



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ

TEMA: “INVESTIGACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS CON
FIBRA NATURAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA
DEL VEHÍCULO DE COMPETICIÓN FÓRMULA STUDENT”

AUTORES: BAUTISTA BRAVO, CHRISTIAN GIOVANNI
MENA IZURIETA, PATRICIO IVÁN

DIRECTOR: ING. PAREDES GORDILLO, CRISTIAN ALEJANDRO

LATACUNGA

2018



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación **“INVESTIGACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRA NATURAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA DEL VEHÍCULO DE COMPETICIÓN FÓRMULA STUDENT”** fue realizado por los señores **BAUTISTA BRAVO, CHRISTIAN GIOVANNI** y **MENA IZURIETA, PATRICIO IVÁN**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente

Latacunga 07 de septiembre del 2018

Firma:

Ing. Cristian Paredes

C. C: 1718482936



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE NIGERIA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros: **BAUTISTA BRAVO, CHRISTIAN GIOVANNI** y **MENA IZURIETA, PATRICIO IVÁN**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“INVESTIGACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRA NATURAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA DEL VEHÍCULO DE COMPETICIÓN FÓRMULA STUDENT”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga 07 de septiembre del 2018

Firma

CHRISTIAN BAUTISTA BRAVO

C.C.: 1717962904

Firma

PATRICIO MENA IZURIETA

C.C.: 1724443385



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARREAR DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros: **BAUTISTA BRAVO, CHRISTIAN GIOVANNI** y **MENA IZURIETA, PATRICIO IVÁN**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas armadas ESPE publicar el trabajo de titulación “**INVESTIGACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRA NATURAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA DEL VEHÍCULO DE COMPETICIÓN FÓRMULA STUDENT**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 07 de septiembre del 2018

Firma

CHRISTIAN BAUTISTA BRAVO

C.C.: 1717962904

Firma

PATRICIO MENA IZURIETA

C.C.: 1724443385

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado va dedicado a mis padres, por ser la base fundamental para formarme como persona de bien.

A mis hermanas, que siempre estuvieron para ayudarme cuando las necesitaba y a toda mi familia.

A mis amigos y compañeros con los que pasamos varias madrugadas estudiando y a los Docentes que nos formaron no solo como buenos profesionales sino también como buenos seres humanos.

A los estudiantes, que aún se quedan en la Universidad, para que no se rindan y sigan estudiando con más ganas.

Christian B.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a Dios por permitirme culminar una etapa en mi vida sin contratiempos. También a mis padres Wilma Izurieta y León Mena por apoyarme incondicionalmente en el transcurso de los estudios, la sabiduría para guiarme por el camino adecuado con su buen ejemplo y perseverancia.

Patricio Iván Mena Izurieta

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres María Bravo y Rufino Bautista por darme la vida y por apoyarme durante todos estos años, en los buenos y malos momentos.

A mis hermanas Noemí, Mónica y Doris, a mis familiares, en especial a mi tío Rubén por encaminarme en los caminos de la mecánica automotriz.

A mi novia Nataly por estar conmigo en los buenos y malos momentos durante todos estos años de carrera.

A mis amigos, pocos pero los mejores, ya que juntos hemos avanzado en el camino del conocimiento, casi desde el comienzo y ellos más que nadie saben que llegar acá no fue fácil, pero lo logramos.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por permitirme formarme en sus prestigiosas instalaciones y ser parte de sus alumnos.

Gracias a todos.

Christian B.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a dios por brindarme salud y fortaleza, guiarme en los momentos difíciles y ser la luz en mi vida para lograr alcanzar los objetivos trazados, con su infinito amor. A mis padres por ser un ejemplo de rectitud, brindarme palabras de aliento en los momentos que necesite y ayudarme a salir adelante. A mis familiares por siempre creer en mí y motivarme a continuar con los estudios. A los amigos que conocí en la universidad que contribuyeron en el transcurso de la carrera.

Patricio Iván Mena Izurieta

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE TABLAS	xvii
ÍNDICE FIGURAS	xx
ÍNDICE ECUACIONES	xxiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xxv
RESUMEN	xxvi
ABSTRACT	xxix
CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Descripción resumida del proyecto	2
1.4 Justificación e Importancia	4
1.5 Objetivos	4
1.5.1 Objetivo General	4
1.5.2 Objetivos Específicos	4
1.6 Metas	5
1.7 Hipótesis	6

1.8	Operacionalización de variables	6
1.8.1	Variable dependiente.....	6
1.8.2	Variable independiente	7
CAPÍTULO II.....		8
2.	MARCO TEÓRICO	8
2.1	Fórmula student.....	8
2.1.1	Disciplinas.....	9
2.1.2	Las categorías.....	10
2.1.2.a	Clase 3.....	10
2.1.2.b	Clase 2.....	10
2.1.2.c	Clase 1.....	10
2.1.3	Normativas Fórmula Student Germany para la carrocería.....	11
2.1.3.a	Reglamento T 1: Requerimientos generales de diseño	11
•	Reglamento T 1.1: Configuraciones del vehículo.....	11
•	Reglamento T 1.2: Carrocería	12
2.1.3.b	Reglamento T 3: Cabina	13
•	Reglamento T 3.1: Apertura de la cabina	13
•	Reglamento T 3.2: Apertura de la cabina	13
2.2	Carrocería de vehículo	14
2.2.1	Tipos de carrocerías	15
2.2.1.a	Carrocerías según construcción	15
•	Vehículo con carrocería y chasis independiente	15
•	Vehículo con carrocería Autoportante.	15
•	Vehículo con carrocería Tubular.....	16
2.2.1.b	Carrocería según su forma	16
•	Vehículo con carrocería tipo Sedán	16

•	Vehículo con carrocería tipo Hatchback	17
•	Vehículo con carrocería tipo Familiar	17
•	Vehículo deportivo utilitario	17
2.3	Materiales comunes utilizados en construcción la carrocería del automóvil	18
2.3.1	Acero	18
2.3.2	Plástico	18
2.3.3	Aluminio	19
2.3.4	Hule	19
2.3.5	Materiales compuestos	19
2.4	Nuevos materiales para la fabricación de carrocerías	19
2.5	Materiales compuestos	22
2.5.1	Partes de un material compuesto	23
2.5.1.a	La matriz	24
•	Propiedades de la matriz	26
•	Tipos de matriz	26
2.5.1.b	El refuerzo	28
•	Fibra de vidrio	29
•	Fibra de carbono	30
•	Fibras orgánicas	31
•	Fibras naturales	32
•	Fibras animales	32
2.5.1.c	La interfaz	33
2.5.2	Clasificación de los materiales compuestos	34
2.5.3	Propiedades mecánicas que caracterizan a los materiales compuestos	35
2.5.4	Propiedades mecánicas que se visualizan en la intercara refuerzo-matriz	36
2.5.5	Propiedades de los materiales compuestos reforzados con partículas	37

2.5.6	Propiedades de los materiales compuestos reforzados con fibras.....	37
2.6	Materiales compuestos matriz polimérica reforzados con fibras vegetales	38
2.6.1	Presente y futuro compuestos poliméricos reforzados con fibras vegetales	38
2.6.2	Fibras vegetales	40
2.6.2.a	Clasificación de las fibras vegetales	40
2.6.3	Compuestos químicos que forman las fibras vegetales	43
2.6.3.a	Celulosa.....	44
2.6.3.b	Hemicelulosa.....	45
2.6.3.c	Lignina	45
2.6.3.d	Ceras, grasas y resinas	46
2.6.3.e	Cenizas	46
2.6.4	Propiedades mecánicas de las fibras vegetales	47
2.7	Fibras animales	51
2.7.1	Lana.....	51
2.7.1.a	Propiedades de la lana.....	51
2.7.2	Crin de caballo	52
2.7.2.a	Usos del Crin.....	53
2.8	Fibras producidas en ecuador.....	54
2.8.1	Abacá (Musa textilis)	54
2.8.2	Yute (Corchoruscapsularis).....	55
2.8.3	Sisal (Agave sisalana)	56
2.8.4	Coco (Cocos nucífera)	57
2.9	Tejidos y no tejidos producidos a partir de fibras naturales	57
2.9.1	Tipos de tejidos	59
2.9.1.a	Tejido plano	59
2.9.1.b	Tejido sarga.....	60
2.9.1.c	Tejido satén.....	62

2.9.2	Tipos de No tejidos	63
CAPÍTULO III		66
3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN		66
3.1	Diseño computacional.....	66
3.1.1	Diseño CAD.....	66
3.1.2	Softwares Utilizados	66
3.1.3	Proceso de configuración software CAD.....	66
3.1.4	Diseño parte frontal de la carrocería.....	68
3.1.4.a	Aerodinámica parte frontal de la carrocería.....	70
•	Velocidad flujo de aire.....	70
•	Presiones generadas	71
3.1.5	Diseño pontones.....	73
3.1.5.a	Aerodinámica pontones.....	74
•	Velocidad flujo de aire.....	74
•	Presiones generadas	75
3.2	Realización de probetas	78
3.2.1	Elaboración de los moldes	78
3.2.1.a	Molde probetas de tracción.....	80
3.2.1.b	Molde de Flexión	81
3.2.1.c	Molde de impacto.....	81
3.2.2	Preparación probetas	82
3.2.2.a	Materiales.....	82
•	Materiales de la matriz.....	82
•	Materiales refuerzo	83
3.2.2.b	Caracterización de los materiales de la matriz.....	84
•	Referencia de cantidades.....	84

•	Masas de los elementos matriz poliéster.....	84
3.2.2.c	Cálculos.....	85
•	Probeta de Tracción	85
•	Probetas de Flexión.....	92
•	Probetas de Impacto	97
3.2.3	Elaboración de las probetas.....	102
3.2.3.a	Preparación de los moldes.....	102
3.2.3.b	Preparación matriz poliéster.....	103
3.2.3.c	Colocación matriz poliéster molde	103
3.2.3.d	Extracción matriz poliéster	104
3.2.3.e	Acabado final matriz poliéster	105
3.2.3.f	Obtención probetas	105
CAPÍTULO IV		107
4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		107
4.1	Equipos utilizados para los ensayos ASTM.....	107
4.2	Muestras	108
4.3	Ensayo de resistencia a la tracción según ASTM D3039/D3039M-17	109
4.3.1	Resultados de los grupos entregados	109
4.3.1.a	Grupo Re	109
4.3.1.b	Grupo Ce1	110
4.3.1.c	Grupo Ce2	111
4.3.1.d	Grupo Ce3	112
4.3.1.e	Grupo M2	112
4.4	Ensayo de resistencia a la flexión según ASTM D7264/D7264M-15	113
4.4.1	Resultados de los grupos entregados	114
4.4.1.a	Grupo Re	114

4.4.1.b	Grupo Ce1	115
4.4.1.c	Grupo Ce2	115
4.4.1.d	Grupo Ce3	116
4.4.1.e	Grupo M2	117
4.5	Ensayos de impacto por caída libre de dardo según ASTM D5628-10	117
4.5.1.a	Resultados de los grupos entregados	118
4.6	Análisis de resultados	120
4.6.1.a	Ensayo de resistencia a la tracción	120
4.6.1.b	Ensayo de resistencia a la flexión	122
4.6.1.c	Ensayos de impacto por caída libre de dardo	124
4.7	Elección de material	124
CAPÍTULO V		126
5. CONSTRUCCIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS		126
5.1	Proceso de construcción	126
5.1.1	Primer borrador de los moldes y construcción de las piezas con el material compuesto M2	126
5.1.1.a	Parte delantera del vehículo	126
5.1.1.b	Partes laterales del vehículo	126
5.1.2	Segundo borrador de los moldes y construcción de las piezas con el material compuesto M2	130
5.1.2.a	Desarrollo de los moldes	130
5.1.2.b	Proceso de aplicación de las capas del material compuesto M2 y primera capa de masillado	131
5.1.2.c	Proceso de desmolde de las piezas	131
5.1.2.d	Proceso de masillado	132
5.1.2.e	Proceso de fondeado	133
5.1.2.f	Proceso de pintado y abrillantado	133

5.2	Comparación con otras versiones del vehículo fórmula SAE.....	134
5.2.1	Optimización de la masa	134
5.2.1.a	COTOPAXI 1	134
5.2.1.b	COTOPAXI 2	135
5.2.1.c	COLIBRI 2014.....	137
5.2.1.d	CÓNDOR 2018.....	138
5.2.2	Resultados obtenidos.....	139
CAPÍTULO VI		140
6. MARCO ADMINISTRATIVO.....		140
6.1	Recursos	140
6.1.1	Recursos humanos.....	140
6.1.2	Recursos tecnológicos.....	141
6.1.3	Recursos materiales.....	142
6.2	Costo total del proyecto	142
CONCLUSIONES.....		144
RECOMENDACIONES.....		145
BIBLIOGRAFÍA.....		146
ANEXOS		149

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1	<i>Variable dependiente: Material Compuesto de Fibra Natural</i>	6
Tabla 2	<i>Variable dependiente: Reglamento SAE</i>	7
Tabla 3	<i>Tabla de disciplinas Fórmula Student</i>	9
Tabla 4	<i>Algunos especies de fibras naturales y su localización en la planta</i>	42
Tabla 5	<i>Composición química en porcentaje de algunas fibras vegetales</i>	43
Tabla 6	<i>Algunas de las propiedades que la celulosa le adiciona la fibra natural</i>	45
Tabla 7	<i>Características añadidas por los constituyentes químicos en las propiedades mecánicas de las fibras vegetales</i>	47
Tabla 8	<i>Ventajas y desventajas de usar fibras naturales como material de refuerzo para el desarrollo de materiales compuestos</i>	48
Tabla 9	<i>Comparativa entre fibras vegetales y la fibra de vidrio</i>	48
Tabla 10	<i>Comparación entre propiedades de las fibras vegetales y fibra de vidrio</i>	49
Tabla 11	<i>Propiedades comparativas de algunas formas de tejido de refuerzo utilizada en materiales compuestos</i>	62
Tabla 12	<i>Condiciones ambientales para software CAD</i>	67
Tabla 13	<i>Opciones de diseño de la parte frontal de la carrocería</i>	69
Tabla 14	<i>Flujo de aire en los diseños parte frontal de la carrocería</i>	70
Tabla 15	<i>Presiones en los diseños parte frontal de la carrocería</i>	71
Tabla 16	<i>Valores obtenidos del mallado de los diseños</i>	72
Tabla 17	<i>Matriz de decisión parte frontal carrocería</i>	73
Tabla 18	<i>Opciones de diseño de los pontones</i>	74
Tabla 19	<i>Flujo de aire en los diferentes diseños de los pontones</i>	75
Tabla 20	<i>Flujo de aire en los diferentes diseños de los pontones</i>	76
Tabla 21	<i>Valores obtenidos del mallado de los diseños</i>	76
Tabla 22	<i>Matriz de decisión parte frontal carrocería</i>	77
Tabla 23	<i>Materiales y equipos para realización de los moldes</i>	78
Tabla 24	<i>Especificaciones molde tracción</i>	80
Tabla 25	<i>Especificaciones molde flexión</i>	81
Tabla 26	<i>Especificaciones molde impacto</i>	82
Tabla 27	<i>Materiales utilizados en la matriz poliéster</i>	83
Tabla 28	<i>Materiales utilizados como refuerzo</i>	83

Tabla 29 <i>Proporciones de referencia</i>	84
Tabla 30 <i>Masas por volumen de cada elemento matriz poliéster</i>	84
Tabla 31 <i>Especificaciones probeta tracción</i>	85
Tabla 32 <i>Valores materiales matriz poliéster molde de tracción</i>	86
Tabla 33 <i>Proporciones para el molde de matriz poliéster</i>	87
Tabla 34 <i>Especificaciones crin de caballo 1 capa</i>	87
Tabla 35 <i>Masa de la matriz poliéster con refuerzo</i>	88
Tabla 36 <i>Proporciones molde de matriz poliéster con una capa de crin</i>	89
Tabla 37 <i>Especificaciones crin de caballo 2 capas</i>	89
Tabla 38 <i>Proporciones molde de matriz poliéster con dos capas de crin</i>	90
Tabla 39 <i>Especificaciones crin de caballo 3 capas</i>	90
Tabla 40 <i>Proporciones molde de matriz poliéster con tres capas de crin</i>	90
Tabla 41 <i>Especificaciones capa de cabuya</i>	91
Tabla 42 <i>Proporciones molde de matriz poliéster con dos tipos de refuerzo</i>	91
Tabla 43 <i>Especificación probeta flexión</i>	92
Tabla 44 <i>Valores materiales matriz poliéster</i>	93
Tabla 45 <i>Proporciones para el molde de matriz poliéster</i>	93
Tabla 46 <i>Especificaciones crin de caballo 1 capa</i>	94
Tabla 47 <i>Masa de la matriz poliéster con refuerzo</i>	94
Tabla 48 <i>Proporciones molde de matriz poliéster con una capa de crin</i>	95
Tabla 49 <i>Especificaciones crin de caballo 2 capas</i>	95
Tabla 50 <i>Proporciones molde de matriz poliéster con dos capas de crin</i>	95
Tabla 51 <i>Especificaciones crin de caballo 3 capas</i>	96
Tabla 52 <i>Proporciones molde de matriz poliéster con tres capas de crin</i>	96
Tabla 53 <i>Especificaciones capa de cabuya</i>	97
Tabla 54 <i>Proporciones molde de matriz poliéster con dos tipos de refuerzo</i>	97
Tabla 55 <i>Especificaciones probeta</i>	98
Tabla 56 <i>Valores materiales matriz poliéster molde de tracción</i>	98
Tabla 57 <i>Proporciones para el molde de matriz poliéster</i>	99
Tabla 58 <i>Especificaciones crin de caballo 1 capa</i>	99
Tabla 59 <i>Masa matriz poliéster con refuerzo</i>	100
Tabla 60 <i>Proporciones molde de matriz poliéster con una capa de crin</i>	100
Tabla 61 <i>Especificaciones crin de caballo 2 capas</i>	100

Tabla 62 <i>Proporciones molde de matriz poliéster con dos capas de crin</i>	101
Tabla 63 <i>Especificaciones crin de caballo 3 capas</i>	101
Tabla 64 <i>Proporciones molde de matriz poliéster con tres capas de crin</i>	101
Tabla 65 <i>Especificaciones capa de cabuya</i>	102
Tabla 66 <i>Proporciones molde de matriz poliéster con dos tipos de refuerzo</i>	102
Tabla 67 <i>Denominación de grupos</i>	108
Tabla 68 <i>Condiciones de ensayo según la norma ASTM D3039/D3039M-17</i>	109
Tabla 69 <i>Valores del ensayo grupo Re</i>	110
Tabla 70 <i>Valores del ensayo grupo Ce1</i>	110
Tabla 71 <i>Valores del ensayo grupo Ce2</i>	111
Tabla 72 <i>Valores del ensayo grupo Ce3</i>	112
Tabla 73 <i>Valores del ensayo grupo M2</i>	113
Tabla 74 <i>Condiciones de ensayo según la norma ASTM D7264/D7264M-15</i>	113
Tabla 75 <i>Valores del ensayo grupo Re</i>	114
Tabla 76 <i>Valores del ensayo grupo Ce1</i>	115
Tabla 77 <i>Valores del ensayo grupo Ce2</i>	115
Tabla 78 <i>Valores del ensayo grupo Ce3</i>	116
Tabla 79 <i>Valores del ensayo grupo M2</i>	117
Tabla 80 <i>Condiciones de ensayo según la norma ASTM D7264/D7264M-15</i>	118
Tabla 81 <i>Resultados pruebas de impacto</i>	118
Tabla 82 <i>Matriz de decisión material</i>	125
Tabla 83 <i>Masa de la carrocería COTOPAXI 1</i>	135
Tabla 84 <i>Masa de la carrocería COTOPAXI 2</i>	136
Tabla 85 <i>Masa de la carrocería COLIBRI 2014</i>	137
Tabla 86 <i>Masa de la carrocería de CÓNDROR 2018</i>	138
Tabla 87 <i>Recurso Humano</i>	141
Tabla 88 <i>Recursos tecnológicos</i>	141
Tabla 89 <i>Recursos materiales</i>	142
Tabla 90 <i>Costo de materiales de fabricación</i>	142
Tabla 91 <i>Costo total investigación</i>	143

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1.	Equipos participantes Fórmula SAE 2017.....	8
Figura 2.	Zona de alejamiento para la definición de un vehículo con ruedas abiertas	12
Figura 3.	Plantilla de apertura de la cabina (izq.) y plantilla de la sección transversal interna de la cabina (der.).....	13
Figura 4.	Carrocería del vehículo.....	14
Figura 5.	Vehículo con carrocería y chasis independiente.....	15
Figura 6.	Vehículo con carrocería Autoportante.....	15
Figura 7.	Vehículo con carrocería Tubular	16
Figura 8.	Vehículo con carrocería tipo Sedán.....	16
Figura 9.	Vehículo con carrocería tipo Hatchback.....	17
Figura 10.	Vehículo con carrocería tipo Familiar	17
Figura 11.	Vehículo deportivo utilitario.....	17
Figura 12.	Ensamblaje de una carrocería	18
Figura 13.	Primeras carrocerías forradas con aluminio	20
Figura 14.	Alpine A110 y su carrocería de fibra de vidrio	20
Figura 15.	Diferentes aplicaciones en la industria para los materiales compuestos	23
Figura 16.	Elementos que componen un material compuesto.....	23
Figura 17.	Partes que estructuran un material compuesto.....	24
Figura 18.	Diferentes tipos de cargas que debe soportar la matriz	25
Figura 19.	Matriz polimérica. Aumentada a 10 micrómetros	28
Figura 20.	Refuerzos de alambres, fibras y whiskers.....	29
Figura 21.	Estructura hexagonal átomos de carbono	30
Figura 22.	Microfotografía obtenida por microscopía electrónica de barrido de la superficie.....	33
Figura 23.	Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de refuerzo	34
Figura 24.	Clasificación de los materiales híbridos	35
Figura 25.	Fibras floemáticas en corte de un tallo de lino	41
Figura 26.	Estructura química que conforma la celulosa.....	44
Figura 27.	Curva esfuerzo vs. Deformación para algunas fibras naturales (los valores de resistencia son relativos).....	50

Figura 28. Curva esfuerzo vs deformación de un compuesto kenaf/ PLLA con un contenido de fibra del 70% en volumen	50
Figura 29. Crin de melena y cola de caballo	53
Figura 30. (a) Fibra y (b) planta de abacá (Musa textiles)	55
Figura 31. Algunas aplicaciones de la fibra de abacá	55
Figura 32. Primer auto construido con fibra de yute.....	56
Figura 33. Algunas aplicaciones de la fibra de sisal	57
Figura 34. Algunas aplicaciones de la fibra de coco.....	57
Figura 35. Diseño esquemático de un tejido	58
Figura 36. Forma básica que describe un tejido plano.....	60
Figura 37. Variaciones del tejido plano	60
Figura 38. Forma básica que describe un tejido sarga o diagonal	61
Figura 39. Variaciones del tejido sarga o diagonal	61
Figura 40. Forma básica que describe el tejido satén o raso	62
Figura 41. (a) Estructura al azar de un no tejido y (b) estructura de un tejido.....	63
Figura 42. Condiciones meteorológicas Hockenheim, Alemania.....	66
Figura 43. Valor densidad del aire	67
Figura 44. Dirección gravedad diseño de parte frontal	67
Figura 45. Configuración densidad y velocidad del aire.....	68
Figura 46. Configuración entorno de trabajo	68
Figura 47. Geometría parte frontal bastidor.....	68
Figura 48. Diseño vs velocidad máxima y presión máxima frontal carrocería.....	72
Figura 49. Diseño pontones.....	73
Figura 50. Diseño vs velocidad máxima y presión máxima pontones.....	77
Figura 51. Moldes obtenidos.....	80
Figura 52. Molde de tracción	80
Figura 53. Molde de flexión.....	81
Figura 54. Molde de impacto	82
Figura 55. Medidas probeta de tracción ASTM D3039/D3039M-17	85
Figura 56. Masa crin de caballo	87
Figura 57. Masa cabuya	91
Figura 58. Medidas probeta de flexión ASTM D7264/D7264M-15.....	92
Figura 59. Masa crin de caballo	93

Figura 60.	Masa capa de cabuya	96
Figura 61.	Medidas probeta de impacto ASTM D5628-10.....	97
Figura 62.	Masa crin de caballo	99
Figura 63.	Masa capa de cabuya	102
Figura 64.	Aplicación cera desmoldante	103
Figura 65.	Matriz poliéster.....	103
Figura 66.	Colocación matriz poliéster sin refuerzo en el molde	104
Figura 67.	Compresión matriz poliéster sin refuerzo.....	104
Figura 68.	Matrices poliéster extraídas de los moldes	105
Figura 69.	Lijado matriz poliéster.....	105
Figura 70.	Máquina cortadora laser	106
Figura 71.	Obtención probetas de matriz poliéster de flexión	106
Figura 72.	Probeta de impacto con una capa de crin.....	106
Figura 73.	Máquina universal para ensayos de tracción y grafica Esfuerzo deformación de probetas M2.....	107
Figura 74.	Máquina universal para ensayos de flexión y grafica Esfuerzo deformación de probetas Re	107
Figura 75.	Máquina de impacto por caída de dardo.....	108
Figura 76.	Ensayo tracción probeta grupo Ce1	109
Figura 77.	Probetas grupo Re.....	110
Figura 78.	Probetas grupo Ce1	111
Figura 79.	Probetas grupo Ce2.....	111
Figura 80.	Probetas grupo Ce3.....	112
Figura 81.	Probetas grupo M2.....	113
Figura 82.	Ensayo de flexión probeta grupo Re.....	114
Figura 83.	Probetas del grupo Re	114
Figura 84.	Probetas grupo Ce1	115
Figura 85.	Probetas grupo Ce2.....	116
Figura 86.	Probetas grupo Ce3.....	116
Figura 87.	Probetas grupo M2.....	117
Figura 88.	Equipo para ensayo de impacto por caída libre de dardo y dardo normalizado para la configuración FB.....	118
Figura 89.	Probetas grupo Re.....	119

Figura 90. Probetas grupo Ce1	119
Figura 91. Probetas grupo Ce2.....	119
Figura 92. Probetas grupo Ce3.....	119
Figura 93. Probetas grupo M2.....	119
Figura 94. Fuerza última a la tracción entre grupos	120
Figura 95. Resistencia última a tracción entre grupos	120
Figura 96. Módulo de elasticidad entre grupos	121
Figura 97. Deformación última a tracción entre grupos	121
Figura 98. Fuerza última a flexión entre grupos	122
Figura 99. Resistencia última a la flexión entre grupos	123
Figura 100. Módulo a flexión entre grupos.....	123
Figura 101. Deformación máxima entre grupos	123
Figura 102. Resistencia al impacto entre grupos	124
Figura 103. Molde parte delantera	126
Figura 104. Moldes de la parte lateral.....	127
Figura 105. Recubrimiento de los moldes de la parte lateral	127
Figura 106. Comparación entre moldes de la parte lateral.....	128
Figura 107. Aplicación del material compuesto M2.....	128
Figura 108. Desmoldes de la pieza de la parte lateral.....	129
Figura 109. Acabado final de la pieza de la parte lateral	129
Figura 110. Capa de masilla gruesa sobre la superficie	130
Figura 111. Bloque principal para el diseño de la parte delantera	130
Figura 112. Curado de las capas y primera capa de masilla	131
Figura 113. Piezas desmoldadas con mejor acabado	132
Figura 114. Piezas terminadas de lijar	132
Figura 115. Piezas terminadas de dar la pintura base y lijar	133
Figura 116. Piezas terminadas de pintar y abrillantar	134
Figura 117. Ensamblaje final de la carrocería Cóndor 2018.....	139

ÍNDICE ECUACIONES

Ecuación (1)	85
Ecuación (2)	86
Ecuación (3)	88
Ecuación (4)	88

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1:</i> Pre informe de LANUM de los ensayos realizados.	178
--	-----

RESUMEN

En la presente investigación de materiales compuestos, se desarrolló la carrocería del vehículo fórmula Student, utilizando fibras de origen animal como de origen vegetal. Los resultados obtenidos fueron favorables respecto a la masa de la carrocería anterior con el uso de estas fibras, seleccionando y utilizando crin de caballo y cabuya como refuerzos de la matriz poliéster. Se eligió las normas ASTM ASTM D3039/D3039M-17, D7264/D7264M-15 y D5628-10 para los ensayos de tracción, flexión e impacto respectivamente. Se elaboraron cinco grupos de probetas para cada tipo de ensayo, el primer grupo matriz poliéster sin refuerzo; el segundo grupo posee una capa de crin de refuerzo; el tercer grupo dos capas de crin de refuerzo; el cuarto grupo tres capas de crin de refuerzo y el último grupo una capa de cabuya en medio de dos capas de crin. Mediante el análisis de resultados obtenidos en los ensayos se compararon en una matriz de decisión, que determinó el grupo cinco como más idóneo para la carrocería. En el diseño de la carrocería se realizaron diferentes modelos, evaluándolos bajo condiciones reales y se simuló mediante softwares CAD para seleccionar la alternativa que se ajusta la necesidad. La construcción de la carrocería se realizó por estratificación manual. Se corrigió con masilla irregularidades de la superficie, se aplicó pintura base y una capa de pintura final. Construida la carrocería se pesó cada parte que compone la misma, obteniendo una reducción notable de la masa en comparación con la carrocería 2012 de fibra de vidrio.

PALABRAS CLAVE:

- **FIBRA NATURAL**
- **VEHÍCULOS DE COMPETENCIA - CARROCERÍA**
- **FIBRA ANIMAL (CRIN)**
- **FÓRMULA STUDENT**

ABSTRACT

In the present investigation composite materials, bodywork of the vehicle formula Student was developed, fibers of animal origin were used as of vegetable origin. The results obtained were favorable with respect to the weight of the previous body with the use of these fibers, selecting and using horsehair and cabuya as reinforcements of the polyester matrix. ASTM standards ASTM D3039 / D3039M-17, D7264 / D7264M-15 and D5628-10 were chosen for tensile, bending and impact tests respectively. Five groups of test pieces were prepared for each type of test, the first polyester matrix group without reinforcement; the second group has a layer of horsehair as reinforcement; the third group has two layers of horsehair as reinforcement; the fourth group three layers horsehair as reinforcement; the last group has cabuya layer in the middle of two layers of horsehair. By analyzing the results obtained in the trials, they were compared in a decision matrix, which determined group five as the most suitable for the body. In the design of the body, different models were made, evaluated under real conditions and simulated by CAD softwares to select the alternative that meets the need. The construction of the bodywork was carried out by manual stratification. Irregularities of the surface were corrected with putty; base paint and a final paint layer were applied. Once the body was built, each part of the body was weighed, obtaining a significant reduction in weight compared to the 2012 body of fiberglass.

