

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE MATRIZ CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero  
Mecánico Automotriz

**CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS PARA LA  
APLICACIÓN EN LA CARROCERÍA DEL VEHÍCULO MONOPLAZA  
TIPO FORMULA SAE**

**AUTORES:**

Gabriel Esteban Espinoza Beltrán  
Jorge Antonio Hidalgo Pacheco

**DIRECTOR:**

Mstr. Diego René Urgilés Contreras

Cuenca, Marzo 18 del 2016

## DECLARATORIA

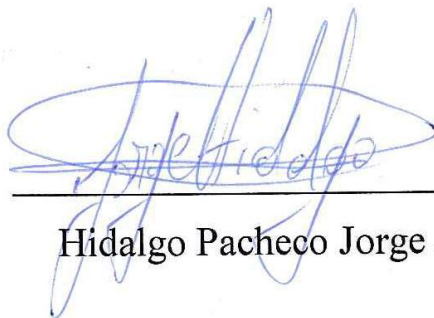
Nosotros, Espinoza Beltrán Gabriel Esteban e Hidalgo Pacheco Jorge Antonio, declaramos bajo juramento que el trabajo de titulación aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado por ningún grado o calificación profesional y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional Vigente, para la utilización como fuente de consulta.



---

Espinoza Beltrán Gabriel Esteban




---

Hidalgo Pacheco Jorge Antonio

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Nosotros, Espinoza Beltrán Gabriel Esteban con cédula de identidad Nro. 030244145-6 e Hidalgo Pacheco Jorge Antonio con cédula de identidad Nro. 070428393-6, manifestamos nuestra voluntad de ceder a la Universidad Politécnica Salesiana los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autores del trabajo de titulación denominado: “CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS PARA LA APLICACIÓN EN LA CARROCERÍA DEL VEHÍCULO MONOPLAZA TIPO FORMULA SAE”, que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Mecánico Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Marzo de 2016.



---

Espinoza Beltrán Gabriel Esteban  
**030244145-6**



---

Hidalgo Pacheco Jorge Antonio  
**070428393-6**

## CERTIFICACIÓN

Yo, Mstr. Diego René Urgilés Contreras certifico que el trabajo de titulación “CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS PARA LA APLICACIÓN EN LA CARROCERÍA DEL VEHÍCULO MONOPLAZA TIPO FORMULA SAE”, para la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca, realizado por los estudiantes: Gabriel Esteban Espinoza Beltrán y Jorge Antonio Hidalgo Pacheco, previa a la obtención del título de INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ, fue desarrollado bajo mi tutela y dirección.

Cuenca, Marzo de 2016.



Mstr. Diego René Urgilés Contreras

**DIRECTOR DEL PROYECTO TÉCNICO**



## **DEDICATORIA**

Este proyecto va dedicado:

A Dios, por permitirme culminar esta meta, por haberme dado las fuerzas necesarias para salir adelante y no sucumbir ante los problemas que se me suscitaban, enseñándome a luchar por mis ideales y nunca a darme por vencido.

A mi madre: Gina, por su constante apoyo y motivación, que a pesar de las adversidades nunca dejó de creer en mí.

A mi padre: César, por ser el pilar fundamental en mi formación, al enseñarme valores y principios que me forjaron como una persona de bien.

A mis padres: César y Gina, por haberme dado la oportunidad de optar por mis estudios universitarios, gracias a su esfuerzo y sacrificio hoy pude cumplir mi sueño.

A mi hermano: Ismael, por enseñarme a mejorar y superarme cada día.

A mi novia: Betsy, por brindarme su amor y comprensión, por estar siempre apoyándome en los momentos buenos y malos a lo largo de mi vida y carrera universitaria.

A mis abuelos: Miguel, Enma y Guillermina; por estar siempre al pendiente de mí y brindarme sus sabios consejos que me ayudaron a conseguir mis metas y sueños.

**Gabriel**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto va dedicado:

A mi padre: Jorge, por su incondicional apoyo y sabiduría, por creer en mí en los momentos difíciles y principal motivo de inspiración para seguir superándome.

A mi madre: Dennys, por formarme con buenos principios, valores y por enrumbarme por el camino del bien.

A mis hermanos: Ixiar y Angel, por sus buenos deseos a lo largo de mi carrera universitaria.

A mi novia, Samay quien siempre ha estado a mi lado durante mis estudios universitarios.

**Jorge**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios ante todo, por habernos dado la fortaleza de sacar este proyecto adelante y guiarnos durante todo el camino.

Un agradecimiento muy sincero al Mstr. Jónatan Pozo Palacios Coordinador de la Línea de Investigación en Diseño Mecánico Automotriz del Grupo de Investigación en Ingeniería de Transporte de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, quien dio apertura y su respaldo para que este proyecto técnico fuese realizado.

Nuestro profundo agradecimiento al Mstr. Diego Urgilés Contreras, quien con su acertada dirección y su apoyo constante hizo posible la realización del presente proyecto técnico.

No podemos dejar de mencionar nuestra gratitud a los docentes Ing. Luis López López, e Ing. Jorge Fajardo Seminario, así como también a los compañeros estudiantes César Paltán Zhingre, y Tito Muñoz Cuenca, todos ellos miembros del Grupo de Investigación en Nuevos Materiales y Procesos de Transformación (GIMAT) de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, quienes colaboraron y apoyaron en la adquisición de la fibra de caña guadua, así como también dieron la asesoría inicial para la elaboración del material compuesto.

Gracias a todas las personas que nos apoyaron y de una forma indirecta colaboraron en la viabilidad de este trabajo.

A todos ustedes... ¡Gracias!

**Gabriel, Jorge.**

## RESUMEN

El presente proyecto técnico tiene como objetivo la reducción del peso actual de la carrocería del vehículo monoplace tipo Formula SAE de la Universidad Politécnica Salesiana, mediante la caracterización de materiales compuestos, sin descuidar la resistencia del material a utilizar. Los materiales empleados en la caracterización fueron composite de fibra de vidrio, y composite de fibra de caña guadua angustifolia.

Para la caracterización fue necesario diseñar y construir probetas bajo la normativa ISO 527-2 para realizar los ensayos de tracción; el mismo que se cumplió siguiendo los parámetros establecidos en la norma ASTM D638-14. Para la obtención de las probetas, se procedió a elaborarlas empleando un proceso de estratificación manual donde se fabricaron 5 grupos diferentes de probetas, cada uno con composiciones distintas; teniendo en el primer grupo, 10 probetas de composite de fibra de vidrio de 3 capas; en el segundo grupo, 10 probetas de composite de fibra de vidrio de 4 capas; en el tercer grupo, 10 probetas de composite de fibra de caña guadua angustifolia con un porcentaje del 10% de fibra; en el cuarto grupo, 10 probetas de composite de fibra de caña guadua angustifolia con un porcentaje del 15% de fibra; y finalmente en el quinto grupo, 10 probetas de composite de fibra de caña guadua angustifolia con un porcentaje del 20% de fibra.

Mediante el análisis de los resultados obtenidos en la caracterización de los cinco grupos de probetas, se concluyó que el material idóneo para aliviar la carrocería tomando en cuenta su resistencia fue el composite de fibra de vidrio de 3 capas, el mismo que resultó ser incluso mucho más liviano y resistente que todas las diferentes configuraciones del composite de fibra de caña guadua angustifolia. Sin embargo, se debe destacar que el composite de fibra natural sigue siendo aún mucho más liviano que el composite de fibra de vidrio empleado en la carrocería actual del vehículo monoplace.

# COMPOSITES CHARACTERIZATION FOR APPLICATION IN VEHICLE BODY TYPE FORMULA SAE

## ABSTRACT

This technical project aims at reducing the current body weight of the vehicle body type Formula SAE of the “Salesians Polytechnic University”, through the composites characterization, without ignoring the resistance of material to use. The materials used in the characterization were fiberglass composite and fiber and bamboo cane *angustifolia* one.

For characterization was necessary to design and construct test tubes under ISO 527-2 standard for tensile tests; the same that was fulfilled following the parameters set forth in ASTM D638-14. In addition, to obtain the samples, we proceeded to elaborate them using a manual lamination process where 5 different groups of test tubes were produced, each one with different compositions; getting have in the first group 10 test tubes of composite fiberglass 3 layers; in the second group, 10 test tubes of composite fiberglass layers 4; in the third group, 10 test tubes of composite fiber *angustifolia* bamboo cane one, with a percentage of 10% fiber; in the fourth group 10 test tubes fiber composite *angustifolia* bamboo cane with a percentage of 15% fiber; and finally in the fifth group 10 test tubes fiber composite *angustifolia* bamboo cane with a percentage of 20% fiber.

By analyzing the results obtained in the characterization of the five groups of test tubes, it was concluded that the ideal to lighten the body materials taking into account their resistance was the composite of fiberglass 3 layers, it turned out to be even much lighter and stronger than all the different configurations of fiber composite *angustifolia* bamboo cane. However, it should be noted that the natural fiber composite remains still much lighter than glass fiber composite used in the actual body of the car vehicle.

