar un estudio estático poniendo a prueba el material compuesto.

Figura 53. Presión Importada

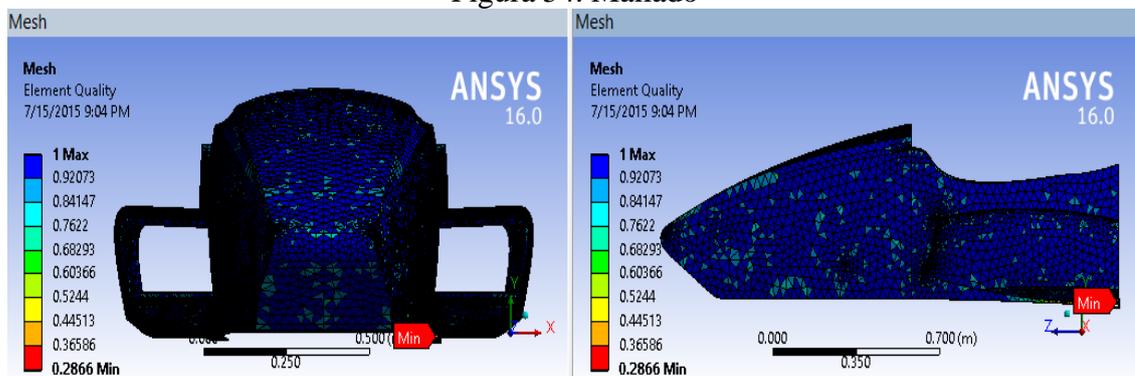


Fuente: Autores

Para garantizar la calidad de los resultados es recomendable que la calidad de malla oscile desde 0,2 a 1.

En nuestro caso se puede observar una malla bastante uniforme y que se encuentra dentro de los rangos establecidos lo que significa que los resultados son confiables.

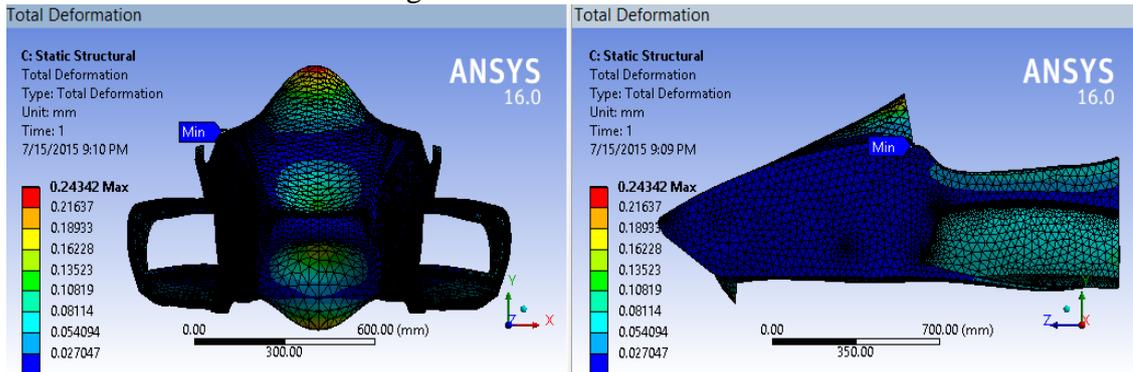
Figura 54. Mallado



Fuente: Autores

Una vez definido todos los parámetros necesarios para el análisis podemos visualizar los primeros resultados y la influencia que produce la presión en las distintas caras de la carrocería; pudiéndose apreciar la deformación máxima que se produce en el material compuesto siendo de 0,24 mm. Con los resultados de la deformación máxima se puede verificar si se produce alguna falla mecánica en el material compuesto (F.V+R.P) mediante la determinación de un factor de seguridad.

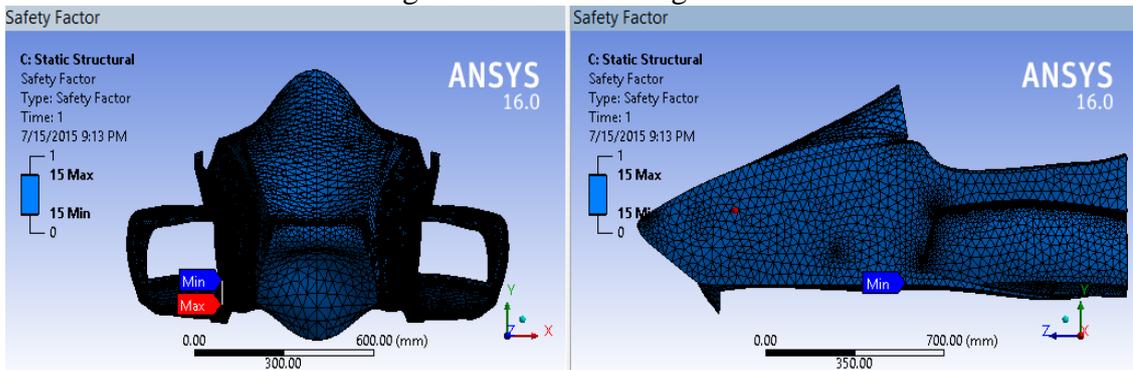
Figura 55. Deformación Total



Fuente: Autores

Se puede observar que el material compuesto es completamente resistente y fiable puesto que su Factor de seguridad es de 15, sin presentar zonas críticas.

Figura 56. Factor de seguridad



Fuente: Autores

4.8 Procesos de Construcción de la Carrocería

La construcción de una carrocería conlleva una serie de procesos los mismos que deben ser conocidos de forma general por lo que para la construcción de nuestra carrocería se consideró los procesos que se detallan a continuación.

4.8.1 Creación de la matriz o moldes. Su creación es la primera aplicación que se tiene con la fibra de vidrio, en si la matriz es el modelo que queremos fabricar, para esto lo primero que se debe plasmar es la forma tridimensional deseada conocida como pre-molde para posteriormente a través de esta obtener nuestro molde principal.

Para la obtención de las matrices se realizan ciertos procesos previos a su construcción los mismos que serán detallados y explicados a continuación:

- Pasta de pulir. Es necesario aplicar en el pre-molde (es el diseño base de la carrocería) una pasta de pulir específica para poliéster, después de lograr un pulido correcto el siguiente proceso viene a ser el encerado.
- Encerado. Se debe aplicar una capa de cera no muy gruesa en forma circular, luego lustrar manualmente esperando el tiempo necesario que el fabricante de la cera lo recomiende esto se lo hace para que exista un mejor curado de la cera sobre la superficie del carenado. Una vez que la cera se haya concentrado totalmente en la superficie, limpiar con algodón partículas de polvo existentes sobre ella, evitar usar pulidoras mecánicas ya que podrían quemar la cera creando superficies desprotegidas lo que implicaría que el molde o pieza final quede adherida al pre-molde y como consecuencia dañen su acabado superficial al momento de desmoldarlas.