KEY WORDS

- NATURAL FIBER
- COMPETITION VEHICLES - BODYWORK
- ANIMAL FIBER (HORSEHAIR)
- STUDENT FORMULA

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La Fórmula SAE es una competición de ingeniería organizada por SAE Internacional para estudiantes de pregrado y posgrado. El concurso ofrece a los participantes la oportunidad de mejorar sus habilidades en diseño de ingeniería y gestión de proyectos. El objetivo es el diseño y construcción de un vehículo monoplace de tipo fórmula. Se le realiza diversas pruebas para evaluar su rendimiento. (SAE, 2017)

Un aspecto que influye en el rendimiento de los vehículos de competición es el masa de sus componentes. En todos los campeonatos automovilísticos del mundo incluidos los de Fórmula 1, Cart, Fórmula 3000 y Fórmula 3, la baja masa del vehículo ayuda en el rendimiento del mismo. La obtención de materiales más ligeros y que posean características similares a los tradicionales, se debe a los campeonatos automovilísticos.

Los ingenieros investigan constantemente con nuevos materiales compuestos, tratando de utilizar fibras naturales para facilitar que las partes puedan ser recicladas. Contribuyendo a reducir el impacto ambiental en el planeta. Intentando conseguir una ventaja mediante la reducción de la masa, dando al vehículo mejores prestaciones al momento de competir contra otros vehículos.

En la construcción de la carrocería del vehículo de competencia fórmula SAE 2012 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, para la Fórmula Student Germany 2012. Se utilizó chapas de metal con platinas para definir el molde. Sobre las chapas se aplicó espuma de poliuretano y yeso para obtener una superficie lisa y sin imperfecciones. Se fabricó con tres capas de fibra de vidrio, resina, catalizador y gel coat. La carrocería fue diseñada para un circuito cuya velocidad promedio rodea los 40 Km/h. (Celi & Jaramillo, 2013)

1.2 Planteamiento del problema

La carrocería tradicionalmente se construye de acero, tanto la estructura como los paneles exteriores e interiores. La masa de la carrocería influye en la eficiencia del vehículo, esto obliga a buscar materiales que brinden una menor masa, pero que tengan características similares a los materiales convencionales. Las investigaciones contribuyen a aumentar las prestaciones generales del vehículo en competencia. (Astudillo, 2010)

El principal material compuesto de la carrocería del vehículo de competencia fórmula SAE 2012, fue la fibra de vidrio. Esta fibra brindó rigidez y una masa de cincuenta libras a la carrocería aumentando la masa general del vehículo. Colocándolo entre los monoplazas más pesados de la competencia. En una carrocería de competición se busca tener ligereza sin perder la rigidez. Por lo que se busca la utilización de materiales compuestos de fibra natural que brinden mejores prestaciones.

Al realizar la presente investigación con materiales compuesto utilizando fibra natural para la construcción de la carrocería para el vehículo de competencia fórmula SAE se espera la obtención de un elemento estructural más ligero, con suficiente rigidez para evitar deformaciones en la carrocería, tanto para competencia o al momento que se necesite retirar del vehículo y que cumpla con todos los requerimientos establecidos en el reglamento SAE.

1.3 Descripción resumida del proyecto

El presente trabajo de titulación propone la investigación de materiales compuestos con fibra natural para la construcción de la carrocería para el vehículo de competición Fórmula Student. Para obtener una perspectiva de los factores que se deben tener en cuenta en el diseño, simulación por software, las pruebas de los materiales, se procederá a la recolección de información de distintas fuentes científicas que ayuden y sustenten la presente investigación.

El diseño de la carrocería se lo realizara con la ayuda de softwares CAD. Ingresando parámetros de trabajo que son las condiciones del medio ambiente de Hockenheim, Alemania, brindando resultados aproximados a la realidad. Teniendo cuenta los parámetros del reglamento SAE vigentes en estática, costo de producción, mantenimiento, fabricación y fiabilidad.

Los pontones no deben estar cerca de los neumáticos, deben guardar la distancia de seguridad de 75 mm atrás y adelante. En la parte delantera de la carrocería se prohíben los bordes afilados o componentes protuberantes. Todos los bordes hacia delante en la carrocería que podrían impactar a las personas, por ejemplo la nariz, deben tener radios de frente hacia delante de al menos 38 mm (1,5 pulgadas). Este radio mínimo debe extenderse a por lo menos 45 grados (45°) en relación con la dirección hacia adelante, a lo largo de la parte superior, los lados y la parte inferior de todos los bordes afectados. (SAE, 2017)

Utilizando las normas ASTM para ensayos de tracción, flexión e impacto para materiales compuestos, se realizarán probetas reforzadas con fibra natural y matriz poliéster. Se determinará cuál presenta mejores características físicas y mecánicas. Esto se realiza para optimizar el diseño y reducir la masa de la carrocería. Los ensayos se realizaran en el laboratorio de la Escuela Politécnica Nacional con cinco grupos para el análisis en cada ensayo.

Se realizara la comparación de los resultados obtenidos en la investigación. Tanto en el diseño de la carrocería, como los ensayos de las fibras. Para determinar si la nueva carrocería para el vehículo de competencia fórmula SAE es mejor a la carrocería del 2012 en cuanto a la masa al diseñó.

1.4 Justificación e Importancia

La investigación a desarrollar sobre materiales compuestos con fibra natural para la carrocería del vehículo Fórmula Student es importante ya que permitirá reducir el la masa de la carrocería y mejor en el desempeño del vehículo. Con el uso de un software que permita simular, analizar, justificar y determinar la mejor opción para la realización del proyecto.

El proyecto se enfoca en construir una carrocería más ligera y con materiales más amigables con el medio ambiente, a través de la utilización de fibras naturales como refuerzo. También se pretende determinar a través de probetas y ensayos ASTM el mejor material para la elaboración de la carrocería.

Mediante la investigación se pretende demostrar que se puede tener prestaciones similares con el uso de la fibra natural a las que poseen los materiales tradicionales empleados en la fabricación de las carrocerías. Con esto se puede optar por introducir dichos materiales en la industria automotriz del país, contribuyendo al desarrollo tecnológico, sustentable y reduciendo el impacto ambiental.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Investigar los materiales compuestos con fibra natural para la construcción de la carrocería del vehículo de competición fórmula Student

1.5.2 Objetivos Específicos

- Recopilar información técnica-científica referente a las propiedades, características y procedimiento de aplicación de los materiales compuestos en carrocerías automotrices.
- Analizar las características y determinar las mejoras a realizar en la carrocería del vehículo de competición Fórmula SAE 2012.

- Realizar el diseño computacional y simulación aerodinámica de la carrocería en las condiciones vigentes en la normativa SAE para prototipos Fórmula Student.
- Realizar los ensayos de tracción, flexión e impacto con probetas con diferentes refuerzos de fibra natural para determinar el material que muestre mejores características en los ensayos de tracción, flexión e impacto.
- Construir la carrocería de un | tipo Fórmula Student, con el material de mejores características, en base a los resultados obtenidos de los ensayos ASTM.
- Analizar la eficiencia obtenida en la carrocería 2018 en comparación con la versión 2012.

1.6 Metas

- Recopilar información técnica-científica acerca de las propiedades, características y procedimiento de aplicación de los materiales compuestos en las carrocerías automotrices.
- Realizar una comparación de los diferentes refuerzos para seleccionar el material compuestos más idóneo para la carrocería.
- Diseñar un prototipo de carrocería en software CAD y simular la aerodinámica para comprobar el desempeño.
- Evaluar los datos obtenidos en la simulación y elegir la geometría que más se adapte a las condiciones requeridas para la carrocería.
- Realizar ensayos ASTM con cinco grupos con refuerzos de fibra natural para determinar el que posee mejores características tanto físicas como mecánicas.
- Construir la carrocería de un vehículo tipo Fórmula Student, con el material de mejores características, en base a los resultados obtenidos de los ensayos ASTM.

- Comparar la carrocería 2018 con la versión 2012 para verificar si se obtuvo mejoras en relación a la masa.

1.7 Hipótesis

La carrocería construida con un material compuesto de fibra natural reducirá la masa de la misma, ayudando en la disminución de la masa general del vehículo Fórmula Student y estará dentro de los parámetros de la Fórmula SAE.

1.8 Operacionalización de variables

1.8.1 Variable dependiente

En la tabla 1 de Material Compuesto de fibra Natural se encuentran los indicadores para la caracterización de los materiales.

Tabla 1

Variable dependiente: Material Compuesto de Fibra Natural

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Los materiales compuestos son las uniones de dos materiales de características diferentes que se forman para obtener unas nuevas que presentan mejores prestaciones que los originales.	Tipos de materiales	Fuerza Aplicada	N	Visual	Instrumento de Laboratorio
		Módulo	MPa	Visual	Instrumento de Laboratorio
		Resistencia última	MPa	Visual	Instrumento de Laboratorio
		Deformación	%	Visual	Instrumento de Laboratorio
		Energía media de fallo	J	Visual	Instrumento de Laboratorio
		Altura media de fallo	mm	Visual	Instrumento de Laboratorio
		Tejido	N/A	Visual	Instrumento de Laboratorio
		Masa	Kg	Medición	Instrumento de Laboratorio
		Espesor	mm	Medición	Instrumento de Laboratorio

1.8.2 Variable independiente

En la tabla 2 se encuentran los indicadores del Reglamento SAE. Para la construcción de la carrocería.

Tabla 2
Variable dependiente: Reglamento SAE

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es el reglamento que rige a todos los equipos participantes en la Fórmula Student y contiene todos los parámetros que deben cumplir los vehículos prototipos, pilotos y equipos.	Competencia Fórmula Student	T2.1	mm grados (°)	Visual	2017-18 Fórmula SAE® Rules
		T2.2	-	Visual	2017-18 Fórmula SAE® Rules
		T3.23.1	-	Visual	2017-18 Fórmula SAE® Rules
		T3.23.2	mm/in grados (°)	Medición Visual	2017-18 Fórmula SAE® Rules

- **T:** Requerimientos técnicos generales
- **# (2):** Número de artículo del reglamento
- **T2.2:** Bodywork (Carrocería)
- **T3.23:** Front Bodywork (Carrocería frontal)

Fuente: (SAE, 2017)

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Fórmula student

La Fórmula Student, es una competencia también llamada Fórmula SAE, en la que, las universidades de todo el mundo promueve la excelencia en ingeniería. En este tipo de competencia, las personas pertenecientes al equipo diseñan, construyen, desarrollan y posteriormente compiten, un pequeño monoplaza pero con una gran potencia. Para el desarrollo de este monoplaza, tienen que hacer uso de sus conocimientos técnicos y de la gestión empresarial, dado el hecho que es necesario un aporte económico por parte de patrocinadores con cuyo dinero costeara la investigación, el desarrollo del vehículo, las pruebas y el posterior viaje a donde se encuentre localizado el circuito. (Revistacesvimap, 2016)

El lugar donde se encuentran los circuitos más exigentes es en Silverstone (Reino Unido), Hockenheim (Alemania) y en España donde se encuentra algunas de las mejores universidades de ingeniería que forman parte de esta competición. (Revistacesvimap, 2016)

En la figura 1 se puede observar la gran cantidad de equipos que se inscribieron para esta competencia para el año 2018



Figura 1. Equipos participantes Fórmula SAE 2017

Fuente: (formulastudent.de, 2017)

2.1.1 Disciplinas

El objeto de la competición es asimilar una situación real, en la cual una empresa de diseño automotriz contrata a estos ingenieros para desarrollar un prototipo. Los compradores hipotéticos en este caso serían corredores amateur. El vehículo debe satisfacer unas prestaciones elevadas en aceleración, frenada, y estabilidad, pero también debe ser fácil de mantener, barato y fiable. Otros factores como la estética y el confort se valoran igualmente. El precio máximo para el vehículo es de 21.000 euros y la victoria es para el equipo que más cumpla con los requisitos. (worldpossible.org, 2016)

En esta competencia, varias de las mejores universidades alrededor del mundo se enfrentan en diversas categorías buscando conseguir la mayor puntuación posible, que les permita alcanzar la victoria, entre los parámetros que se califican se pueden ver en la tabla 3.

Tabla 3
Tabla de disciplinas Fórmula Student

PUNTUACIÓN	
Eventos estáticos	325
Diseño	150
Análisis de costes	100
Business Presentation	75
Eventos dinámicos	675
Skipad	75
Aceleración	75
Endurance	325
Vuelta rápida	100
Consumo	100
TOTAL	1000

Fuente: (worldpossible.org, 2016)

2.1.2 Las categorías

En las competiciones de Fórmula Student existen varias categorías, o clases. La mayor cantidad de participantes está en la primera categoría, que es en la que compiten los monoplazas terminados y que hayan participado por primera vez hace como máximo un año. (worldpossible.org, 2016)

2.1.2.a Clase 3

Esta es para equipos nuevos, en la cual participan solamente vehículos en fase de diseño y validación del modelo. Como regla general y para fomentar el progreso, un equipo no se puede presentar a esta categoría dos años seguidos, teniendo que hacerlo obligadamente en las categorías superiores en la próxima competición. Se hace una excepción para aquellos equipos que, además, se presenten a las clases 2 o 1. Únicamente se puntúan las pruebas de diseño, presentación y coste. (worldpossible.org, 2016)

2.1.2.b Clase 2

Esta categoría, está hecha para equipos que hayan pasado de los conceptos básicos del diseño y hayan conseguido fabricar un vehículo completo. El requisito de entrada en esta categoría es tener a disposición un chasis completo. Al igual que en la categoría 3, los equipos que ya hayan participado en esta categoría tendrán que hacerlo el próximo año en la categoría uno. Para poder participar también en esta; únicamente se puntúan las pruebas de diseño, presentación y coste. (worldpossible.org, 2016)

2.1.2.c Clase 1

En esta categoría participan vehículos totalmente contruidos y que sean capaces de moverse. Es la categoría más importante de entre las tres, y el mismo vehículo solo puede participar en ella durante los 12 meses siguientes a la primera competición en la que participa. Esta regla obliga a los equipos a mejorar y fabricar cada vez nuevos vehículos. Se permite aprovechar los elementos de monoplazas antiguos, exceptuando el chasis. Dentro de la

categoría existen la llamada series 200, en esta pueden participar vehículos de hasta 2 años de antigüedad. En esta categoría los equipos puntúan en todas las pruebas (diseño, presentación, coste, aceleración, skidpad, autocross, endurance y consumo de combustible). (worldpossible.org, 2016)

2.1.3 Normativas Fórmula Student Germany para la carrocería

Previo al análisis, diseño y construcción del vehículo Fórmula SAE, se debe analizar el reglamento de competencia vigente para cumplir con los parámetros necesarios que permitan al vehículo competir sin ningún problema.

A continuación se describe el reglamento para la carrocería del vehículo SAE, tomando como referencia el reglamento decretado La Fórmula Student Rules 2018. (formulastudent.de, FS-Rules 2017 V1.1, 2017)

2.1.3.a Reglamento T 1: Requerimientos generales de diseño

- **Reglamento T 1.1: Configuraciones del vehículo**

- (Regla T 1.1.1): El vehículo debe diseñarse y fabricarse de acuerdo con buenas prácticas de ingeniería.
- (Regla T 1.1.2): El vehículo debe ser de ruedas abiertas, asiento único y cabina abierta, con cuatro ruedas que no estén en línea recta.
- (Regla T 1.1.2): Los vehículos con rueda abierta deben cumplir lo establecido en la Figura.
 - (a) Las ruedas/neumáticos no deben estar obstruidos cuando se ven desde un lado.
 - (b) Ninguna parte del vehículo puede entrar en una zona de exclusión definida por dos líneas que se extienden verticalmente desde posiciones 75 mm por delante y 75 mm por detrás del diámetro exterior de los neumáticos delanteros y traseros en la vista lateral del vehículo, con neumáticos dirigidos hacia adelante. Esta zona de bloqueo se

extiende lateralmente desde el plano exterior de la rueda/neumático al plano interior de la rueda/neumático, como se puede ver en la figura 2.

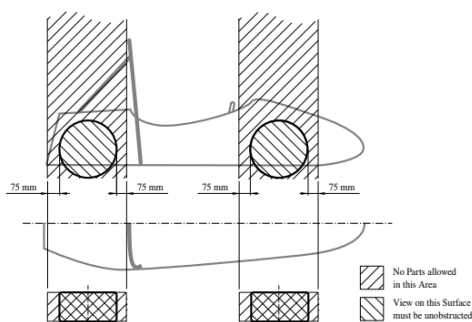


Figura 2. Zona de alejamiento para la definición de un vehículo con ruedas abiertas

Fuente: (formulastudent.de, FS-Rules 2017 V1.1, 2017)

- **Reglamento T 1.2: Carrocería**

- Regla T 1.2.1: No debe existir aberturas por la carrocería en el compartimiento del conductor que no sean las requeridas para la apertura de la cabina. Se permiten aperturas mínimas alrededor de la suspensión delantera y los componentes del sistema de dirección.
- Regla T 1.2.2: La estructura del chasis deben tener dos orificios de ventilación de al menos 25 mm de diámetro en la parte más baja de la estructura, esto con el fin de evitar la acumulación de líquidos inflamables. Se requieren orificios adicionales cuando existen múltiples partes locales más bajas en la estructura.
- Regla T 1.2.3: Los bordes de la carrocería que podrían entrar en contacto con un peatón deben tener un radio mínimo de 1 mm. La parte de la carrocería de las ruedas delanteras debe tener un radio de al menos 38 mm extendiéndose al menos 45 ° con respecto a la dirección de avance, a lo largo de la parte superior, los lados y la parte inferior de todos los bordes afectados.

2.1.3.b Reglamento T 3: Cabina

- **Reglamento T 3.1: Apertura de la cabina**

- Regla T 3.1.1: El tamaño de la abertura de la cabina de mando debe ser suficiente como la plantilla que se muestra a la izquierda de la Figura 3, para pasar verticalmente desde la abertura debajo de la parte superior de la estructura de impacto lateral cuando se sostiene horizontalmente. La plantilla puede moverse hacia adelante y hacia atrás, como se puede ver en la figura 3.

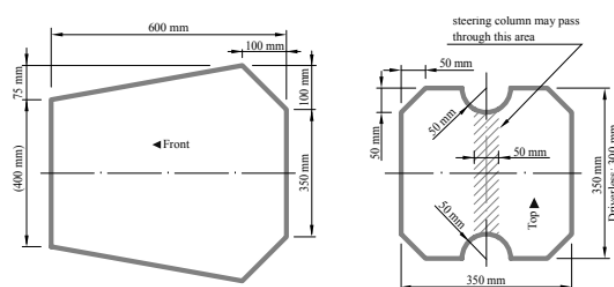


Figura 3. Plantilla de apertura de la cabina (izq.) y plantilla de la sección transversal interna de la cabina (der.)

Fuente: (formulastudent.de, FS-Rules 2017 V1.1, 2017)

- Regla T 3.1.2: Si la estructura de impacto lateral no está hecha de tubos, la plantilla debe pasar hasta 320 mm por encima del punto más bajo dentro del chasis entre el frente y el aro principal.
- Regla T 3.1.3: El volante, la columna de dirección, el asiento y todo el relleno se pueden quitar para que la plantilla encaje. Cualquier otra pieza solo se puede quitar si están integradas con el volante.
- **Reglamento T 3.2: Apertura de la cabina**
 - (Regla T 3.2.1): La cabina debe proporcionar una sección transversal interna suficiente como se muestra a la derecha en la Figura 4, para pasar desde la superficie posterior del aro delantero a un punto 100 mm hacia atrás de la cara del pedal más atrás en una posición inoperativa. Los pedales ajustables deben estar en su posición más avanzada.

- (Regla T 3.2.2): El volante y cualquier almohadillado que se pueda quitar sin el uso de herramientas mientras el conductor está sentado se pueden quitar para que la plantilla encaje.
- (Regla T 3.2.3): Los pies y las piernas del conductor deben estar completamente contenidos dentro de la estructura primaria cuando el conductor está sentado normalmente y los pies del conductor están tocando los pedales. En las vistas lateral y frontal, cualquier parte de los pies o las piernas del conductor no debe extenderse por encima o por fuera de esta estructura.

2.2 Carrocería de vehículo



Figura 4. Carrocería del vehículo

Fuente: (centralderepuestostr.com, 2017)

La carrocería, es la parte del vehículo en la que se apoya el bastidor y que lleva en su interior al conductor, los pasajeros y la carga. La carrocería también alberga el motor y los diversos componentes que conforman el vehículo. En la figura 4 se observa un modelo general de una carrocería de un vehículo tipo sedán.

2.2.1 Tipos de carrocerías

2.2.1.a Carrocerías según construcción

- **Vehículo con carrocería y chasis independiente**



Figura 5. Vehículo con carrocería y chasis independiente

Fuente: (centralderepuestostr.com, 2017)

Los vehículos representados en la figura 5 generalmente son utilizados como vehículos de carga, ya que el chasis al ser un elemento rígido; es muy fuerte y es el que soporta la carga.

- **Vehículo con carrocería Autoportante.**



Figura 6. Vehículo con carrocería Autoportante

Fuente: (centralderepuestostr.com, 2017)

Los vehículos de tipo autoportante como se puede ver en la figura 6, son utilizados para el transporte de personas. Éste tipo de estructura reduce la masa, ya que al eliminar el elemento chasis se aprovecha al máximo la potencia del motor.

- **Vehículo con carrocería Tubular**



Figura 7. Vehículo con carrocería Tubular

Fuente: (centralderepuestostr.com, 2017)

Los vehículos de carrocería del tipo tubular, como se muestra en la figura 7 son empleados en vehículos 4x4 o clásicos deportivos, para generar una estructura que soportará los elementos del vehículo, que posteriormente son cubiertos con láminas de aluminio o de otro material ligero.

2.2.1.b Carrocería según su forma

La forma de la carrocería depende de la función que el vehículo vaya a cumplir y este va a determinar la característica del vehículo y se clasifican en:

- **Vehículo con carrocería tipo Sedán**



Figura 8. Vehículo con carrocería tipo Sedán

Fuente: (centralderepuestostr.com, 2017)

La carrocería de tipo sedán como se muestra en la figura 8, son usadas en automóviles de turismo; en este tipo de vehículos la tapa del maletero no incluye al vidrio trasero, por lo que éste está fijo y el maletero está separado de la cabina.

- **Vehículo con carrocería tipo Hatchback**



Figura 9. Vehículo con carrocería tipo Hatchback

Fuente: (centralderepuestostr.com, 2017)

Los vehículos hatchback mostrado en la figura 9, es un automóvil cuyo voladizo trasero es relativamente corto y el portón trasero incluye la ventana trasera; por él se puede ingresar al habitáculo.

- **Vehículo con carrocería tipo Familiar**



Figura 10. Vehículo con carrocería tipo Familiar

Fuente: (centralderepuestostr.com, 2017)

El vehículo mostrado en la figura 10, es un automóvil con el techo elevado hasta el portón trasero, que sirve para acceder a la plataforma de carga.

- **Vehículo deportivo utilitario**



Figura 11. Vehículo deportivo utilitario

Fuente: (centralderepuestostr.com, 2017)

Los vehículos deportivos utilitarios mostrados en la figura 11, son de tipo todoterreno y tienen una carrocería monocasco desarrollada para ser usada mayormente sobre asfalto. Este tipo de vehículos son más altos que el vehículo de tipo sedán y heredan detalles visuales que forman parte de los vehículos todoterrenos.

2.3 Materiales comunes utilizados en construcción la carrocería del automóvil



Figura 12. Ensamblaje de una carrocería

Fuente: (NoticiasToyocosta, 2016)

2.3.1 Acero

El techo, las puertas, y los paneles de la estructura que conforma la carrocería están hechos mayormente de acero, como se puede ver en la figura 12. Inclusive algunas partes que sirven para sostener el motor, y todos los sistemas de escapes están hechos en acero inoxidable. Este material también se utiliza para formar la parte del esqueleto del vehículo, que servirá para proteger a los ocupantes en caso de accidente. En mayor parte la masa de un vehículo está dada por el acero, y puede llegar a tener un valor cercano a los 1.350 kg. Por otra parte las camionetas, al ser vehículos de carga y necesitar una estructura más robusta, llegan a tener una masa cercana a los 1.800 Kg. (NoticiasToyocosta, 2016)

2.3.2 Plástico

Interruptores, manijas, tapetes, hélices del aire acondicionado, los airbags, y otros elementos, están contruidos en plástico. Este material se lo utiliza muchas veces para la construcción de vehículos, esto gracias a que según la American Chemistry Council de

Estados Unidos, los plásticos tiene un periodo de vida más largo, son más baratos y se moldean en casi cualquier forma. (NoticiasToyocosta, 2016)

2.3.3 Aluminio

A pesar de ser un material nuevo para la fabricación de vehículos, su uso se implementó gracias a que es liviano y resistente. Este material sirven para que la estructuras de la carrocería sea más ligera y con mejor desempeño, otras de las aplicaciones en el área automotriz es la fabricación de rines de los pistones y en algunos motores. (NoticiasToyocosta, 2016)

2.3.4 Hule

Los neumáticos están elaborados con este material. De ahí su gran importancia, puesto que casi el 75% de la producción de todo el mundo de este material se emplea para la fabricación de neumáticos. Otros elementos que conforman los vehículos que también usan hule son: limpiaparabrisas, mangueras, molduras del motor, bandas, entre otras. (NoticiasToyocosta, 2016)

2.3.5 Materiales compuestos

Un material compuesto tiene la característica de que adopta las propiedades de sus materiales constituyentes, de tal manera que presenta mejores características y propiedades. Con respecto a esto, es preciso mencionar la importancia de las propiedades, finales, ya que estas no son iguales a una suma simple de las propiedades de cada componente, sino que más bien dependerán de diferentes parámetros. (Adamian, 2009)

2.4 Nuevos materiales para la fabricación de carrocerías

Al principio, el uso de madera y chapa estampada era común en los distintos fabricantes de carrocerías, ya que antiguamente no necesariamente los fabricantes de automóviles fabricaban sus carrocerías, sino que existían los llamados carroceros, especialistas en vestir a los automóviles. (Recambiooriginal.com, 2015)

Poco a poco fueron evolucionando las tecnologías y la fabricación de carrocerías empezó a perfeccionarse con el uso de nuevos materiales y diseños aerodinámicos, para aprovechar mejor el flujo de aire y ofrecer menos resistencia al mismo. (Recambiooriginal.com, 2015)



Figura 13. Primeras carrocerías forradas con aluminio

Fuente: (Recambiooriginal.com, 2017)

De esta manera nacieron las primeras carrocerías de aluminio pulido, como se ve en la figura 13, que hicieron famosos a los vehículos de carreras alemanes de pre-guerra, a los que se apodaron Flechas de Plata debido al aluminio pulido. Aun así, la fabricación comercial de vehículos el aluminio era demasiado caro como para rentabilizarlo, así que el uso de chapa de acero estampada se erigió como la mejor solución al problema de materiales para las carrocerías, aún en uso hoy en día. Pero el acero presenta un problema: la masa. Y la masa redundante en mayores consumos y menores prestaciones. De este modo, algunos atrevidos fabricantes y atrevidos carroceros empezaron a trabajar con otros materiales distintos al aluminio y al acero, como los derivados plásticos y compuestos. (Recambiooriginal.com, 2015)



Figura 14. Alpine A110 y su carrocería de fibra de vidrio

Fuente: (Recambiooriginal.com, 2015)

El ejemplo más conocido es el del Alpine A110, que se ve en la figura 14, con una carrocería de fibra de vidrio ultraligera. Pronto, otros fabricantes como Lancia en su modelo Stratos dieron uso a este material para construir las carrocerías de sus deportivos más elegantes.

Con la evolución tecnológica en las competencias automotrices, otros materiales sustituyeron progresivamente a la fibra de vidrio, ya que este fue caracterizado por su excesiva fragilidad en caso de golpes y poca resistencia a las deformaciones. De este modo, se empezó a trabajar con materiales derivados de la aeronáutica, como el Kevlar o la Fibra de Carbono, ya que estos eran materiales mucho más resistentes y ligeros que otros usados en las carrocerías. (Recambiooriginal.com, 2015)

Pero estos materiales alternativos tenían otro problema: el alto costo. Por esta razón, estos materiales se han visto limitados a su uso en competición o en vehículos de alta gama. Para los vehículos cuyo precio de comercialización es normal, se sigue empleando el acero, aunque con los avances tecnológicos, el tipo de acero usado para la carrocería presenta un grosor muy inferior respecto décadas atrás, lo que reduce un poco la masa y son mucho más resistentes. (Recambiooriginal.com, 2015)

Debido a la necesidad de reducir el consumo y emisiones, los fabricantes están usando más el aluminio y sus aleaciones, así como también plásticos en piezas no estructurales como aletas y portones o capós. Al usar estos materiales y combinados con la estructura principal en acero especial para la fabricación de carrocerías, se obtiene resultados de ligereza y resistencia igual o superiores a los materiales especiales usados en años anteriores, pero con un costo de fabricación inferior. (Recambiooriginal.com, 2015)

2.5 Materiales compuestos

En un material compuesto se unen dos o más materiales, con diferentes características, formas o composiciones, con el fin de obtener un nuevo material con propiedades únicas y diferentes a las que lo componen. En los materiales compuestos destacan una o más características aportadas por los materiales que lo constituyen, de tal forma que el material compuesto resultante muestre las mejores características posibles. (Davila et al., 2011)

Los materiales compuestos más utilizados son aquellos que están constituidos por dos fases diferentes a nivel atómico o molecular y separables mecánicamente, conocidas como matriz (material aglutinante) y refuerzo. Además, un material compuesto puede contener otros componentes como recubrimientos y rellenos. (Davila et al., 2011)

Para que un material sea considerado como un compuesto debe tener las características siguientes:

- Tener 2 o más materiales químicamente distintos y separables mecánicamente.
- Debe crearse al combinar los materiales que lo van a constituir, de forma que la dispersión de un material dentro del otro se pueda controlar, para así alcanzar las mejores propiedades.
- Las propiedades del nuevo compuesto deben ser mejores a las de los materiales que la componen individualmente, y en lo posible ser únicas en algún aspecto.

El uso de materiales compuestos, como se ve en la figura 15, ha crecido representativamente en los últimos años, dado que estos tienen la capacidad de reemplazar a materiales que normalmente se usan como pueden ser el acero y el aluminio, debido a que sus principales características es ser livianos y resistentes.