# Índice

<b>DECLARATORIA</b> .....	II
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	III
<b>RESUMEN</b> .....	VIII
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. PROBLEMA</b> .....	2
2.1. Antecedentes .....	2
2.2. Importancia y Alcances.....	2
2.3. Delimitación.....	4
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	5
3.1. Objetivo General .....	5
3.2. Objetivos Específicos.....	5
<b>4. ESTADO DEL ARTE</b> .....	6
4.1. FORMULA SAE .....	6
4.1.1. Normativas Para la Carrocería .....	7
4.1.2. Materiales más Utilizados en Carrocerías para Prototipos Formula SAE.....	9
4.1.2.1. Aluminio .....	9
4.1.2.2. Polímeros .....	9
4.1.2.3. Fibra de Carbono.....	10
4.1.2.4. Fibra de Vidrio .....	10
4.1.2.4.1. Fibra de Vidrio Tipo E.....	10
4.1.2.5. Fibras Naturales .....	11
4.1.2.5.1. Propiedades de la Guadua Angustifolia Kunt (GAK).....	12
4.2. MATERIALES COMPUESTOS.....	13
4.2.1. Nuevos Materiales Compuestos.....	13
4.2.2. Importancia de los Materiales Compuestos .....	14
4.2.3. Componentes de los Materiales Compuestos.....	16

4.2.3.1. Matrices y Refuerzos .....	18
4.2.3.2. Papel de la Interfaz.....	19
4.2.3.3. Tipos de Matriz .....	19
4.2.3.3.1. Matrices Poliméricas.....	20
4.2.3.4. Tipos de Refuerzo .....	21
4.2.3.4.1. Partículas.....	21
4.2.3.4.2. Fibras.....	22
4.2.3.4.3. Elementos Estructurales .....	23
4.2.4. Clasificación de los Materiales Compuestos.....	23
4.2.5. Propiedades Mecánicas de los Materiales Compuestos .....	25
4.2.5.1. Propiedades Mecánicas en la Zona de la Intercara Refuerzo - Matriz.....	26
4.2.5.2. Propiedades Mecánicas de los Materiales Compuestos Reforzados con Fibras	26
4.2.5.2.1. Influencia de la Orientación y Cantidad de la Fibra.....	27
4.2.5.2.2. Influencia de la Longitud de la Fibra en Compuestos Reforzados con Fibras Discontinuas Alineadas.....	27
4.2.5.3. Ensayos Destructivos y Evaluación de las Propiedades Mecánicas de los Materiales Compuestos .....	28
4.2.5.3.1. Ensayo de Tracción.....	29
4.2.5.3.2. Ensayo de Flexión.....	30
4.3. MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADOS CON FIBRAS VEGETALES .....	31
4.3.1. Presente y Futuro de los Compuestos Poliméricos Reforzados con Fibras Vegetales .....	31
4.3.1.1. Principales Fibras Vegetales que Pueden Ser Incorporadas como Refuerzo en la Elaboración de Materiales Compuestos .....	34
4.3.1.1.1. Abacá .....	34
4.3.1.1.2. Sisal (Agave Sisalana) .....	35
4.3.1.1.3. Curauá (Ananasrectifolius).....	35
4.3.1.1.5. Ramio.....	36

4.3.1.1.6. Coco .....	37
1.3.1.1.7. Lino .....	38
4.3.1.1.8. Guadua Angustifolia Kunt (GAK).....	38
4.3.2. Fibras Vegetales.....	40
4.3.2.1. Clasificación de las Fibras Vegetales.....	40
4.3.2.2. Propiedades Mecánicas de las Fibras Naturales.....	41
4.3.2.3. Tejidos y No Tejidos Producidos a Partir de Fibras Naturales .....	43
4.3.2.3.1. Tejidos.....	45
4.3.2.3.2. No Tejidos.....	46
4.3.3. Procesos de Fabricación.....	47
4.3.3.1. Estratificación Manual .....	47
4.4. MATERIALES COMPUESTOS BIODEGRADABLES .....	48
4.4.1. Contribución Ambiental de los Materiales Compuestos Biodegradables .....	48
4.4.2. Materiales Compuestos Biodegradables Reforzados con Fibras Vegetales.....	50
4.5. COMPOSITES ELABORADOS CON FIBRAS NATURALES ECUATORIANAS. .....	52
4.5.1. Investigaciones Previas Desarrolladas en el Ecuador .....	52
4.6. PROTOTIPOS FABRICADOS A PARTIR DE MATERIALES COMPUESTOS ECUATORIANOS. ....	53
4.6.1. Relevancia de la Producción de Prototipos en el Contexto de la Realidad Ecuatoriana .....	53
4.6.2. Prototipos Fabricados en el Ecuador en Relación a la Industria Automotriz.....	53
4.6.2.1. Construcción de una Carrocería de un Vehículo Tipo Formula SAE .....	54
4.6.2.2. Construcción de un Prototipo del Capot de la Camioneta Mazda BT-50 .....	54
<b>5. MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>56</b>
5.1. Recursos y Materiales .....	56
5.1.1. Tabla de Costos.....	56
5.2. Diseño de la de Probeta para la Construcción de la Plantilla.....	57
5.3. Preparación y Obtención del Alcohol Polivinílico.....	58



5.4. Obtención de Probetas de Composite de Fibra de Vidrio.....	59
5.4.1. Aplicación del Alcohol Polivinílico.....	59
5.4.1.1. Primera Película de Alcohol Polivinílico.....	60
5.4.1.2. Segunda Película de Alcohol Polivinílico.....	60
5.4.1.3. Tercera Película de Alcohol Polivinílico.....	61
5.4.2. Pesos de Materiales Empleados para la Fabricación de Láminas de Composite de Fibra de Vidrio.....	62
5.4.2.1. Lámina de Composite de Fibra de Vidrio de 3 Capas de (30x30) cm <sup>2</sup> .....	62
5.4.2.2. Lámina de Composite de Fibra de Vidrio de 4 Capas de (30x30) cm <sup>2</sup> .....	63
5.4.3. Aplicación del Catalizador (MEK).....	63
5.4.4. Aplicación del Gel Coat.....	64
5.4.5. Corte de Fibra de Vidrio (MAT) en Retazos.....	67
5.4.6. Aplicación de Resina Poliéster.....	68
5.4.6.1. Primera Capa de Resina Poliéster y Fibra de Vidrio (MAT).....	69
5.4.6.2. Segunda y Tercera Capa de Resina Poliéster y Fibra de Vidrio (MAT).....	70
5.4.6.3. Cuarta Capa de Resina Poliéster y Fibra de Vidrio (MAT).....	70
5.4.7. Proceso de Desmolde.....	71
5.4.8. Proceso de Corte.....	73
5.4.9. Resultados Obtenidos Después del Corte.....	74
5.4.10. Pesos de las Probetas.....	74
5.4.10.1. Probetas de Composite de Fibra de Vidrio de Tres Capas.....	75
5.4.10.2. Probetas de Composite de Fibra de Vidrio de Cuatro Capas.....	75
5.5. OBTENCIÓN DE PROBETAS DE COMPOSITE DE FIBRA NATURAL DE CAÑA GUADUA.....	75
5.5.1. Obtención de Latillas de Caña Guadua.....	75
5.5.2. Proceso de Extracción de Fibra Corta.....	80
5.5.3. Obtención de Probetas.....	82
5.5.3.1. Aplicación del Alcohol Polivinílico.....	82

5.5.3.2. Fabricación de los Moldes .....	83
5.5.3.3. Porcentajes de Fibra Natural y Resina Poliéster a Utilizar .....	84
5.5.3.4. Pesos de Materiales Empleados para la Fabricación de Láminas de Composite de Fibra Natural de Caña Guadua.....	85
5.5.3.4.1. Lámina de Composite de 10% de Fibra Natural de Caña Guadua.....	85
5.5.3.4.2. Lámina de Composite de 15% de Fibra Natural de Caña Guadua.....	86
5.5.3.4.3. Lámina de Composite de 20% de Fibra Natural de Caña Guadua.....	86
5.5.3.5. Preparación de la Mezcla (Resina Poliéster + Fibra Natural + Catalizador) ....	87
5.5.3.6. Aplicación de la Mezcla en los Moldes .....	88
5.5.3.7. Proceso de Desmolde.....	89
5.5.3.8. Proceso de Corte y Obtención de Probetas .....	90
5.5.3.9. Pesos de Probetas .....	91
5.5.3.9.1. Probetas de Composite de 10% de Fibra Natural de Caña Guadua .....	92
5.5.3.9.2. Probetas de Composite de 15% de Fibra Natural de Caña Guadua .....	92
5.5.3.9.3. Probetas de Composite de 20% de Fibra Natural de Caña Guadua .....	93
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>94</b>
6.1. ENSAYOS DE TRACCIÓN .....	94
6.1.1. Muestras .....	95
6.1.2. Resultados de los Ensayos de Tracción .....	96
6.1.2.1. Material Compuesto por 3 Capas de Fibra de Vidrio.....	96
6.1.2.2. Material Compuesto por 4 Capas de Fibra de Vidrio.....	97
6.1.2.3. Material Compuesto de 10% de Fibra de Natural .....	99
6.1.2.4. Material Compuesto de 15% de Fibra de Natural .....	100
6.1.2.5. Material Compuesto de 20% de Fibra de Natural .....	102
6.1.3. Comparación del Módulo de Elasticidad .....	103
6.1.3.1. Módulo de Elasticidad en el Composite Reforzado con Fibra de Vidrio.....	103
6.1.3.2. Módulo de Elasticidad en el Composite Reforzado con Fibra de Bambú.....	104
6.1.4. Comparación de la Carga Última.....	105