Figura 57. Cera desmoldante



Fuente: Autores

- Agente desmoldante. Es una solución llamada PVA (alcohol polivinílico) que aporta a un mejor desmolde, no es recomendable su uso con resinas que produzcan agua durante el curado. Esta solución PVA puede eliminarse lavándola con agua; esto luego del desmolde.

Con un litro de PVA se puede cubrir 10 m² de superficie su tiempo de secado es de 15 a 30 min obteniendo como resultado una película brillante y estirada.

- Elaboración de la matriz o molde de resina poliéster. Para la elaboración de este tipo de molde se hace uso de gel-coat y de resina de poliéster, la aplicación del gel-coat realizarlo con un soplete y a presión, este debe ser catalizado en un

recipiente adecuado, la aplicación no debe exceder el espesor de 1 mm, por lo que como técnica se sugiere que se aplique en dos capas lisas y con dos a tres pasadas cada capa, con un espesor de 0,4 a 0.5 mm cada una. El tiempo de curado entre capa y capa, se da solamente hasta que este no llegue a manchar en el momento de tocarlo. La segunda capa puede cambiar de color por lo que a esta se la utilizara como referencia para lijar la capa exterior.

La catalización del gel-coat en la matriz o molde es crítica y para compensar las fluctuaciones de la temperatura ambiente se hace necesario el uso de 2,5 % a 25 grados centígrados de peróxido de Metil Etil Cetona más conocido como mek.

Después de lograr este proceso se da inicio a la aplicación de la resina de poliéster, para evitar imperfecciones con el pasar del tiempo en un molde nuevo, es muy importante la aplicación de la primera capa que estará en contacto con el gel-coat.

Para seguir con la elaboración del molde se puede utilizar el método conocido como sándwich consiste en alternar una tras otra capas de tejidos de vidrio comprendiendo un espesor de 4 a 6 mm respecto al gel-coat. El tiempo de curado tras terminar el proceso de obtención del molde es de 5 días para poder separarlo de pre-molde, y 5 días más después de desmoldarlo. La superficie exterior de la matriz debe estar completamente pulida, este pulido se lo realiza con un papel lija hasta que se puedan observar solamente las marcas visibles dejadas por un papel de lija 600.

4.9 Creación de las piezas

La creación de la pieza final o producto terminado se obtiene mediante la aplicación de un cierto número de capas de fibra de vidrio ya que de este dependerá la ligereza que la pieza adquiera. En la creación de la pieza que se realiza en el interior del molde se debe utilizar una serie de desmoldantes para lograr que la pieza se desacople del molde fácilmente. La pieza resultante deberá ser una réplica de la superficie interior del molde, las piezas que estén expuestas a repetidos montajes y desmontajes en una competencia deberán ser reforzadas en los bordes y zonas de sujeción.

Dichas piezas serán refinadas para su montaje y posteriormente para ser pintadas, pulidas y por último se pegarán emblemas reglamentarios que mejoren la presentación estética de nuestra carrocería (SOLANA, 2013)

4.10 Modelación de la Carrocería

Para nuestro caso se realiza un pre-molde de la carrocería o construcción del positivo, en el prototipo, se utilizó 1 plancha de MDF 18 mm de espesor, planchas de cartón prensado y espuma de poliuretano para dar consistencia y forma al diseño modelado, la madera es unida al chasis con correas y las planchas de cartón prensado son adheridas con silicona y con grapas de pistola neumática.

Para dar la forma delantera del monoplaza se construyó y monto la estructura del impact al chasis con el fin de considerar el espacio que este ocupa. Las planchas de madera MDF recortadas 3 cm y adheridas como se indica en la figura 59 soportan al cartón prensado dando la geometría curva deseada de la parte superior y frontal de la carrocería.

Figura 58. Estructura



Fuente: Autores

Figura 59. Adherencia de Madera de MDF al chasis



Fuente: Autores

Posteriormente haciendo uso del cartón prensando con una cortadora eléctrica se da las formas a los moldes de la carrocería y pontones de aire según la geometría que se necesite, tomando en cuenta los planos realizados. Los moldes se adhieren a la estructura mediante silicón, correas o grapas.

Figura 60. Moldes de la geometría superior de la parte frontal



Fuente: Autores

Figura 61. Moldes de laterales y pontones



Fuente: Autores

4.11 Aplicación de la espuma de poliuretano

En el prototipo de la carrocería, se utilizó espuma de poliuretano Tecnofoam aerosol de 750 ml para el redondeo de la parte frontal y para dar geometrías curvas a los pontones de aire. El exceso de la espuma de poliuretano se desbasta con estiletes y con una lija fina obteniendo una superficie uniforme. Se utiliza mascarillas y gafas de seguridad, de tal forma que las pequeñas partículas de espuma que se desprenden, no afecten al sistema respiratorio y visual.

Es así como mediante el ensamble de los moldes de la carrocería y pontones con la aplicación de espuma de poliuretano se obtiene la construcción del pre-molde.

Figura 62. Aplicación de la espuma de poliuretano



Fuente: Autores

Figura 63. Desbaste y forma de la espuma



Fuente: Autores

4.12 Aplicación de cera desmoldante

Se aplica al pre-molde cera desmoldante por lo menos cinco veces para mantenerlo encerado durante todo el proceso, las ceras que contienen grasas y que no son neutras cortan la película separadora haciendo que el molde quede adherido al original por lo tanto no son utilizables. Después de la cera, con un paño humedecido se aplica una película de alcohol poli vinílico, por todo el pre-molde. Luego que se haya secado la primera película se aplica la segunda teniendo cuidado de no levantar la capa previa para que el molde no se quede adherido.

Figura 64. Aplicación cera desmoldante y alcohol poli vinílico



Fuente: Autores

4.13 Aplicación de Yielcold

En este proceso se optó por utilizar una mezcla homogénea comúnmente llamada yielcold por la facilidad de aplicación y preparación, cumple similares funciones a las del gel-coat. Consiste en la mezcla de resina poliéster con talco chino y sus aditivos estireno, acelerante y catalizador todos juntos garantizan que la fibra de vidrio quede a la intemperie y sufra de humedad, permite también un buen acabado superficial. Se aplica el yielcold sobre la superficie del pre-molde con una brocha dejando que seque 20 min.

Figura 65. Aplicación del Yielcold



Fuente: Autores

4.14 Aplicación de la fibra de vidrio

Colocar la primera capa de fibra de vidrio en el molde y aplicar resina mezclada con mek peróxido, con la ayuda de una brocha y un rodillo se moldea la pieza, para aplicar la fibra se corta en cuadros pequeños por razón de facilitar su manipulación y por la de mejorar la distribución de cargas que esta soporte. Una vez seca la primera capa de F.V.+R.P. y siguiendo el mismo procedimiento anterior colocar la segunda capa de fibra de vidrio, al aplicar la última capa de fibra, verificar que la resina no se derrame.