Figura 15. Diferentes aplicaciones en la industria para los materiales compuestos

Fuente: (Davila et al., 2011)

2.5.1 Partes de un material compuesto

Básicamente un material compuesto está conformado por dos o más fases distintas, que como resultado de la combinación se obtiene propiedades que son diferentes y mejores a las de los materiales que lo constituyen. En la Figura 16 se muestran los elementos que componen un material compuesto. En un material compuesto es importante considerar todas las fases constituyentes, esto significa que la combinación de propiedades y características debe ser la correcta, para que el material resultante que obtenga el investigador tenga propiedades mejoradas. (Mazumdar, 2003)

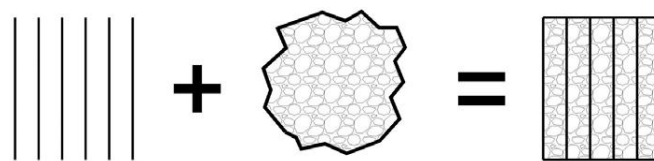


Figura 16. Elementos que componen un material compuesto

Fuente: (Mazumdar, 2003)

Los materiales compuestos son elaborados para mostrar propiedades específicas que el diseñador requiera. Estas se obtienen mediante la adecuada selección de los componentes, grado de cristalinidad, sus proporciones, también la composición de la interfaz. Los materiales compuestos pueden ser elaborados para que cumplan con las necesidades

tecnológicas de diferentes industrias como son: la aeroespacial, la automotriz, de la construcción, la electrónica, la biomédica, para la generación de energía, y más. (Chung, 2010)

En resumen, los componentes que forman parte de la estructura de un material compuesto se llaman: matriz y refuerzo, y la superficie de uno de los compuestos se llama interfaz. También, hay la posibilidad de añadir elementos que permitan una mejor unión, como también rellenos y revestimientos, esto con el objetivo de mejorar la interfaz, para conseguir que las propiedades del material aumenten y no por el contrario se vean afectadas. (sciencephoto.com, 2011)

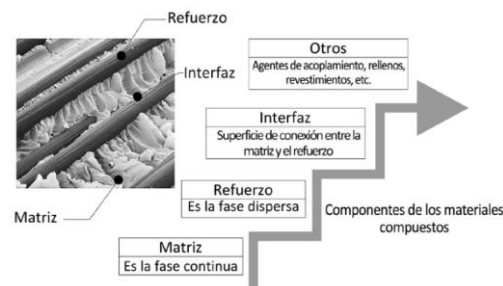


Figura 17. Partes que estructuran un material compuesto

Fuente: (sciencephoto.com, 2011)

En la Figura 17 se puede observar un plástico reforzado con fibras, con una matriz de resina epoxi resistente al calor. Y como refuerzo se ve fibras de carbono, que son las encargadas de absorber los esfuerzos generados en el material.

Una aplicación del material compuesto visto en la figura 17, es en la industria aeroespacial y automotriz, también se las puede encontrar en las placas de circuitos electrónicos. (sciencephoto.com, 2011)

2.5.1.a La matriz

Es el material, en el que el elemento usado como refuerzo queda insertado. Y pueden ser de tres tipos: cerámicos, metálicos o resinas orgánicas. A excepción de la matriz cerámica, el

material que se selecciona, no es tan rígido tampoco tan resistente como lo es el material de refuerzo. (Stupenengo, 2011)

Las funciones principales de la matriz son:

- Definir las propiedades físicas y químicas.
- Transmitir las cargas al refuerzo.
- Protegerlo y brindarle cohesión.

La matriz también permitirá determinar algunas características del material compuesto, como puede ser la capacidad de conformado y el acabado superficial, es decir, de la matriz dependerá la capacidad que posea el material compuesto para ser conformado, en geometrías complejas con en procesos que, generalmente, no aplican posteriores etapas de acabado. (Stupenengo, 2011)

Al someter al material compuesto a diferentes tipos de cargas mecánicas, como se puede ver en la figura 18; la matriz cumple diferentes funciones.

- **Bajo cargas compresivas:** La matriz soporta el esfuerzo, ya que se trata de la fase continua.



Figura 18. Diferentes tipos de cargas que debe soportar la matriz

Fuente: (Stupenengo, 2011)

- **En tracción:** La matriz transfiere la carga aplicada a cada una de las fibras o partículas, de manera que éstas soporten el esfuerzo. Para ello es necesaria una buena interfaz.

Muchas veces es la matriz la que determina la resistencia al impacto y la que detiene la propagación de fisuras.

- **Propiedades de la matriz**

- Contiene las fibras y las mantiene en su lugar.
- Transporta los esfuerzos a las fibras más fuertes.
- Da protección a las fibras para evitar que sufran daños durante su manufactura y uso.
- Impide el aumento de grietas en las fibras en toda la estructura del compuesto.
- Además determina las características eléctricas como también el comportamiento químico.

Las matrices poliméricas son generalmente más utilizadas. La mayor parte de los polímeros, como son los de tipo termoplásticos y termoestables están disponibles en el mercado con el agregado de fibras de vidrio cortas como refuerzo.

Los compuestos de matriz metálica incluyen elementos como el aluminio, el cobre, el magnesio, el níquel y aleaciones de compuestos intermetálicos reforzados con fibras del tipo metálicas y cerámicas. Mediante los compuestos de matriz metálica se cubre una diversidad de aplicaciones aeroespaciales y automotrices. La matriz metálica permite que el compuesto funcione a altas temperaturas pero, la producción de una pieza de este tipo de materiales es más costosa que la de una pieza de compuestos de matriz polimérica. (Stupenengo, 2011)

En los materiales compuestos, también, pueden utilizarse una matriz de materiales cerámicos frágiles. Los compuestos de matriz cerámica presentan buenas propiedades a altas temperaturas y además son mucho más livianos que los de matriz metálica a similares temperaturas. (Stupenengo, 2011)

- **Tipos de matriz**

Matrices metálicas

Entre las más comunes se encuentran materiales como el aluminio, magnesio, cobre, níquel y aleaciones de compuestos intermetálicos. Que son reforzados con fibras cerámicas y metálicas. Este tipo de compuestos son muy usados en la industria aeroespacial y automotriz,

ya que este tipo de matrices permiten que el material compuesto trabaje a altas temperaturas. Lo malo de este tipo de materiales son que la producción suele resultar costosa, esto debido a la complejidad de los procesos y la tecnología de los equipos necesarios. (Askeland, 1998)

Las matrices metálicas pueden contener entre 20 y 50% de volumen de refuerzo y generalmente se usan cuando se va a trabajar con aplicaciones que requieren dureza, rigidez, resistencia a altas temperaturas, alta resistencia mecánica y módulo específico alto. (Davila et al., 2011)

Matrices cerámicas

Estas tienen buenas propiedades a temperaturas elevadas y son menos densas en comparación con los compuestos de matriz metálica. Con este tipo de matrices es muy común que también se usen fibras cerámicas como refuerzo. De esta manera se ha logrado obtener mejor resistencia y tenacidad a la fractura en comparación con los materiales cerámicos convencionales, los mismos que son muy frágiles. (Davila et al., 2011)

Matrices poliméricas

Son usadas en diversas aplicaciones y en grandes cantidades debido a su baja densidad, excelentes características en temperatura ambiente, su facilidad con la que se hace su conformado y costos muy bajos. Este tipo de matrices pueden ser reforzadas con fibras del tipo natural y sintética.

En la figura 19 se puede observar una matriz polimérica reforzada con fibra sintética como es el caso de la fibra de carbono.

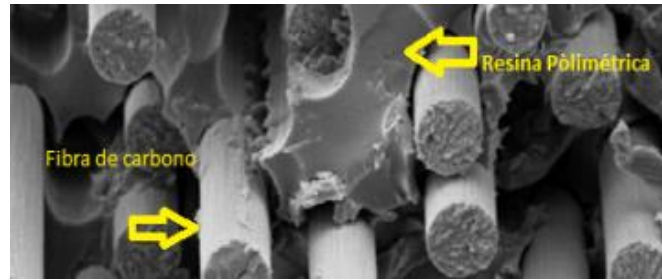


Figura 19. Matriz polimérica. Aumentada a 10 micrómetros

Fuente: (Davila et al., 2011)

Las matrices poliméricas pueden ser de tres tipos.

- **Las matrices termoplásticas.-** Pueden cambiar a estado líquido cuando se las expone a calor. Este ciclo reversible de ablandarse y endurecerse facilita el reciclaje.
- **Las matrices termoestables.-** Son polimerizadas por una reacción química que generalmente no es reversible. No son fáciles de reprocesar, lo que hace difícil su reciclaje. Tampoco se funden al calentarse, sino que empiezan a degradarse. Algunos ejemplos son: resina poliéster, epoxi y fenólicos.
- **Las matrices elastoméricas.-** Tienen una zona elástica grande, pudiendo llegar a estirarse hasta cinco o seis veces su longitud inicial. El caucho natural pertenece a este tipo de matrices.

2.5.1.b El refuerzo

Es el material que se añade a la matriz para conseguir en el compuesto alguna característica que la matriz no tiene. Mayormente, se usa para aumentar la resistencia y rigidez mecánicas, pero también, se añaden refuerzos que permitan mejorar el comportamiento del material a altas temperaturas o también mejorar la resistencia a la abrasión. (Stupenengo, 2011)

El refuerzo puede ser en forma de partículas o de fibras. En general, es más efectivo cuanto menor tamaño tienen las partículas y más homogéneamente distribuidas están o cuando se incrementa la relación longitud/diámetro de la fibra.

En la mayoría de los compuestos reforzados con fibras, éstas tienden a ser más resistentes, rígidas y tener poca masa. Si el compuesto va a ser utilizado en altas temperaturas, la fibra también debe tener una alta temperatura de fusión. Por lo que la resistencia específica y el módulo específico de la fibra son importantes. (Stupenengo, 2011)

Agrupando las fibras según su diámetro y sus características, estas pueden ser agrupadas en tres grupos: whiskers, fibras y alambres, como se ve en la figura 20.

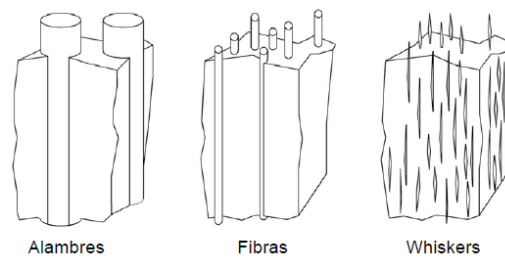


Figura 20. Refuerzos de alambres, fibras y whiskers

Fuente: (Davila et al., 2011)

Las fibras más utilizadas son las de vidrio, carbono y aramida, ya que poseen una resistencia a la tracción extremadamente alta. Aunque, esto no parece muy evidente cuando los pensamos como sólidos macizos.

Materiales utilizados como refuerzos en materiales compuestos

- **Fibra de vidrio**

Cuando sometemos estos materiales, caracterizados por ser frágiles a esfuerzos de tensión, las fallas presentes en el sólido, ocasionaran su ruptura a esfuerzos mucho menores que lo que dice su resistencia teórica. Para solucionar el problema, son producidos en forma de fibras, de forma que, si aún existen los defectos direccionados al azar, estos se observarán en algunas de las miles de fibras, mientras que las otras seguirán resistiendo sin presentar defectos. Sin embargo, las fibras sólo muestran esta capacidad de soportar esfuerzos en la dirección de las mismas. Las propiedades mecánicas varían mucho según el grado de ordenamiento de las fibras en el interior del material. (Stupenengo, 2011)

Las fibras de vidrio son las más utilizadas, porque su costo es menor a las de carbono o a las de aramida, son usadas normalmente con resinas de poliéster. Tienen una densidad y propiedades a la tracción comparable a las fibras de carbono y aramida pero menor resistencia y módulo de tensión, aunque pueden sufrir mayor elongación sin romperse. (Stupenengo, 2011)

Las aplicaciones más comunes son:

- Carrocerías de automóviles y barcos.
- Recipientes de almacenaje.

- **Fibra de carbono**

La estructura atómica de esta fibra similar a la del grafito, como se puede ver en la figura 21 y consiste en láminas de átomos de carbono arreglados en forma hexagonal. (Stupenengo, 2011)

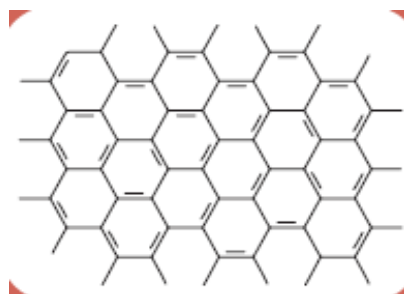


Figura 21. Estructura hexagonal átomos de carbono

Fuente: (Stupenengo, 2011)

El grafito es un material cristalino, donde las hojas se sitúan paralelamente unas a otras. Las uniones químicas entre las hojas son relativamente débiles, dándoles al grafito su característica de textura blanda y brillo. La fibra de carbono es una forma de grafito en la cual estas láminas son largas y delgadas. Los manojos de estas cintas se empaquetan entre sí para formar fibras, de ahí el nombre fibra de carbono. La fibra de carbono es un material amorfo: las cintas de átomos de carbono están empaquetadas, juntas. Esto hace que ante una tensión

de tracción, las hojas se traben unas con otras, previniendo su corrimiento e incrementando, su resistencia. (Stupenengo, 2011)

La fibra de carbono que se usan actualmente como refuerzo para un material compuesto, se fabrica a partir de un polímero llamado poliacrilonitrilo, a través de un complejo proceso de calentamiento. En este proceso los hilos de fibra de carbono tienen un diámetro que varía entre 5 y 8 μm y están combinados en grupos que contienen entre 5000 y 12000 hilos. Estas mechas pueden retorcerse y formar tejidos, que tienen características como la alta resistencia mecánica y alta rigidez, pero al mismo tiempo son poco resistentes al roce y a impactos de poca energía.

- **Fibras orgánicas**

La aramida es un filamento orgánico que proviene de ciertos derivados del petróleo. Su nombre se deriva de las funciones orgánicas que poseen: aromático y amida. Se utilizan en las fibras de Kevlar.

El Kevlar es un polímero, químicamente similar al nylon T, este tipo de material sólo se fabrica como fibra, y tiene una alta resistencia térmica. Sus propiedades de tracción son superiores a las de las fibras textiles normales, debido a un alto grado de orientación molecular que se da por sus moléculas lineales rígidas y de su propensión a formar cristales líquidos durante la fricción en solución. (Stupenengo, 2011)

Su coeficiente de tracción es alto y cercano al de los de fibra de carbono, aunque su resistencia a la compresión es bastante débil. Además de los compuestos, sus aplicaciones incluyen ropa de seguridad, como son los chalecos antibalas, productos de fricción, cintas de transportadores, cables, cuerdas y telas de las velas de barcos. Otro tipo de fibra son las de aramida que tienen alta resistencia al impacto y la corrosión, también son extremadamente resistentes al ataque químico, exceptuando ácidos fuertes y bases a altas concentraciones.

- **Fibras naturales**

Cada vez se utilizan más materiales reforzados con fibras más económicas y de menor impacto medioambiental, por lo cual se están reforzando muchos polímeros con fibras provenientes de productos naturales como el lino o la fibra de coco; utilizándose más en la industria del automóvil, según una directriz establecida por la Unión Europea para el 2015, el 95 % de la masa de un vehículo debe ser reutilizable. Además, si las fibras de refuerzo provienen de vegetales, el impacto medioambiental total en la fabricación de las piezas es mucho menor. (Stupenengo, 2011)

Se está desarrollando mucha investigación a la fabricación de materiales compuestos completamente ecológicos. En ellos se refuerza la matriz del polímero natural con fibras de origen vegetal. Actualmente existen polímeros comerciales completamente ecológicos y se prevé que su producción aumente en el futuro. (Stupenengo, 2011)

- **Fibras animales**

Las fibras de origen animal han sido utilizadas por ser humano desde tiempos prehistóricos, entre las fibras animales más usadas están los pelos de diversas especies, secreciones de otras y cueros. Actualmente no existen muchas investigaciones que revelen las aplicaciones de estas en el campo automotriz, ya que normalmente las fibras animales se usan en la industria textil para hacer vestimentas, accesorios de belleza, etc y en otro tipo de industria para hacer cuerdas de guitarra por ejemplo, por lo que esta investigación resulta de gran interés. Entre el tipo de fibras animales están:

Lana: Se suele reservar este vocablo para nombrar el pelo que recubre el cuerpo de las ovejas. Las dos características más valoradas de la lana son su elasticidad y su capacidad para absorber la humedad

Pelo de camélidos: Tanto los laminos (alpaca, guanaco, llama y vicuña) como los camelinos (camello) proporcionan un pelo fino y ligero ya que, a diferencia de la lana, la fibra de estos animales es hueca.

Crin: Este pelo de caballo es fuerte y flexible; se utiliza para rellenos en tapicería, cuerdas, líneas en la caña de pescar, cepillos y pinceles, arcos de instrumentos musicales y tejidos como la crinolina. Que es el material que se usara para esta investigación.

Seda: Es el único filamento continuo producido por la naturaleza, gracias a la larva del gusano de seda. Puede medir entre 500 y 1.500 m de longitud.

2.5.1.c La interfaz



Figura 22. Microfotografía obtenida por microscopía electrónica de barrido de la superficie

Fuente: (Stupenengo, 2011)

Además de las características de la matriz y del refuerzo, las propiedades de los materiales compuestos dependerán de la interface entre estos dos componentes, como se puede ver en la figura 22. Si la interface no es fuerte, la transferencia de esfuerzos desde la matriz a la fibra no será la correcta y la matriz será la que soporte los esfuerzos, o se producirán agujeros en la interface, lo que llevará a que la pieza se rompa. Conseguir una buena interface no es trabajo fácil, ya que generalmente no se trata de materiales de familias iguales y la buena unión dependerá del buen contacto entre los átomos en la superficie de los dos materiales. Por esta razón existe un área de desarrollo de aditivos que sirven para cubrir las fibras de los

materiales, para que sean más compatibles con la matriz, y mejore las características de la superficie de contacto. (Stupenengo, 2011)

2.5.2 Clasificación de los materiales compuestos

Los materiales compuestos con fines estructurales se pueden clasificar; según el tipo de matriz como puede ser de: (i) matriz metálica, (ii) matriz cerámica y (iii) matriz polimérica y según el tipo de refuerzo, como pueden ser reforzados con partículas, reforzados con fibras y compuestos estructurales, como se muestra en la Figura 23 (Callister, 2007)

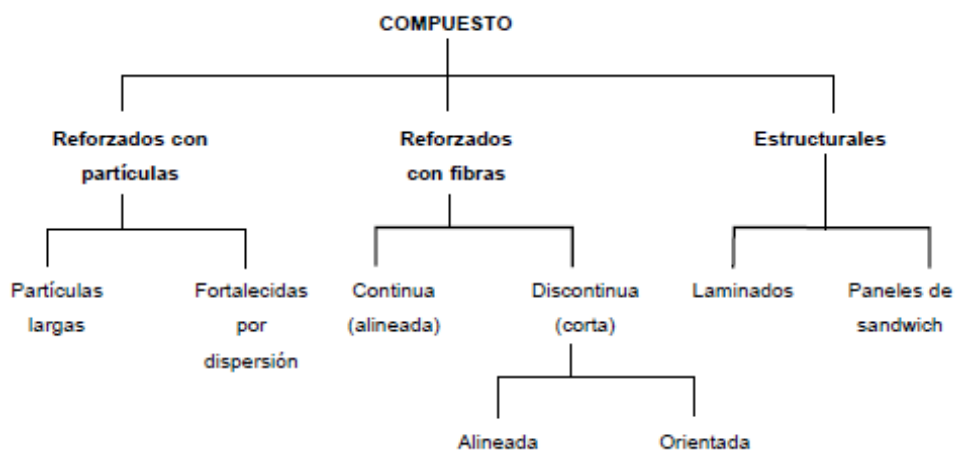


Figura 23. Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de refuerzo

Fuente: (Callister, 2007)

Los materiales también pueden no ser tratados como compuestos, sino que puede ser un material híbrido, y estos a su vez se subdividen en: (i) compuestos, (ii) materiales tipo sándwiches, (iii) enrejados y (iv) estructuras segmentadas, como se puede ver en la figura 24. (Ashby, 2011)

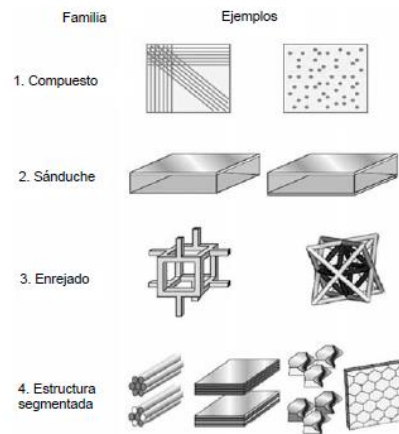


Figura 24. Clasificación de los materiales híbridos

Fuente: (Ashby, 2011)

2.5.3 Propiedades mecánicas que caracterizan a los materiales compuestos

Generalmente las estructuras están sometidas a cargas mecánicas y térmicas, por lo que deben soportar esfuerzos y deformaciones. La mecánica de materiales es la que se encarga del estudio de estos fenómenos y en muchos casos normalmente se asume que los materiales son homogéneos e isotrópicos, o sea, sus propiedades no varían con el cambio de la dirección de la carga aplicada. Aunque en realidad hay que considerar que si los materiales contienen algún tipo de refuerzo el comportamiento es diferente. Por eso, es importante comprender el comportamiento de los materiales que constituyen al compuesto, sus proporciones, su distribución, entre otros, para así definir las propiedades de un material compuesto y poder asignarle aplicaciones adecuadas. (Callister, 2007)

El mundo actual obliga a los investigadores a descubrir nuevos materiales para aplicar en las industrias como la aeroespacial, la automotriz, la exploración marina, la producción sustentable y sostenible, etc. Dentro de estas aplicaciones, una de las más importantes es la industria automotriz, ya que es la que más contaminación genera y el objetivo es disminuir el uso de combustible, por lo cual el objetivo es reducir la masa de los vehículos, con el uso de plásticos y compuestos de matriz polimérica. (Davila et al., 2011)

Además, la producción y utilización de estos materiales debe ser amigable con el ambiente. Muchos de los materiales tradicionales no cumplen con ciertos requisitos para considerarse aceptables, para ello es necesario combinar las propiedades de varios materiales en uno solo, esto se lo conoce como el principio de acción combinada. Los materiales compuestos han acompañado por mucho tiempo, como es el caso del acero perlítico, el concreto, la madera o la hidroxiapatita de los huesos del cuerpo humano. Se debe conocer como son afectadas las propiedades de un material, según sus constituyentes, para poder crear materiales que satisfagan las necesidades actuales. (Callister, 2007)

La mayoría de materiales compuestos son constituidos por dos materiales como mínimo: uno llamado matriz y el otro u otros que se conoce como refuerzo. Las propiedades del material compuesto están en función de las propiedades de sus constituyentes. (Davila et al., 2011)

2.5.4 Propiedades mecánicas que se visualizan en la intercara refuerzo-matriz

La configuración de la zona de la intercara es muy importante en un material compuesto. Esta configuración tiene un efecto a escala microscópica, con lo cual actúa directamente en las propiedades del material. (Zhang, W., Li, L. y Wang, T., 2011)

La intercara es la zona de unión, donde ocurre la discontinuidad, ya sea esta física, mecánica, química, etc. Esta es la parte es donde la matriz debe mojar al refuerzo, para lograr esto, se utilizan materiales de enlace o unión, para que se mejore inserción de la matriz en el refuerzo y así aumentar la superficie de intercara. (Larson, 2011)

Para conseguir propiedades mecánicas de características buenas, el esfuerzo aplicado debe ser direccionado desde la matriz al refuerzo por medio de la interfaz, por lo que intercara debe tener un tamaño significativamente grande. Asimismo, debe mostrar una gran adhesión entre el refuerzo y la matriz. La falla en la intercara, puede ser o no deseable, cuando se trata del comportamiento mecánico del material y se tienen necesidades específicas. (Larson, 2011)

La función de la intercara algunas veces puede ser diferente cuando se trata de materiales compuestos multifuncionales. Por ejemplo en el comportamiento eléctrico de un compuesto; si la intercara no es lo suficientemente buena, la resistencia del material se puede incrementar excesivamente. (Chung, 2010)

2.5.5 Propiedades de los materiales compuestos reforzados con partículas

Estas pueden tener cualquier forma en su geometría, pero son aproximadamente de las mismas dimensiones en todas direcciones. Para que el reforzamiento se mejore es preferible que las partículas sean pequeñas y estén bien distribuidas en la matriz. (Callister, 2007)

Generalmente, se utilizan refuerzos de partículas para mantener las buenas propiedades a altas temperaturas y por largos períodos de tiempo. Además, estas ayudan a reducir la contracción que sufren los materiales luego de un proceso de moldeo, asimismo, pueden elevar la dureza e incrementar la resistencia a la compresión. Por otro lado, si las partículas son relativamente suaves, se puede mejorar la lubricidad y la resistencia al desgaste. Usualmente las partículas tienen baja solubilidad en la matriz y hay que considerar que no deben ocurrir reacciones químicas entre los constituyentes. (Larson, 2011)

2.5.6 Propiedades de los materiales compuestos reforzados con fibras

Para los compuestos reforzados con fibras, varias de las propiedades cambian dependiendo del plano a lo largo del cual fueron aplicadas. Todos los materiales de refuerzo, ya sean estas fibras o partículas deben estar direccionadas de forma aleatoria, aunque esto es difícil de lograr en fibras discontinuas, dado el hecho que la mayoría de métodos de fabricación aplican una cierta dirección a las fibras. Las fibras continuas en forma de hojas o láminas se utilizan para, que el material compuesto se vuelva anisotrópico con una dirección definida que como se sabe está a lo largo del eje donde se aplica la carga. De esta manera, se puede orientar las fibras siguiendo la dirección donde se aplicará el mayor esfuerzo, lo cual permitirá también aumentar la eficiencia del refuerzo. (Larson, 2011)

2.6 Materiales compuestos matriz polimérica reforzados con fibras vegetales

2.6.1 Presente y futuro compuestos poliméricos reforzados con fibras vegetales

Debido al deterioro del medio ambiente, hay una tendencia mundial enfocada al desarrollo de tecnologías limpias, el empleo de recursos renovables y la optimización del uso de la energía.

En el estudio y desarrollo de nuevos materiales, el investigador debe conocer el impacto ambiental que causan estos y en sus procesos de manufactura. Y por eso es necesario que todo producto desarrollado haya pasado por un estudio previo, en el que se debe analizar el ciclo de vida de un material desde la obtención de materias primas hasta su fase de desecho y posible reciclaje. También hay que considerar que los temas medio ambientales están regidos y controlados por leyes normas y reglamentos que dependen de cada país o sector. (Niemann, y., Tichkiewitch, S., y Westkämper, E., 2009)

Las regulaciones medioambientales, dependen principalmente del parque industrial y su magnitud en cada zona. El punto de vista económico es importante, dado el hecho que con la tecnología adecuada las personas pueden utilizar al reciclaje como fuente de ingresos. (Davila et al., 2011)

En el proceso de reciclaje intervienen varios factores como son, la facilidad con la que se pueden separar los materiales que ya se han desechado, la conservación de las propiedades del material original, los posteriores usos del material reciclado y la tecnología que se necesita. Así se entiende de la importancia que tiene un material al término de su vida útil y es por eso que los materiales deben ser diseñado de una forma amigable con el medioambiente, y para que en lo posibles se reciclado o eliminado para su degradación después de terminada su vida útil. En este aspecto, las fibras vegetales son importantes, ya que al ser de origen natural, le permite tener ciertas propiedades ecológicas. (Davila et al., 2011)

La industria de los materiales aporta en gran medida a la vida cotidiana, como es el caso de los plásticos, que por ser versátiles son empleados en múltiples aplicaciones. Pero al ser producidos a base petróleo representan un porcentaje de contaminación muy alto para el ecosistema. Por eso se busca minimizar su uso y reforzar estos polímeros con fibras naturales, para así aprovechar su capacidad de biodegradarse y su capacidad de renovación. (Davila et al., 2011)

Por otro lado, las fibras naturales presentan una buena resistencia mecánica, bajo costo y poca masa. Esto hace que las fibras naturales sean atractivas a la vista de varias industrias. (CICO, 2009)

En Ecuador la investigación y desarrollo de materiales compuestos se hallan en sus fases iniciales, es por eso la utilización de fibras naturales es aún limitado. La obtención de fibras vegetales ha tenido un desarrollo lento, pero puede cambiar si se considera la gran capacidad que tiene el Ecuador para la producción de fibras naturales. Si bien en algunos casos la extracción de las fibras se ha industrializado, lo que se obtiene han sido empleado en productos de escaso valor agregado, y en otros casos, sólo se usa la parte alimenticia sin considerar siquiera la posible utilización de la parte fibrosa de las mismas, como sucede con el coco, cuya cáscara es considerada un desecho sólido. (Davila et al., 2011)

Es importante conocer que el Ecuador produce fibras naturales. En lo que se refiere a la fibra de abacá, el Ecuador ocupa el segundo puesto en el mundo detrás de Filipinas, con cerca de 10.000 toneladas anuales. (FAO, fao.org.ec, 2009)

En cuanto a la fibra de cabuya, en el año 2008 se produjeron cerca de 5.400 toneladas, según el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (La industria pone a prueba la resistencia de la cabuya, 2008) En cuanto al coco en el 2006 la producción anual aproximada sumó 51.000 TM. De acuerdo a la última investigación realizada por el MAGAP. (Ministerio de Agricultura, 2006)

Con estos datos, se puede determinar que el Ecuador dispone de una gran cantidad de materia prima en cuanto a fibras naturales para el estudio y desarrollo de materiales compuestos.

La principal aplicación de los plásticos biodegradables y reforzados con fibras vegetales es para la fabricación de empaques, envases, películas para alimentos y aplicaciones agrícolas. Una de las nuevas aplicaciones es utilizar estos polímeros para la elaboración de artefactos, juguetes, bandejas, partes de equipo electrónico y de interiores de automóviles. Por ejemplo, en el sector automotriz, siempre se han usado los termoplásticos; por lo que se ha buscado utilizar más los polímeros biodegradables reforzados con fibras naturales, esto para que, al final de su vida útil pueden ser enterrados y degradados de forma natural por los microorganismos, reduciendo el impacto medioambiental. (Davila et al., 2011)

Por todo esto, es importante que se realicen estudios y se desarrollen plásticos reforzados con fibras naturales, ya que esto marca una perspectiva de futuro para el Ecuador en el desarrollo de la biotecnología. Esto es importante en un país que dispone de una diversidad de residuos agroindustriales para la síntesis y obtención de polímeros biodegradables. (Davila et al., 2011)

2.6.2 Fibras vegetales

2.6.2.a Clasificación de las fibras vegetales

Las fibras vegetales son hilos que están hechos de células largas y delgadas, que son parte de las plantas y cumplen funciones específicas entre ellas las de dar soporte, dar rigidez y dar dureza a los tejidos vegetales. Dependiendo de la parte de la planta en la que se encuentre, tienen diferentes características y propiedades, por lo que se las puede clasificar en tres grupos: las fibras blandas, duras y de superficie. (Mancía, 2006)

Las fibras blandas.- Estas se extraen del líber de los tallos de las plantas dicotiledóneas. Están localizadas en la zona liberiana del tallo y actúan como una estructura, que le da resistencia y rigidez. Se las llama blandas por su textura delicada al tacto, elasticidad, su flexibilidad y su finura. Como ejemplos tenemos al lino, al ramio, al yute y al cáñamo (Mohanty, A., Misra, M. y Drzal, L., 2009). Estas fibras conforman una red que está localizada en una parte del floema, como se puede ver en la Figura 25.