6.1.4.1. Carga Última del Composite Reforzado con Fibra de Vidrio .....	105
6.1.4.2. Carga Última del Composite Reforzado con Fibra de Bambú.....	106
6.1.5. Comparación de la Deformación a la Rotura.....	107
6.1.5.1. Deformación a la Rotura del Composite Reforzado con Fibra de Vidrio .....	107
6.1.5.2. Deformación a la Rotura del Composite Reforzado con Fibra de Bambú.....	108
6.1.6. Comparación de los Composites.....	108
6.1.6.1. Deformación a la Rotura .....	108
6.1.6.2. Carga Última.....	109
6.1.6.3. Módulo de Elasticidad .....	110
6.1.7. Pesos de las Probetas.....	111
6.1.8. Selección del Material.....	113
6.1.8.1. Matriz de Decisión Para Composite Reforzado con 3 Capas de Fibra de Vidrio .....	114
6.1.8.3. Matriz de Decisión Para Composite Reforzado con 10% de Fibra de Bambú	115
6.1.8.4. Matriz de Decisión para Composite Reforzado con 15% de Fibra de Bambú	115
6.1.8.5. Matriz de Decisión para Composite Reforzado con 20% de Fibra de Bambú	116
6.1.8.6. Selección del Composite .....	116
6.1.9. Reducción de Peso en Toda la Carrocería.....	117
6.1.10. Comparación de Peso en la Competencia FSAE 2014 .....	120
6.2. APLICACIÓN DE RESULTADOS.....	121
6.2.1. Pesos de Materiales Empleados Para la Fabricación de Láminas de Composite de Fibra de Vidrio .....	121
6.2.1.1. Lámina de Composite de Fibra de Vidrio de 3 Capas de (60x40) cm <sup>2</sup> .....	121
6.2.2. Pesos de Materiales Empleados Para la Fabricación de una Lámina de Composite de 15% de Fibra Natural de Caña Guadua .....	122
6.2.2.1. Lámina de Composite de Fibra Natural de Caña Guadua de (57x35) cm <sup>2</sup> .....	122
6.2.3. Fabricación de una Réplica a Escala Real de la Tapa Lateral que Forma Parte de la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE.....	123

6.2.3.1. Fabricación de una Réplica a Escala Real de la Tapa Lateral que Forma Parte de la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE Empleando Composite Reforzado con 3 Capas de Fibra de Vidrio .....	123
6.2.3.2. Fabricación de una Réplica a Escala Real de una Pieza Plana que Forma Parte de la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE Empleando Composite con 15% de Fibra Natural de Caña Guadua.....	124
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>125</b>
<b>8. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>128</b>
<b>9. TRABAJOS FUTUROS .....</b>	<b>130</b>
<b>10. REFERENCIAS.....</b>	<b>131</b>
<b>11. ANEXOS.....</b>	<b>137</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>138</b>
<b>ANEXO 2 .....</b>	<b>154</b>
<b>ANEXO 3 .....</b>	<b>155</b>
<b>ANEXO 4.....</b>	<b>156</b>

## Índice de Figuras

Figura 2. 1: Peso del Vehículo Monoplaza Registrado en la Competencia Formula Student UK, realizado en Silverstone, en el año 2014. ....	3
Figura 4. 1: Participación de Estudiantes en la Competencia Formula SAE. ....	6
Figura 4. 2: Zona de Seguridad.....	7
Figura 4. 3: Propiedades Químicas GAK en el Ecuador.....	12
Figura 4. 4: Propiedades Mecánicas GAK en el Ecuador. ....	13
Figura 4. 5: Aplicaciones de los Materiales Compuestos. ....	14
Figura 4. 6: Crecimiento Mundial en el Consumo de Materiales Compuestos (1985 hasta el año 2000). ....	16
Figura 4. 7: Sectores de Aplicación más Comunes de los Materiales Compuestos.....	16
Figura 4. 8: Configuración Básica de un Material Compuesto. ....	17
Figura 4. 9: Componentes de los Materiales Compuestos. ....	18
Figura 4. 10: Matriz Polimérica, Ampliada 10 Micrómetros.....	20
Figura 4. 11: Matriz Reforzada con Material Particulado.....	22
Figura 4. 12: Refuerzos de Alambres, Fibras y Whiskers.....	22
Figura 4. 13: Refuerzos de Alambres, Fibras y Whiskers.....	23
Figura 4. 14: Clasificación Tradicional de los Materiales. ....	24
Figura 4. 15: Subdivisión de los Materiales Híbridos.....	24
Figura 4. 16: Clasificación de los Materiales Compuestos Según el Tipo de Refuerzo. ....	25
Figura 4. 17: Orientación de la Fibra: (a) Continua y Alineada, (b) Discontinua y Alineada y (c) Discontinua al Azar. ....	27
Figura 4. 18: (a) Máquina Universal de Ensayos, (b) Mordazas para Ensayo de Tracción. ..	29
Figura 4. 19: Configuración de Carga a Flexión de Tres Puntos. ....	30
Figura 4. 20: Equipo Para Ensayo a Flexión.....	30
Figura 4. 21: Partes y Usos de la Caña Guadua. ....	39
Figura 4. 22: Crecimiento de la GAK. ....	40
Figura 4. 23: Ventajas y Desventajas de Utilizar Fibras Naturales como Refuerzo en la Elaboración de Materiales Compuestos.....	42
Figura 4. 24: Comparación entre Fibras Naturales y Fibras Sintéticas. ....	42
Figura 4. 25: Comparación entre Diferentes Propiedades de las Fibras Vegetales y las Fibras de Vidrio. ....	43
Figura 4. 26: Diseño Esquemático de un Tejido. ....	44
Figura 4. 27: (a) Estructura al Azar de un No Tejido y (b) Estructura de un Tejido. ....	46
Figura 4. 28: Fabricación de un Domo por Estratificación Manual.....	48
Figura 4. 29: Degradación de un Envase de P(3HB-CO-3HV) en Lodo Activado Durante un Periodo de 0, 2, 4, 6, 8 y 10 Semanas. ....	49
Figura 4. 30: Propiedades Mecánicas Típicas de los Compuestos de PLA Reforzados con Fibras Vegetales.....	51
Figura 4. 31: Carrocería de un Vehículo Tipo Formula SAE. ....	54
Figura 4. 32: Prototipo del Capot de la Camioneta Mazda BT-50.....	55
Figura 5. 1: Dimensionado de la Probeta Mediante el Software Solidworks.....	57
Figura 5. 2: Plantilla Para la Obtención de Probetas.....	57
Figura 5. 3: Preparación y Obtención del Alcohol Polivinílico. ....	58

Figura 5. 4: Vidrio de 4 Líneas de (30x30) cm <sup>2</sup> .....	59
Figura 5. 5: Primera Película de Alcohol Polivinílico. ....	60
Figura 5. 6: Segunda Película de Alcohol Polivinílico. ....	61
Figura 5. 7: Tercera Película de Alcohol Polivinílico.....	61
Figura 5. 8: Finas Películas de Alcohol Polivinílico Totalmente Secas.....	62
Figura 5. 9: Gramos de MEK Requerido por Cada 100 gramos de Gel Coat y Resina Poliéster. .....	64
Figura 5. 10: Cantidad de 100 gramos de Gel Coat. ....	64
Figura 5. 11: Mezcla entre 100 gramos de Gel Coat y 3,51 gramos de Catalizador (MEK). 65	
Figura 5. 12: Aplicación de Gel Coat sobre la Superficie del Vidrio Cubierto por el Alcohol Polivinílico.....	66
Figura 5. 13: Gel Coat Aplicado Sobre Todos los Cuatro Moldes. ....	67
Figura 5. 14: Corte de Retazos de Fibra de Vidrio. ....	67
Figura 5. 15: Cantidad en Gramos de Fibra de Vidrio que se Usó Para Cada Molde de 3 y 4 Capas.....	68
Figura 5. 16: Mezcla entre 100 gramos de Resina Poliéster y 3,51 gramos de Catalizador (MEK).....	69
Figura 5. 17: Colocación de la Primera Capa de Resina Poliéster y Fibra de Vidrio. ....	69
Figura 5. 18: Colocación de la Segunda y Tercera Capa de Resina Poliéster y Fibra de Vidrio. .....	70
Figura 5. 19: Colocación de la Cuarta Capa de Resina Poliéster y Fibra de Vidrio. ....	71
Figura 5. 20: Láminas Terminadas de Composite de Fibra de Vidrio para su Posterior Secado. .....	71
Figura 5. 21: Separación del Vidrio y la Lámina de Composite de Fibra de Vidrio en el Proceso de Desmolde.....	72
Figura 5. 22: Láminas de Composite de Fibra de Vidrio de 3 Capas. ....	72
Figura 5. 23: Láminas de Composite de Fibra de Vidrio de 4 Capas. ....	73
Figura 5. 24: Trazado en la Superficie de las Láminas de Composite de Fibra de Vidrio y Corte de las Probetas.....	73
Figura 5. 25: Corte de Probetas de Composite de Fibra de Vidrio con Cierra Dremel.....	74
Figura 5. 26: Probetas de Composite de Fibra de Vidrio de 3 y 4 Capas Obtenidas en el Proyecto. ....	74
Figura 5. 27: Peso en Gramos de 10 Probetas de Composite de Fibra de Vidrio de 3 Capas.75	
Figura 5. 28: Peso en Gramos de 10 Probetas de Composite de Fibra de Vidrio de 4 Capas.75	
Figura 5. 29: Tallo de la Caña Guadua. ....	76
Figura 5. 30: Medición y Corte del Tallo de la Caña Guadua. ....	76