Figura 66. Aplicación de la fibra de vidrio



Fuente: Autores

4.15 Recorte de la fibra de vidrio

En la carrocería, el molde se divide en cinco partes independientes, para que se pueda desmoldar fácilmente la fibra del molde original y dicha división sirve a su vez para facilitar el desmontaje de la carrocería en el caso que se lo requiera. Para cortar las partes, se utiliza la amoladora manual y finalmente se despega el molde de la fibra de vidrio.

4.16 Proceso de pintura

Para proceder a la pintura descontaminar y limpiar perfectamente cada una de las superficies de la carrocería tal que permanezca libre de impurezas como polvos y suciedades que rayen la laca.

Se usa el gris de fondo para que de tal forma la pintura se adhiera mejor es decir sirve como base para el siguiente color. La preparación de la mezcla de pintura debe ser equilibrada tal que la pintura no resulte demasiada diluida o muy espesa esto para lograr una adherencia correcta sobre la superficie.

La aplicación de la pintura se realiza con la ayuda de una pistola de aire, la durabilidad de la pintura depende de las capas que se dé.

Figura 67. Proceso de pintura de componentes



Fuente: Autores

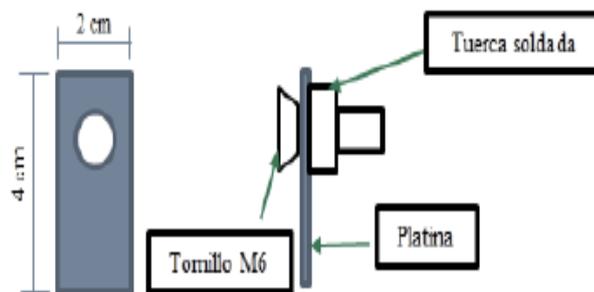
4.16.1 Pulido. Es el proceso final del trabajo de la pintura que consiste en obtener una terminación espejo y una superficie uniforme, en este proceso se elimina las imperfecciones de la pintura como son polvo, cráteres y las conocidas pieles de naranja producidas por partículas atrapadas de aire, la pintura tiene que estar perfectamente

seca, para no perder su brillo al momento de ser pulida. El acabado de los moldes debe tener una rugosidad mínima que oscila entre 0,010 y 0,005 μm , es decir, acabado espejo. (SECCIÓN PINTURA, 2008)

4.17 Anclajes de la carrocería

Para los anclajes de la carrocería se toma en cuenta parámetros establecidos por la Fórmula SAE es decir los anclajes chasis-carrocería no deben intersectar con las salientes de los sistemas de suspensión, dirección, tren propulsor, también deberá existir fácil acceso para el montaje o desmontaje de la carrocería y los puntos de anclaje no deberán sobresalir del chasis; acatando dichos parámetros se garantiza que la carrocería se conservará fija al chasis. Como soportes se sueldan platinas de 4x2 cm con un espesor de 2 mm al chasis, las platinas a su vez llevan soldadas tuercas tipo M6 y para fijar la carrocería se utilizan pernos Allen con cabeza avellanada M6.

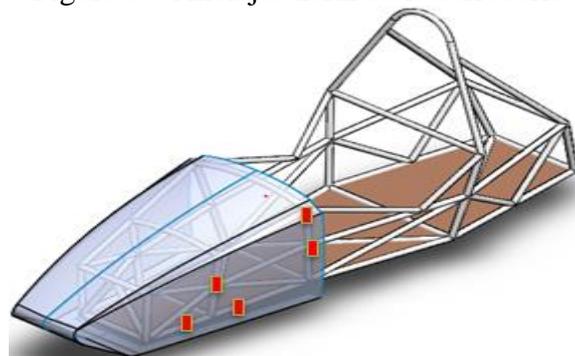
Figura 68. Platina soldada con tuerca M6



Fuente: Autores

En la figura 69 se observa la disposición de las platinas que serán soldadas para la sujeción de la nariz frontal.

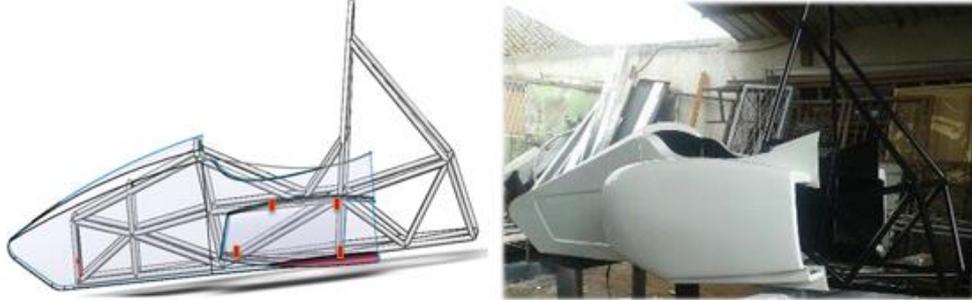
Figura 69. Anclajes nariz de la carrocería



Fuente: Autores

Las platinas para la sujeción de los pontones son soldadas en la parte superior de la zona de la cabina del piloto (cockpit) de acuerdo a la forma que se dio a los pontones.

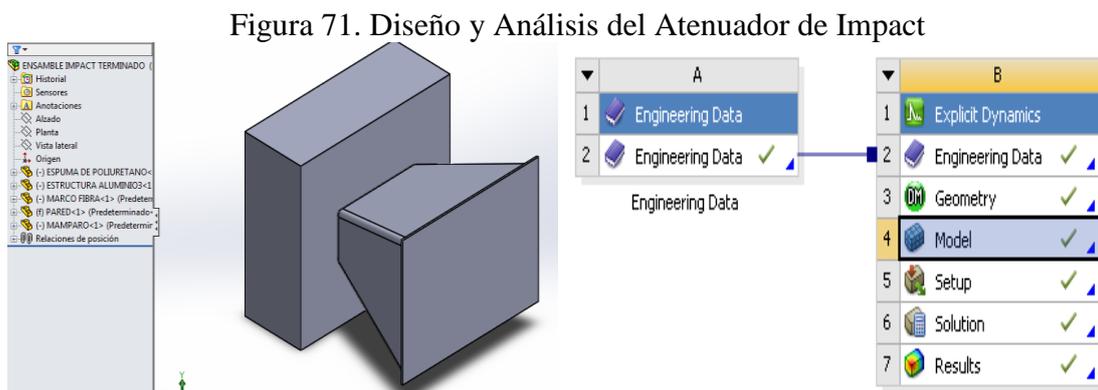
Figura 70. Anclajes de los Pontones de Aire



Fuente: Autores

4.18 Construcción del atenuador de impacto para la carrocería SAE

El atenuador de impacto o impact es un elemento de protección contra choques, que tiene como fin absorber la energía generada en una colisión con el fin de minimizar daños del vehículo y conductor. Para proceder a la construcción del impact que brinde mejores resultados como en peso, seguridad y economía se realizó el diseño del mismo en Solidworks 2015 y posteriormente un análisis dinámico en Ansys (Módulo Explicit Dynamic) que permita observar el comportamiento del atenuador frente a un choque. El diseño consta de tres elementos marco en fibra de vidrio, espuma de poliuretano y estructura de aluminio que son alojados en el interior del marco.