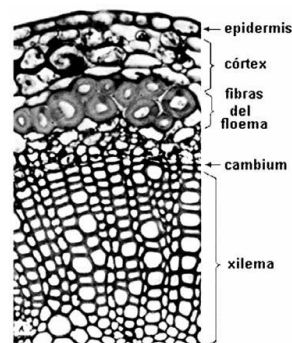


Figura 25. Fibras floemáticas en corte de un tallo de lino

Fuente: (Mohanty, A., Misra, M. y Drzal, L., 2009)

Las fibras blandas generalmente son extraídas mediante un proceso de enriado, en el cual se colocan los tallos en remojo en el curso del agua de ríos con poca corriente para que su corteza se descomponga por efecto de la degradación microbiana, dejando libres a los filamentos de fibra. (Salazar, Caracterización de la fibra de ramio y estudio del efecto del tiempo de cosecha sobre sus propiedades mecánicas, 2010)

Las fibras duras.- Constituyen las hojas de ciertas plantas como la cabuya, el plátano, el abacá y el formio. Estas fibras casi siempre tienen un mayor grosor, aspereza y rigidez, ya que poseen una gran cantidad de lignina. Estas fibras son obtenidas con el uso de maquinaria industrial en un proceso que permite descortezar la planta. (Mancía, 2006)

Las fibras de superficie.- Estas hacen referencia a los pelos que están en la epidermis de las semillas, como es el ejemplo, el algodón. (Mancía, 2006). En la tabla 4 se puede ver la localización de las fibras dentro de la planta.

Tabla 4

Algunos especies de fibras naturales y su localización en la planta

F. Blandas	F. Superficie	Otras	F. Duras	
Cáñamo	Algodón	Palma de aceite	Abacá	Esparto
Linio	Algodoncillo	-	Cuarua	Bambú
Ramio	Kapok	Coco	Sisal	Bejuco
Tallo	Semillas	Fruto	Hojas	Caña
Kenaf	-	-	Formio	Bagazo

Fuente: (Mohanty, A., Misra, M. y Drzal, L., 2009)

En general, la longitud de las fibras puede variar, llegando a ser mayor a 100 cm, y con un grosor de aproximadamente 1 mm o menos. Estas pueden ser sumamente largas, manteniendo una relación de 1000 entre la longitud y el ancho. Como es el caso del lino, cáñamo, ramio, yute y kenaf.

Las fibras naturales, también pueden ser clasificadas según su uso y aplicación comercial. (Mancía, 2006), como se indica a continuación:

- Cestería: Es la confección de productos tejidos con fibras vegetales, por ejemplo canastas, esteras y sombreros.
- Cordelería: Consiste en el trenzado de las fibras para elaborar cuerdas, sogas y otros materiales para ataduras y amarres.
- Techado de casas.
- Fabricación de escobas.
- Material para el relleno de colchones, almohadas y utensilios para montar caballerías.
- Textil, tal como la confección de productos tejidos, por ejemplo para elaborar telas, ropa, calzado o alfombras.

- Construcción de embarcaciones.

2.6.3 Compuestos químicos que forman las fibras vegetales

Estas están conformadas básicamente por celulosa, hemicelulosa y lignina, por lo que se las puede llamar fibras lignocelulósicas. También, su estructura está constituida por algunos elementos en menores cantidades como son las proteínas, las ceras, las resinas y uno que otro producto inorgánico. Los compuestos químicos de las fibras cambian de acuerdo a varios factores como son: la edad de la planta, la especie a la que pertenece y las condiciones climáticas, pero generalmente la relación entre la celulosa, hemicelulosas y lignina tiene un valor aproximado de 4:3:3. La cantidad en la que estos componentes se encuentran dentro de las fibras, permiten determinar el comportamiento que las fibras van a presentar al ser sometidas a diferentes aplicaciones en la industria. (Davila et al., 2011) En la Tabla 5 se puede ver el contenido de algunos de los principales componentes que se encuentran en algunas fibras vegetales.

Tabla 5

Composición química en porcentaje de algunas fibras vegetales

Fibra	Celulosa (% en peso)	Hemiselulosa (% en peso)	Lignina (% en peso)
Lino	71,2	18 – 20	2,2
Cáñamo	70 – 75	17 – 22	3,7 – 5,7
Yute	61 – 71	13 – 20	8,1 – 5,7
Kenaf	45 – 57	21	8 – 13
Ramio	68 – 76	13 – 16	0,6 – 0,7
Abacá	63 – 70	21 – 21	5 – 6
Sisal	67 – 78	10 – 14	8 – 14
Algodón	82 – 93	3 – 6	---
Bambú	35 – 61	15	27 – 32
Coco	32 – 43	0,15 – 0,25	40 – 45
Banana	63 – 64	10	5
Formio	71,3	---	---

Fuente: (Páez, 2007)

2.6.3.a Celulosa

Es un polisacárido que no se puede disolver en agua, rígido y además tiene un peso molecular variable. Su estructura es igual a la de un homopolímero lineal. La unión de estas unidades llega a conforma la celobiosa, repitiéndose esta de manera igual en la cadena polimérica, tal como se puede visualizar en la Figura 26, en donde se enseña la configuración de la celulosa en forma de silla. (Hans, 1996)

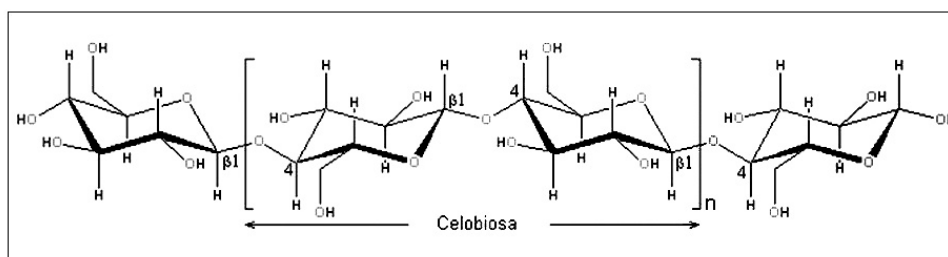


Figura 26. Estructura química que conforma la celulosa

Fuente: (Hans, 1996)

Las cadenas de celulosa son sintetizadas por la enzima celulosa sintasa, la que tiene como función formar microfibrillas, filamentos delgados y largos de celulosa en la que se agrupan de entre 50 moléculas con una orientación definida y que otorgan a los tejidos vegetales su respectiva resistencia a tensiones mecánicas. Algunos estudios indican que dichas microfibrillas contienen dos regiones claramente diferenciadas. Una de ellas la constituyen moléculas de celulosa altamente ordenadas, llamadas zona cristalina y la otra constituida por moléculas de celulosa notablemente menos ordenadas llamada región amorfa. (Salazar, Caracterización de la fibra de ramio y estudio del efecto del tiempo de cosecha sobre sus propiedades mecánicas, 2010).

La región ordenada o cristalina genera sobre las fibras fibra celulósica propiedades como, la tenacidad, la elongación y la elasticidad, Por otro lado, a las áreas amorfas se las asocia con características de hinchamiento y reactividad. (Hans, 1996). Cuando las fibras tiene un alto contenido de celulosa, se consiguen propiedades como las que se visualizan en la Tabla 6

Tabla 6*Algunas de las propiedades que la celulosa le adiciona la fibra natural*

Fibra con alto contenido de celulosa	
Ventajas	Desventajas
Gran capacidad de absorber humedad	Baja resiliencia
Capacidad de soportar altas temperaturas	Susceptible a daños por ácidos minerales y orgánicos
Bajo volumen	Alta flamabilidad
Buen conductor de la electricidad	Resistencia moderada a la luz solar

Fuente: (Salazar, 2010)

2.6.3.b Hemicelulosa

Son polisacáridos que componen las paredes celulares de las plantas. A pesar de ser similares a la celulosa, las hemicelulosas son de menor masa molecular, y presentan una mayor capacidad de disolución en agua y su extracción es más fácil y su descomposición también. Además, muestra una estructura heterogénea y está conformada por varios tipos de monómeros. (Guerrón, Caracterización y modificación alcalina de la fibra de abacá variedad bungalowón para la elaboración de hilo artesanal, 2005)

Al ser las hemicelulosas carbohidratos, un contenido alto en el material que las contenga puede facilitar el desarrollo de hongos y su descomposición si no se mantienen condiciones correctas de humedad y temperatura al momento de ser almacenadas. (Guerrón, Caracterización y modificación alcalina de la fibra de abacá variedad bungalowón para la elaboración de hilo artesanal, 2005)

2.6.3.c Lignina

Es un polímero mixto y está conformado por grandes y ramificadas moléculas, con una estructura compleja, y por eso no se le ha descrito una estructura definida. Su función es dar un soporte a la estructura de las plantas, dado que trabaja como un constituyente intercelular insertante de las células fibrosas, también le da al tallo una resistencia al aplicar esfuerzos de impacto, compresiones y flexiones. También da rigidez a la pared celular y le da una

protección al ataque de materiales químicos como al ataque de microorganismos a la célula evitando que ingresen a la planta enzimas destructivas. (Salazar, Caracterización de la fibra de ramio y estudio del efecto del tiempo de cosecha sobre sus propiedades mecánicas, 2010)

2.6.3.d Ceras, grasas y resinas

Son sustancias cuya solubilidad es muy difícil en el agua que cubren la epidermis de frutos y tallos de los vegetales, y su trabajo es impedir la evaporación del agua en las plantas, repeler parásitos y proteger contra ataques mecánicos a las células que conforman la epidermis. (Claude, 2000)

Las ceras son tan solo un porcentaje pequeño de los elementos que conforman las fibras. Las grasas a su vez están formadas por triésteres del glicerol y ácidos grasos y las resinas son sustancias que secretan las plantas al sufrir un proceso de polimerización y que posteriormente se secan y dan lugar a materiales sólidos, duros y quebradizos. (Salazar, Caracterización de la fibra de ramio y estudio del efecto del tiempo de cosecha sobre sus propiedades mecánicas, 2010)

La existencia de estos materiales en las fibras de las plantas, influyen positivamente en su apariencia física y les otorga características de lustre y sedosidad, y estos cual aumenta su valor para la industria textil, ya que facilitan su manejo. (Salazar, Caracterización de la fibra de ramio y estudio del efecto del tiempo de cosecha sobre sus propiedades mecánicas, 2010)

2.6.3.e Cenizas

Son todo el material inorgánico, como son los minerales que contienen las fibras y que al momento de la combustión de las fibras arden ni tampoco se evaporan y son los residuos sobrantes de la calcinación. Dentro de estos minerales están el potasio, el calcio, el magnesio y todos los minerales que son importantes para el correcto crecimiento de la planta. (Guerrón, Caracterización y modificación alcalina de la fibra de abacá variedad bungalanón para la elaboración de hilo artesanal, 2005)

La Tabla 7 indica cómo afecta la existencia de los principales constituyentes de las fibras vegetales en sus propiedades mecánicas.

Tabla 7

Características añadidas por los constituyentes químicos en las propiedades mecánicas de las fibras vegetales

Resistencia	Celulosa cristalina Celulosa no cristalina Hemicelulosa + lignina Lignina
Degradación térmica celulosa	Hemicelulosa Lignina
Degradación biológica	Hemicelulosa Celulosa no cristalina Celulosa cristalina Lignina
Absorción de humedad	Hemicelulosa Celulosa no cristalina Lignina Celulosa cristalina
Degradación UV	Lignina Hemicelulosa Celulosa no cristalina Celulosa cristalina

Fuente: (Baillie, 2004)

2.6.4 Propiedades mecánicas de las fibras vegetales

Las fibras tienen características relacionadas a su naturaleza, como se ve en la tabla 8, las mismas que expresaran su utilidad o no en el momento de ser utilizadas como material de refuerzo de matrices poliméricas. Estas características se hallan relacionadas con las propiedades mecánicas que pueden añadir a la matriz, como es la resistencia a la tracción, flexión, compresión e impacto. Es importante tener en cuenta, al momento de seleccionar una

fibra como refuerzo, algunos parámetros como: la facilidad de su producción y el rendimiento que estas aportaran. (Davila et al., 2011)

Tabla 8

Ventajas y desventajas de usar fibras naturales como material de refuerzo para el desarrollo de materiales compuestos

Ventajas	Desventajas
Sostenibilidad	Baja resistencia al agua
Generan un bajo consumo de CO ₂	Alta absorción de agua
Son biodegradables	Baja estabilidad dimensional
Requieren un bajo consumo de energía	Pobre interfaz
No quedan residuos tóxicos al quemarlas	Dureza
Su densidad es baja	Dificultad en su procesamiento
Poseen buenas propiedades mecánicas	Calidad heterogénea
No son tóxicas ni abrasivas	Demanda y ciclos de suministro variables
Tienen bajo costo	Presentan alta flamabilidad

Fuente: (Baillie, 2004)

Actualmente las fibras artificiales son las que normalmente se usan en la industria gracias a sus excelentes propiedades y por la facilidad con la que se fabrican, pero han comenzado a ser sustituidas por fibras vegetales, dado que presentan algunas ventajas en comparación a las fibras artificiales, como se puede ver en la Tabla 9

Tabla 9

Comparativa entre fibras vegetales y la fibra de vidrio

Cualidades	Fibras naturales (FN)	Fibra de vidrio
Densidad	Baja	Doble que las FN
Costo	Bajo	Bajo, mayor a las FN
Renovable	Si	No
Reciclable	Si	No
Consumo de energía	Bajo	Alto
Abrasión a máquinas	No	Si
Eliminación	Biodegradable	No biodegradable

Fuente: (Baillie, 2004)

Como indica la tabla 9, las fibras naturales son, en bajo todos los parámetros, mejores que las fibras sintéticas, y esto se puede evidenciar en la tendencia del mercado de apreciarlas más

y seleccionarlas para nuevas aplicaciones. En la Tabla 10 se realiza una comparación entre las propiedades mecánicas de varias fibras vegetales y sintéticas. (Davila et al., 2011)

Tabla 10
Comparación entre propiedades de las fibras vegetales y fibra de vidrio

Fibras	Densidad (g/cm³)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Elongación Fractura (%)	Absorción de humedad (%)
Vidrio – S	2,5	2000 - 3500	70	2,5	---
Vidrio – E	2,5	4570	86	2,8	---
Aramida	1,4	3000 - 3150	63 - 67	3,3 – 3,7	---
Carbón	1,4	4000	230 - 240	1,4 – 1,8	---
Cáñamo	1,4	690	35	1,6	8
Yute	1,3	393 - 773	26,5	1,5 – 1,8	12
Ramio	1,5	400 - 938	61,4 - 128	3,6 – 3,8	12 – 17
Coco	1,2	175 - 220	4 – 6	15 – 30	10
Sisal	1,5	511 - 635	9,4 – 22,0	2,0 – 2,5	11
Abacá	1,3	400 - 1289	45	2,7	8 – 10
Lino	1,5	345 - 1035	27,6	2,7 – 3,2	7
Algodón	1,5	393 - 773	26,5	7 – 8	8 – 25

Fuente: (Páez, 2007)

A pesar de que las propiedades mecánicas mostradas por las fibras artificiales son más altas a las mostradas por las fibras vegetales, hay que resaltar que las vegetales son aproximadamente un 50% más livianas que las de vidrio, lo que significa un aumento de la eficiencia del material, que para las industrias como la automotriz y aeronáutica deben de ser resistentes y livianos. Otra ventaja de las fibras naturales sobre las sintéticas es que son menos costosas y requieren menor consumo de energía, lo que significa un bajo costo de procesamiento y en un reducido impacto en el ecosistema. (Davila et al., 2011)

Como se puede ver en la Figura 27 las curvas esfuerzo vs deformación para algunas fibras vegetales, (Pickering, 2008), y en la Figura 28 se ve las curvas esfuerzo vs deformación de un material de matriz PLLA, reforzado con kenaf y otro reforzado con hoja de kenaf. (Baillie,

2004). Y como se puede ver la resistencia de la hoja de kenaf es menor en comparación a la resistencia del material compuesto.

Hay que indicar que el compuesto fue reforzado con fibras de kenaf, recalcando que el uso de las fibras incrementa la resistencia mecánica. Así se puede entender lo importante que es la extracción de las fibras, ya que si se utilizara directamente la hoja de kenaf, las propiedades finales no serían las mismas.

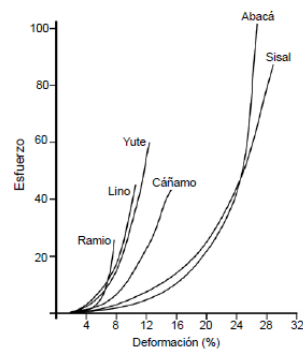


Figura 27. Curva esfuerzo vs. Deformación para algunas fibras naturales (los valores de resistencia son relativos)

Fuente: (Pickering, 2008)

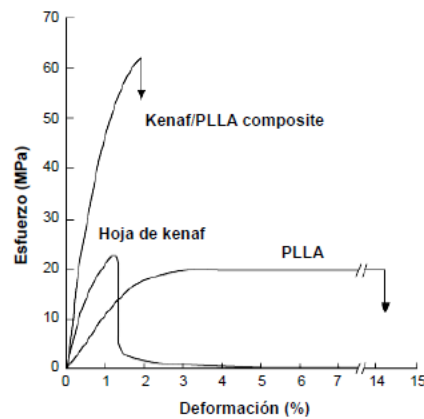


Figura 28. Curva esfuerzo vs deformación de un compuesto kenaf/ PLLA con un contenido de fibra del 70% en volumen

Fuente: (Baillie, 2004)

2.7 Fibras animales

2.7.1 Lana

Las fibras de origen animal, comprenden a las lanas producidas por los ovinos y una serie de fibras especiales, dentro de las cuales, las de mayor importancia son las caprinas como son el Mohair, las camélidas como la llama, alpaca, guanaco, vicuña y otro tipo de fibras, como la del conejo de angora, la chinchilla, el quiviut, producida por el buey almizclero y la del gusano de seda. Todos estos tipos de fibras son usados en la industria para confeccionar productos tales como sacos, mantas, guantes, calcetines, suéteres, etc (Bavera, 2006)

Además las la lana tiene características especiales que la hacen amigable con el medio ambiente como son:

Es renovable.- No depende de una fuente que se agota con su explotación, como los hidrocarburos que proveen la materia prima para fibras elaboradas por el hombre.

Es biodegradable.- Al ser una materia orgánica que no contamina. Si bien se destaca por su resistencia y durabilidad, si se la abandona, se integra al medio como proteína que se incorpora al ciclo biológico de otros seres vivos. (Bavera, 2006)

2.7.1.a Propiedades de la lana

Aislante: Es aislante del frío como del calor. Gracias a su capacidad higroscópica, las fibras absorben la humedad ambiente y corporal, generando una interfase de aire seco, que se comporta como aislante térmico. También al, ser la evaporación de la transpiración, el mejor método de enfriamiento del cuerpo y al ser absorbida esa evaporación por las células cuticulares de la lana, se mantiene una temperatura corporal uniforme. (Bavera, 2006)

Repelente del agua,- La disposición de las células escamosas que recubren la superficie de la lana, hacen rodar los líquidos, impidiendo la penetración del agua.

Resistente al fuego.- La lana es un elemento que no se inflama ni se derrite. En contacto con el fuego forma un botón carbonoso. Esta característica es una de las más utilizadas en la práctica, por lo que se usa para la fabricación de alfombras. (Bavera, 2006)

Resiliencia.- La lana es naturalmente elástica, por ello puede ser retorcida y estirada regresando a su forma normal más que cualquier otra fibra; en ambientes húmedos hasta un 70% y en secos hasta un 30%. Gracias a esto es que las prendas de lana representan libertad de movimiento. (Bavera, 2006)

Aislante contra ruidos.- Se ha comprobado que es capaz de absorber sonidos, en virtud a la interfase aire - fibra, razón por la cual al reducir los niveles de ruido, se emplea en forma de láminas en teatros y auditorios. (Bavera, 2006)

Fácil teñido.- La lana como materia prima textil debe ser blanca. La presencia de fibras coloreadas se considera un defecto serio, que se castiga en el precio; por lo tanto es apta para ser teñida con facilidad, por una amplia gama de colores. (Bavera, 2006)

2.7.2 Crin de caballo

Se llama así al pelo largo y grueso que le crece a algunos mamíferos en el cuello de, en como en este caso a los caballos, como se aprecia en la figura 29. En este último caso, también reciben ese nombre los pelos que se localiza en la parte de la cola.

Desde muchas décadas atrás el hombre le ha dado muchos usos a los pelos del caballo, entre estos los más destacados son para la fabricación de tapicería, accesorios para instrumentos musicales, brochas y pinceles, y también en la industria de la construcción como material de recubrimiento para ambientes y que aún se pueden ver en varios edificios antiguos. (Educalingo.com)



Figura 29. Crin de melena y cola de caballo

Fuente: (Educalingo.com)

Los crines de los caballos pueden ser muy muy finas y flexibles o por el contrario muy gruesos y rígidos; pero se podría generalizar diciendo que el pelo del cuello es más suave y pequeño que el de la cola. Las características del crin depende de varios factores como son raza, la forma de crianza que ha tenido el caballo, la alimentación y muchas de las veces hasta del clima donde vive. Otro de los factores que afecta la calidad y sensación al tacto después de haber sido cortado de la melena del caballo es la forma en la que ha sido procesado. (Educalingo.com)

El crin es una fibra, y tiene la característica de que puede absorber agua lentamente, pero al mismo tiempo se la puede teñir y dar colores usando tintes y pinturas que tradicionalmente se usan en otro tipo de fibras de proteínas. (Educalingo.com)

2.7.2.a Usos del Crin

En Escandinavia, los campesinos y los pescadores lo usaban para hilar, para pescar, para tamizar la leche, mitones de pesca, calcetines, riendas de caballo y alfombras para caballos. Las telas de tapicería con crin como trama han sido utilizadas principalmente por las clases más ricas, aplicadas básicamente como abrigos y crinolinas de caballero. (Kerstin, 1998)

Las crines son utilizadas en las artes de trenzado de crines para dressage, cerámica, y en la confección de artículos de joyería tales como brazaletes, collares, aros y barrettes. Se utilizan para fabricar ciertos pinceles de brocha gorda y pinceles para pintura artística, para

confeccionar arcos de violines y otros instrumentos de cuerda de frotación. La pintura es una de las áreas en la cual las crines son aún muy utilizadas en la actualidad. (Bailon, 2017)

Los guantes tejidos con crin eran muy populares en los climas fríos ya que es muy buen aislante térmico, poseen aceite natural y una estructura rígida que permite realizar tejidos cerrados de forma que sean resistentes al paso del agua y también sean abrigados. Además este tipo de fibras absorben el agua a una velocidad menor que otros materiales lo que las hace atractivas para la pesca.

2.8 Fibras producidas en Ecuador

En los últimos años se ha creado una demanda mundial por las fibras naturales, esto debido al impacto que las fibras sintéticas han creado sobre el planeta, pues según estudios se ha demostrado que estos filamentos tardan más de 500 años en descomponerse. Esto significa una gran oportunidad para el potencial que tiene el Ecuador en esta área, ya que según varias investigaciones han descubierto cerca de 25 mil especies de plantas vasculares, y tan solo 25 de estas son producidas y utilizadas comercialmente. Como es el caso de la cabuya, abacá, totora, paja toquilla, algodón, bambú y seda. (Acosta, 1971)

A continuación se presentan algunas de las fibras vegetales de mayor importancia comercial y que pueden ser incorporadas como refuerzo en la elaboración de materiales compuestos:

2.8.1 Abacá (*Musa textilis*)

Este tipo de fibra como se puede ver en la figura 30, es de color habano claro, fina y brillante. Tiene gran valor económico para la industria textil gracias a sus propiedades de resistencia mecánica, flotabilidad, resistencia al daño ocasionado por agua salada y gran longitud, ya que puede llegar a medir más de 3 metros. (Páez, 2007)

Este tipo de fibra se clasifica según su calidad, en 5 categorías que van en aumento según su grado de calidad. El grado 1 hace referencia a los de mejor calidad y características, y se

presentan como fibras finas, de color habano brillante claro. Su método de obtención es un proceso laborioso, y consiste en cortar los tallos en tiras, para posteriormente pasar por un desfibrador mecánico en donde se remueve su corteza y pulpa y al final solo quedan las fibras, las cuales son finalmente lavadas y secadas. (Ponton, 2009)



Figura 30. (a) Fibras y (b) planta de abacá (*Musa textiles*)

Fuente: (Ponton, 2009)

Tal como se indica en la Figura 31, el abacá se emplea para hacer sogas, bramantes, cordeles, líneas de pesca y redes, así como tela para sacos. Su pulpa es muy utilizada para hacer papel para filtros de cigarrillos, bolsas de té, pieles de salchichas, y papel moneda (El yen Japonés contienen hasta un 30% de abacá). Actualmente se encuentra en desarrollo el mercado de ropa, cortinas, pantallas y tapicería de abacá. (FAO, fao.org.ec, 2009)



Figura 31. Algunas aplicaciones de la fibra de abacá

Fuente: (FAO, fao.org.ec, 2009)

2.8.2 Yute (*Corchoruscapsularis*)

La fibra de yute es llamada también fibra dorada, esto gracias a su color y su aspecto suave y brillante. Llega a tener una longitud de hasta 4 metros y es reconocida por su fortaleza y propiedades altamente aislantes y antiestáticas. Al ser esta fibra de textura rígida y áspera, no

es una buena para textiles, por ello su uso se ha centrado en la fabricación de cordeles, tapetes, sacos de empaque y geotextiles. En una investigación reciente del Instituto Tecnológico de Aeronáutica de Brasil en la que se pudo construir la primera carrocería completamente con fibra de yute del mundo, que se ve en la figura 32, en esta investigación se logró una reducción del 15% en el consumo de combustible, gracias a que se logró una disminución de la masa en comparación al metal con el que regularmente son construidos los automóviles. (Davila et al., 2011)



Figura 32. Primer auto construido con fibra de yute

Fuente: (Davila et al., 2011)

2.8.3 Sisal (Agave sisalana)

Este tipo de fibras son de color amarillo, crema o blanco y tiene una textura suave. A pesar de que se degradadas en el agua salada tiene una gran resistencia y flexibilidad. (Mohanty, A., Misra, M. y Drzal, L., 2009)

Normalmente se la usa para la elaboración de sogas, alfombras y piezas artesanales. Aunque, su aprovechamiento más importante se ha direccionado a la producción de muebles, estantes y piezas para la industria automotriz tales como paneles y revestimientos internos, como también para la elaboración de elementos de barcos. Algunas de estas aplicaciones se pueden ver en la Figura 33. (Davila et al., 2011)

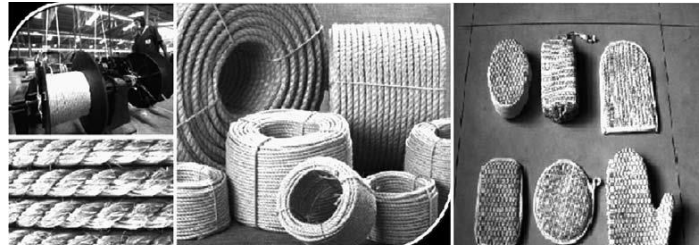


Figura 33. Algunas aplicaciones de la fibra de sisal

Fuente: (Davila et al., 2011)

2.8.4 Coco (Cocos nucífera)

La fibra de coco es de color café claro y se vuelve más oscura a medida que el fruto avanza en su maduración. Normalmente tienen una longitud de entre 10 y 30 cm, además son ligeras, fuertes y duraderas.

Tienen un alto contenido de lignina en relación a otras fibras, por esta razón se vuelve áspera al tacto y un poco rígida. En cuanto los usos que se le da pueden ser productos artesanales, cuerdas, como también productos no tejidos como son colchones, asientos de autos, alfombras, y más. Además se pueden tener materiales compuestos con diferentes matrices poliméricas. Algunos de estos ejemplos se pueden observar en la Figura 34. (Davila et al., 2011)

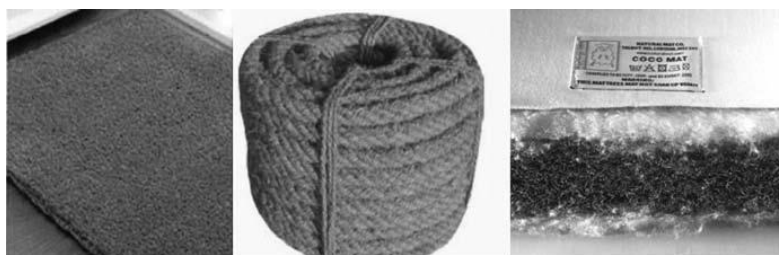


Figura 34. Algunas aplicaciones de la fibra de coco

Fuente: (Davila et al., 2011)

2.9 Tejidos y no tejidos producidos a partir de fibras naturales

Los materiales fibrosos son la mejor alternativa como refuerzo de matrices poliméricas, ya que se ha demostrado que mientras más finos son los materiales, éstos tienden a presentar un

menor número de defectos que puedan inducir a fallas. A pesar de eso, la utilidad estructural de las fibras no es lo bastante aprovechada si por supuesto éstas no se encuentran unidas por una matriz. (Levy, 2006)

La configuración en la que se colocan dentro de la matriz también es un factor determinante para las características y propiedades finales que el material presentará. Dentro de estas configuraciones pueden ser las fibras cortas, largas, tejidas y no tejidas. También, es posible tener numerosas modificaciones por el entrelazamiento de las fibras, con que se tendrá como resultado materiales compuestos con diferentes características y propiedades mecánicas. (Levy, 2006)

El principio básico de los tejidos según la figura 35, consiste en entrelazar los filamentos fijos longitudinalmente, conocidos como urdimbre, con los filamentos horizontales, llamados trama, pasando estos últimos por encima y por debajo de los hilos de urdimbre en distintas configuraciones. Básicamente existen tres tipos de tejidos; el tipo plano, el tipo satén y el tipo diagonal o sarga. Cada uno de ellos tiene variaciones que modifican las propiedades mecánicas de estas láminas utilizadas como refuerzos. (Levy, 2006)

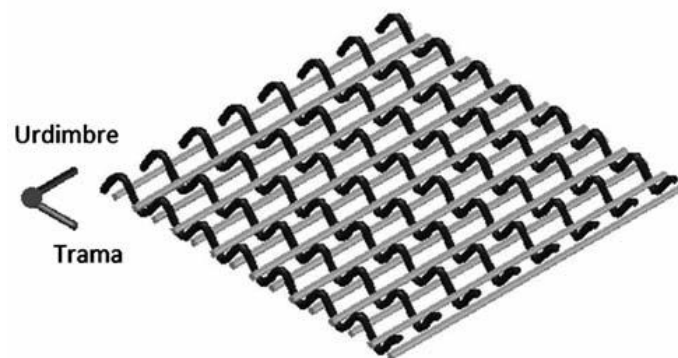


Figura 35. Diseño esquemático de un tejido

Fuente: (Levy, 2006)

2.9.1 Tipos de tejidos

2.9.1.a Tejido plano

La forma en la que se hacen los tejidos planos es la más simple, se colocan varias líneas de urdimbre, una paralela a la otra y las líneas de la trama pasan por encima y por debajo de la urdimbre de manera intercalada, de tal manera que la primera línea de la trama comenzara por debajo de la primera línea de la urdimbre, luego por encima de la segunda línea de urdimbre, luego por debajo de la tercera línea de urdimbre y así hasta la última línea de urdimbre y la segunda línea de la trama comenzara por encima de la primera línea de urdimbre, luego debajo de segunda línea de urdimbre y así hasta la última línea de urdimbre. Este tipo de tejidos lleva un mayor número de entrecruzamientos de las fibras, lo que puede producir que se reduzca la resistencia y rigidez de las fibras. (Levy, 2006)

Se puede decir también que, este tejido es simétrico y presenta tres variaciones: tejido tipo basket, tipo oxford y tipo leno. En la Figura 36 se muestra la estructura básica de un tejido plano. Los tejidos tipo basket como se puede ver en la Figura 37 utilizan un patrón de tela plano. Este está formado por dos o más filamentos de urdimbre por columna y/o dos o más filamentos de trama por fila.