Figura 5. 31: Corte de los Nudos Macizos y Obtención de los Entrenudos del Tallo de la Caña Guadua.....	77
Figura 5. 32: Corte de 100 mm. de los 6 Entrenudos del Tallo de la Caña Guadua. ....	77
Figura 5. 33: Toma de Medidas y Trazado Alrededor de los 12 Entrenudos de 100 mm. de Caña Guadua.....	78
Figura 5. 34: Corte de las Latillas de Aproximadamente 15 mm. de Ancho por 100 mm. de Largo.....	79
Figura 5. 35: Latillas de Caña Guadua de Aproximadamente 15 mm. de Ancho por 100 mm. de Largo. ....	79
Figura 5. 36: Latillas de Caña Guadua.....	80
Figura 5. 37: Flujograma del Proceso de Obtención de Fibra de Caña Guadua. ....	81
Figura 5. 38: Fibra Natural de Caña Guadua. ....	81
Figura 5. 39: Primera Capa de Alcohol Polivinílico Sobre los 3 Retazos de Vidrio (30x30) cm <sup>2</sup> .....	82
Figura 5. 40: Fabricación de los Moldes Cerrados Para el Vaciado del Composite de Fibra Natural. ....	83
Figura 5. 41: Obtención de los Moldes Cerrados Para el Vaciado del Composite de Fibra Natural. ....	84
Figura 5. 42: Porcentaje de Fibra Natural de Caña Guadua a Utilizarse en los 3 Moldes. ....	84
Figura 5. 43: Porcentaje de Resina Poliéster que se Utiliza Para Cada Uno de los Moldes. .	85
Figura 5. 44: Preparación de la Mezcla (Resina Poliéster + Fibra Natural + Catalizador)...	87
Figura 5. 45: Esparcimiento de la Mezcla (Resina Poliéster + Fibra Natural + Catalizador) en el Molde. ....	88
Figura 5. 46: Secado de Láminas de Composite de 10%, 15% y 20% de Fibra Natural de Caña Guadua. ....	89
Figura 5. 47: Separación de la Placa de Vidrio y la Lámina de Composite de Fibra Natural en el Proceso de Desmolde. ....	89
Figura 5. 48: De Izquierda a Derecha: Láminas de Composite de 10%, 15% y 20% de Fibra Natural de Caña Guadua Respectivamente.....	90
Figura 5. 49: Trazado en la Superficie de las Láminas de Composite de Fibra Natural y Posterior Corte de Probetas.....	91
Figura 5. 50: Peso en Gramos de 10 Probetas de Composite de 10% de Fibra Natural de Caña Guadua. ....	92
Figura 5. 51: Peso en Gramos de 10 Probetas de Composite de 15% de Fibra Natural de Caña Guadua. ....	92
Figura 5. 52: Peso en Gramos de 10 Probetas de Composite de 20% de Fibra Natural de Caña Guadua. ....	93

Figura 6. 1: Ensayo de Tracción Realizado en una Probeta de Material Compuesto Siguiendo los Parámetros de la Norma ASTM D638-14.....	94
Figura 6. 2: Probetas de Composite “3 Capas de Fibra de Vidrio” Después de Realizados los Ensayos de Tracción.....	97
Figura 6. 3: Probetas de Composite “4 Capas de Fibra de Vidrio” Después de Realizados los Ensayos de Tracción.....	98
Figura 6. 4: Probetas de Composite “Fibra Natural 10%” Después de Realizados los Ensayos de Tracción.....	100
Figura 6. 5: Probetas de Composite “Fibra Natural 15%” Después de Realizados los Ensayos de Tracción.....	101
Figura 6. 6: Probetas de Composite “Fibra Natural 20%” Después de Realizados los Ensayos de Tracción.....	103
Figura 6. 7: Comparación del Módulo Tangente en el Composite Reforzado con Fibra de Vidrio.....	104
Figura 6. 8. Comparación del Módulo Tangente en el Composite Reforzado con Fibra de Bambú.....	104
Figura 6. 9: Carga Última del Composite Reforzado con Fibra de Vidrio.....	105
Figura 6. 10: Comparación de la Carga Última en el Composite Reforzado con Fibra de Bambú.....	106
Figura 6. 11: Deformación a la Rotura del Composite Reforzado con Fibra de Vidrio.....	107
Figura 6. 12: Comparación de la Deformación a la Rotura en el Composite Reforzado con Fibra de Bambú.....	108
Figura 6. 13: Comparación de la Deformación a la Rotura Entre los Composites Reforzados con Fibra de Bambú y Reforzados con Fibra de Vidrio.....	109
Figura 6. 14: Comparación de la Carga Última Entre los Composites Reforzados con Fibra de Bambú y Reforzados con Fibras de Vidrio.....	110
Figura 6. 15: Comparación del Módulo de Elasticidad entre los Composites Reforzados con Fibra de Bambú y Reforzados con Fibra de Vidrio.....	111
Figura 6. 16: Comparación del Factor Ponderado Entre los Composites Reforzados con Fibra de Bambú y Reforzados con Fibras de Vidrio.....	117
Figura 6. 17: Partes de la Carrocería del FSAE de la UPS Cuenca.....	118
Figura 6. 18: Tapa Lateral Construida de Composite Reforzado con 3 Capas de Fibra de Vidrio.....	123
Figura 6. 19:Tapa Lateral Construida de Composite Reforzado con 15% de Fibra de Caña Guadua.....	124
Figura 9. 1: Composite Mixto Reforzado con Fibra Natural de Caña Guadua y Fibra de Vidrio.....	130



## Índice de Tablas

Tabla 4. 1: Especificaciones Técnicas de la Fibra de Vidrio. ....	11
Tabla 4. 2: Distribución del Cultivo de Abacá en el Ecuador.....	32
Tabla 4. 3: Distribución del Cultivo de Cabuya en el Ecuador.....	32
Tabla 4. 4: Distribución del Cultivo de Coco en el Ecuador. ....	33
Tabla 4. 5: Distribución por Provincias del Cultivo de GAK en el Ecuador. ....	33
Tabla 4. 6: Tipos de Fibras Naturales y su Ubicación dentro de la Planta.....	41
Tabla 4. 7: Tipos de Tejido. ....	45
Tabla 5. 1: Costos de Materiales Empleados en la Fabricación de Probetas de Composite de Fibra de Vidrio y Probetas de Composite de Fibra Natural de Caña Guadua.....	56
Tabla 5. 2: Pesos de Materiales Empleados para la Fabricación de una Lámina de Composite de Fibra de Vidrio de 3 Capas de (30x30) cm <sup>2</sup> . ....	63
Tabla 5. 3: Pesos de Materiales Empleados para la Fabricación de una Lámina de Composite de Fibra de Vidrio de 4 Capas de (30x30) cm <sup>2</sup> . ....	63
Tabla 5. 4: Pesos de Materiales Empleados en la Fabricación de una Lámina de Composite de 10% de Fibra Natural de Caña Guadua.....	86
Tabla 5. 5: Pesos de Materiales Empleados en la Fabricación de una Lámina de Composite de 15% de Fibra Natural de Caña Guadua.....	86
Tabla 5. 6: Pesos de Materiales Empleados en la Fabricación de una Lámina de Composite de 20% de Fibra Natural de Caña Guadua.....	87
Tabla 6. 1: Condiciones de Ensayo de la Norma ASTM D638-14.....	95
Tabla 6. 2: Resultados Obtenidos en los Ensayos de Tracción de las Probetas del Material Compuesto con el Nombre "3 Capas de Fibra de Vidrio". ....	96
Tabla 6. 3: Resultados Obtenidos en los Ensayos de Tracción de las Probetas del Material Compuesto con el Nombre "4 Capas de Fibra de Vidrio". ....	98
Tabla 6. 4: Resultados Obtenidos en los Ensayos de Tracción de las Probetas del Material Compuesto con Refuerzo de "Fibra Natural 10%". ....	99
Tabla 6. 5: Resultados Obtenidos en los Ensayos de Tracción de las Probetas del Material Compuesto con Refuerzo de "Fibra Natural 15%". ....	101
Tabla 6. 6: Resultados Obtenidos en los Ensayos de Tracción de las Probetas del Material Compuesto con Refuerzo de "Fibra Natural 20%". ....	102
Tabla 6. 7: Pesos de las Diferentes Probetas Materiales.....	112
Tabla 6. 8: Rangos de Calificación para la Matriz de Decisión.....	113
Tabla 6. 9: Matriz de Decisión Para Composites Reforzados con 3 Capas de Fibra de Vidrio. ....	114