Fuente: Autores

Para los análisis se acató las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que lo conforman: aluminio, poliuretano y fibra de vidrio.

Tabla 17. Propiedades físicas y mecánicas del aluminio

Propiedades físicas	Unidades	Valor
Módulo de Elasticidad	GPa	69
Densidad	Kg/m ³	2700
Resistencia a la Tracción	MPa	45
Coefficiente de Poisson		0,33

Fuente: Autores

Tabla 18. Propiedades físicas y mecánicas del Poliuretano

Propiedades físicas	Unidades	Valor
Módulo de Elasticidad	MPa	10
Densidad	Kg/m ³	30
Resistencia a la Tensión	MPa	60

Fuente: Autores

Para las propiedades de la fibra de vidrio ver Tabla 15. Propiedades Mecánicas del Material Compuesto F.V. 40 %.

Según las propiedades establecidas estos materiales son los que mejor se adecuan a los requerimientos de la Normativa Fórmula Student 2014.

Se debe especificar también que para el diseño se consideran dimensiones normalizadas del atenuador T3.21 Atenuador de Impacto (ver anexo A) así como condiciones iniciales del mismo, estas permiten simular los análisis y referenciar el comportamiento de atenuador ante un impacto, las condiciones dadas son:

- Desaceleración media de 20 x gravedad.
- Gravedad 9,81 m/s²
- Masa del vehículo 300 kg
- Velocidad inicial antes del impacto 7 m/s
- Velocidad inicial del vehículo 0.

A continuación se presentan los cálculos más relevantes que un atenuador debe cumplir para ser validado como un elemento de seguridad que satisfaga las necesidades del diseño.

4.18.1 *Deformación mínima del atenuador.* Para el cálculo de la deformación se utiliza la ecuación:

$$V_o^2 = V_f^2 - 2 \times a \times d \quad (18)$$

De las condiciones dadas se toman los siguientes datos:

$$V_o = 0 \frac{m}{s}; V_f = 7 \frac{m}{s}$$

$$a = 20 \times 9,8 \frac{m}{seg^2} = 196 \frac{m}{seg^2}$$

Despejar distancia (d) de la ecuación y reemplazar valores:

$$d = \frac{V_f^2 - V_o^2}{2 \times a} \quad (19)$$

$$d = \frac{\left(7 \frac{m}{s}\right)^2 - \left(0 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 196 \frac{m}{seg^2}}$$

$$d = 12,5 \text{ cm}$$

4.18.2 *Tiempo de Deformación.* Para el cálculo del tiempo se toman ecuaciones del M.R.U.V. en donde se considera que la velocidad inicial del vehículo es cero simplificándose las ecuaciones de la siguiente manera:

$$V_f = a \times t \quad (20)$$

$$d = \frac{1}{2} \times a \times t^2 \quad (21)$$

Relacionando estas dos ecuaciones y despejando el tiempo se tiene:

$$t = \frac{2 \times d}{V_f} \quad (21)$$

$$t = \frac{2 \times 0,125 \text{ m}}{7 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,0357 \text{ s.}$$

4.18.3 *Energía cinética.* Para calcular la energía de absorción se hace uso la siguiente ecuación:

$$E_{abs} = \frac{1}{2} m \times v^2 \quad (22)$$

Donde se tienen los siguientes datos:

$$Vf = 7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$m = 300 \text{ kg}$$

Reemplazando los datos se tiene el valor de la energía de absorción:

$$E_{abs} = \frac{1}{2} 300 \text{ kg} \times \left(7 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$E_{abs} = 7350 \text{ J}$$

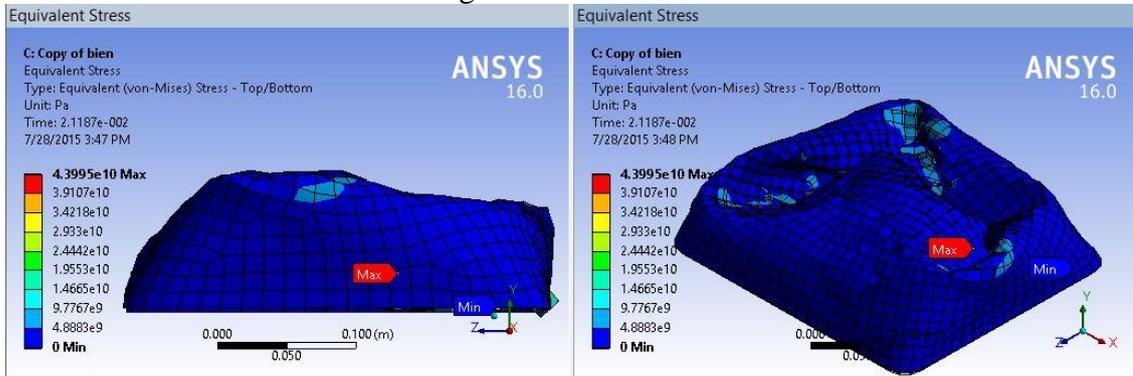
4.18.4 *Análisis de Resultados.* Una vez considerado propiedades de materiales, dimensiones y condiciones iniciales de un atenuador se procede al análisis de resultados simulados en el módulo de ANSYS Explicit Dynamic.

4.18.4.1 *Análisis de Von Mises.* Los análisis parten de la teoría de falla von Mises por ser uno de los modelos principales para constatar una falla, se entiende como falla a la pérdida de su funcionalidad, es decir cuando una pieza deja de ser útil, esta teoría permite observar el comportamiento del material frente a una carga.

Según la figura 72 de la teoría de Von Mises se observa la influencia de los esfuerzos máximos y mínimos sobre el atenuador de impacto cuyos valores son de 44 GPa y 4,88 GPa respectivamente.

Al aplicar esta carga sobre la estructura interna de aluminio se observa que el material no falla por ruptura ya que soporta un valor máximo de 69 GPa, produciéndose deformación plástica y por ende absorbe gran cantidad de energía.