Los tejidos tipo Oxford que se muestra en la Figura 37 utilizan dos filamentos en una columna y un filamento por fila. Por último se tiene el tejido tipo leno, mejora la estabilidad de tejidos que presentan una urdimbre muy abierta, es decir, el número de filamentos en esa dirección es reducido. En este caso los filamentos adyacentes de la urdimbre son entrelazados por filamentos de trama torcidos formando un par espiral que deja a la urdimbre y a la trama bloqueadas de tal forma que se evita cualquier movimiento.

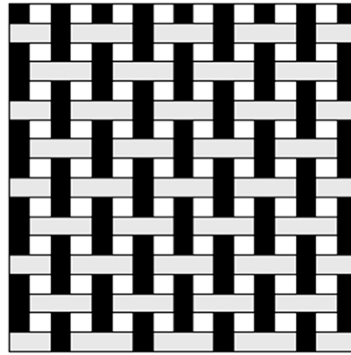


Figura 36. Forma básica que describe un tejido plano

Fuente: (Levy, 2006)

Los tejidos tipo leno regularmente se los usa en combinación con otros tipos de tejido porque estos tienen una gran abertura de malla. En la figura 37 se puede visualizar las variaciones de los tejidos del tipo plano.

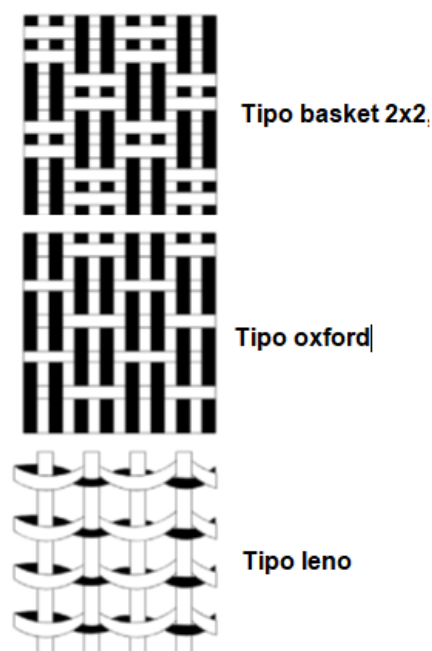


Figura 37. Variaciones del tejido plano

Fuente: (Levy, 2006)

2.9.1.b Tejido sarga

Este tipo de tejido se logra al pasar una línea de trama sobre dos de urdimbre, después por debajo de una de urdiembre y luego por sobre dos líneas de urdiembre. El proceso de repite

para la segunda línea de trama solo que una línea de urdiembre más adelante. En esta configuración se observa como líneas diagonales en el tejido, razón por la cual es llamado también tejido diagonal. (Levy, 2006) En este tipo de tejidos se tienen una configuración muy compacta que presentan una buena resistencia a la abrasión y al desgaste, como se muestra en la figura 38.

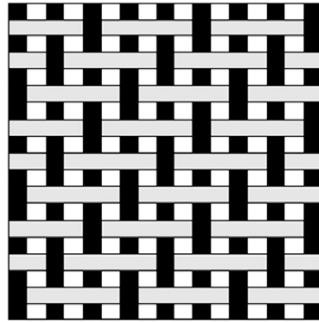


Figura 38. Forma básica que describe un tejido sarga o diagonal

Fuente: (Levy, 2006)

El tejido tipo sarga tiene algunas variaciones, y estas se muestran en la figura 39.

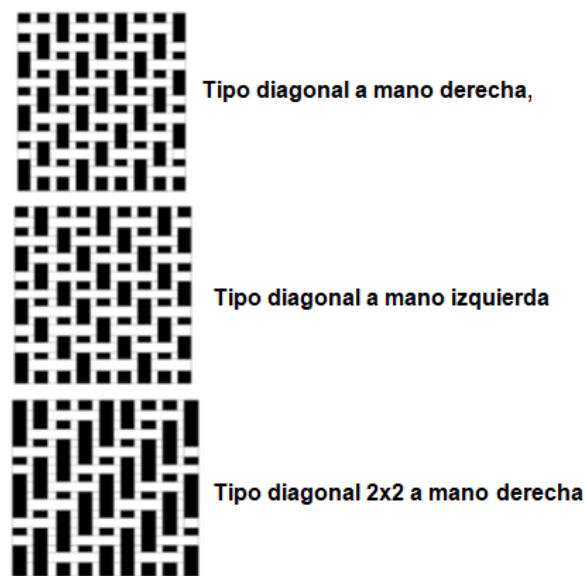


Figura 39. Variaciones del tejido sarga o diagonal

Fuente: (Levy, 2006)

2.9.1. c Tejido satén

En el tejido de tipo satén o raso que se ve en la figura 40, se hacen series de entre 5 y 8 líneas de urdimbre. De esta forma la línea de trama solo pasara una vez por encima de la primera línea de urdiembre en la primera serie y la segunda pinea de trama por encima de la segunda línea de urdiembre en la segunda serie y así sucesivamente. De ahí es la razón por la cual, al tener la urdimbre pocos cruzamientos con la trama, la superficie del tejido se ve brillante. (Levy, 2006)

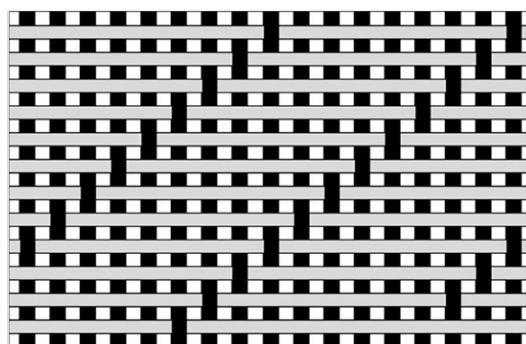


Figura 40. Forma básica que describe el tejido satén o raso

Fuente: (Levy, 2006)

En la Tabla 11 se muestra un cuadro comparativo de las propiedades de los tejidos cuando estos son usados como refuerzos en materiales compuestos.

Tabla 11

Propiedades comparativas de algunas formas de tejido de refuerzo utilizada en materiales compuestos

Propiedad	T. Plano	T. Diagonal	T. Satén	T. Basket	T. Leno
Estabilidad	4	3	2	2	5
Conformado	2	4	5	3	1
Porosidad	3	4	5	2	1
Acabado	2	3	5	2	1
Equilibrio	4	4	2	4	2
Simetría	2	3	1	3	1
Ondulación baja	2	3	5	2	3
Total	22	24	25	18	14

Fuente: (Levy, 2006)

2.9.2 Tipos de No tejidos

Según la definición de la asociación brasilera de las industrias de no tejidos y tejidos técnicos (ABINT), un no tejido tiene una estructura plana, flexible y porosa conformada por una manta de fibras o filamentos orientados direccionalmente o al azar, los mismos que están consolidados por procesos mecánicos, químicos, térmicos y combinaciones de éstos. (ABINT, 2005)

Para poder comprender mejor la diferencia entre no tejido y un tejido, se puede ver en la Figura 41.

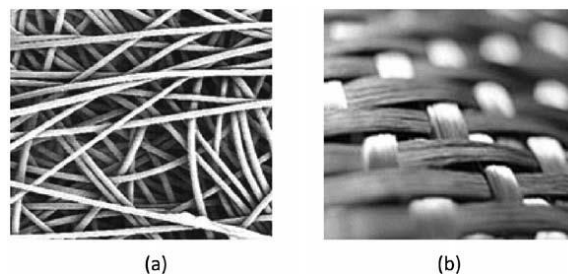


Figura 41. (a) Estructura al azar de un no tejido y (b) estructura de un tejido

Fuente: (ABINT, 2005)

Los no tejidos pueden realizarse con distintos tipos de fibras; es decir, el desarrollo de no tejidos constituye otra forma de tecnificar e industrializar a las fibras naturales.

También los no tejidos representan una alternativa ya que su conformación es más práctica y sencilla que la de los tejidos, es más económica y permite utilizar subproductos agrícolas, como en el caso de la fibra de coco. Otro gran atractivo de los no tejidos es la versatilidad que presentan en cuanto a la amplia gama de aplicaciones que pueden ir desde la industria automotriz y aeronáutica, como aislantes, alfombras, relleno de colchones y asientos hasta en la fabricación de artículos prácticos y decorativos. (ABINT, 2005)

La fabricación de un no tejido se da básicamente en dos pasos: (i) formación de la manta y (ii) consolidación de la manta. Para la formación de la manta puede ser por vía seca, vía húmeda o vía fundida, donde la estructura de la manta puede tener las fibras orientadas en una

única dirección o colocados en forma cruzada. Posteriormente se realiza la consolidación de la manta, la que se puede lograr por métodos mecánicos, químicos y térmicos. (Davila et al., 2011)

Hay que indicar que la gran mayoría de aplicaciones de los no tejidos se da de forma funcional ya que estructuralmente las propiedades mecánicas que presentan son limitadas.

A continuación se presentan algunos ejemplos de las aplicaciones:

- **Industria automotriz:** aislación térmica y acústica, base de piezas moldeadas, terminación superficial, separadores de batería, revestimientos internos de paneles laterales, refuerzo de asientos, filtros, y otros.
- **Comercio:** embalajes, bolsas y cintas decorativas, rellenos de calzados, rellenos de regalos, decoración de vitrinas, otros.
- **Construcción civil e impermeabilización:** como armadura de sistemas asfálticos, impermeabilización en tejas, tejados, subsuelos, como aislante térmico de paredes, techos, etc.
- **Doméstico:** paños de limpieza, paños para pulir, limpiar o enjuagar, base y relleno en alfombras y tapetes, decoración de paredes, cobertores, toallas de mesa, persianas, sacos de café y té, filtros de aceite, protección y cobertura de almohadas etc.
- **Filtración:** filtros para sólidos, líquidos (aceites, solventes químicos) y otras impurezas.
- **Filtrado de alimentos:** aire, aceites minerales y filtros industriales.
- **Higiene personal:** velo de superficie para pañales de bebés y adultos, absorbentes femeninos, pañuelos de papel, paños de limpieza para bebés e higiene de adultos y pacientes médicos.

- **Industrial:** elementos filtrantes para líquidos y gases, cables eléctricos, cintas adhesivas, plásticos reforzados para embarcaciones tubos y piezas técnicas, abrasivos, correas, etiquetas, diskettes para computación, pisos plásticos, envolturas, etc.
- **Médico hospitalario:** productos descartables tales como máscaras, barbijos, gorros, cubre calzado, gasas, etc.
- **Obras geotécnicas e ingeniería civil:** geotextiles para estabilización del suelo, drenaje, control de erosión, recapamiento asfáltico, refuerzos en canales y contención de costas.
- **Indumentaria:** entretelas de uso general para confecciones, componentes de materias primas para calzados deportivos y de tenis, ropas infantiles, forros internos en chaquetas, hombreras, etc.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

3.1 Diseño computacional

3.1.1 Diseño CAD

Mediante la ayuda del software CAD, se procede a modelar diferentes geometrías de la carrocería del vehículo fórmula Student. Realizando el análisis de la misma validando su selección al momento de la construcción.

3.1.2 Softwares Utilizados

Para la realización de los bosquejos de la carrocería se utiliza el software CAD. La interface de software es fácil de utilizar. Se puede exportar los archivos en diferentes formatos para la utilización en otros softwares.

Para la simulación aerodinámica de la carrocería se utiliza el software CAD. Permitiendo ingresar valores que simulan las condiciones de trabajo reales de la carrocería. Se eligió ciertos valores de la figura 42 condiciones climatológicas de Hockenheim, Alemania.

3.1.3 Proceso de configuración software CAD



Figura 42. Condiciones meteorológicas Hockenheim, Alemania

Fuente: <http://tiempoytemperatura.es>

De la figura 42 se toma los datos de presión, temperatura y humedad. Se calcula la densidad del aire a través de la página de internet dolzhnos mostrada en la figura 43.

Cálculo de la densidad del aire (fórmula CIPM-1981/91).
Válida entre 15 y 27 °C

Presión atmosférica:	<input type="text" value="1017"/>	hPa	incertidumbre ±	<input type="text" value="0.1"/>	hPa
Temperatura ambiente:	<input type="text" value="19"/>	°C	incertidumbre ±	<input type="text" value="1.0"/>	°C
Humedad relativa en:	<input type="text" value="52"/>	%	incertidumbre ±	<input type="text" value="10"/>	%
Densidad del aire:	<input type="text" value="1.2079"/>	kg/m ³	incertidumbre ±	<input type="text" value="0.0043"/>	kg/m ³

Figura 43. Valor densidad del aire

Fuente: http://www.dolzhnos.com.ar/htm/densidad_del_aire.html

Con la presión, temperatura, humedad y densidad obtenidas se elaboró la tabla 12. Datos que ayudan a parametrizar las condiciones de trabajo del software en el análisis aerodinámico.

Tabla 12
Condiciones ambientales para software CAD

Parámetro	Valor
Presión	1017 hPa
Temperatura	19 °C
Humedad	52%
Densidad	1.208

En la simulación aerodinámica se tomó en cuenta la gravedad con el valor de 9.8 m/s^2 . El valor positivo o negativo de la gravedad dependerá el eje coordenado. En el diseño de los frontales se tomó el eje Y negativo. Se activa al dar un clic en el cuadro Gravity. Se puede observar la configuración de la gravedad y el eje en la figura 44.

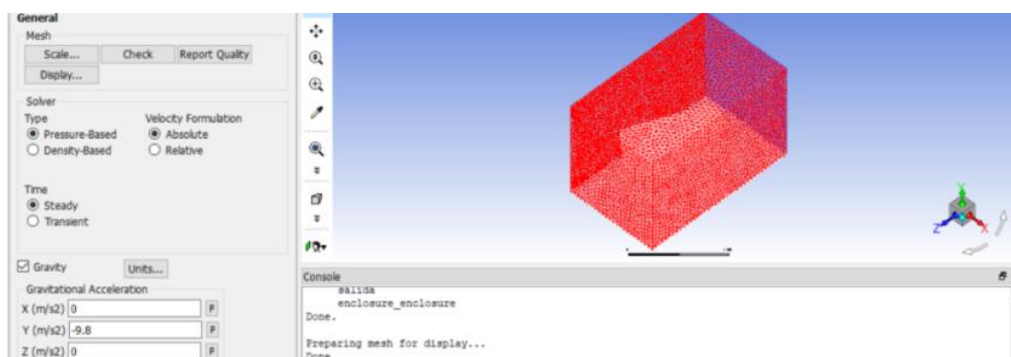


Figura 44. Dirección gravedad diseño de parte frontal

Otro parámetro a configurar es el fluido que influye en la carrocería, en este caso el aire. Se configuró la velocidad de influencia a 27m/s y la densidad de 1.208 Kg/m³. La configuración se muestra en la figura 45.

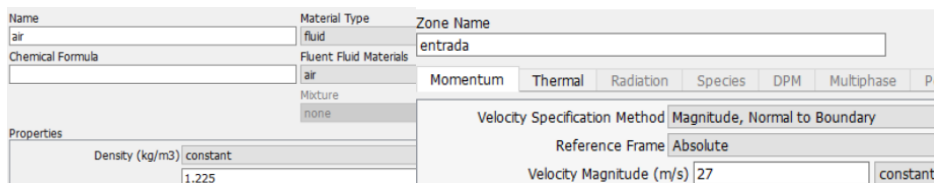


Figura 45. Configuración densidad y velocidad del aire

Se ingresó la temperatura y presión de trabajo en el software con los valores de la tabla 12. Se observa la configuración en la figura 46.

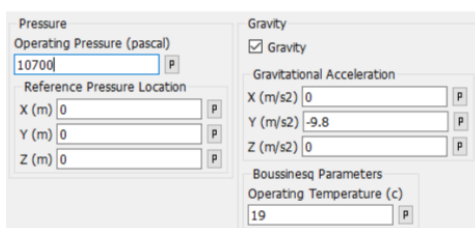


Figura 46. Configuración entorno de trabajo

3.1.4 Diseño parte frontal de la carrocería

La parte frontal de la carrocería es la encargada de abrir paso al vehículo a través del aire, el cual debe fluir adecuadamente sobre la misma. En el diseño de esta parte se tomó en cuenta la geometría del bastidor del vehículo. La parte frontal del bastidor se encuentra representada en la figura 47.

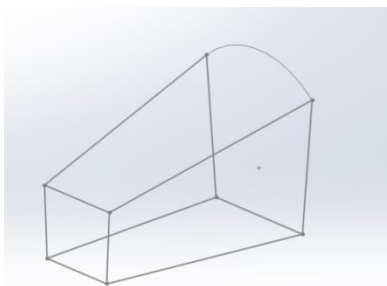
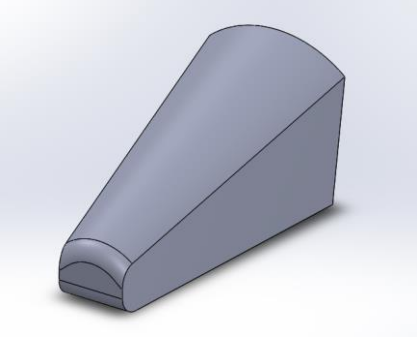
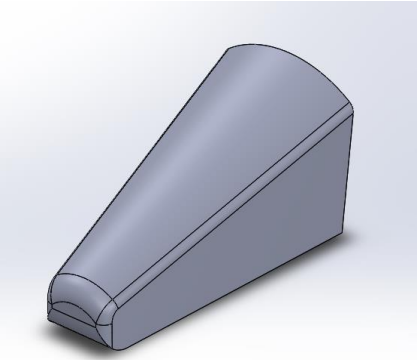
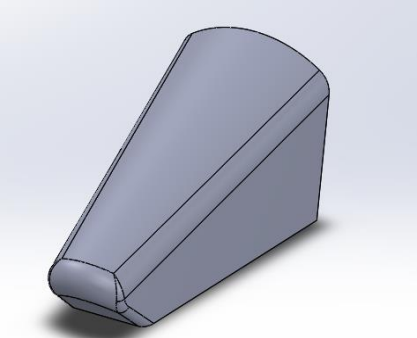


Figura 47. Geometría parte frontal bastidor

Para el diseño de la carrocería se han desarrollado tres diferentes modelos representados en la tabla 13. Se seleccionará bajo ciertos criterios el de mejores prestaciones para su posterior desarrollo.

Tabla 13

Opciones de diseño de la parte frontal de la carrocería

Diseño	Figura	Descripción
1		<p>La nariz es redondeada en su parte superior e inferior, mientras la trompa en sus extremos laterales es plana y su parte superior semicircular</p>
2		<p>La nariz es redondeada en todo su contorno, así como la unión entre las partes laterales y superior semicircular de la trompa</p>
3		<p>La parte de la nariz tiene un contorno plano y es redondeada en su contorno como la unión entre las partes laterales y superior semicircular de la trompa</p>

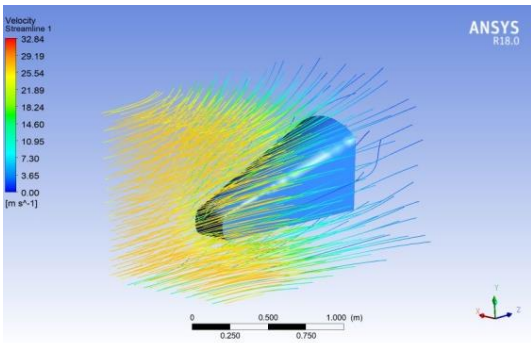
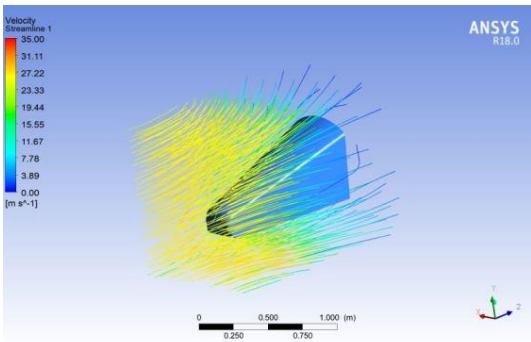
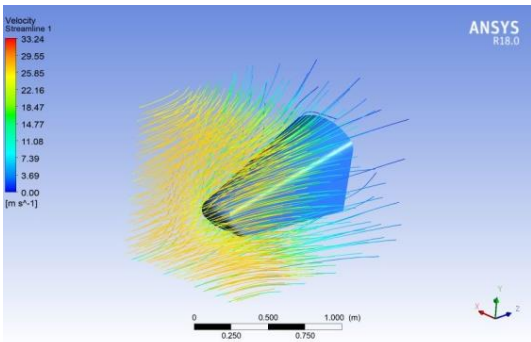
3.1.4.a Aerodinámica parte frontal de la carrocería

- **Velocidad flujo de aire**

La tabla 14 se visualiza el comportamiento del flujo de aire al contacto con la carrocería. Se observa en los diferentes modelos los valores generados mientras circula el aire. Se tomara en cuenta los valores como un factor para la selección de la mejor opción.

Tabla 14

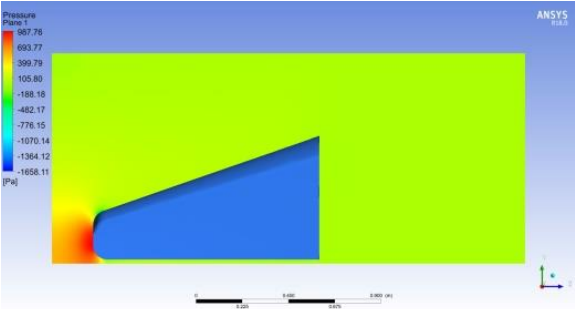
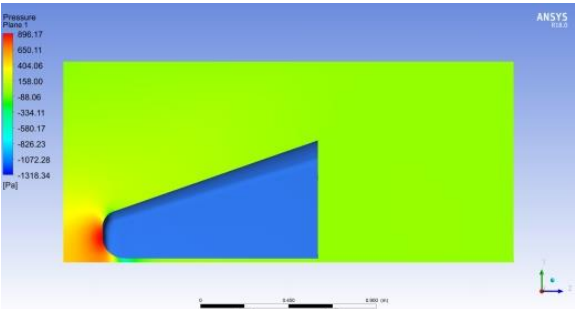
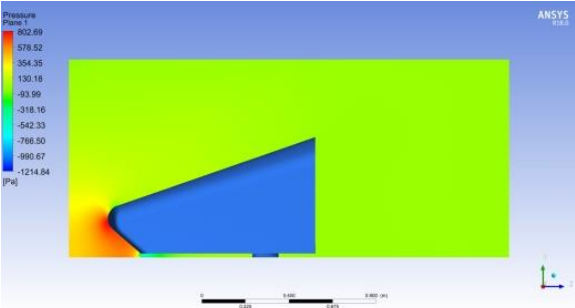
Flujo de aire en los diseños parte frontal de la carrocería

Diseño	Figura	Velocidad Máxima (m/s)
1		52,93
2		48.62
3		45.10

- **Presiones generadas**

En la tabla 15 se observa la distribución de presión en el contorno de la carrocería generada por el flujo de aire. Se toman en cuenta el valor máximo de presión generado para cada modelo.

Tabla 15
Presiones en los diseños parte frontal de la carrocería

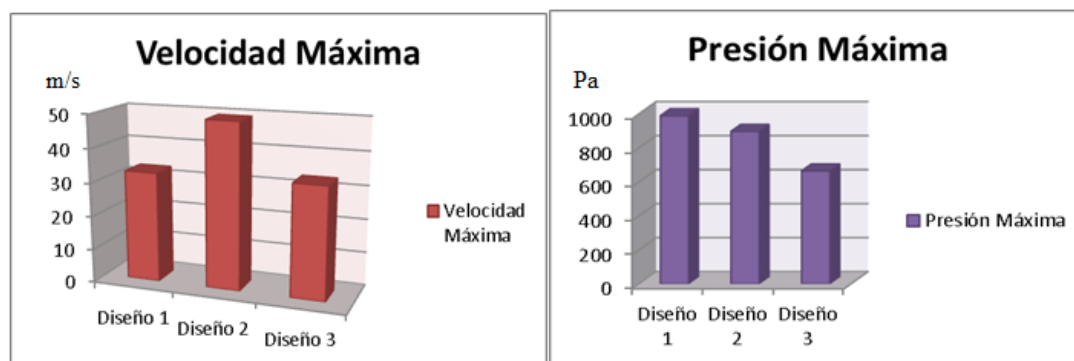
Diseño	Figura	Presión Máxima (Pa)
1		987.78
2		896.17
3		663.84

En la tabla 16 se encuentran el tipo de mallado utilizado y su calidad, el número de nodos y elementos obtenidos de los modelos después del análisis. Los valores de la tabla 16 serán considerados para la selección de la mejor opción de diseño.

Tabla 16*Valores obtenidos del mallado de los diseños*

	F1	F2	F3
Nodos	594019	254196	593738
Elementos	2305626	1103366	2399576
Métrica del mallado	Ortogonal	Ortogonal	Ortogonal
Calidad mallado	0,88315	0,87762	0,88074
Fuerza de resistencia al aire (N)	67.58	79.37	82.04

En la figura 48 se representa tanto las velocidades máximas y presiones máximas de los modelos considerados en el análisis CFD. Se observa que la velocidad de desplazamiento del flujo de aire en el diseño número dos tabla 14 es más alta. La presión que genera el flujo de aire sobre el diseño número tres tabla 15 es la menor de entre los tres modelos. La presión máxima se genera en la punta del frontal de la carrocería.

**Figura 48.** Diseño vs velocidad máxima y presión máxima frontal carrocería

Analizando los valores de la matriz de decisión tabla 17 se observó similitud entre los modelos dos y tres. Para escoger la mejor opción de diseño, se tomó en cuenta las características de la velocidad y presión máxima. Debido a que estas características poseen los factores de ponderación más altos, optándose por el modelo número tres. Por tener la más baja presión de contacto generada con un valor 663.84 Pa y una velocidad máxima de 45.10 m/s. Estos valores se encuentran en la mitad de los valores generados de los otros dos modelos.

Tabla 17
Matriz de decisión parte frontal carrocería

Características	Factor de ponderación	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
Velocidad máxima	0.3	0.3	0.9	0.6
Presión máxima	0.3	0.3	0.6	0.9
Estética	0.1	0.1	0.2	0.3
Fuerza aerodinámica	0.2	0.6	0.4	0.2
Calidad mallado	0.1	0.3	0.1	0.2
Total		1.6	2.2	2.2

Nota: Los valores para la calificación son: 3 Bueno, 2 Medio, 1 Malo

3.1.5 Diseño pontones

Los pontones están ubicados en los laterales del vehículo. En competiciones son utilizados para dirigir el flujo de aire. El direccionamiento del aire contribuye a tener eficiencia aerodinámica. Así como contribuir al sistema de refrigeración si es necesario.

En el diseño de los pontones se tomó en consideración la ubicación de la ECU del vehículo, para que no exista interferencia entre las superficies. También se consideró el radiador para mejorar la refrigeración del mismo. En la figura 49 se observa el bosquejo del bastidor para la ubicación de los pontones con el diseño básico de los pontones después considerar la ECU y el radiador del vehículo.

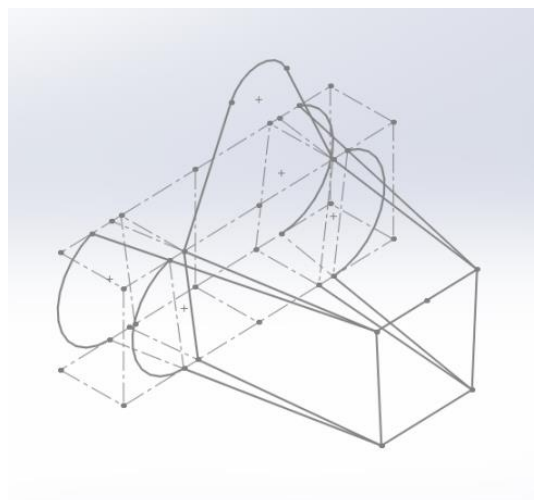
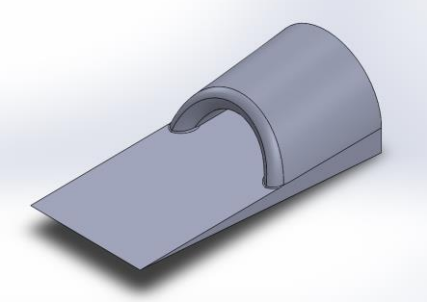
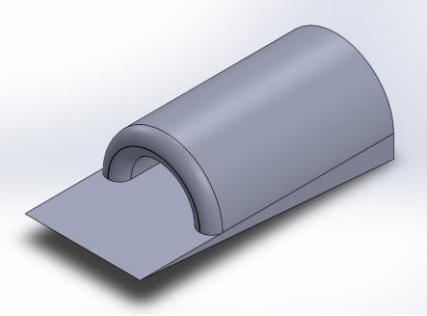
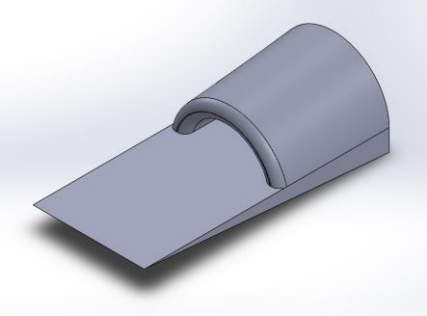


Figura 49. Diseño pontones

En la tabla 18 se observa los tres modelos de pontones realizados para ser evaluados posteriormente.