Tabla 6. 10: Matriz de Decisión Para Composites Reforzados con 4 Capas de Fibra de Vidrio. .....	114
Tabla 6. 11: Matriz de Decisión Para Composite Reforzado con 10% de Fibra de Bambú.	115
Tabla 6. 12: Matriz de Decisión Para Composite Reforzado con 15% de Fibra de Bambú.	115
Tabla 6. 13: Matriz de Decisión Para Composite Reforzado con 20% de Fibra de Bambú.	116
Tabla 6. 14: Tabla de Reducción Porcentual en las Tapas Laterales de la Carrocería del FSAE UPS 2014. ....	119
Tabla 6. 15: Tabla de Reducción de Peso Total de la Carrocería del Monoplaza FSAE.....	119
Tabla 6. 16: Tabla de Reducción de Peso en la Carrocería del Monoplaza FSAE. ....	120
Tabla 6. 17: Pesos de Materiales Empleados para la Fabricación de una Lámina de Composite de Fibra de Vidrio de 3 Capas de (60x40) cm <sup>2</sup> . ....	121
Tabla 6. 18: Pesos de Materiales Empleados para la Fabricación de una Lámina de Composite de Fibra de Vidrio de 4 Capas de (30x30) cm <sup>2</sup> . ....	122

# 1. INTRODUCCIÓN

El nuevo proyecto de diseño y construcción del vehículo monoplace tipo Formula SAE Eléctrico por parte de la Universidad Politécnica Salesiana, genera oportunidades para proponer proyectos de mejoras enfocadas al nuevo vehículo monoplace, donde la principal característica es la utilización de energías limpias y renovables.

Actualmente el peso excesivo que dispone la carrocería, es un gran inconveniente que se pretende resolver, ya que retarda y limita de gran manera el tiempo de aceleración del motor, aumentando el consumo de combustible; lo que es una gran desventaja a la hora de competir en pista. Por ese motivo, el presente proyecto técnico es una mejora dirigida a la reducción del peso de la carrocería actual del vehículo monoplace; donde se justificará el uso de materiales compuestos para la aplicación en la nueva carrocería del vehículo monoplace tipo Formula SAE Eléctrico, a través de un análisis y caracterización de fibras naturales para comparar peso y resistencia con respecto a la fibra de vidrio. Para el estudio se procederá a la fabricación de probetas para establecer la composición que brinde el menor peso, sin descuidar la resistencia, sometiéndolas a ensayos destructivos que, en base al posterior análisis, resuelva y aligere el peso total del vehículo monoplace; determinando de esta manera el material óptimo a emplear en la futura elaboración y construcción de la carrocería.

## **2. PROBLEMA**

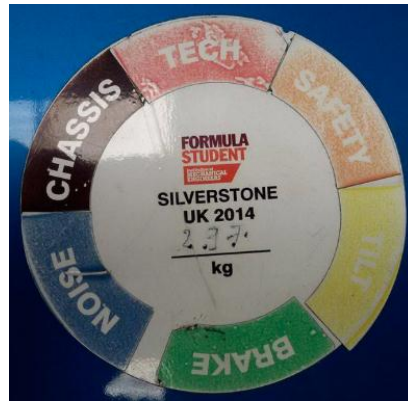
### **2.1. Antecedentes**

La problemática que se aborda en el proyecto técnico se origina en el peso actual de la carrocería del vehículo monoplace tipo Formula SAE de la Universidad Politécnica Salesiana; ya que dispone de un uso exagerado de materiales para su elaboración, y al no contar con un estudio previo de caracterización, no se generan las garantías que optimicen la selección del material idóneo a ser empleado. Lo que repercute en un peso excesivo del vehículo monoplace, siendo contraproducente, ya que retarda el tiempo de aceleración, aumenta el consumo de combustible, y de esta manera, limita la máxima potencia del motor y su máximo rendimiento durante la prueba en pista.

### **2.2. Importancia y Alcances**

La Línea de Investigación en Diseño Mecánico Automotriz del Grupo de Investigación en Ingeniería de Transporte de la Universidad Politécnica Salesiana, está promoviendo el desarrollo de un nuevo proyecto, siendo este el diseño y construcción de un vehículo monoplace tipo Formula SAE Eléctrico. Por lo tanto, el presente proyecto técnico permite realizar una caracterización de materiales compuestos para establecer la composición que brinde el menor peso y una adecuada resistencia para la aplicación en la nueva carrocería del vehículo monoplace eléctrico. Presentando una propuesta de selección de materiales a ser aplicado en la manufactura de la carrocería en función de los resultados obtenidos; lo que será de mucha utilidad en la futura elaboración y construcción de la misma.

El peso del vehículo que se toma como referencia y que marca el punto de partida del presente proyecto es el registrado por la competencia Formula Student UK, realizado en Silverstone, en el año 2014; cuyo peso es 297 Kg., tal como se indica en la figura 2.1:



**Figura 2. 1:** Peso del Vehículo Monoplaza Registrado en la Competencia Formula Student UK, Realizado en Silverstone, en el año 2014.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 05, 2016.

Al tratarse de un vehículo de competencia, este debe tener un buen desempeño y rendimiento en pista, por ese motivo, se hace viable realizar una caracterización de materiales compuestos para establecer la composición que brinde el menor peso para la nueva carrocería, con el propósito de obtener un prototipo lo más ligero posible, sin descuidar su resistencia; rigiéndonos a los lineamientos establecidos en el reglamento de la competencia Formula SAE. En este proyecto se pretende innovar al trabajar con materiales compuestos de fibra natural, ya que se ambicionarán conseguir una carrocería elaborada con material de base natural amigable con el medio ambiente.

(Pauta Solano & Sanchez Ramirez, 2014) destacan en su tesis “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CARRO CERÍA DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA TIPO FORMULA SAE”, que el material idóneo para la construcción de la carrocería del monoplaza es el composite de fibra de vidrio, debido a su bajo costo y fácil accesibilidad en el mercado local, así como también por su alta maniobrabilidad, adecuada resistencia mecánica, y un bajo peso total de la carrocería.

Finalmente, el peso excesivo en la carrocería repercute en el peso total del monoplaza y este a su vez en el tiempo de aceleración, siendo una gran desventaja durante las pruebas en pista.

### **2.3. Delimitación**

Este proyecto forma parte del diseño y construcción del vehículo monoplaza tipo Formula SAE Eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana; con un enfoque de mejora de elementos, en este caso la carrocería, a través de la caracterización de materiales compuestos para determinar la composición idónea que aligere el peso de este elemento, sin descuidar su resistencia, haciendo una comparativa de ventajas entre composites de fibra de vidrio y de fibra de caña guadua angustifolia.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo General**

- Caracterizar los materiales compuestos para la aplicación en la carrocería de un vehículo monoplace tipo Formula SAE.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- Realizar un estudio teórico de materiales compuestos, composiciones y ensayos mecánicos destructivos.
- Caracterizar diferentes materiales compuestos utilizados en la construcción de carrocerías de vehículos monoplazas tipo Formula SAE para determinar la composición que brindará el menor peso y una adecuada resistencia.
- Analizar los resultados obtenidos y elaborar una propuesta del material compuesto para su aplicación en la construcción de la nueva carrocería del vehículo monoplace tipo Formula SAE Eléctrico.

## 4. ESTADO DEL ARTE

### 4.1. FORMULA SAE

La Formula SAE es una división de la organización SAE que otorga a los equipos participantes la flexibilidad y libertad de expresar su creatividad e imaginación con carentes restricciones en el diseño total del vehículo a participar (Caiza Chasi & Vilaña Monteros, 2015).

En la figura 4.1 se puede apreciar tanto los equipos como los vehículos monoplazas participantes:



**Figura 4. 1:** Participación de Estudiantes en la Competencia Formula SAE.

**Fuente:** (Germany, Formula Student, 2013).

El reto de los estudiantes es poner en desarrollo un vehículo que pueda competir y cumplir con éxito todas las pruebas estáticas y dinámicas. El evento es realizado para que cada equipo de estudiantes demuestre su creatividad y habilidad en el campo de la ingeniería con los diferentes equipos participantes a nivel mundial.

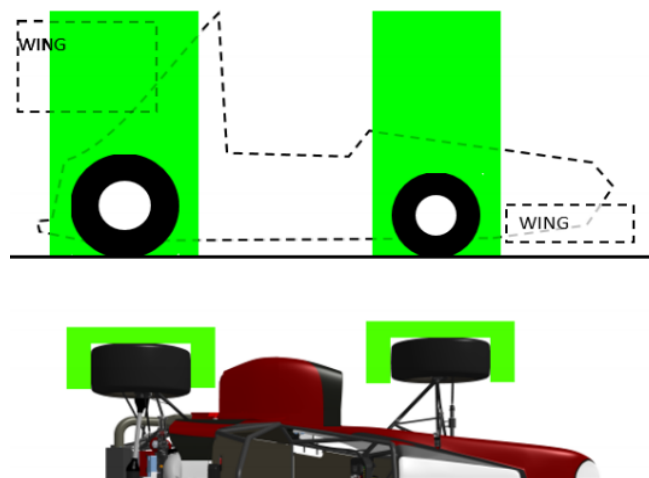


#### 4.1.1. Normativas Para la Carrocería

Previo al diseño de un vehículo de competencia tipo Formula SAE, se debe tener presente el reglamento actualizado de la competencia, es el que va a definir su diseño y futura construcción; así mismo, marcará el punto de partida para el inicio del proyecto como tal.