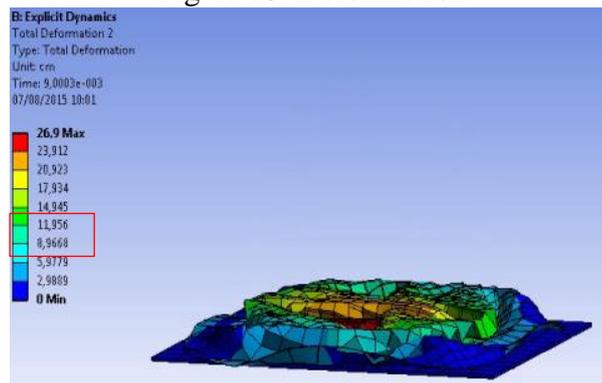
Figura 72. Von Mises



Fuente: Autores

4.18.4.2 Análisis de deformación del atenuador. En la figura 73 se observa un material residual de 9 cm obteniendo una deformación de 16,4 cm respecto a los 25,4 cm tomadas en nuestro diseño la cual es capaz de absorber la energía en caso de impacto como tal es un parámetro que brindara seguridad al ocupante y evitara daños propensos de la carrocería. Dicho valor según la normativa SAE es aceptable ya que el valor mínimo de deformación requerido es de 12,5 cm.

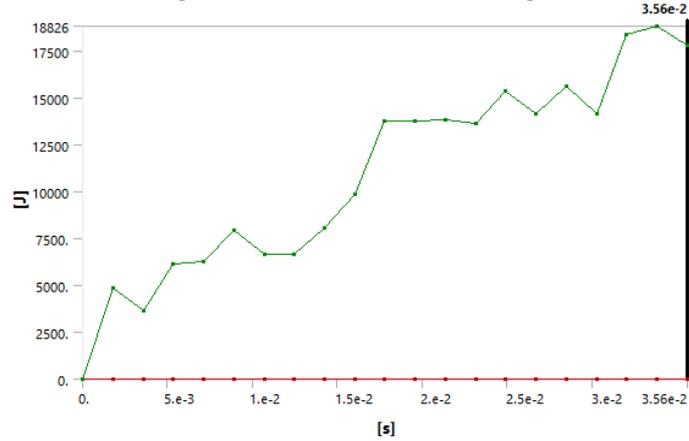
Figura 73. Deformación



Fuente: Autores

4.18.4.3 Análisis de energía. En la figura 74 se observa la energía de absorción del atenuador formado por tres elementos fibra de vidrio, espuma de poliuretano y una estructura de aluminio, el valor de la energía absorbida es de 18826 J el mismo que es superior al valor mínimo de 7350 J permitido por la normativa.

Figura 74. Gráfica de la Energía



Fuente: Autores

4.19 Atenuador de Impacto (fibra-aluminio-poliuretano)

Para su construcción se formó una estructura con tubo de aluminio tipo U (12,7 x 12,7 x 1,2) mm, mediante un proceso de cortado y remachado.

Figura 75. Estructura de Aluminio



Fuente: Autores

Se procedió a cubrir la estructura con tela tipo licra de modo que permita en su interior el llenado de espuma de poliuretano, después del secado se desbastó los excesos de esta.

Figura 76. Llenado de la estructura



Fuente: Autores

Una vez llenada la estructura de aluminio con espuma de poliuretano se realiza un recubrimiento con fibra de vidrio en un porcentaje de 40 %. Finalmente se adjunta el atenuador a una plancha de acero (340x300x1,5) mm, en la que se deformará el material al momento de un impacto.

Figura 77. Recubrimiento con fibra de vidrio



Fuente: Autores

4.19.1 Pruebas de impacto. Para dar constancia de la funcionalidad del impact se hizo necesario realizar una prueba de impacto por caída, para ello se utilizó un elevador y un tanque llenado con arena acatando el peso de 300 kg impuestos por la norma.

Figura 78. Elevador, tanque para la prueba de impacto



Fuente: Autores

En nuestro caso para la prueba se debe tomar en cuenta la altura necesaria con la se deberá dejar caer el tanque para que al momento de impactarse contra el suelo este peso alcance la velocidad necesaria establecida en la normativa SAE.

Para determinar la altura requerida se toma en cuenta la velocidad con la que se va impactar y la aceleración de la gravedad, por ser una caída libre su velocidad inicial será cero y la altura no se verá afectada por fricción alguna.

$$vf = \left(7 \frac{m}{s}\right)^2$$

$$g = 9,8 m/s^2$$

A partir de la ecuación (19) se deduce:

$$h = \frac{v^2}{2 \times g} \quad (23)$$

$$h = \frac{\left(7 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9,8 m/s^2}$$

$$h = 2,5 m$$

4.19.2 Análisis de pruebas de impacto

4.19.2.1 Medición del material residual. En la prueba de impacto que se realizó se mide el material residual en el mamparo de acero siendo este de 7,9 cm y obteniendo una deformación de 17,5 cm.

Figura 79. Deformación del atenuador



Fuente: Autores

Mediante una comparación de resultados de deformación entre pruebas virtuales y reales se calcula un porcentaje de error:

$$\% \text{ Error} = \frac{|\text{valor aproximado} - \text{valor exacto}|}{\text{valor exacto}} \times 100 \% \quad (24)$$

$$\% \text{ Error} = \frac{16,4 - 17,5}{17,5} \times 100 \% = 6,29 \%$$

Este porcentaje de error muestra coherencia de resultados entre las pruebas reales y virtuales de esta manera se valida el diseño y construcción del atenuador.

Finalmente se sujeta al chasis con cuatro pernos M8 grado 8,8 establecidos en la norma.