Tabla 18
Opciones de diseño de los pontones

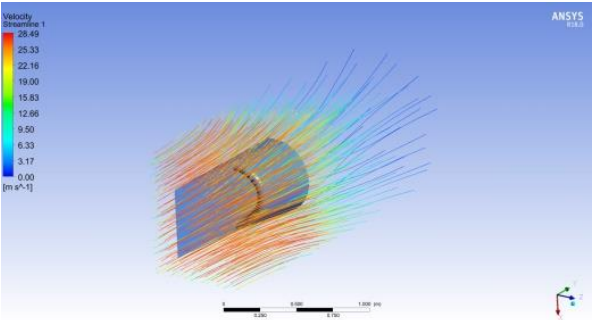
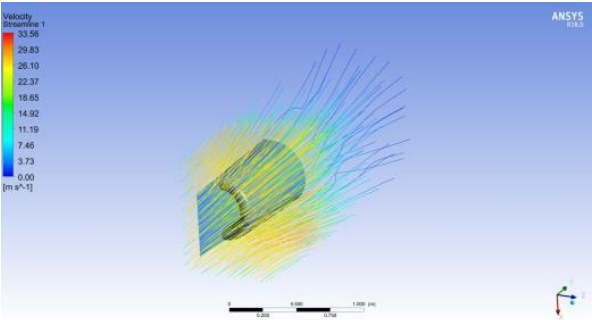
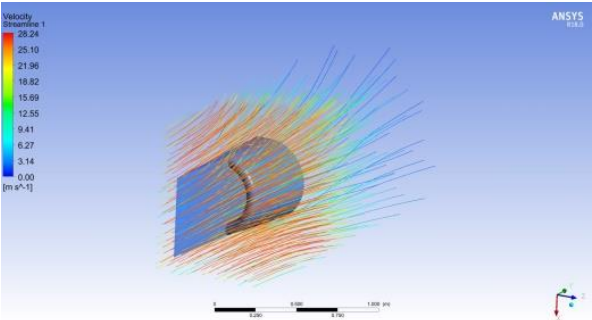
Diseño	Figura	Descripción
1		La parte trasera del pontón cubre el radiador, tiene una sección pequeña para redireccionar el flujo de aire con una pequeña inclinación en la entrada de aire así como una inclinación de adelante hacia atrás
2		El área para redireccionar el flujo de aire es más extensa semicilíndrica, sin dejar de cubrir el radiador.
3		La sección de redireccionar es pequeña abarca el radiador y posee una inclinación de adelante hacia atrás

3.1.5.a Aerodinámica pontones

- **Velocidad flujo de aire**

En la tabla 19 se observa el comportamiento del flujo de aire en la parte plana y en el agujero del pontón de los diferentes modelos. Parámetro que determinará la mejor opción para la selección y construcción.

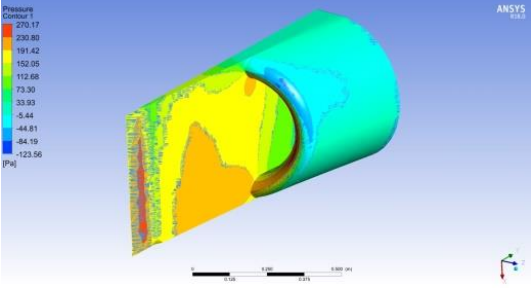
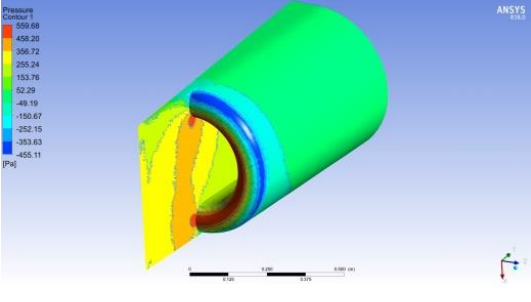
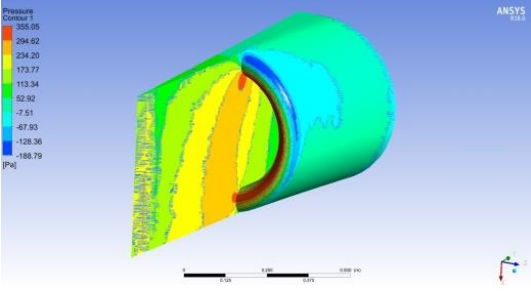
Tabla 19
Flujo de aire en los diferentes diseños de los pontones

Diseño	Figura	Velocidad Máxima (m/s)
1		28.49
2		33.56
3		28.24

- **Presiones generadas**

En la tabla 20 se observa el comportamiento y distribución de la presión a través de toda la superficie del pontón. Se visualiza el área de mayor influencia de la presión. También el valor de la presión máxima que soporta cada diseño, este valor es una característica para la elección de uno de los modelos.

Tabla 20*Flujo de aire en los diferentes diseños de los pontones*

Diseño	Figura	Presión Máxima (Pa)
1		270.17
2		559.68
3		355.05

En la tabla 21 se encuentran el tipo de mallado utilizado y su calidad, el número de nodos y elementos obtenidos de los modelos después del análisis. Los valores de la tabla 21 serán considerados para la selección del modelo ganador.

Tabla 21*Valores obtenidos del mallado de los diseños*

	P1	P2	P3
Nodos	291018	64880	67043
Elementos	1453134	354310	365205
Mesh Metric	Skewness	Skewness	Skewness
Calidad	0,28838	0,22187	0,22182
Fuerza de resistencia al aire (N)	74.8396	84.1076	71.7523

En la figura 50 se representa tanto las velocidades máximas y presiones máximas de los modelos considerados en el análisis CFD, para los pontones de la carrocería. Se observa que la velocidad de desplazamiento del flujo de aire en el modelo número dos es la velocidad más alta. La menor presión generada de los tres modelos sobre el pontón por el flujo de aire es en el modelo número uno. Se observa que la presión se genera en la parte interna del orificio del pontón.

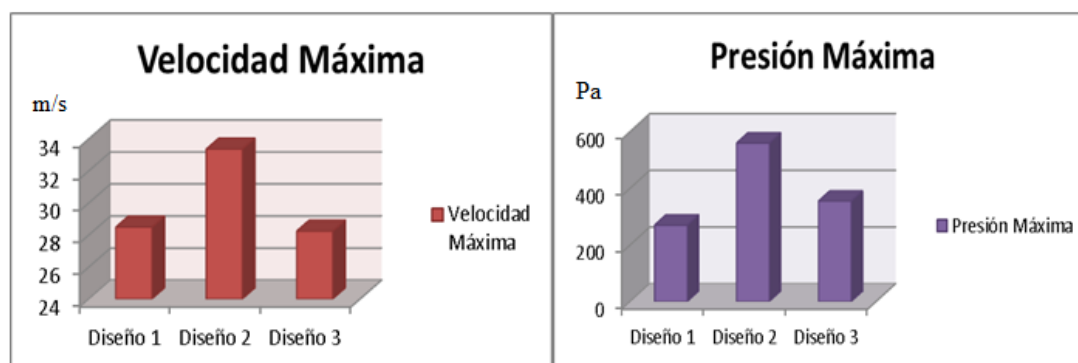


Figura 50. Diseño vs velocidad máxima y presión máxima pontones

Analizando los valores de la matriz de decisión tabla 22, se obtuvo como la mejor opción de diseño el modelo número dos con las siguientes características. Velocidad máxima de 28.49 m/s y presión máxima de 270.17 Pa, está entre la mitad de los valores de los otros dos modelos.

Tabla 22

Matriz de decisión parte frontal carrocería

Características	Factor de ponderación	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
Velocidad máxima	0.3	0.6	0.9	0.3
Presión máxima	0.3	0.9	0.3	0.6
Estética	0.1	0.3	0.1	0.2
Fuerza aerodinámica	0.2	0.4	0.2	0.6
Calidad mallado	0.1	0.1	0.2	0.3
Total		2.3	1.7	2

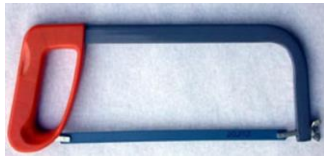

Nota: Los valores para la calificación son: 3 Bueno, 2 Medio, 1 Malo

3.2 Realización de probetas

3.2.1 Elaboración de los moldes

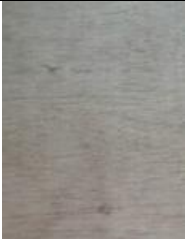




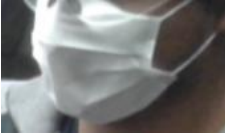

Para la elaboración se consideró que en cada molde se contendría siete probetas, para los diferentes ensayos. Ayudando a facilitar la elaboración de las probetas y ahorrar tiempo. Se sobredimensionó el espacio para las probetas teniendo un margen de corte y error. Se utilizó madera como materia prima debido a su costo y a la facilidad de su manipulación. Todos los materiales utilizados en el proceso de elaboración están detallados en la tabla 23.

Tabla 23
Materiales y equipos para realización de los moldes

Ítem	Descripción	Gráfico
Sierra de arco	La herramienta se utiliza para el corte de las tiras de madera debido a su espesor	
Lija	Se utilizaron lijas de número 80, 160 y 220 en la pulidora para el acabado.	
Pulidora de mano	Se empleó para dejar la superficie de fono lo más lisa posible después de pasar los diferentes lijas.	
Cortadora de madera de disco	Se empleó para dar forma y dimensionar la triplex de una manera rápida y recta.	

CONTINÚA



Madera	Es el elemento de materia prima para los moldes debido a su facilidad para darle forma.	
Cola blanca	Utilizada para pegar las tiras de madera en el fondo.	
Tachuelas	Se utilizaron de ½ pulgada para dar mayor fijación a las tiras de madera con el fondo	
Guantes	Evita el ingreso de astillas al momento de entrar en contacto con la madera.	
Gafas	Impide el ingreso de viruta o cualquier partícula extraña al momento de cortar la madera a los ojos	
Mascarilla	Impide el ingreso de viruta o cualquier partícula extraña al momento de cortar la madera al sistema respiratorio	
Mandil	Instrumento de trabajo que ayuda a proteger de partículas	

Se obtuvo tres clases de moldes con sus respectivas tapas para cada grupo de probetas como se muestra en la figura 51.

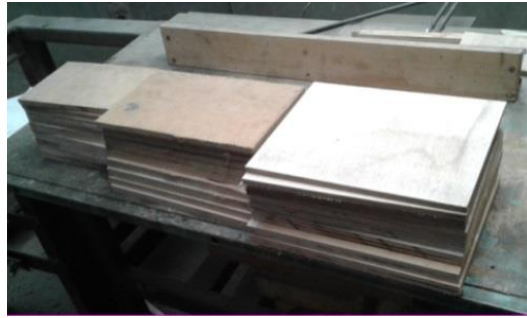


Figura 51. Moldes obtenidos

3.2.1.a Molde probetas de tracción

En la figura 52 se observa el molde terminado para las probetas destinadas al ensayo de tracción.



Figura 52. Molde de tracción

En la tabla 24 están las especificaciones del molde. Se tomó en cuenta el largo, ancho, profundidad. Se obtuvo el volumen del molde, utilizado más adelante para calcular las proporciones del matriz poliéster.

Tabla 24
Especificaciones molde tracción

Especificaciones	Dimensiones (mm)
Largo	263
Ancho	195
Espesor	2,5
Volumen	128212.5 mm³

3.2.1.b Molde de Flexión

En la figura 53 se observa el molde terminado para las probetas destinadas al ensayo de flexión.

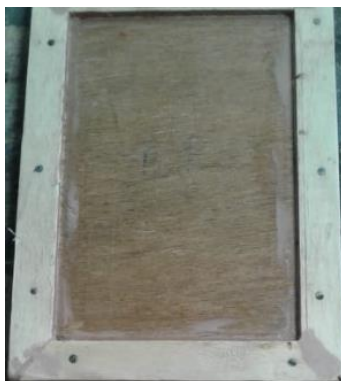


Figura 53. Molde de flexión

En la tabla 25 están las especificaciones del molde. Se tomó en cuenta el largo, ancho, profundidad. Se obtuvo el volumen del molde, utilizado más adelante para calcular las proporciones del matriz poliéster.

Tabla 25
Especificaciones molde flexión

Especificaciones	Dimensiones (mm)
Largo	175
Ancho	110
Espesor	4
Volumen	77000 mm³

3.2.1.c Molde de impacto

En la figura 54 se observa como quedo el molde para las probetas destinadas al ensayo de impacto.



Figura 54. Molde de impacto

En la tabla 26 están las especificaciones del molde. Se tomó en cuenta el largo, ancho, profundidad. Se obtuvo el volumen del molde, utilizado más adelante para calcular las proporciones del matriz poliéster.

Tabla 26
Especificaciones molde impacto

Especificaciones	Dimensiones (mm)
Largo	255
Ancho	130
Espesor	2
Volumen	82875 mm³





3.2.2 Preparación probetas

3.2.2.a Materiales

- **Materiales de la matriz**

Para el desarrollo de las probetas para los diferentes ensayos bajo norma ASTM D3039 para tracción, ASTM D7264 para flexión y ASTM D5628 para impacto, se utilizaron diferentes materiales para la matriz poliéster. Se pueden adquirir fácilmente en el mercado ecuatoriano y se encuentran detallados en la tabla 27.



Tabla 27
Materiales utilizados en la matriz poliéster

Ítem	Descripción	Gráfico
Meck Peroxido	60 cc de la marca Trex S.A es un catalizador para resina poliéster.	
Octoato de cobalto	60 cc al 12% de la marca Trex S.A es el acelerador.	
Resina Poliéster	1 Kg es el compuesto principal de la matriz poliéster y es de color amarillo transparente.	
Estireno	1Kg de color transparente ayuda a que la resina poliéster a diluirla.	

- **Materiales refuerzo**

Las fibras naturales vegetal y animal utilizadas como refuerzos para la matriz poliéster están detallados en la tabla 28.

Tabla 28
Materiales utilizados como refuerzo

Ítem	Descripción	Gráfico
Cabuya	Elemento de fibra vegetal utilizado como refuerzo y de manera tejida para la matriz poliéster	
Crin de caballo	Elemento de fibra animal utilizado como refuerzo y de manera tejida para la matriz poliéster	

3.2.2b Caracterización de los materiales de la matriz

- **Referencia de cantidades**

Para la elaboración de la matriz poliéster es necesario conocer las cantidades de cada material que conforman las mismas. Se tomó como referencia proporciones de resina, estireno, octoato y meck del libro Nuevos Materiales Aplicaciones estructurales e industriales los que se detallan en la tabla 29.

Tabla 29
Proporciones de referencia

Materiales	Porciones en Mililitros (ml)
Resina	200
Estireno	22
Octoato	1,12
Meck	4,68
Total	227.8

Fuente: (Davila et al., 2011)

- **Masas de los elementos matriz poliéster**

Se procedió a pesar los elementos de la matriz poliéster con determinadas cantidades de los mismos que se encuentran detalladas en la tabla 30. Estos datos sirven para conocer las proporciones en mililitros de estos elementos cuando se agrega un refuerzo a la matriz con una masa determinada.

Tabla 30
Masas por volumen de cada elemento matriz poliéster

Materiales	Volumen (ml)	Masa (g)
Meck	5	6
Estireno	10	9
Resina	200	230
Octoato	0,6	2

3.2.2.c Cálculos

- **Probeta de Tracción**

Para las probetas de tracción se utilizó la norma ASTM D3039-17 en la que se establece las medidas para las probetas como se puede ver en la figura 55. En esta norma también se establece que el número de probetas debe ser de mínimo 5.



Figura 55. Medidas probeta de tracción ASTM D3039/D3039M-17

Se realizó moldes de madera para contener 7 probetas con las características de la tabla 31. Facilitando la elaboración de las probetas y ahorrar tiempo.

Tabla 31
Especificaciones probeta tracción

Especificaciones	Dimensiones (mm)
Largo	250
Ancho	25
Espesor	2,5
Volumen	15625 mm³

Se realizó los cálculos para obtener la cantidad de mililitros de cada elemento que conforman la matriz poliéster sin ningún refuerzo. Se tomó los valores de la tabla 29 y el volumen del molde tabla 24. Se reemplazaron en la ecuación 1.

$$Cm = \frac{Cmp * Vpr}{Tm} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Dónde:

C_m = Cantidad del material (ml)

C_{mp} = Proporción referencia del material (ml)

V_{pr} = Volumen del molde (ml)

T_m = Total matriz de referencia (ml)

Realizado los cálculos se obtiene los mililitros necesarios de cada material que conforma la matriz poliéster del molde de tracción. Se aprecian los valores en la tabla 32.

Tabla 32

Valores materiales matriz poliéster molde de tracción

Materiales	Volumen (ml)
Meck	2,63
Estireno	12,38
Resina	112,56
Octoato	0,63

Obtenidos los mililitros de resina, estireno, meck y octoato de cobalto. Se procede a calcular los gramos necesarios de los materiales que ingresaran en el molde de tracción. Usando los valores de la tabla 30 y 32, así como la ecuación 2 para el cálculo.

$$C_{mg} = \frac{N_{vm} \cdot V_{pr}}{V_{mr}} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Dónde:

C_{mg} = Cantidad del material (g)

N_{vm} = Nuevo volumen del material (ml)

V_{pr} = Masa material (ml)

V_{mr} = Volumen material (ml)

Realizados los cálculos, se obtienen los valores en volumen y masa de los materiales de la matriz poliéster para el molde de tracción en la tabla 33. Esta tabla se utiliza como referencia para calcular los valores de las matrices con diferentes refuerzos.

Tabla 33
Proporciones para el molde de matriz poliéster

	Total	Resina	Estireno	Meck	Octoato
Volumen (ml)	128.21	112.56	12,38	2,63	0.63
Masa (g)	145.84	129.44	11.14	3.16	2.1

En la elaboración del grupo de probetas con una capa de crin de caballo, se tomó como referencia los valores de la tabla 33. Se partió de la masa de la capa de crin de caballo figura 56.



Figura 56. Masa crin de caballo

En la tabla 34 se especifica las características de la capa de crin de caballo para el molde de tracción. La característica más importante es la masa, la misma se utiliza en la ecuación 3.

Tabla 34
Especificaciones crin de caballo 1 capa

Especificaciones	Dimensiones (mm)
Largo	263
Ancho	195
Masa	9 (g)

Se utiliza la ecuación 3 para calcular los gramos de la matriz poliéster con refuerzo. Se toma la masa de la matriz poliéster, así como la masa de cada material que conforma la misma, tabla 33.

$$Cmp = \frac{Pmt*(Pms-Prf)}{Pms} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Dónde:

Cmp = Cantidad material con refuerzo (g)

Pmt = Masa material de la matriz (g)

Pms = Masa toda la matriz (g)

Prf = Masa del refuerzo (g)

Reemplazados los diferentes valores en la ecuación 3. Se obtiene la tabla 35 con las masas de cada material que forma parte de la matriz poliéster con refuerzo.

Tabla 35
Masa de la matriz poliéster con refuerzo

Materiales	Masa (g)
Meck	2,63
Estireno	10,45
Resina	121,45
Octoato	1,97

Obtenidas las masas de resina, estireno, meck y octoato de cobalto. Se procede a recalcular los valores en mililitros de los mismos. Utilizando la ecuación 4 con los valores de la tabla 33 y 35.

$$Cmr = \frac{Pmm*Vmm}{Pms} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Dónde:

C_{mr} = Cantidad matriz con refuerzo (ml)

P_{mm} = Masa material de la matriz con refuerzo (g)

P_{ms} = Masa toda la matriz (g)

V_{mm} = Volumen total de la matriz (ml)

Se obtiene la tabla 36 con cantidad de mililitros de cada material de la matriz y su respectiva masa. Con los valores se procede a elaborar las probetas para tracción con una capa de crin de caballo.

Tabla 36

Proporciones molde de matriz poliéster con una capa de crin

	Total	Resina	Estireno	Meck	Octoato	Cerda
Masa (g)	145.84	121.45	10.45	2.96	1.97	9
Volumen (ml)	128.21	106.77	9.19	2.60	1.73	7.92

En la elaboración de las probetas con dos capas de crin de caballo se realiza el mismo procedimiento para una capa crin. Se utilizan la masa y volumen total de la tabla 36, así como el valor de la masa tabla 37 de dieciocho gramos.

Tabla 37

Especificaciones crin de caballo 2 capas

Especificaciones	Dimensiones (mm)
Largo	263
Ancho	195
Masa	18 (g)

Realizados el procedimiento y los cálculos respectivos. Se obtiene las proporciones en mililitros para el refuerzo de dos capas de crin de caballo tabla 38.

Tabla 38*Proporciones molde de matriz poliéster con dos capas de crin*

	Total	Resina	Estireno	Meck	Octoato	Cerda
Masa (g)	145.84	113.46	9.77	2.77	1.84	18
Volumen (ml)	128.21	99.74	8.59	2.44	1.62	15.82

En la elaboración de las probetas con tres capas de crin de caballo se realiza el mismo procedimiento para una capa de crin. Se utiliza el valor de la masa tabla 39 de veinte y siete gramos.

Tabla 39*Especificaciones crin de caballo 3 capas*

Especificaciones	Dimensiones (mm)
Largo	263
Ancho	195
Masa	27 (g)

Realizados el procedimiento y los cálculos respectivos. Se obtiene las proporciones en mililitros para el refuerzo de tres capas de crin de caballo tabla 40.

Tabla 40*Proporciones molde de matriz poliéster con tres capas de crin*

	Total	Resina	Estireno	Meck	Octoato	Cerda
Masa (g)	145.84	105.48	9.08	2.57	1.71	27
Volumen (ml)	128.21	92.73	7.98	2.26	1.50	23.74

En la elaboración de las probetas mixtas cabuya y crin de caballo. Se pesó la capa de cabuya figura 57. Obteniéndose una masa de 12 gramos.



Figura 57. Masa cabuya

Se realiza el mismo procedimiento para una capa de crin. Se utiliza el valor de la masa tabla 37 y tabla 41.

Tabla 41
Especificaciones capa de cabuya

Especificaciones	Dimensiones (mm)
Largo	263
Ancho	195
Masa	12 (g)

Realizados el procedimiento y los cálculos respectivos. Se obtiene las proporciones en mililitros para el refuerzo mixto. Dos capas de crin de caballo y una de cabuya colocada en la mitad de las capas de crin tabla 42.

Tabla 42
Proporciones molde de matriz poliéster con dos tipos de refuerzo

	Total	Resina	Estireno	Meck	Octoato	Cerda	Cabuya
Masa (g)	145.84	102.81	8.85	2.51	1.67	18	12
Volumen (ml)	128.21	90.38	7.78	2.21	1.47	15.82	10.55

- **Probetas de Flexión**

Para las probetas de tracción se utilizó la norma ASTM D7264/D7264M-15 en la que se establece las medidas para las probetas como se puede ver en la figura 58. En esta norma también se establece que el número de probetas debe ser de mínimo 5.



Figura 58. Medidas probeta de flexión ASTM D7264/D7264M-15

En la elaboración de las probetas de flexión ASTM D7264/D7264M-15 figura 58. Se realizó moldes de madera para contener 7 probetas con las características de la tabla 43. Facilitando la elaboración de las probetas y ahorrar tiempo.

Tabla 43

Especificación probeta flexión

Especificaciones	Dimensiones (mm)
Largo	160
Ancho	13
Espesor	4
Volumen	8320 mm³

Se utiliza el procedimiento y ecuaciones de las probetas de tracción. Se realizó los cálculos para obtener la cantidad de mililitros de cada elemento de la matriz poliéster sin refuerzo. Se tomó los valores de la tabla 29 y el volumen del molde tabla 25. Se reemplazaron en la ecuación 1. Los resultados se observan en la tabla 44.

Tabla 44
Valores materiales matriz poliéster

Materiales	Volumen (ml)
Meck	1,58
Estireno	7,44
Resina	67,60
Octoato	0,38

Se procede a calcular los gramos necesarios de los materiales que ingresaran en el molde de flexión. Usando los valores de la tabla 30 y 44, así como la ecuación 2 para el cálculo. Realizado el procedimiento se obtiene el volumen y la masa de los materiales de la matriz poliéster para flexión tabla 45.

Tabla 45
Proporciones para el molde de matriz poliéster

	Total	Resina	Estireno	Meck	Octoato
Volumen (ml)	77	67.60	7.44	1.58	0.38
Masa (g)	87.61	77.74	6.70	1.90	1.27

En la elaboración del grupo de probetas con una capa de crin de caballo, se tomó como referencia los valores de la tabla 45. Se partió de la masa de la capa de crin de caballo figura 59.



Figura 59. Masa crin de caballo

En la tabla 46 se especifica las características de la capa de crin de caballo para el molde de flexión. Se utiliza la ecuación 3 para calcular la los gramos de la matriz poliéster con refuerzo. Se toma la masa de la matriz poliéster, así como la masa de cada material que conforma la misma tabla 45.

Tabla 46
Especificaciones crin de caballo 1 capa

Especificaciones	Dimensiones (mm)
Largo	175
Ancho	110
Masa	3 (g)

Reemplazados los diferentes valores en la ecuación 3. Se obtiene la tabla 35 con las masas de cada material que forma parte de la matriz poliéster con refuerzo.

Tabla 47
Masa de la matriz poliéster con refuerzo

Materiales	Masa (g)
Meck	1,83
Estireno	6,47
Resina	75,08
Octoato	1,23

Se procede a recalcular los valores en mililitros de los materiales de la matriz. Utilizando la ecuación 4 con los valores de la tabla 45 y 47. Se obtiene la tabla 48 con la cantidad de mililitros de cada material de la matriz y su respectiva masa. Con los valores se procede a elaborar las probetas para flexión con una capa de crin de caballo.

Tabla 48*Proporciones molde de matriz poliéster con una capa de crin*

	Total	Resina	Estireno	Meck	Octoato	Cerda
Masa (g)	87.61	75.08	6.47	1.83	1.23	3
Volumen (ml)	77	65.99	5.69	1.61	1.08	2.63

En la elaboración de las probetas con dos capas de crin de caballo se realiza el mismo procedimiento para una capa crin. Se utilizan la masa y volumen total de la tabla 48, así como el valor de la masa tabla 49 de seis gramos.

Tabla 49*Especificaciones crin de caballo 2 capas*

Especificaciones	Dimensiones (mm)
Largo	175
Ancho	110
Masa	6 (g)

Realizados el procedimiento y los cálculos respectivos. Se obtiene las proporciones en mililitros para el refuerzo de dos capas de crin de caballo tabla 50.

Tabla 50*Proporciones molde de matriz poliéster con dos capas de crin*

	Total	Resina	Estireno	Meck	Octoato	Cerda
Masa (g)	87.61	72.42	6.24	1.77	1.18	6
Volumen (ml)	77	63.65	5.48	1.55	1.03	5.29

En la elaboración de las probetas con tres capas de crin de caballo se realiza el mismo procedimiento para una capa de crin. Se utiliza el valor de la masa tabla 51 de nueve gramos.

Tabla 51
Especificaciones crin de caballo 3 capas

Especificaciones	Dimensiones (mm)
Largo	175
Ancho	110
Masa	9 (g)

Realizados el procedimiento y los cálculos respectivos. Se obtiene las proporciones en mililitros para el refuerzo de tres capas de crin de caballo tabla 52.

Tabla 52
Proporciones molde de matriz poliéster con tres capas de crin

	Total	Resina	Estireno	Meck	Octoato	Cerda
Masa (g)	87.61	69.75	6.01	1.70	1.14	9
Volumen (ml)	77	61.30	5.28	1.50	1	7.92

En la elaboración de las probetas mixtas cabuya y crin de caballo. Se pesó la capa de cabuya figura 57. Obteniéndose una masa de 8 gramos.



Figura 60. Masa capa de cabuya

Se realiza el mismo procedimiento para una capa de crin. Se utiliza el valor de la masa tabla 49 y tabla 53.

Tabla 53
Especificaciones capa de cabuya

Especificaciones	Dimensiones (mm)
Largo	175
Ancho	110
Masa	8 (g)

Realizados el procedimiento y los cálculos respectivos. Se obtiene las proporciones en mililitros para el refuerzo mixto. Dos capas de crin de caballo y una de cabuya colocada en la mitad de las capas de crin tabla 54.

Tabla 54
Proporciones molde de matriz poliéster con dos tipos de refuerzo

	Total	Resina	Estireno	Meck	Octoato	Cerda	Cabuya
Masa (g)	87.61	67.98	5.86	1.66	1.11	6	8
Volumen (ml)	77	59.75	5.15	1.46	0.97	5.27	4.40

- **Probetas de Impacto**

Para las probetas de tracción se utilizó la norma ASTM D5628-10 en la que se establece las medidas para las probetas como se puede ver en la figura 61. En esta norma también se establece que el número de probetas debe ser de mínimo 20.

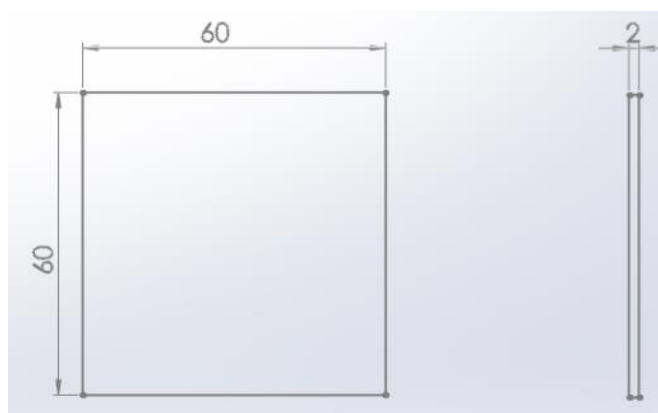


Figura 61. Medidas probeta de impacto ASTM D5628-10

Se realizó moldes de madera para contener 8 probetas con las características de la tabla 55.

Facilitando la elaboración de las probetas y ahorrar tiempo.

Tabla 55
Especificaciones probeta

Especificaciones	Dimensiones (mm)
Largo	60
Ancho	60
Espesor	2
Volumen	9000 mm³

Se utiliza el procedimiento y ecuaciones de las probetas de tracción. Se realizó los cálculos para obtener la cantidad de mililitros de cada elemento de la matriz poliéster sin refuerzo. Se tomó los valores de la tabla 29 y el volumen del molde tabla 26. Se reemplazaron en la ecuación 1. Los resultados se observan en la tabla 56.

Tabla 56
Valores materiales matriz poliéster molde de tracción

Materiales	Volumen (ml)
Meck	1,70
Estireno	8
Resina	72,77
Octoato	0,41

Se procede a calcular los gramos necesarios de los materiales que ingresaran en el molde de tracción. Usando los valores de la tabla 30 y 56, así como la ecuación 2 para el cálculo. Realizado el procedimiento se obtiene el volumen y masa de los materiales de la matriz poliéster para flexión tabla 57.

Tabla 57
Proporciones para el molde de matriz poliéster

	Total	Resina	Estireno	Meck	Octoato
Volumen (ml)	82.88	72.77	8	1.70	0.41
Masa (g)	94.30	83.69	7.2	2.04	1.37

En la elaboración del grupo de probetas con una capa de crin de caballo, se tomó como referencia los valores de la tabla 57. Se partió de la masa de la capa de crin de caballo figura 62.



Figura 62. Masa crin de caballo

En la tabla 58 se especifica las características de la capa de crin de caballo para el molde de flexión. Se utiliza la ecuación 3 para calcular la los gramos de la matriz poliéster con refuerzo. Se toma la masa de la matriz poliéster, así como la masa de cada material que conforma la misma tabla 57.

Tabla 58
Especificaciones crin de caballo 1 capa

Especificaciones	Dimensiones (mm)
Largo	255
Ancho	130
Masa	6 (g)

Reemplazados los diferentes valores en la ecuación 3. Se obtiene la tabla 35 con las masas de cada material que forma parte de la matriz poliéster con refuerzo.

Tabla 59
Masa matriz poliéster con refuerzo

Materiales	Masa (g)
Meck	1,91
Estireno	6,74
Resina	78,36
Octoato	1,28

Se procede a recalcular los valores en mililitros de los materiales de la matriz. Utilizando la ecuación 4 con los valores de la tabla 57 y 59. Se obtiene la tabla 60 con la cantidad de mililitros de cada material de la matriz y su respectiva masa. Con los valores se procede a elaborar las probetas para impacto con una capa de crin de caballo.