A continuación se describen algunas reglas dispuestas en el reglamento, tomando como referencia solamente la carrocería del vehículo. Según (2015 Formula SAE® Rules, 2014) se tiene:

- El artículo A1.2.3, hace referencia a los factores que se deben tomar en cuenta al momento de realizar el diseño del vehículo, siendo estos: la estética, costo de producción, ergonomía, mantenimiento, fabricación y fiabilidad.
- El artículo T2.1 literal c, expresa que ningún accesorio del vehículo puede estar dentro de la zona de seguridad, la misma que se encuentra definida por dos líneas que se extienden verticalmente desde el diámetro exterior de los neumáticos delanteros y traseros, esto es, 75 mm. delante y 75 mm. detrás, tal como se indica a continuación en la figura 4.2:



**Figura 4. 2:** Zona de Seguridad

**Fuente:** (2015 Formula SAE® Rules, 2014).

- El artículo T2.2 expone que la carrocería debe estar exenta de aberturas que permitan observar su estructura; siendo esta, desde la parte delantera del vehículo hasta el roll bar o firewall. Solo se permitirán aberturas mínimas alrededor de los componentes de la suspensión delantera.
- El artículo IC2.7.3 manifiesta que la cubierta protectora inferior debe contar con al menos 2 orificios, cada uno de un diámetro mínimo de 25 mm. para evitar la acumulación de líquidos y/o vapores volátiles, tales como combustible, aceite, refrigerante, etc.
- El artículo S2.2.2 sostiene que para la inspección técnica debe existir una excelente visibilidad de los componentes internos, la misma que puede ser proporcionada mediante paneles extraíbles consiguiendo un fácil desmontaje de la carrocería.
- El artículo D1.1.2 señala que cualquier condición que pueda comprometer la integridad del vehículo, poner en peligro la superficie de la pista o representar un peligro potencial para los participantes, como el caso de una carrocería que se arrastra, paneles de la carrocería perdidos o sueltos, serán razones válidas y contundentes para la exclusión del vehículo monoplace de la competencia.

Las normativas antes descritas rigen específicamente para la carrocería del vehículo monoplace, y que serán de gran utilidad al momento de dimensionar la carrocería, aplicando el material compuesto con mejores prestaciones que se obtenga después de la caracterización, siendo éste, el que tenga como característica principal, ser el más liviano además de poseer una resistencia adecuada. De esta manera se tendrá un parámetro de comparación entre pesos de carrocerías, comparando la actual carrocería que dispone el vehículo monoplace con el nuevo material compuesto que se conseguirá con la realización del proyecto técnico.

## **4.1.2. Materiales Utilizados en Carrocerías para Prototipos Formula SAE**

### **4.1.2.1. Aluminio**

Es muy ligero, accesible y reciclable en un 100%, por lo que es ampliamente utilizado en la industria automotriz y en elementos de vehículos de competencia. Cumpliendo de esta manera con el reglamento de Formula SAE que incentiva y promueve a que el vehículo sea reciclable o reusable en un alto porcentaje.

Pero su aplicación para el caso particular de este proyecto técnico no es viable, ya que las formas de la carrocería son muy complejas, y se necesitaría de máquinas especializadas para su laminación y doblado, donde la adquisición de este tipo de maquinarias sería irrelevante con respecto a los costos (Pauta Solano & Sanchez Ramirez, 2014).

### **4.1.2.2. Polímeros**

Se ven restringidos por su capacidad de resistencia al impacto, por lo tanto, la absorción de energía al colisionar el vehículo se basa en la elevada flexibilidad que posee este material (Pauta Solano & Sanchez Ramirez, 2014).

A continuación, mencionaremos algunas cualidades que hacen de los polímeros uno de los materiales indispensables en la construcción de carrocerías:

- Notable reducción de peso.
- Buena resistencia a la corrosión.
- Alta inalterabilidad a los cambios de temperatura.
- Resistencia a líquidos como gasolina, aceites, etc.

#### **4.1.2.3. Fibra de Carbono**

Es un material compuesto más ligero que cualquier metal, pero con igual resistencia y posee una gran ventaja, que es la inmunidad a la corrosión. Este material puede adaptarse a cualquier tipo de forma y necesidad, pero su proceso de elaboración requiere de equipos especializados lo cual aumenta el costo final de producción (Pauta Solano & Sanchez Ramirez, 2014).

#### **4.1.2.4. Fibra de Vidrio**

Es muy utilizada en la construcción de carrocerías para vehículos, ya que sus principales características son: poseer un menor peso que el aluminio, fácil de moldear, buena resistencia mecánica y no requiere de infraestructuras especializadas para el tiempo de curado lo que reduce significativamente su costo final.

Existen varios tipos de fibras de vidrio cada una con características diferentes dependiendo de su constitución y componentes según la aplicación que se requiera; las cuales son del Tipo C, S, R, E. Para el caso en particular del presente proyecto técnico se empleará la fibra de vidrio tipo E; la misma que se detalla a continuación:

##### **4.1.2.4.1. Fibra de Vidrio Tipo E**

Según (Caiza Chasi & Vilaña Monteros, 2015), el uso de la fibra de vidrio tipo E está destinado en gran mayoría a la industria automotriz para la fabricación de componentes estéticos.

Para el caso concreto de nuestro proyecto utilizaremos esta clase de fibra debido a la facilidad con la que se encuentra en Ecuador.

### a. Composición

Fibra inorgánica compuesta de 53 - 54% SiO<sub>2</sub>, 14 - 15.5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 20 - 24% CaO, MgO y 6.5-9% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, y escaso contenido en álcalis. Este tipo de fibra posee buenas propiedades dieléctricas, además de sus excelentes propiedades frente al fuego. El vidrio tipo E tiene un peso específico de  $2.6 \frac{g}{cm^3}$ .

### b. Especificaciones Técnicas

Según (Mariano, 2011) citado por (Pauta Solano & Sanchez Ramirez, 2014), las propiedades mecánicas del material son las que se indican en la tabla 4.1:

**Tabla 4. 1:** Especificaciones Técnicas de la Fibra de Vidrio.

<b>Especificaciones Técnicas de la Fibra de Vidrio</b>	
<b>Tenacidad (N/tex):</b>	1.30
<b>Fuerza a la tracción (MPa):</b>	3400
<b>Elongación hasta rotura (%):</b>	4.5
<b>Módulo de Young (GPa):</b>	70 - 73” (s/p)

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, citaron a (Mariano, 2011).

#### 4.1.2.5. Fibras Naturales

Se han convertido en una opción viable de gran utilidad para la aplicación industrial que trabaja con materiales compuestos, además de ser una fuente de importantes ingresos para las zonas de producción agrícola en donde el beneficio social y económico son positivos. Cabe destacar lo importante del uso de este tipo de fibras ya que son materiales de base natural amigables con el medio ambiente (Caiza Chasi & Vilaña Monteros, 2015).

Con este proyecto técnico, se pretende caracterizar materiales compuestos para la aplicación en la carrocería del vehículo monoplaza tipo Formula SAE. Y uno de los materiales compuestos a caracterizar es un composite de fibra natural de caña guadua angustifolia, que mediante un posterior análisis de resultados se determinará si dicho

composite es viable para la aplicación antes mencionada; y si fuese este el caso, fomentar y promover el uso de fibras vegetales en la industria automotriz. De no ser así, dejar al menos un precedente para que se continúe con la investigación mediante trabajos futuros relacionado con las fibras naturales.

Para desarrollar este trabajo, se cuenta con el apoyo del Grupo de Investigación en Nuevos Materiales y Procesos de Transformación (GIMAT) de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, quienes serán los que nos faciliten la fibra de caña guadua y nos impartan algunas consideraciones y recomendaciones que debemos tener presente al momento de elaborar el composite.

#### 4.1.2.5.1. Propiedades de la Guadua Angustifolia Kunt (GAK)

##### a. Propiedades Químicas

Las propiedades químicas que posee la GAK en nuestro país según los datos obtenidos por la Escuela Politécnica Nacional se describen en la figura 4.3:

Especie	Solubilidad		Lignina %	Pentosan %	Ceniza %	Celulosa %
	Agua %	Alcohol benceno %				
Guadua Angustifolia	10.09	4.03	19.72	11.65	5.16	59.77

**Figura 4. 3:** Propiedades Químicas GAK en el Ecuador.

**Fuente:** (Chiluiza & Hernández, 2009), citado por (Valarezo Jaramillo, 2013).

##### b. Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas de la GAK son comparables con las de diversas maderas y en la mayoría de casos la superaran. Las propiedades mecánicas obtenidas con GAK proveniente de Colombia son presentadas en la figura 4.4. Las propiedades de una misma especie pueden variar de acuerdo a la forma de cultivo.