Figura 80. Perno M8 grado 8,8



Fuente: Autores

Figura 81. Plancha de acero de 1,5mm



Fuente: Autores

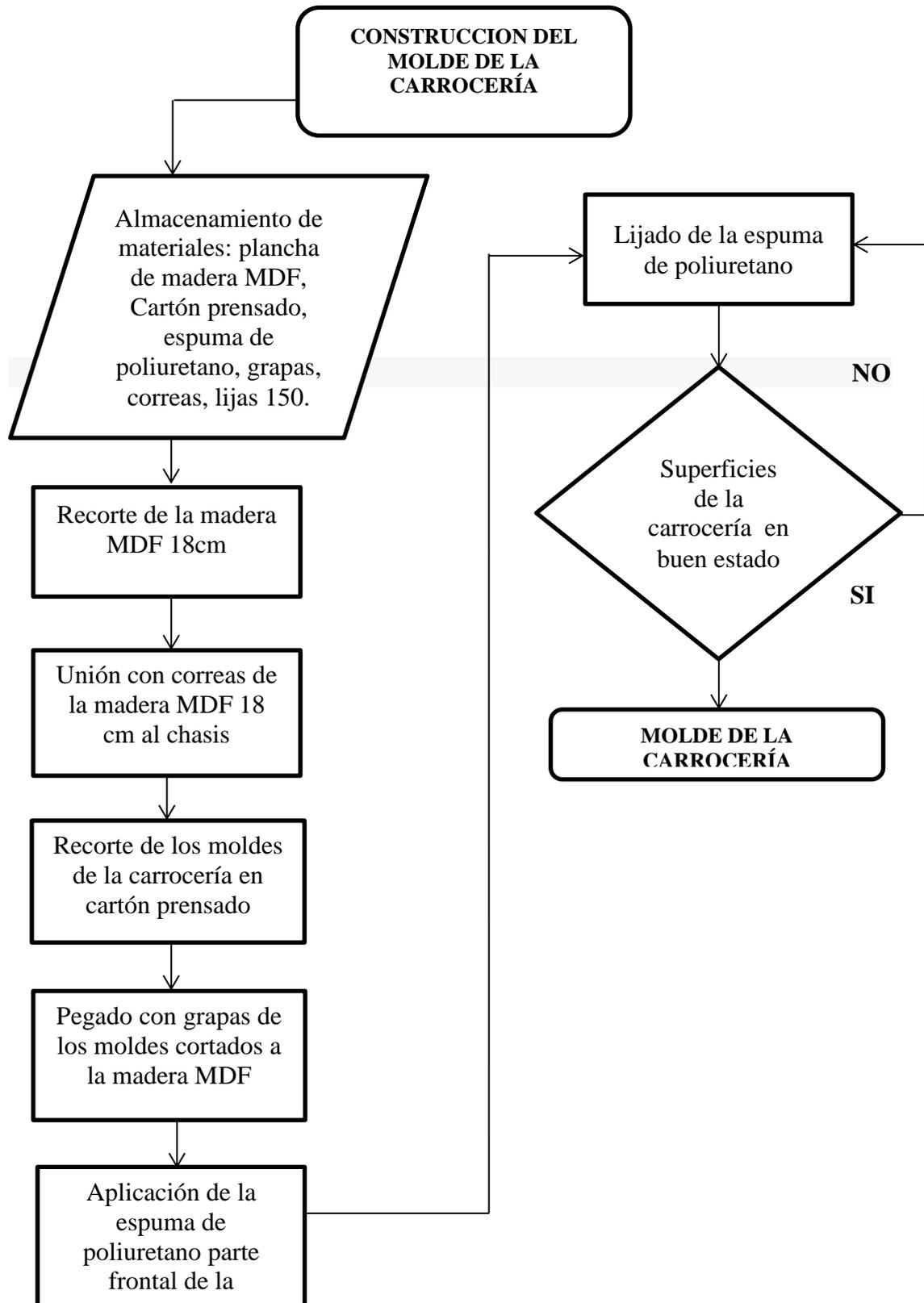
Figura 82. Sujeción del atenuador y resultados finales