Tabla 60
Proporciones molde de matriz poliéster con una capa de crin

	Total	Resina	Estireno	Meck	Octoato	Cerda
Masa (g)	94.30	78.36	6.74	1.91	1.28	6
Volumen (ml)	82.88	68.87	5.92	1.68	1.12	5.27

En la elaboración de las probetas con dos capas de crin de caballo se realiza el mismo procedimiento para una capa crin. Se utilizan la masa y volumen total de la tabla 60, así como el valor de la masa tabla 61 de doce gramos.

Tabla 61
Especificaciones crin de caballo 2 capas

Especificaciones	Dimensiones (mm)
Largo	255
Ancho	130
Masa	12 (g)

Realizados el procedimiento y los cálculos respectivos. Se obtiene las proporciones en mililitros para el refuerzo de dos capas de crin de caballo tabla 62.

Tabla 62*Proporciones molde de matriz poliéster con dos capas de crin*

	Total	Resina	Estireno	Meck	Octoato	Cerda
Masa (g)	94.30	78.36	6.74	1.78	1.20	12
Volumen (ml)	82.88	64.19	5.52	1.56	1.05	10.54

En la elaboración de las probetas con tres capas de crin de caballo se realiza el mismo procedimiento para una capa de crin. Se utiliza el valor de la masa tabla 63 de dieciocho gramos.

Tabla 63*Especificaciones crin de caballo 3 capas*

Especificaciones	Dimensiones (mm)
Largo	255
Ancho	130
Masa	18 (g)

Realizados el procedimiento y los cálculos respectivos. Se obtiene las proporciones en mililitros para el refuerzo de tres capas de crin de caballo tabla 64.

Tabla 64*Proporciones molde de matriz poliéster con tres capas de crin*

	Total	Resina	Estireno	Meck	Octoato	Cerda
Masa (g)	94.30	67.72	5.82	1.65	1.11	18
Volumen (ml)	82.88	59.52	5.12	1.45	0.98	15.81

En la elaboración de las probetas mixtas cabuya y crin de caballo. Se pesó la capa de cabuya figura 63. Obteniéndose una masa de 5 gramos.



Figura 63. Masa capa de cabuya

Se realiza el mismo procedimiento para una capa de crin. Se utiliza el valor de la masa tabla 61 tabla 65.

Tabla 65
Especificaciones capa de cabuya

Especificaciones	Dimensiones (mm)
Largo	255
Ancho	130
Masa	5 (g)

Realizados el procedimiento y los cálculos respectivos. Se obtiene las proporciones en mililitros para el refuerzo mixto. Dos capas de crin de caballo y una de cabuya colocada en la mitad de las capas de crin tabla 66.

Tabla 66
Proporciones molde de matriz poliéster con dos tipos de refuerzo

	Total	Resina	Estireno	Meck	Octoato	Cerda	Cabuya
Masa (g)	87.61	73.93	6.36	1.80	1.21	6	5
Volumen (ml)	77	69.98	5.59	1.58	1.06	5.27	4.39

3.2.3 Elaboración de las probetas

3.2.3.a Preparación de los moldes

Se verifica que los moldes no contengan impurezas. Se procede a la colocación de cera desmoldante figura 64. Facilitando la extracción de las matrices poliéster sin refuerzo y con

refuerzo. Se aplican tres capas de cera desmoldante con intervalos de secado de cinco minutos, tanto el en moldes como en las tapas.



Figura 64. Aplicación cera desmoldante

3.2.3.b Preparación matriz poliéster

Se usó jeringas graduadas y un recipiente graduado para agregar las porciones calculadas de los materiales que forman la matriz. Se agrega primero la resina en el recipiente. Después se adiciona el octoato de cobalto que le da la coloración rosada figura 65 y el estireno. Se añade por último el meck para catalizar la mezcla, se revuelve bien para tener una mezcla homogénea.



Figura 65. Matriz poliéster

3.2.3.c Colocación matriz poliéster molde

Se coloca la mezcla en el molde figura 66, se espera unos minutos para que cambie a un estado casi gelatinoso. Se procede a cubrir el molde con su respectiva tapa.



Figura 66. Colocación matriz poliéster sin refuerzo en el molde

Se comprimió la mezcla utilizando una prensa hidráulica figura 67. Se colocó planchas de metal tanto en la base del molde y sobre la tapa para evitar que se dañe el molde por la presión de la prensa.



Figura 67. Compresión matriz poliéster sin refuerzo

3.2.3.d Extracción matriz poliéster

Después del tiempo de curado de tres días. Se procedió a extraer las matrices poliéster con refuerzo y sin refuerzo de sus moldes figura 68. Se empleó una espátula, para la extracción.



Figura 68. Matrices poliéster extraídas de los moldes

3.2.3.e Acabado final matriz poliéster

Se revisó que las matrices no contengan residuos de madera y se verificó el espesor. Si excede el espesor se lo reduce utilizando una lijadora manual figura 69. Dejando las matrices con el espesor deseado y listas para proceder al corte.



Figura 69. Lijado matriz poliéster

3.2.3.f Obtención probetas

Para obtener las probetas con sus medidas respectivas se optó por recurrir al corte láser figura 70. Se tiene mayor precisión en las especificaciones de las medidas de las probetas, se ahorra tiempo y recursos. En figura 71 se observa las probetas sin refuerzo para flexión. En la figura 72 se observa la probeta con una capa de crin para impacto.

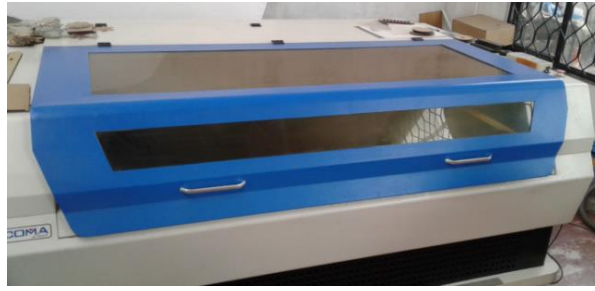


Figura 70. Máquina cortadora laser



Figura 71. Obtención probetas de matriz poliéster de flexión



Figura 72. Probeta de impacto con una capa de crin

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Equipos utilizados para los ensayos ASTM

Para los ensayos se empleó la máquina universal de ensayos, marca Tinius Olsen, modelo: H25K-S. Utilizado para medir las propiedades a tracción y flexión de las probetas de los materiales compuestos. Con capacidad máxima de 25 KN y una precisión utilizada de 0,01 N. La configuración de la máquina para realizar ensayos de tracción se puede observar en la figura 73. La configuración de la máquina para ensayos de flexión se observa en la figura 74.

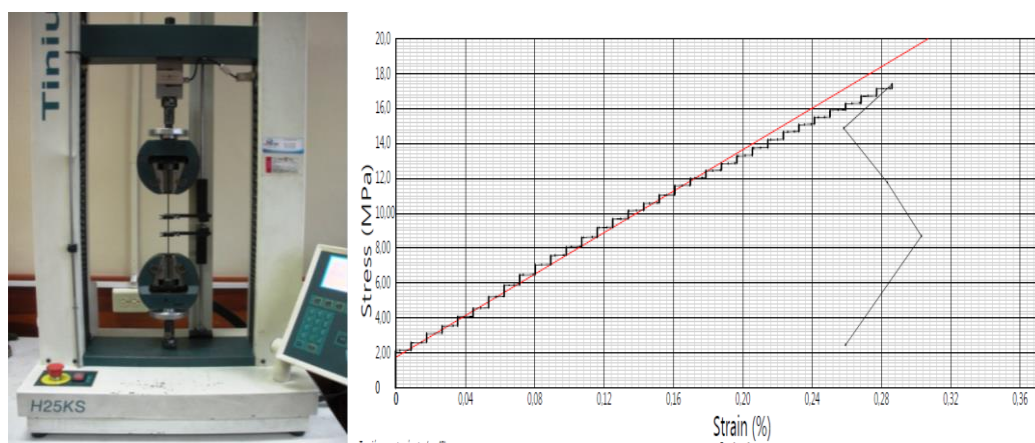


Figura 73. Máquina universal para ensayos de tracción y grafica Esfuerzo deformación de probetas M2

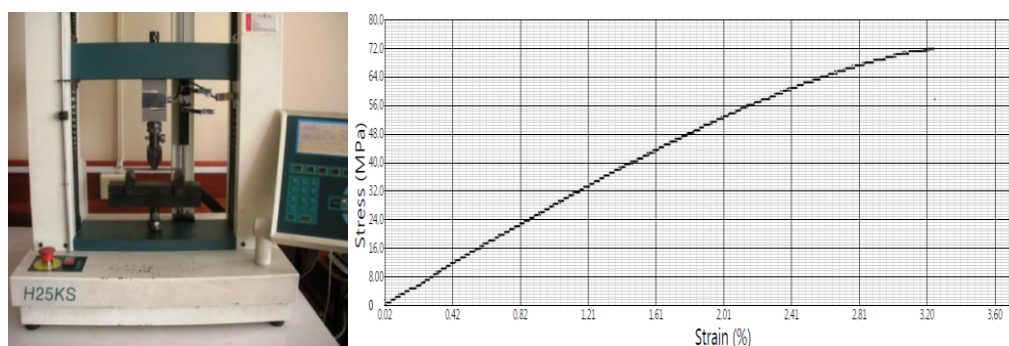


Figura 74. Máquina universal para ensayos de flexión y grafica Esfuerzo deformación de probetas Re

Máquina de impacto por caída de dardo figura 75. Dardo normalizado con configuración FB de la norma ASTM D5628-10. La masa del dardo es de 117,5 gr.



Figura 75. Máquina de impacto por caída de dardo

Calibrador de vernier marca: Mitutoyo, modelo: Absolute Digimatic (12" /300 mm) con una apreciación de 0,01 mm. Utilizado para medir las dimensiones de las probetas.

Balanza marca: ADAM, modelo: PGL6001; apreciación de 0,1 gr. Utilizada para determinar la masa del dardo.

4.2 Muestras

Se entregó 5 grupos de muestras para realizar los diferentes ensayos en el laboratorio de Nuevos Materiales de la Escuela Politécnica Nacional. Los grupos se denominaron como se muestra en la tabla 67.

Tabla 67
Denominación de grupos

Grupo	Característica
Re	100% resina poliéster
Ce1	Matriz con refuerzo de 1 capa de crin de caballo como tejido plano
Ce2	Matriz con refuerzo de 2 capas de crin de caballo como tejidos planos
Ce3	Matriz con refuerzo de 3 capas de cerda de caballo como tejidos planos
M2	Matriz con refuerzo de 2 capas de cerda de caballo y 1 capa intermedia de fibra de cabuya como tejidos planos

4.3 Ensayo de resistencia a la tracción según ASTM D3039/D3039M-17

En la tabla 68 se encuentran las condiciones establecidas para llevar a cabo el ensayo de tracción según la norma ASTM D3039/D3039M-17. Llevado a cabo en el laboratorio de nuevos materiales de la Escuela Politécnica Nacional.

Tabla 68

Condiciones de ensayo según la norma ASTM D3039/D3039M-17

Condiciones	
Número de muestras	al menos 5 especímenes
Velocidad de ensayo	2 mm/min
Ancho nominal	25 mm
Longitud nominal	250 mm
La colocación del extensómetro deberá ser a cincuenta mm de distancia. Separación entre marcas.	

En la figura 76 se muestra la máquina universal de ensayos, realizando el ensayo de tracción. La probeta del ensayo es del grupo Ce1 de las muestras entregadas para los ensayos.



Figura 76. Ensayo tracción probeta grupo Ce1

4.3.1 Resultados de los grupos entregados

4.3.1.a Grupo Re

En la tabla 69 se presenta los resultados promedio que se obtuvo del grupo Re. Se realizaron 6 probetas para el ensayo y se descartó la probeta con el valor más bajo de fuerza última a tracción.

Tabla 69
Valores del ensaya grupo Re

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D3039/D3039M-17			
Fuerza última a tracción (N)	Resistencia última a tracción (MPa)	Módulo de elasticidad secante (MPa)	Deformación última a tracción (%)
1016,06	17,20	4695,25	0,35

En la figura 77 se aprecian las probetas del grupo Re después de los ensayos de tracción.



Figura 77. Probetas grupo Re

4.3.1.b Grupo Ce1

En la tabla 70 se presenta los resultados promedio que se obtuvo del grupo Ce1. Se realizaron 6 probetas para el ensayo y se descartó la probeta con el valor más bajo de fuerza última a tracción.

Tabla 70
Valores del ensaya grupo Ce1

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D3039/D3039M-17			
Fuerza última a tracción (N)	Resistencia última a tracción (MPa)	Módulo de elasticidad secante (MPa)	Deformación última a tracción (%)
1123,35	17,12	5043,10	0,36

En la figura 78 se aprecian las probetas grupo Ce1 después de los ensayos de tracción.



Figura 78. Probetas grupo Ce1

4.3.1.c Grupo Ce2

En la tabla 71 se presenta los resultados promedio que se obtuvo del grupo Ce2. Se realizaron 6 probetas para el ensayo y se descartó la probeta con el valor más bajo de fuerza última a tracción.

Tabla 71

Valores del ensayo grupo Ce2

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D3039/D3039M-17			
Fuerza última a tracción (N)	Resistencia última a tracción (MPa)	Módulo de elasticidad secante (MPa)	Deformación última a tracción (%)
1600,98	21,81	7911,02	0,32

En la figura 79 se aprecian las probetas grupo Ce2 después de los ensayos de tracción.



Figura 79. Probetas grupo Ce2

4.3.1.d Grupo Ce3

En la tabla 72 se presenta los resultados promedio que se obtuvo del grupo Ce3. Se realizaron 6 probetas para el ensayo y se descartó la probeta con el valor más bajo de fuerza última a tracción.

Tabla 72
Valores del ensayo grupo Ce3

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D3039/D3039M-17			
Fuerza última a tracción (N)	Resistencia última a tracción (MPa)	Módulo de elasticidad secante (MPa)	Deformación última a tracción (%)
783,04	13,27	7690,02	0,19

En la figura 80 se aprecian las probetas grupo Ce3 después de los ensayos de tracción.



Figura 80. Probetas grupo Ce3

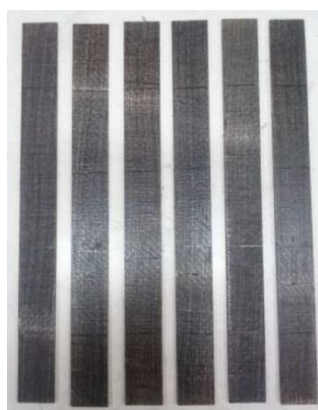
4.3.1.e Grupo M2

En la tabla 73 se presenta los resultados promedio que se obtuvo del grupo Ce3. Se realizaron 6 probetas para el ensayo y se descartó la probeta con el valor más bajo fuerza última a tracción.

Tabla 73*Valores del ensayo grupo M2*

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D3039/D3039M-17			
Fuerza última a tracción (N)	Resistencia última a tracción (MPa)	Módulo de elasticidad secante (MPa)	Deformación última a tracción (%)
1227,80	25,65	8358,24	0,57

En la figura 81 se aprecian las probetas grupo M2 después de los ensayos de tracción.

**Figura 81.** Probetas grupo M2

4.4 Ensayo de resistencia a la flexión según ASTM D7264/D7264M-15

En la tabla 74 se encuentran las condiciones establecidas para llevar a cabo el ensayo de flexión según la norma ASTM D7264/D7264M-15. Llevado a cabo en el laboratorio de nuevos materiales de la Escuela Politécnica Nacional.

Tabla 74*Condiciones de ensayo según la norma ASTM D7264/D7264M-15*

Condiciones	
Número de muestras	al menos 5 especímenes
Velocidad de ensayo	1 mm/min
Ancho nominal	13 mm
Relación entre el espesor y la distancia entre marcas: 1:32	

En la figura 76 se muestra la máquina universal de ensayos, realizando el ensayo de flexión. La probeta del ensayo es del grupo Re de las muestras entregadas para los ensayos.



Figura 82. Ensayo de flexión probeta grupo Re

4.4.1 Resultados de los grupos entregados

4.4.1.a Grupo Re

En la tabla 75 se presenta los resultados promedio que se obtuvo del grupo Re. Se realizaron 6 probetas para el ensayo y se descartó la probeta con el valor más bajo fuerza última a flexión.

Tabla 75

Valores del ensayo grupo Re

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM D7264/D7264M-15			
Fuerza última a flexión (N)	Resistencia última a flexión (MPa)	Módulo a flexión (MPa)	Deformación máxima (%)
80,33	72,98	3248,16	2,47

En la figura 83 se aprecian las probetas grupo Re después de los ensayos de flexión.



Figura 83. Probetas del grupo Re

4.4.1.b Grupo Ce1

En la tabla 76 se presenta los resultados promedio que se obtuvo del grupo Ce1. Se realizaron 6 probetas para el ensayo y se descartó la probeta con el valor más bajo fuerza última flexión.

Tabla 76
Valores del ensayo grupo Ce1

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM D7264/D7264M-15			
Fuerza última a flexión (N)	Resistencia última a flexión (MPa)	Módulo a flexión (MPa)	Deformación máxima (%)
75,33	69,60	2890,09	2,99

En la figura 85 se aprecian las probetas grupo Ce1 después de los ensayos de flexión.



Figura 84. Probetas grupo Ce1

4.4.1.c Grupo Ce2

En la tabla 77 se presenta los resultados promedio que se obtuvo del grupo Ce2. Se realizaron 6 probetas para el ensayo y se descartó la probeta con el valor más bajo fuerza última flexión.

Tabla 77
Valores del ensayo grupo Ce2

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM D7264/D7264M-15			
Fuerza última a flexión (N)	Resistencia última a flexión (MPa)	Módulo a flexión (MPa)	Deformación máxima (%)
59,78	55,86	2684,14	2,28

En la figura 85 se aprecian las probetas grupo Ce1 después de los ensayos de flexión.



Figura 85. Probetas grupo Ce2

4.4.1.d Grupo Ce3

En la tabla 78 se presenta los resultados promedio que se obtuvo del grupo Ce3. Se realizaron 6 probetas para el ensayo y se descartó la probeta con el valor más bajo fuerza última flexión.

Tabla 78
Valores del ensayo grupo Ce3

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM D7264/D7264M-15			
Fuerza última a la flexión (N)	Resistencia última a flexión (MPa)	Módulo a flexión (MPa)	Deformación máxima (%)
59,17	53,14	3162,08	1,80

En la figura 86 se aprecian las probetas grupo Ce1 después de los ensayos de flexión.

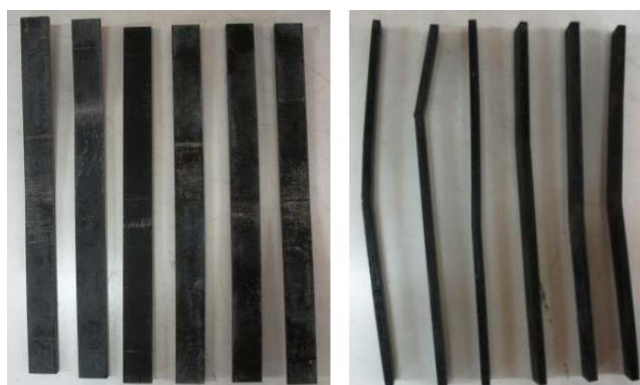


Figura 86. Probetas grupo Ce3

4.4.1.e Grupo M2

En la tabla 79 se presenta los resultados promedio que se obtuvo del grupo M2. Se realizaron 6 probetas para el ensayo y se descartó la probeta con el valor más bajo fuerza última flexión.

Tabla 79

Valores del ensayo grupo M2

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM D7264/D7264M-15			
Fuerza última a la flexión (N)	Resistencia última a flexión (MPa)	Módulo a flexión (MPa)	Deformación máxima (%)
61,00	56,60	2936,80	2,23

En la figura 87 se aprecian las probetas grupo Ce1 después de los ensayos de flexión.



Figura 87. Probetas grupo M2

4.5 Ensayos de impacto por caída libre de dardo según ASTM D5628-10

En la tabla 80 se encuentran las condiciones establecidas para llevar a cabo el ensayo de impacto por caída libre de dardo según la norma ASTM D7264/D7264M-15. Llevado a cabo en el laboratorio de nuevos materiales de la Escuela Politécnica Nacional.

Tabla 80

Condiciones de ensayo según la norma ASTM D7264/D7264M-15

Condiciones	
Número de muestras	al menos 20 especímenes
Configuración del dardo y probetas	FB

En la figura 89 se muestra el equipo utilizado para el ensayo de impacto por caída libre de dardo. El dardo es normalizado para la configuración FB.



Figura 88. Equipo para ensayo de impacto por caída libre de dardo y dardo normalizado para la configuración FB

4.5.1.1 Resultados de los grupos entregados

En la tabla 81 se muestran los resultados obtenidos después de realizar el ensayo de impacto por caída de dardo de los diferentes grupos.

Tabla 81

Resultados pruebas de impacto

Grupo	h (mm)	S _h (mm)	EMF (J)
Re	83,33	28,370	0,0961
Ce1	97,27	36,083	0,1121
Ce2	122,00	6,302	0,1406
Ce3	123,64	27,782	0,1425
M2	125,00	4,520	0,1441

EMF: Energía media de fallo

h: Altura media de fallo

S_h: Desviación estándar de la altura media de fallo

En las figuras de la 89 a la 93 se puede observar las Probetas después de los ensayos de impacto de los grupos Re, Ce1, Ce2, Ce3 y M2 respectivamente.



Figura 89. Probetas grupo Re



Figura 90. Probetas grupo Ce1

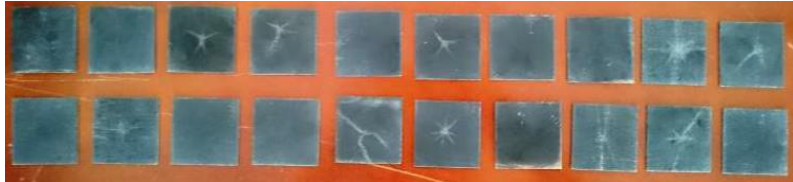


Figura 91. Probetas grupo Ce2



Figura 92. Probetas grupo Ce3

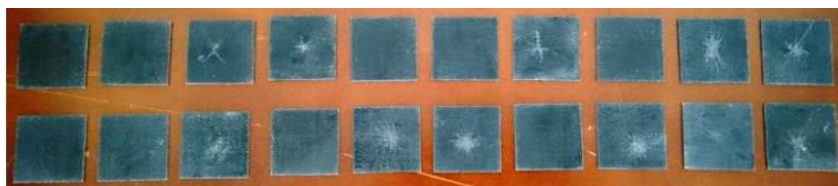


Figura 93. Probetas grupo M2

4.6 Análisis de resultados

4.6.1.a Ensayo de resistencia a la tracción

En la figura 94 se observa la fuerza última a tracción de los diferentes grupos. Existe un aumento del 57,58% con dos capas de crin en la fuerza respecto a la matriz polimérica sin refuerzo. Con tres capas de crin hay una reducción del 22,93%.

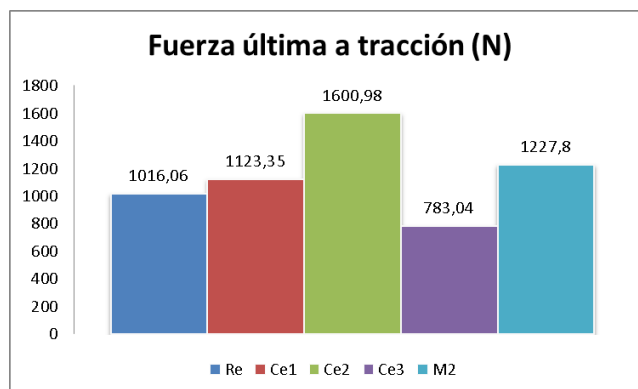


Figura 94. Fuerza última a la tracción entre grupos

La resistencia última a tracción de los diferentes grupos antes de romperse se observa en la figura 95. Con un refuerzo de dos capas de crin y una capa de cabuya en el medio existe un incremento de 49,12% respecto a la matriz poliéster sin refuerzo. Con tres capas de crin se produce una reducción del 22,84%.

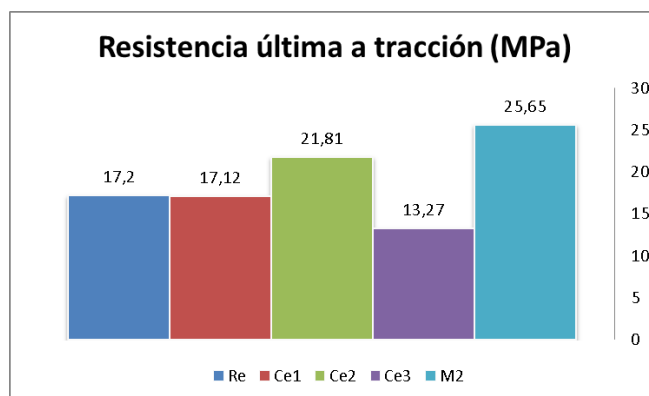


Figura 95. Resistencia última a tracción entre grupos

El módulo de elasticidad de los respectivos grupos se observa en la figura 96. La configuración de capas mixta incrementan el módulo de elasticidad un 78,01% respecto a la matriz poliéster sin refuerzo. El grupo con una capa de crin tiene un 7,40% de incremento.

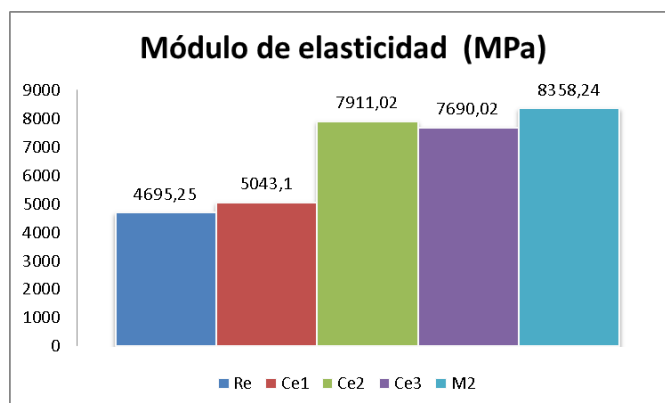


Figura 96. Módulo de elasticidad entre grupos

La última característica obtenida del ensayo es la deformación última a tracción con los valores mostrados en la figura 97 de cada grupo. Existe un incremento del 82,85% en el grupo mixto de capas de crin, cabuya y crin. Se observa una disminución de esta característica de 45,71% al usar el refuerzo de tres capas de crin.

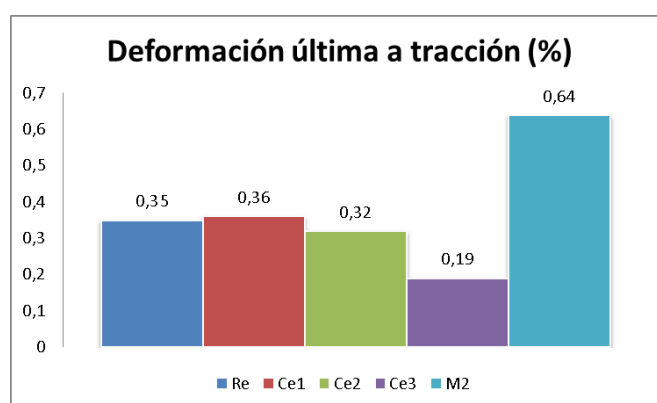


Figura 97. Deformación última a tracción entre grupos

Analizados los valores de las diferentes características. Se concluye que el grupo mixto de dos capas de crin y una de cabuya, es el material adecuado por sus características a tracción. Posee los valores más altos en las tres últimas características; resistencia última a tracción:

módulo de elasticidad y deformación última a tracción. Tiene el segundo valor más alto en fuerza última a la tracción.

4.6.1.b Ensayo de resistencia a la flexión

En la figura 98 se observa la fuerza última a la flexión entre los grupos. Se tiene una disminución general en la característica en los cuatro grupos con refuerzo. Se observa que la menor reducción en el grupo con una capa de crin en un 6,22%. La mayor reducción con un 26.34% se produce el grupo de tres capas de crin.

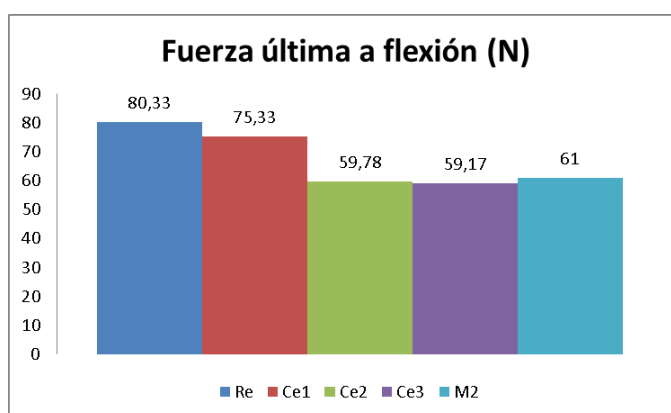


Figura 98. Fuerza última a flexión entre grupos

La resistencia última a flexión entre grupos figura 99. Existe una reducción al momento de introducir los refuerzos en la matriz poliéster de resina. Se obtiene el menor valor de reducción en el grupo de una capa de crin con un 4,63% y el valor más alto de reducción en una capa con 27,19%.

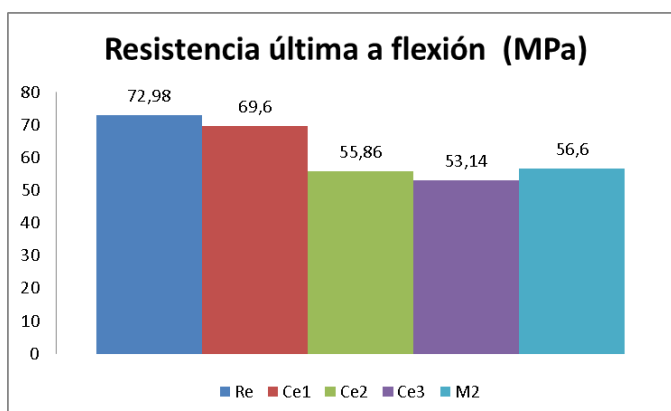


Figura 99. Resistencia última a la flexión entre grupos

En la figura 100 se encuentran los valores obtenidos del módulo a flexión de los grupos. Se observa una reducción al colocar los refuerzos en la matriz poliéster. Se obtiene una reducción menor en el grupo de tres capas de crin en un 2.65% y el más alto con un 17.36% del grupo de dos capas de crin.