Material	MET (GPa)	MEC (GPa)	MEF (GPa)	RT (MPa)	RC (MPa)		RF (MPa)
					Perpendicular fibra	Paralelo fibra	
Guadua	190	184	179	430	560	650	740
Aliso	-	-	-	108	68	357	460
Arboloco	-	-	-	500- 1500	132	405	390
Otras maderas	90 -180	96 - 169	108 - 128	1000	50 - 144	400	500 - 720

**Figura 4. 4:** Propiedades Mecánicas GAK en el Ecuador.

**Fuente:** (Diffen, s.f.), citado por (Valarezo Jaramillo, 2013).

## 4.2. MATERIALES COMPUESTOS

### 4.2.1. Nuevos Materiales Compuestos

El concepto de material compuesto surge de una serie de posibilidades de combinación de materiales monofásicos de naturalezas diferentes, que se diferencian en función, forma o composición, con el fin de obtener un material que adopte las propiedades de sus fases constituyentes, de tal manera que presente una mejora en cuanto a sus características y propiedades (Avner, 1988), (López, 1987), citado por (Guerrero, y otros, 2011).

Para ser considerado material compuesto, el material debe cumplir con las siguientes características:

- Debe estar conformado por 2 o más materiales químicamente diferentes y ser separables mecánicamente.
- Debe ser fabricado al mezclar los materiales constituyentes, de tal forma que la dispersión de un material en el otro se realice de manera controlada para alcanzar unas propiedades óptimas.
- Las propiedades del compuesto deben ser superiores al de los componentes individuales, y posiblemente únicas en algún aspecto específico.

Los materiales compuestos más utilizados son los que se encuentran constituidos por dos fases diferentes a nivel atómico o molecular y separables mecánicamente, conocidas como matriz (material aglutinante) y refuerzo que pueden ser en forma de partículas, fibras o láminas. Además, un material compuesto puede contener otros componentes como recubrimientos y rellenos (Saxena, Schaffer, Antolovic, & Sanders, 2000), citado por (Guerrero, y otros, 2011).

En años recientes ha surgido un particular interés en los compuestos lignocelulósicos, que son aquellos que se encuentran formados por una matriz polimérica reforzada con fibras o partículas de origen vegetal, constituidas principalmente por celulosa y lignina (Guerrero, y otros, 2011). En la figura 4.5 se puede apreciar algunas de las aplicaciones de los materiales compuestos:



**Figura 4. 5:** Aplicaciones de los Materiales Compuestos.

**Fuente:** (Guerrero, y otros, 2011).

#### **4.2.2. Importancia de los Materiales Compuestos**

Los compuestos hoy en día son el material de elección para muchas aplicaciones de ingeniería, esto se debe principalmente a que son resistentes y más livianos en comparación a otros materiales, como el aluminio y el acero, en muchas ocasiones hasta con un mejor rendimiento; lo que permite optimizar el desempeño de un producto al fabricar componentes más ligeros, logrando de esta manera ser una mayor competencia en el mercado global (Biron, 2007), (Mijangos & Serafin, 2007), citado por (Guerrero, y otros, 2011).



Es así que combinar propiedades como elevada resistencia mecánica, bajo peso, rigidez e incluso alta resistencia a la temperatura, no es algo trivial o imposible (Mijangos & Serafin, 2007), (Ashby M. , 2011), citado por (Guerrero, y otros, 2011). El mercado estadounidense representa el 47% de la fabricación de materiales compuestos, seguidamente se encuentra Europa con un 28%, Asia con 23% y por último América del Sur con un 2% (Béguin, 2011).

La importancia económica de los materiales compuestos viene ligada a empresas de alto volumen de mercado, como es el caso de la industria automotriz, la misma que utiliza grandes cantidades de compuestos, conformados principalmente con matrices poliméricas reforzadas con fibras, empleadas en interiores y exteriores de vehículos.

Asimismo, se emplean materiales compuestos de matriz metálica en diferentes elementos mecánicos. Es así que se han logrado optimizar muchas de las funciones de los automotores. La industria automotriz ecuatoriana elabora gran cantidad de materiales compuestos principalmente los formados por fibra de vidrio y resina poliéster.

En el país también se están desarrollando otro tipo de materiales compuestos e híbridos, con la incorporación de fibras naturales para sustituir en algunas aplicaciones a la fibra de vidrio, además para formar híbridos de fibra natural y fibra de vidrio. No obstante, los estudios e investigaciones son recientes, pero se espera que en los próximos años exista mercado para este tipo de materiales (Guerrero, y otros, 2011).

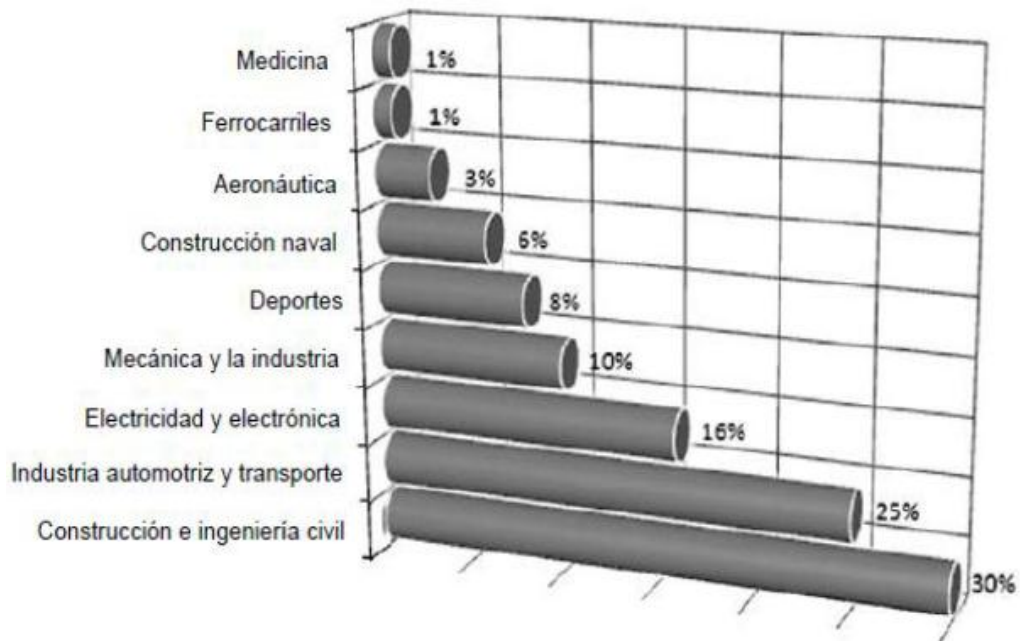
En la figura 4.6 se presenta el crecimiento de los materiales compuestos y como su uso ha ido incrementando progresivamente desde el año 1985 hasta el 2000.

Año	Compuestos	Plásticos	Aluminio	Acero
1985	100	100	100	100
1990	150	135	112	107
1995	160	179	118	104
2000	190	216	141	115

**Figura 4. 6:** Crecimiento Mundial en el Consumo de Materiales Compuestos (1985 hasta el año 2000).

**Fuente:** (Guerrero, y otros, 2011).

Asimismo, en la figura 4.7 se muestra los sectores de aplicación más comunes de los materiales compuestos:



**Figura 4. 7:** Sectores de Aplicación más Comunes de los Materiales Compuestos.

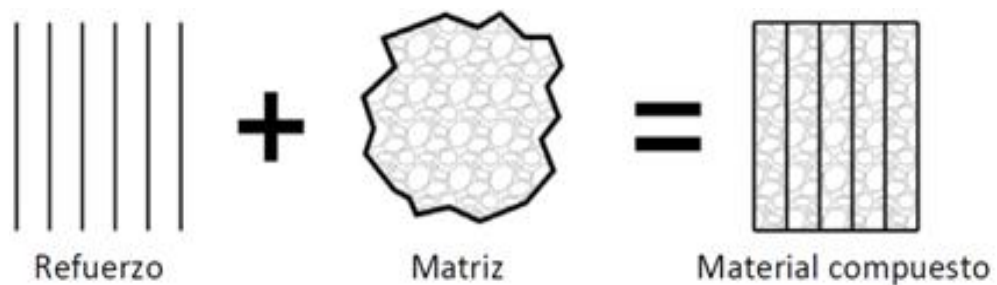
**Fuente:** (Guerrero, y otros, 2011).

### 4.2.3. Componentes de los Materiales Compuestos

A un material compuesto se lo considera como un material multifásico, lo que refleja la importancia de cada una de las fases constituyentes (Mazumdar, 2003), citado por (Guerrero, y otros, 2011).

Los materiales compuestos pueden ser diseñados para exhibir varias propiedades específicas requeridas, las que se obtienen mediante la selección de sus componentes, sus proporciones, distribución, morfología, grado de cristalinidad, textura cristalográfica, así como por su estructura y composición de la interfaz (Chung, 2010), citado por (Guerrero, y otros, 2011).