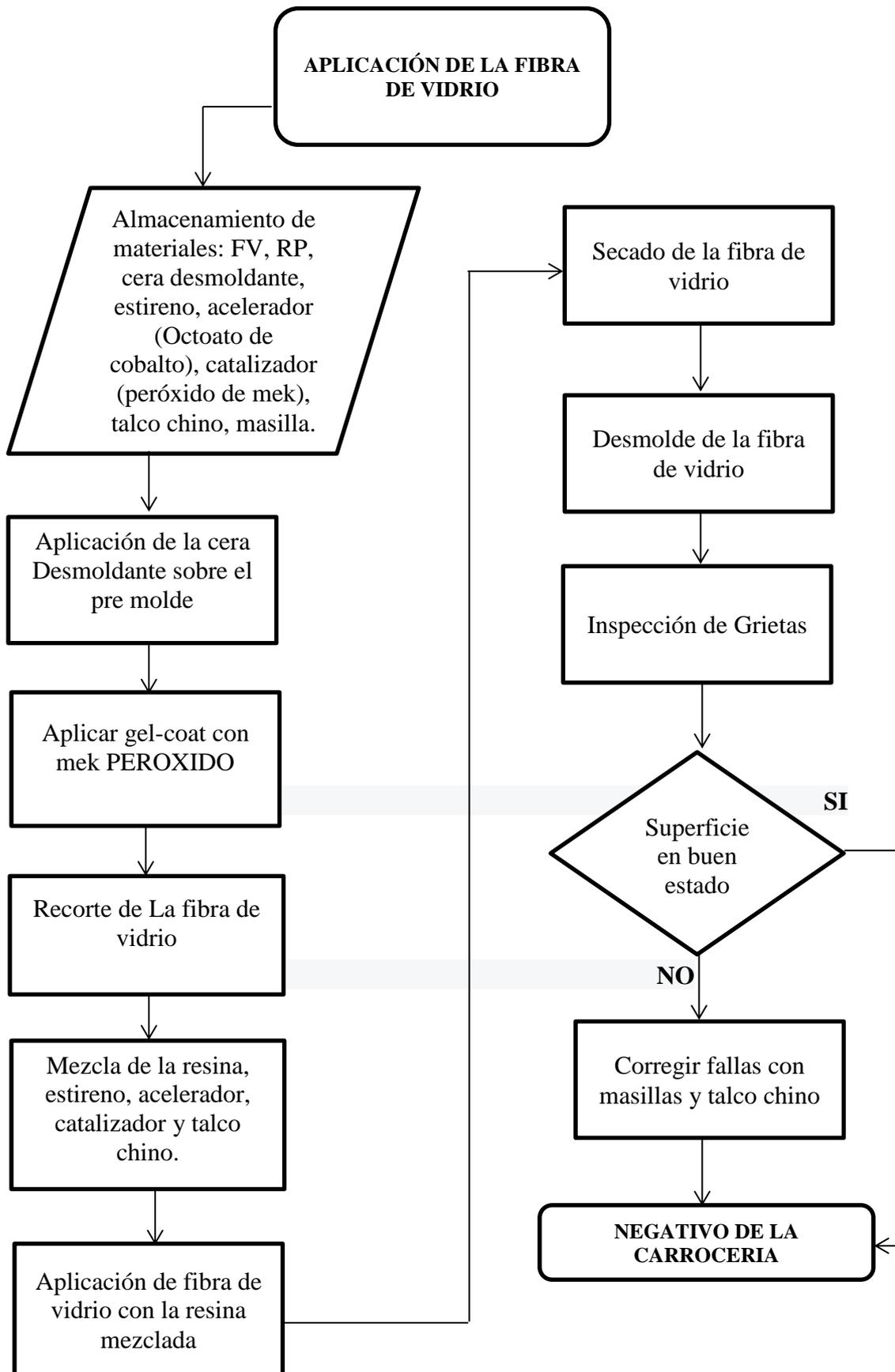
Fuente: Autores

4.20 Diagramas de procesos

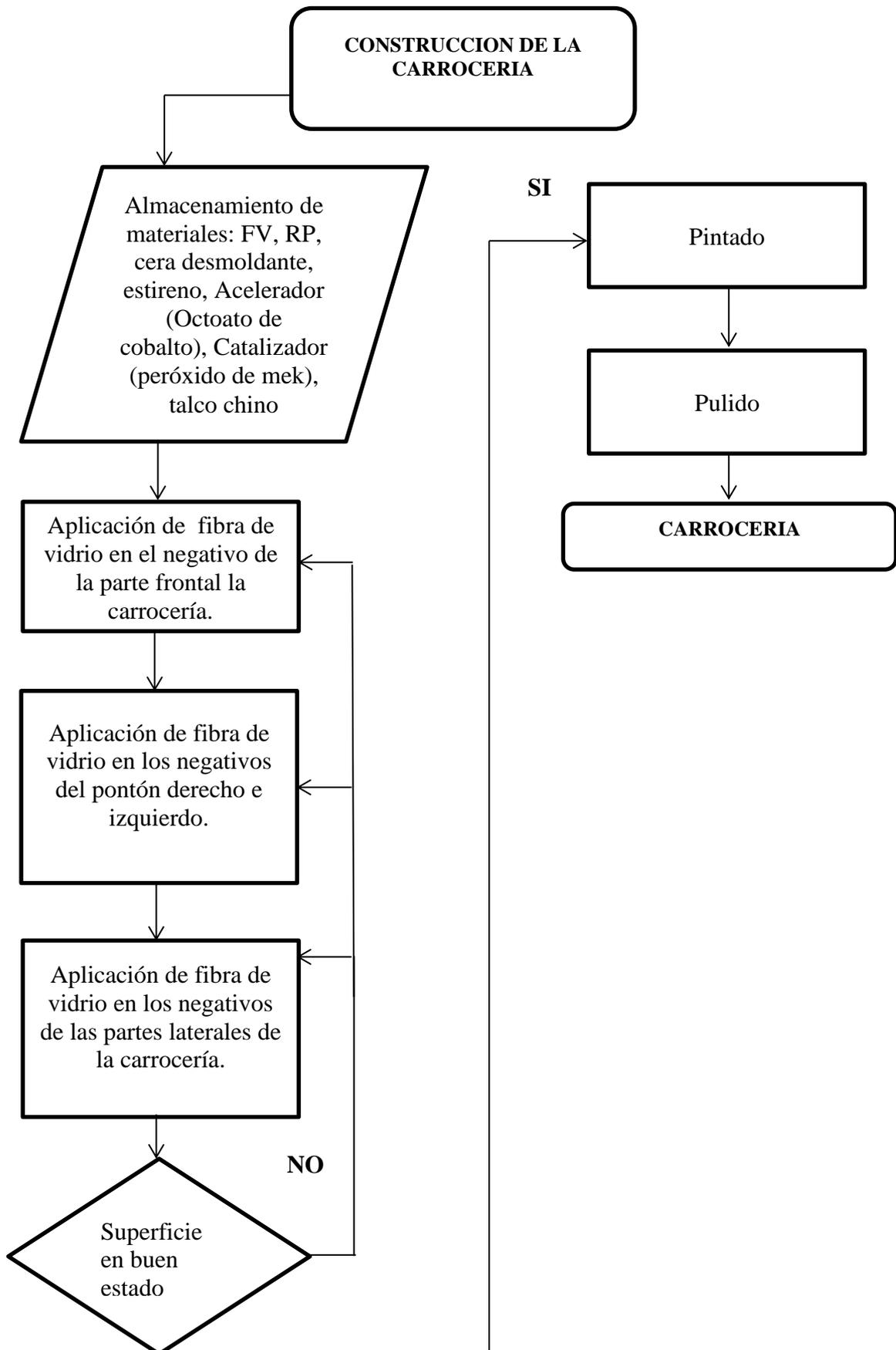
4.20.1 Proceso 1: Molde de la carrocería



4.20.2 Proceso 2: Aplicación de la fibra de vidrio



4.20.3 Proceso 3: Carrocería



CAPITULO V

5. ANÁLISIS DE COSTOS.

5.1 Costos

Para la realización del diseño y construcción de la carrocería de un vehículo de competencia Fórmula SAE en fibra de vidrio se dio mayor énfasis al proceso de construcción para realizar el análisis de costos, debido a los materiales utilizados en la ejecución de cada proceso.

5.2 Costos directos

Los costos directos se relacionan con los gastos del proyecto derivados de la adquisición de la materia prima, equipos y mano de obra.

En la tabla 19 se detallan los costos para el proceso de construcción de la carrocería y los costos por alquiler de equipo se presentan en la tabla 20.

Tabla 19. Lista de Materiales y Costos

Descripción	Cantidad	Costo [USD]
Plancha de MDF de 18 mm	1	62
Resina poliéster [gal]	10	190
Estireno [gal]	5	71
Alcohol polivinílico [L]	2	10
Peróxido de mek [L]	1	15
Espuma de poliuretano en aerosol	6	40
Plancha de cartón prensado	2	20
Pintura [L]	3	40
Talco chino [kg]	5	8
Masilla plástica [kg]	6	22
Tela licra kiana [m]	4	18
Barras de silicón [kg]	1	15
Caja de grapas para pistola neumática	1	3
Lijas	20	10
Cera desmondante	3	36
Fibra de vidrio [m]	20	100
Envase plástico usado de caneca	4	12
Total		676

Fuente: Autores

Tabla 20. Lista de Equipos y Costos

Descripción	Costo por hora	Hora-equipos	Costo [USD]
Compresor para pintura	2,00	10	20
Pistola para pintar	1,00	10	10
Pistola para grapas	0,20	90	18
Amoladora	0,50	60	30
Total			78

Fuente: Autores

Los costos de mano de obra se dan por los procesos de construcción de la carrocería.

Tabla 21. Costos de mano de obra

Descripción	Costo [USD]
Asesoría externa	300
Mano de obra	600
Total	900

Fuente: Autores

5.3 Costos indirectos:

Los costos indirectos no actúan directamente en la fabricación de la carrocería, pero no son despreciados para el desarrollo del mismo.

Tabla 22. Costos Indirectos

Descripción	Costo [USD]
Imprevistos	200
Movilización y Estadía	200
Reproducción del Proyecto de Tesis	200
Encuadernación	130
Documentación	150
Total	880

Fuente: Autores

5.4 Costos totales:

Tabla 23. Costos totales

Costos directos	
Descripción	Costo [USD]
Materiales	676
Equipos	78
Mano de obra	900
Total costos directos	1654
Costos indirectos	
Total costos in directos	880
Total costos:	2534

Fuente: Autores

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se recopiló información y normas vigentes ASTM D-3039; ASTM D-7264; ASTM D-6110 para ensayos del material compuesto previos a la construcción, se consideró también la normativa Fórmula SAE 2014 para conseguir un diseño óptimo que satisfaga las exigencias expuestas en el reglamento.