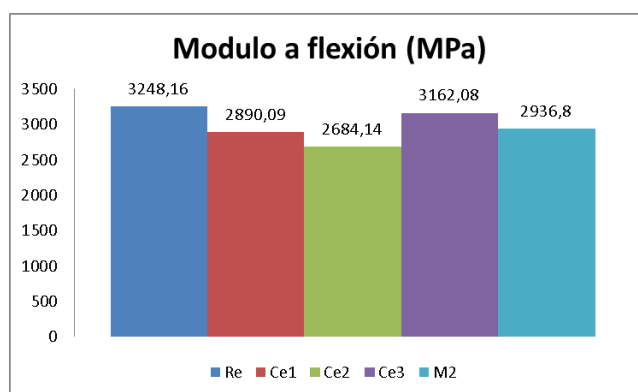


Figura 100. Módulo a flexión entre grupos

En la figura 101 se muestra la deformación máxima de los diferentes grupos. Se obtiene un aumento en esta propiedad en un 21.05% con una capa de crin. Existe una reducción con los otros refuerzos utilizados. Se observa la mayor reducción con tres capas de crin en un 27,12%.

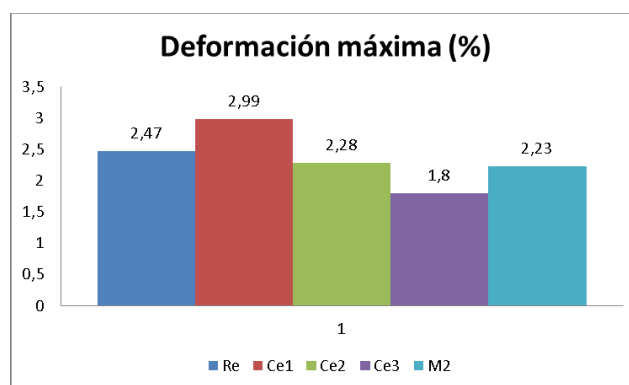


Figura 101. Deformación máxima entre grupos

Analizados los valores de las diferentes características. Se concluye que el grupo con una capa de crin es el más adecuado por sus características a flexión. Se debe a que en la fuerza última a flexión; resistencia última a la flexión y módulo a flexión tiene los porcentajes menos bajos. Existe un incremento en la deformación máxima. Como segunda opción está el grupo de dos capas de crin y una de cabuya. Tiene los mejores valores entre los grupos restantes en tres características de cuatro.

4.6.1.c Ensayos de impacto por caída libre de dardo

En la figura 102 se muestra la resistencia al impacto de los grupos. El grupo de dos cerdas de crin y una de cabuya presenta la mayor absorción de energía entre los otros grupos. Existe un incremento del 49,94 % respecto a la matriz poliéster sin refuerzo.

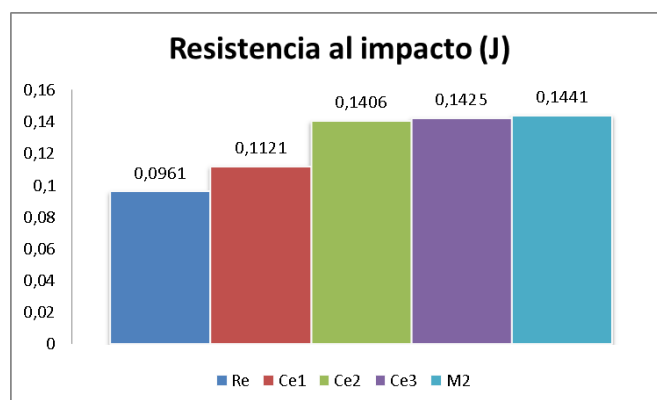


Figura 102. Resistencia al impacto entre grupos

4.7 Elección de material

En la elección del material más idóneo para la construcción de la carrocería. Se tomó en cuenta los parámetros de la tabla 82. Se excluyó al grupo de matriz poliéster debido a que es un elemento frágil. +

Tabla 82
Matriz de decisión material

Características	Factor de ponderación	Ce1	Ce2	Ce3	M2
Fuerza última a tracción	0,05	0,10	0,05	0,20	0,15
Resistencia última a tracción	0,05	0,10	0,15	0,05	0,20
Módulo de elasticidad tracción	0,05	0,10	0,15	0,05	0,20
Deformación última a tracción	0,05	0,15	0,10	0,05	0,20
Fuerza última a flexión	0,05	0,20	0,10	0,05	0,15
Resistencia última a flexión	0,05	0,20	0,10	0,05	0,15
Módulo a flexión	0,05	0,10	0,05	0,20	0,25
Deformación máxima	0,05	0,20	0,15	0,05	0,10
Resistencia al impacto	0,05	0,05	0,10	0,15	0,20
Costos	0,25	1	0,75	0,25	0,50
Rigidez	0,20	0,20	0,40	0,60	0,80
Elaboración	0,10	0,5	0,40	0,20	0,30
Total		2,85	2,50	1,90	3,20
Nota: Los valores para la calificación son: 4 Excelente, 3 Bueno, 2 Medio, 1 Malo					

Realizando la ponderación respectiva se tiene como ganadora al grupo de dos capas de crin con una de caballo como el material para la construcción de carrocería con un valor de 3,20.

CAPÍTULO V

5. CONSTRUCCIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS

5.1 Proceso de construcción

Para la construcción de la carrocería 2018 del vehículo fórmula student, se debe tomar en consideración el reglamento de la Fórmula Student Germany y fundamentos de ingeniería, teniendo en cuenta el objetivo principal de reducir la masa total del vehículo para aprovechar al máximo la potencia del motor.

Se realizan diferentes tipos de moldes base para la construcción de la carrocería, buscando el que permita trabajar de una mejor manera con el material seleccionado.

5.1.1 Primer borrador de los moldes y construcción de las piezas con el material compuesto M2

5.1.1.a Parte delantera del vehículo

Para el primer modelo de la carrocería se desarrolló un molde con varias capas de papel periódico y pegamento blanco, como se puede ver en la figura 103, para darle una mayor rigidez y tomando como base el modelo Fespe 2012.



Figura 103. Molde parte delantera

5.1.1.b Partes laterales del vehículo

Para las partes laterales se colocó pedazos de cartón y papel comercio y se sujetaron con masking y pegamento blanco, como se puede ver en la figura 104, buscando que el modelo

desarrollado no se sobreponga a los componentes del vehículo como la computadora o el escape.



Figura 104. Moldes de la parte lateral

Una vez terminado el molde se procedió a recubrir con una capa de fibra de cabuya y resina para darle una mayor dureza y rigidez al molde, como se puede ver en la figura 105. Posteriormente se rellenó con masilla automotriz para eliminar las imperfecciones de la superficie y un posterior pulido.



Figura 105. Recubrimiento de los moldes de la parte lateral

Una vez secada completamente las piezas aún colocadas en el vehículo, se procede a retirar y realizar una comparativa entre el diseño 2012 y el diseño 2018. Como se puede ver en la figura 106.



Figura 106. Comparación entre moldes de la parte lateral

Se procede a colocar las capas de material compuesto M2 (Una capa de fibra de cerda de caballo, una de fibra de cabuya y una de fibra de cerda de caballo) y resina en la parte superior de las capas, como se puede ver en la figura 107, con el método de estratificación manual la cual consiste en dispersar la resina con una brocha y posteriormente presionar con un rodillo para permitir que la resina moje completamente las capas.



Figura 107. Aplicación del material compuesto M2

Una vez terminado de cubrir todo el molde con la capa de material compuesto M2, se dejó tres días para que se complete el proceso de curado y el material se endure completamente. Después de lo cual se procede a retirar el molde de la pieza ya terminada, como se puede ver en la figura 108, para lo cual se debe cortar el molde en pedazos pequeños con una amoladora teniendo cuidado de no dañar la pieza ya terminada.



Figura 108. Desmoldes de la pieza de la parte lateral

Una vez extraída la pieza del molde se obtuvo una masa de 3 kg pero con un acabado bastante rugoso lo cual perjudica en el acabado final de la pieza, como se puede ver en la figura 109.



Figura 109. Acabado final de la pieza de la parte lateral

Para eliminar las rugosidades que quedaron en la pieza se opta por colocar una capa bastante gruesa de masilla automotriz como se puede ver en la figura 110 lo cual perjudico en la masa final de la pieza aumentando ésta a 7 kg.



Figura 110. Capa de masilla gruesa sobre la superficie

Una vez terminado de colocar una buena capa de masilla, se observó que no se lograba eliminar las rugosidades de la superficie. Por lo que se optó por buscar otro método de construcción, ya que la estratificación manual no dio resultado y la fibra de caballo no se unía adecuadamente y se formaban burbujas de aire.

5.1.2 Segundo borrador de los moldes y construcción de las piezas con el material compuesto M2

5.1.2.a Desarrollo de los moldes

Para el segundo modelo de la carrocería se desarrolló un molde en espumaflex (poliestireno expandido), como se puede ver en la figura 111, después de lo cual se procedió a recubrir el molde con dos capas de cinta masking ya que la resina quemaba el material del molde si se colocaba directamente, este proceso se repitió en la pieza de la parte delantera y en la de los laterales.



Figura 111. Bloque principal para el diseño de la parte delantera

5.1.2.b Proceso de aplicación de las capas del material compuesto M2 y primera capa de masillado

Una vez terminados los moldes se procede a colocar las capas de material compuesto M2, colocando una plancha metálica en las partes planas para generar una presión que no permita que las capas se separen. Y sujetando con una lámina plástica en las curvas para evitar que las capas se separen generando espacios de aire.

Una vez terminado de colocar las capas se procede a dejar que las piezas cubiertas de resina se curen durante tres días, después de lo cual se procede a colocar la primera capa muy fina de masilla, para que la pieza se vuelva más rígida, como se puede ver en la figura 112.



Figura 112. Curado de las capas y primera capa de masilla

5.1.2.c Proceso de desmolde de las piezas

Una vez colocado la primera capa de masilla y esta se haya secado se procede a retirar los moldes de espumaflex cortándolos con cuidado de no dañar las piezas.

Con las piezas ya retiradas de los moldes se procede a realizar los cortes para colocar la carrocería adecuadamente sobre el vehículo y se dio un refuerzo de una capa de fibra de cabuya en la parte delantera ya que esta quedo frágil y se pueda romper.

Como se puede observar en la figura 113 el terminado de la superficie del material compuesto M2 es mejor que en la primera versión, ya que la pieza de metal y la lámina de plástico generaban una presión de compresión lo que no permitía que las capas se separen.



Figura 113. Piezas desmoldadas con mejor acabado

5.1.2.d Proceso de masillado

Se dio tres capas de masillado para igualar las superficies de las piezas, después de cada capa se procedió a lijar con la máquina lijadora que nos permitía apresurar el trabajo y en las partes curvas se dio un lijado a mano con lija seca #36 en la primera capa, lija #180 para la segunda y lija #220 para la tercera dejando una superficie muy liza que mejoraba la presentación de las piezas.

Las capas de masilla fueron muy finas para reducir al máximo la masa de la carrocería, por lo que se pueden observar en la figura 114. Algunas secciones de las piezas manchan negras que son las ondulaciones mínimas creadas por el material compuesto M2.



Figura 114. Piezas terminadas de lijar

5.1.2.e Proceso de fondeado

Una vez terminado de lijar y realizado una limpieza con aire a presión para eliminar todo tipo de polvo que queda del proceso de lijado, después de lo cual se procedió a pasar dos capas de pintura base después de cada capa se procede a lijar con lija seca #600 para conseguir un terminado lizo, como se puede ver en la figura 115.



Figura 115. Piezas terminadas de dar la pintura base y lijar

5.1.2.f Proceso de pintado y abrillantado

Una vez lijado la pintura base se debe limpiar con aire a presión para eliminar todos los residuos de polvo y se procede a dar dos manos de pintura cuidando que esta no se acumule en un solo sitio y se gotee de la pieza ya que esto generaría una superficie no liza.

Una vez terminada de dar las dos capas de pintura y con unas tres horas de sacado se procede a dar brillo a la pintura con una capa de cera rally y se procede a limpiar con una franela limpia, como se puede ver en la figura 116.



Figura 116. Piezas terminadas de pintar y abrillantar

5.2 Comparación con otras versiones del vehículo fórmula SAE

En esta parte se analiza los resultados obtenidos en el prototipo 2018 con respecto a versiones anteriores del vehículo, para lo cual se utilizara como referencia la tesis de Caiza y Vilaña con el tema “DISEÑO, SIMULACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO TIPO FÓRMULA SAE” los cuales tabularon la masa de cada componente de las versiones anteriores del vehículo fórmula student.





5.2.1 Optimización de la masa

Para comprobar la optimización en lo referente a la masa se realiza una comparación con los anteriores diseños construidos para la misma competencia mediante materiales utilizados y masa finales de cada componente. (Caiza & Vilaña, 2015)

5.2.1.a COTOPAXI 1

Cuenta con una carrocería hecha a base de resina poliéster reforzado con fibra de vidrio y placas de aluminio, como se puede ver en la tabla 83. Las placas metálicas otorgaban gran resistencia que va acompañado de la resina y la fibra, la carrocería ofrecía rigidez y no se deformaba con facilidad. La carrocería está constituida por dos partes la trompa y los sidepods. (Caiza & Vilaña, 2015)

Tabla 83
Masa de la carrocería COTOPAXI 1

Carrocería	Imagen	Masa (kg)
COTOPAXI 1		
Fibra de vidrio con refuerzo metálico, placa de aluminio 2.2 mm		 X 2 = 15.88
Total		26.96

Fuente: (Caiza & Vilaña, 2015)

5.2.1.b COTOPAXI 2

La carrocería está hecha a base de resina poliéster con fibra de vidrio, acompañado de masilla plástica para otorgar buenos acabados y formas onduladas, como se puede ver en la tabla 84. Al presentar placas de aluminio en zonas estratégicas, su masa se redujo de manera significativa y se cambió el proceso de construcción referente al anterior prototipo. La carrocería está constituida por dos partes la trompa y los sidepods. (Caiza & Vilaña, 2015)

Tabla 84
Masa de la carrocería COTOPAXI 2





Carrocería	Imagen	Masa (kg)
		
COTOPAXI 2		
Fibra de vidrio con refuerzo metálico, placa de aluminio 1.8 mm		
	Total	23.36

Fuente: (Caiza & Vilaña, 2015)

5.2.1.c COLIBRI 2014

Este nuevo diseño se llama COLIBRI, en el cual se ha tratado de reducir las masas al máximo para obtener una mejor relación de peso-potencia, para ello se ha utilizado la cantidad de material necesario para que el prototipo no falle durante su desempeño. Utilizando compuestos adecuados después de realizar ensayos de tracción y comprobar una resistencia adecuada. Se ha construido una carrocería aerodinámica monococo de una sola parte complementada por un fondo plano ligero. (Caiza & Vilaña, 2015). Como se puede ver en la tabla 85.

Tabla 85
Masa de la carrocería COLIBRI 2014

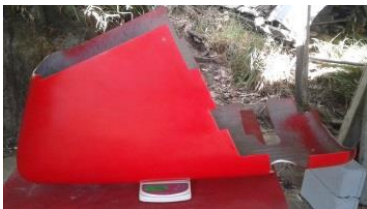

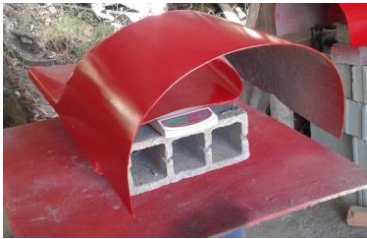



Carrocería	Imagen	Masa (kg)
COLIBRI Carrocería: Resina poliéster con refuerzo de fibra de vidrio y yute.		
Fondo plano: Resina poliéster con refuerzo de fibra de vidrio.		
	Total	20.76

Fuente: (Caiza & Vilaña, 2015)

5.2.1.d CÓNDROR 2018

El modelo 2018 al que se lo llamó CÓNDROR 2018, en el cual se utilizó materiales nuevos basados en fibra natural como es el caso de crin de caballo y cabuya tejidos en forma plano, como se puede ver en la tabla 86, con el objetivo de reducir la masa total del vehículo para conseguir una mejor relación peso-potencia. La selección de materiales optimo se determinó después del análisis de los valores obtenidos en los diferentes ensayos de tracción, flexión e impacto proporcionados por el laboratorio de LANUM de la Escuela Politécnica Nacional.

Tabla 86
Masa de la carrocería de CÓNDROR 2018

Carrocería	Imagen	Masa (gr)
		
EL ÚLTIMO CONTINGENTE		
Fibra de crin de caballo y cabuya.		
Total		13.562 kg

5.2.2 Resultados obtenidos

Con la tabulación de las masas de todas las versiones del vehículo fórmula SAE se puede evidenciar que CÓNDROR 2018 consiguió el objetivo de reducir la masa de la carrocería. El valor optimizado con relación a COTOPAXI 1 (26.96 kg) es de 13.398 kg equivalente al 49.68 %, con relación a COTOPAXI 2 (23.36) es de 9.8 kg equivalente al 41.95 %, con relación a COLIBRI 2014 (20.76 kg) es de al 7.19 kg equivalente a 34.67 %.



Figura 117. Ensamblaje final de la carrocería Cónдор 2018

Además del cumplimiento del objetivo de reducir la masa de la carrocería, se utilizó materiales alternativos a la fibra de vidrio, materiales conformados por fibra natural como es la crin de caballo y la fibra de cabuya, manteniendo una buena resistencia en las piezas y que al reducir la masa permitan aumentar el rendimiento del vehículo que se podrá evidenciar en competencia, como se puede ver en la Figura 117.

CAPÍTULO VI

6. MARCO ADMINISTRATIVO

6.1 Recursos

En el desarrollo de la presente investigación se utilizó una variedad de recursos tanto humano, tecnológico y materiales que fueron necesarios para el análisis computacional por elementos finitos. En la elaboración de las probetas de ensayos para tracción, flexión e impactó y la fabricación de la carrocería con fibra natural de origen animal y vegetal detallando los recursos durante la investigación a continuación.

6.1.1 Recursos humanos

Durante el tiempo que se llevó a cabo la investigación se contó con la intervención por parte de las siguientes personas que se encuentra resumida su aportación en la tabla 87:

Asesoramiento por parte del Ing. Cristian Paredes director de la investigación, quien supo facilitar la información y contactos necesarios para cada una de las etapas de la investigación.

Asesoramiento por parte del Ing. Orlando Campaña encargado de realizar los ensayos de las probetas en Laboratorio de nuevos materiales conocido como LANUM, de la facultad de Ingeniería Mecánica de la universidad Escuela Politécnica Nacional de la ciudad de Quito. Brindando información y observaciones sobre los materiales compuestos y la realización de las probetas para los ensayos bajo norma ASTM.

Asesoramiento por parte del Ing. Víctor Pachacama docente asociado en ASME de la Escuela Politécnica Nacional, quien compartió sus conocimientos para la utilización y análisis computacional de elementos finitos.

Tabla 87
Recurso Humano

N°	Nombre	Función
1	Christian Bautista Bravo	Autor del investigación
2	Patricio Mena Izurieta	Autor del investigación
3	Ing. Cristina Paredes	Director investigación
4	Ing. Orlando Campaña	Asesor en materiales compuestos
5	Ing. Víctor Pachacama	Asesor análisis computacional

6.1.2 Recursos tecnológicos

Para elaborar la investigación fue necesario adquirir y utilizar diferentes recursos tecnológicos, bibliográficos equipos y herramientas. Los mismos que se detallan en la tabla 88.

Tabla 88
Recursos tecnológicos

Recursos	Nombre
Tecnológico	Laptops
	Software CAD
	Software CAE
	Impresora
Bibliográficos	Artículos Científicos
	Libros
	Tesis
	Normas ASTM
Equipos y Herramientas	Guantes
	Mascarillas
	Balanza
	Compresor
	Pulidora de mano
	Cortadora de madera de disco
	Mandil
Prensa Hidráulica	

6.1.3 Recursos materiales

En la tabla 89 se detalla los materiales necesarios en la elaboración de las probetas de tracción, flexión e impacto.

Tabla 89
Recursos materiales

N°	Nombre
1	Crin de caballo
2	Cabuya
3	Espuma Flex
4	Cinta de embalaje
5	Resina
6	Estireno
7	Meck
8	Octoato de cobalto
9	Cera desmoldante
10	Pintura
11	Catalizador
12	Masilla
13	Fondo base

6.2 Costo total del proyecto

Los materiales empleados para la realización de la carrocería del vehículo fórmula Student se detallan en la tabla 90.

Tabla 90
Costo de materiales de fabricación

N°	Materia	Unidad	Cantidad	C. Unitario	C. Total
1	Crin de caballo	ud.	60	5	300
2	Cabuya	m.	5	4,50	22,5
3	Resina	kg.	13	2,88	37,44
4	Estireno	kg.	6	2,71	16,26
5	Meck 120	cc.	4	1,14	4,56
6	Octoato de cobalto 60	cc.	2	1,73	3,46
7	Cera desmoldante	kg.	1	13,24	13,24

CONTINÚA



8	Masilla	kg.	5	9,26	46,3
9	Pintura roja	lt.	1	24,01	24,01
10	Pintura blanca	lt.	0,25	5,15	5,15
11	Pintura negra	lt.	0,25	5,15	5,15
12	Catalizador	lt.	1	9,23	9,23
13	Pintura Base	lt.	1	13,11	13,11
Total				500,41	

El costo total de la investigación se detalla en la tabla 91.

Tabla 91
Costo total investigación

Descripción	Costo
Materiales de fabricación	500,41
Ensayos ASTM	462
Investigación	250
Otros (transporte, impresiones, etc.)	100
Imprevistos	400
Total	1712,41

CONCLUSIONES

- El crin no presenta rugosidades, y por eso al ser una fibra muy lisa no permite una interface de buenas características; por lo que no se obtienen valores altos en los ensayos de tracción, flexión e impacto. Además es difícil de moldearla con el método de estratificación manual ya que al no haber presión las fibras se separan.
- El material compuesto M2, presenta el mayor valor de Resistencia última a la tracción y utiliza mayor energía media de fallo (EMF) en el ensayo de impacto, en comparación a las otras configuraciones (una, dos y tres capas) por lo cual fue seleccionado para el desarrollo de este proyecto.
- Para esta investigación el material compuesto M2, nos permitió reducir la masa de la carrocería en un 41.95% con relación al modelo 2012 que se tomó como referencia, tal como se puede observar en los resultados obtenidos, en los que se comparan de la masa de la carrocería del vehículo Fespe en sus diferentes versiones.
- Se podría utilizar las fibras vegetales y animales que se producen en Ecuador para el desarrollo de piezas automotrices, ayudando al medio ambiente ya que estos compuestos al ser biodegradables reducen el impacto ambiental.
- Para mejorar las características de la interface se debería realizar una investigación para determinar los agentes compatibilizantes, que permitan una mejor unión entre la matriz y el refuerzo ya que en esta investigación no se logró una máxima unión entre estos dos componentes.

RECOMENDACIONES

- Revisar las normas ASTM respectivas para cada tipo de ensayo, tracción D3039, flexión D7264 e impacto D5628 en sus versiones más actualizadas, para obtener las medidas adecuadas de las probetas y obtener así valores de ensayos correctos.
- Se debe analizar los diferentes procesos de fabricación de carrocerías antes de desarrollar las probetas ya que la estratificación manual no permite que las fibras de cerda se junten adecuadamente.
- Revisar investigaciones previas que permitan determinar los porcentajes más adecuados de resina, meck, cobalto y estireno para conseguir un curado del material adecuado ya que un curado muy rápido no permite que el refuerzo se junte bien a la matriz.
- Para investigaciones posteriores se recomienda lavar los tejidos de crin de caballo con materiales desengrasantes, siempre que no dañen la fibra, para eliminar cualquier tipo de residuo de grasa y dejar secar bien para conseguir una mejor interface matriz-refuerzo.
- Se debe realizar más investigaciones respecto a la fibra de crin, para encontrar la forma de tejido o no tejido, que permita aprovechar al máximo las propiedades de elongación.

BIBLIOGRAFÍA

- ABINT. (Septiembre de 2005). *abint.org*. Recuperado el 12 de enero de 2018, de <http://www.abint.org>.
- Acosta, M. (1971). *Los Bosques del Ecuador y sus Productos*. Ecuador. (s.e.)
- Adamian, R. (2009). *Novos materiais: Tecnologia e aspectos econômicos*. Brasil: Coppe.
- Ashby, M. (2011). *Materials Selection in Mechanical Design*. Burlington: Elsevier.
- Askeland, D. (1998). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. México: Thomson.
- Astudillo, M. O. (2010). *Tecnología del automóvil*. Madrid: Paraninfo .
- Baillie, L. (2004). *Green Composites. Polymer Composites and the Environment*. Estados Unidos: Woodhead Publishing Limited.
- Bailon, M. (18 de Julio de 2017). *scribd.com*. Obtenido de <https://es.scribd.com/presentation/354021112/FIBRAS-DE-ORIGEN-ANIMAL-pptx-pptx>
- Bavera, C. (2006). *produccion-animal.com.ar*. Obtenido de http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_ovina/produccion_ovina/000-ganado_lanar_en_argentina_libro/06-capitulo_2.pdf
- Caiza, V., & Vilaña, J. (2015). *Diseño, simulación, optimización y construcción de una carrocería de un vehículo tipo formula SAE*. Latacunga: Tesis ESPE.
- Callister, W. (2007). *Materials Science and Engeneering: An introduction*. Estados Unidos.: John Wiley & Sons, Inc.
- Celi, J., & Jaramillo, E. (2013). *Diseño y contrucción del chasis y carrocería del vehículo de competencia fórmula SAE 2012*. Latacunga: Tesis ESPE.
- centralderepuestostr.com. (2017). *Carrocería del Automóvil*. Obtenido de <http://centralderepuestostr.com/carroceria-auto/>
- Chung, D. (2010). *Composite Materials, Science and Applications*. Nueva York,: Springer.
- CICO. (Noviembre de 2009). *pucesi.edu.ec*. Obtenido de <http://www.pucesi.edu.ec/pdf/cabuya.pdf>
- Claude, L. (2000). *cyberlipid.org*. Obtenido de <http://www.cyberlipid.org/index.htm>
- Davila et al. (2011). *Nuevos materiales: Aplicaciones estructurales e industriales*. Quito: Imprefepp.
- Educalingo.com*. (s.f.). Obtenido de <https://educalingo.com/es/dic-es/crin>

- FAO. (Diciembre de 2004). *fao.org*. Obtenido de www.fao.org/es/esc/common/ecg/343/es/esc_4_sp.pdf
- FAO. (2009). *fao.org.ec*. Obtenido de http://www.fao.org.ec/Fibras/AIFN_hojas.pdf
- FORECA, & AENET. (13 de 07 de 2018). *Tiempo y temperatura*. Obtenido de <http://tiempoytemperatura.es/alemania/hockenheim.html#ahora>
- formulastudent.de. (2017). Obtenido de <https://www.formulastudent.de/pr/news/details/article/registration-starts-on-22th-of-january-update-20171220/>
- formulastudent.de. (2017). *FS-Rules 2018 VI.1*. Obtenido de <https://www.formulastudent.de/fsg/rules/>
- Fuglsang, L. (2005). *Composite Materials: Properties as Influenced by Phase Geometry*. Springer.
- Guerrón, G. (2005). *Caracterización y modificación alcalina de la fibra de abacá variedad bungalanón para la elaboración de hilo artesanal*. Quito: Tesis EPN.
- Guerrón, G. (2005). *Caracterización y modificación alcalina de la fibra de abacá variedad bungalanón para la elaboración de hilo artesanal*. Quito: Tesis EPN.
- Hans, A. (1996). *Cellulose, Structure, Accessibility and Reactivity*. Amsterdam: Gordon and Breach Science.
- Hnos, D. (13 de 07 de 2018). *Dolzgnos*. Obtenido de http://www.dolzgnos.com.ar/htm/densidad_del_aire.html
- Kerstin, F. (1998). *FiberArts.org*. Obtenido de <http://fiberarts.org/design/articles/horsehair.html>
- La industria pone a prueba la resistencia de la cabuya. (2008). *Revista Líderes*.
- Larson, B. (Octubre de 2011). *nde-ed.org*. Obtenido de http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Structure/composite_class.htm
- Levy, F. (2006). *Compósitos estruturais: Ciência e tecnologia*. São Paulo: Edgard Blücher.
- Mancía, M. (2006). *beisa.dk*. Obtenido de [http://www.beisa.dk/Publications/BEISABookpdfer/Capitulo 23.pdf](http://www.beisa.dk/Publications/BEISABookpdfer/Capitulo%2023.pdf)
- Mazumdar, S. (2003). *Composites manufacturing: Materials, product and process engineering*. Estados Unidos: CRC Press.
- Ministerio de Agricultura, G. A. (2006). *Balance de alimewntos*.

- Mohanty, A., Misra, M. y Drzal, L. (2009). *Natural fibers, biopolimers and biocomposites*. Estados Unidos: Taylor & Francis Group.
- Niemann, y., Tichkiewitch, S., y Westkämper, E. (2009). *Design of Sustainable Product Life Cycles*. Berlín: Springer.
- NoticiasToyocosta. (2016). *toyocosta.com*. Obtenido de <http://www.toyocosta.com/blog/materiales-usados-para-fabricar-un-auto/>
- Páez, J. (2007). *Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión*. Quito: Tesis EPN.
- Pickering, K. (2008). *Properties and performance of natural-fibre composites*. Estados Unidos: CRC Press.
- Ponton, P. (2009). *Estudio del efecto de encolado de fibra de abacá en el mejoramiento*. Quito: Tesis EPN.
- Recambiooriginal.com. (2015). *Los materiales para fabricar carrocerías de automóviles*. Obtenido de <http://www.recambiooriginal.com/blog/recambios-originales/carroceria/los-materiales-para-fabricar-carrocerias-de-automoviles/>
- Revistacesvimap. (2016). *Formula Student*. Recuperado el 6 de Septiembre de 2017, de <http://www.revistacesvimap.com/formula-student/>
- SAE. (2017). *Formula SAE Rules*.
- Salazar, S. (2010). *Caracterización de la fibra de ramio (Boehmeria nivea) y estudio del efecto del tiempo de cosecha sobre sus propiedades mecánicas*. Quito: Tesis EPN.
- Salazar, S. (2010). *Caracterización de la fibra de ramio y estudio del efecto del tiempo de cosecha sobre sus propiedades mecánicas*. Quito: Tesis EPN.
- sciencephoto.com. (2011). *Science Photo Lybray*. Obtenido de http://www.sciencephoto.com/image/10002/530wm/A8500256-Reinforced_
- Stupenengo, F. (2011). *Materiales y materias primas*. Buenos Aires: Saavedra.
- worldpossible.org. (2016). *Fórmula Student*. Obtenido de http://dev.worldpossible.org:81/wikipedia_es_all_2016-02/A/Formula_Student.html
- Zhang, W., Li, L. y Wang, T. (2011). *elsevier.com*. Obtenido de <http://www.elsevier.com/locate/commatsci>

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores BAUTISTA BRAVO, CHRISTIAN GIOVANNI y MENA IZURIETA, PATRICIO IVÁN.

En la ciudad de Latacunga a los 07 del mes de Septiembre del 2018.

Aprobado por:

Ing. Cristian Paredes

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Danilo Zambrano

DIRECTOR DE LA CARRERA

Dr. Darwin Albán Yáñez

SECRETARIO ACADÉMICA