Mediante los análisis realizados en el paquete computacional Ansys Workbench las geometrías de nuestro diseño generaron trayectorias de flujo laminar las cuales ayudan a mantener la estabilidad del monoplaza garantizando el buen comportamiento aerodinámico con coeficientes relativamente bajos $C_y = 0,14$; $C_z = 0,42$ y necesitando una potencia mínima de 5,54 Hp para vencer la resistencia al avance a una velocidad de 100 km/h.

Se construyó la carrocería realizando estudios al material compuesto y obteniendo mejores resultados con un porcentaje de 40 % respecto a porcentajes de 25 % y 30 % de fibra de vidrio tipo Mat de 375 g/m^2 , debido a que brinda mejores propiedades mecánicas produciéndose una deformación máxima de 0,24 mm a una velocidad de 100 km/h obteniendo un coeficiente de seguridad de 15, dichos resultados permiten validar un correcto desempeño de la carrocería y al mismo tiempo aseguran la protección del piloto.

6.2 Recomendaciones

Antes de ejecutar el proyecto es indispensable analizar detenidamente la normativa Fórmula SAE para que el prototipo cumpla con todos los requerimientos impuestos en esta norma.

Para la construcción de la carrocería es recomendable recibir una capacitación del manejo de diferentes fibras y resinas además de los respectivos aditivos para realizar

una mezcla eficiente de la matriz termoestable así como también de los procesos que existen para la fabricación de piezas con materiales compuestos.

Para el manejo de materiales compuestos trabajar con equipos de protección debido a que los filamentos de la fibra de vidrio, agentes químicos presentes en la resina y sus aditivos pueden causar daños a nivel respiratorio visual y de la piel.

En la preparación de las resinas evitar mezclar directamente el acelerante (Octoato de cobalto) con el catalizador (Metil etil cetona) debido que su mezcla tiende a inflamarse.

Una recomendación muy importante es continuar con la ejecución del proyecto ya que brindará realce a la institución.

BIBLIOGRAFÍA

- CALLISTER, W. 2014.** *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Novena. Estados Unidos : John Wiley & Sons; Inc, 2014. ISBN: 978-118-32457-8.
- GARCÍA, S. 2011.** Revista Iberoamericana de Polímeros. *Fibras y materiales de refuerzo: los poliésteres Reforzados aplicados a la realización de piezas en 3d* . [En línea] Octubre de 2011. [Citado el: 12 de Marzo de 2015.] <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/OCT11/garcia.pdf>.
- GUERRERO, V H; DAVILA, J; GALES, S; PONTÓN, P; ROSAS, N. 2011.** *NUEVOS MATERIALES: APLICACIONES ESTRUCTURALES E INDUSTRIALES*. [ed.] V H Guerrero. Primera. Quito : Imprefpp, 2011. ISBN: 978-9978-383-20-9.
- GUO, L, ZHANG, Y y SHEN, W. 2011.** Journal of Computers. *simulation analysis of aerodynamics characteristics of different two-dimensional automobile shapes*. [En línea] 11 de Mayo de 2011. [Citado el: 14 de Marzo de 2015.] <http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail?sid=287f1747-1f42-4f61-bab8-01dec039697f%40sessionmgr198&vid=1&hid=112&bdata=jmxhbm9zxmmc2l0zt1lag9zdc1saxzl#db=egs&an=63897037>. p999-1005. 7p.
- HIRZ, M, y otros. 2013.** Integrated Computer-Aided Design in Automotive Development. *Modeling Techniques in CAD*. [En línea] 2013 de Junio de 2013. [Citado el: 16 de Enero de 2015.] http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-11940-8_4. pp 241-308.
- INGENIERÍA DEL AUTOMÓVIL. 2009.** Fórmula SAE. *Fórmula SAE*. [En línea] 2009. [Citado el: 22 de Agosto de 2014.] <https://motorycompeticion.wordpress.com/descargas/>.
- MARIASIU, F. 2011.** Central European Journal of Engineering. *Benchmark tests for a Formula SAE Student car prototyping*. [En línea] 29 de Septiembre de 2011. [Citado el: 19 de Agosto de 2014.] <http://link.springer.com/article/10.2478/s13531-011-0047-0>. pp 423-429.
- MIRAVETE, A; CUARTERO, J. 2004.** *MATERIALES COMPUESTOS*. España : Reverté, S.A., 2004. Vol. I. ISBN: 84-9213-49-8-4.
- MORALES, G. 2008.** *Proceso y Caracterización de Materiales Compuestos de Matriz Reforzados con Nanofibras de Carbono para Aplicaciones Tecnológicas*. Madrid : s.n., 2008. ISBN: 978-84-692-2929-3.
- MOTOR GIGA. 2014.** Carenado. *Carenado*. [En línea] 2014. [Citado el: 28 de Septiembre de 2014.] <http://diccionario.motorgiga.com/diccionario/carenado-definicion-significado/gmx-niv15-con193419.htm>.
- NEWELL, J. 2011.** *Ciencia de Materiales Aplicaciones en Ingeniería*. México : Alfaomega Grupo Editor, S.A de C.V, 2011. ISBN: 987-607-707-114-3.

PINTULAC. 2014. Fibra de Vidrio 375g Preempacada. *Fibra de Vidrio 375g Preempacada*. [En línea] 2014. [Citado el: 10 de Septiembre de 2014.] http://www.pintulac.com.ec/producto_grupo_detalle.php?codigo=23630.

RESINAS DE POLIESTER Y FIBRA DE VIDRIO. (ESTRATIFICADO). La Resina de Poliéster. *La Resina de Poliéster*. [En línea] [Citado el: 5 de Octubre de 2014.] http://usuaris.tinet.cat/jaranda/Poliester_archivos/Page396.htm.

SAE, INTERNATIONAL. 2014. Formula SAE Rules 2014. *Formula SAE Rules 2014*. [En línea] Enero de 2014. [Citado el: 26 de Noviembre de 2014.] http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2014_fsae_rules.pdf.

SECCIÓN PINTURA. 2008. Proceso general de pulido. *Proceso general de pulido*. [En línea] 2008. [Citado el: 17 de Febrero de 2015.] http://www.elchapista.com/proceso_general_de_pulido.html.

SOLANA. 2013. Fibra de Vidrio. *Fibra de Vidrio*. [En línea] 6 de 11 de 2013. [Citado el: 7 de Octubre de 2014.] <http://www.jsolana.com.mx/fibra/>.