En la figura 4.8 se ilustra la configuración básica de un material compuesto reforzado con fibras:

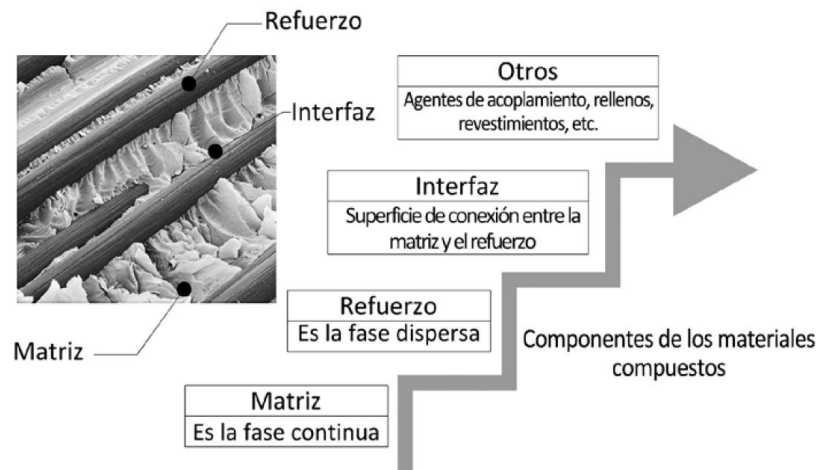


**Figura 4. 8:** Configuración Básica de un Material Compuesto.

**Fuente:** (Guerrero, y otros, 2011).

Siendo más específicos, los componentes de un material compuesto se denominan: matriz y refuerzo, mientras que la superficie de conexión entre estos se denomina interfaz. Además, existe la posibilidad de que se adicionen agentes de acoplamiento, rellenos y revestimientos, siendo su principal objetivo mejorar la superficie de la interfaz del composite, de tal forma que las propiedades del material se magnifiquen en lugar de verse afectadas.

En la figura 4.9 se ilustran los componentes de un material compuesto:



**Figura 4. 9:** Componentes de los Materiales Compuestos.

**Fuente:** (Science Photo Lybray, 2011).

#### 4.2.3.1. Matrices y Refuerzos

La matriz es la fase continua, la que engloba y sostiene los elementos de refuerzo, otorgando consistencia y continuidad al material. Las funciones básicas de la matriz son las que se detallan a continuación:

- Aglutinar los refuerzos.
- Transferir las cargas aplicadas sobre la matriz hacia los refuerzos.
- Proteger la superficie de los refuerzos de la abrasión mecánica.
- Proveer al refuerzo de una barrera contra los efectos del medio ambiente tales como la humedad.
- En caso de que el material esté reforzado con fibras, la matriz debe proveer soporte lateral contra la posibilidad de pandeo de las mismas bajo cargas de compresión.

El material empleado como matriz influye en las propiedades físicas, químicas, eléctricas y mecánicas del compuesto. En el caso de las propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción, la ductilidad, la resistencia al impacto, entre otras, dependerán del tipo de matriz y a su vez del tipo de refuerzo y la configuración utilizada. El modo de falla del compuesto está afectado en gran medida por el tipo de matriz y por su compatibilidad con el refuerzo. Por otro lado, el principal papel del

refuerzo es mejorar las características de la matriz. El refuerzo es el componente del material compuesto que soporta la carga y que también puede aportar con propiedades al material compuesto. Los refuerzos pueden ser partículas, fibras o elementos estructurales (Guerrero, y otros, 2011).

#### **4.2.3.2. Papel de la Interfaz**

La interfaz es la que garantiza la unión entre los constituyentes del material, cuando el refuerzo está fuertemente unido a la matriz la superficie de la interfaz es buena. Para esto, la matriz debe encontrarse en estado fluido para que pueda impregnarse adecuadamente sobre el refuerzo. Entonces será la interfaz la que va a generar las propiedades del material dependiendo directamente de la capacidad de mojabilidad de la matriz.

Por otro lado, el papel de la interfaz es más importante aún en un material reforzado con fibras, ya que de la unión entre los constituyentes dependerán las propiedades mecánicas del compuesto. Cuando la carga aplicada sobre el material compuesto se transmite desde la matriz hacia los refuerzos se dice que la unión es buena; y cuando las fibras no cumplen el papel de refuerzo y tienen tendencia a salir de la matriz se obtiene una unión deficiente.

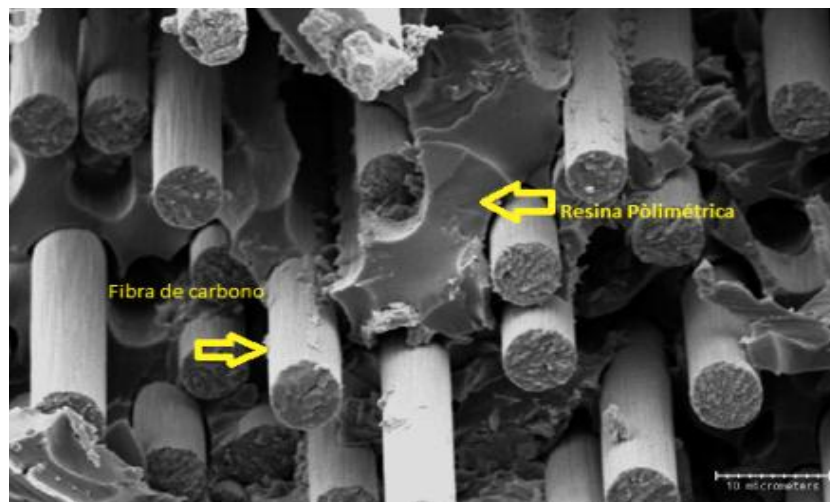
#### **4.2.3.3. Tipos de Matriz**

Los tipos de matriz que existen son tres: metálica, cerámica y polimérica. El control principal de las propiedades del material compuesto va a depender del tipo de matriz que se emplee. Para el caso particular de este proyecto, el estudio se centrará específicamente en las matrices poliméricas (Askeland, 2003), citado por (Guerrero, y otros, 2011).

#### 4.2.3.3.1. Matrices Poliméricas

Las principales características de las matrices poliméricas es poseer baja densidad, excelentes propiedades a temperatura ambiente, facilidad de conformado y costos relativamente bajos, debido a esto hoy en día son empleadas en una gran cantidad de aplicaciones; además, estas matrices pueden ser reforzadas con fibras naturales y sintéticas.

En la figura 4.10 se puede observar una matriz polimérica reforzada con fibra sintética como es el caso de la fibra de carbono.



**Figura 4. 10:** Matriz Polimérica, Ampliada 10 Micrómetros.

**Fuente:** (Marangon, 2011).

Según (Guerrero, y otros, 2011), las matrices poliméricas pueden ser de tres tipos:

##### a. Termoplásticas

Pueden pasar al estado líquido cuando son calentadas. Este ciclo reversible de ablandamiento y endurecimiento es el responsable de su aptitud para el reciclaje.

##### b. Termoestables

Estos no se funden al calentarse, sino que empiezan a degradarse. Tienen múltiples enlaces entrecruzados en una estructura de red tridimensional, por lo

que no son fáciles de reprocesar después que las reacciones de entrecruzamiento han tenido lugar, lo que hace difícil su reciclaje. Son polimerizadas por una reacción química que generalmente no es reversible. Entre estos tenemos: resina poliéster, epoxy y fenólicos.

**c. Elastoméricas**

Poseen una zona elástica grande y pueden estirarse hasta cinco o seis veces su longitud original. Sin embargo, sus módulos de elasticidad son bajos, teniendo menos enlaces de reticulación entre cadenas que los termoestables. El caucho natural pertenece a este tipo de matrices.

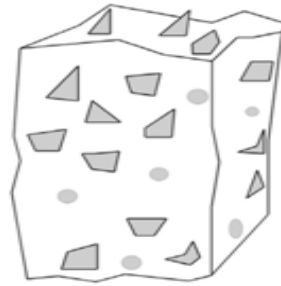
**4.2.3.4. Tipos de Refuerzo**

Según (Guerrero, y otros, 2011) los tipos de refuerzo existentes, son los que se describen a continuación:

**4.2.3.4.1. Partículas**

Estas pueden ser de tamaño grande o partículas consolidadas por dispersión. Donde la matriz transfiere parte del esfuerzo aplicado a las partículas, las cuales soportan una fracción de la carga. De la adhesión matriz-partículas va a depender el grado de refuerzo o mejoramiento del comportamiento mecánico. Por otro lado, es necesario indicar que las partículas no constituyen un refuerzo eficiente desde el punto de vista de las propiedades mecánicas.

En la figura 4.11 se muestra una matriz reforzada con partículas:



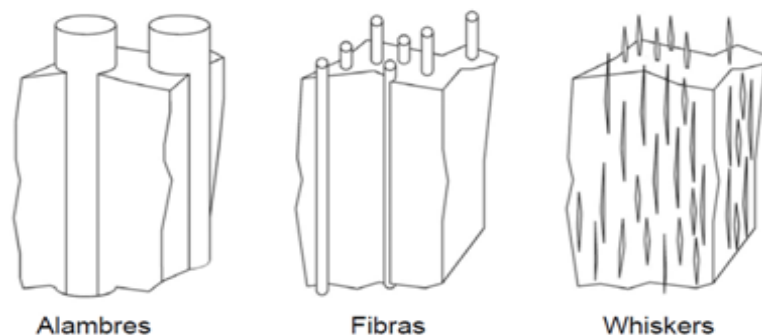
**Figura 4. 11:** Matriz Reforzada con Material Particulado.

**Fuente:** (Guerrero, y otros, 2011).

#### 4.2.3.4.2. Fibras

Los materiales compuestos más importantes son aquellos en los que la fase dispersa está formada por fibras. La mayoría de estos materiales alcanza una mejor resistencia a la fatiga, rigidez y relación resistencia-peso al incorporar fibras resistentes y rígidas, en una matriz más blanda y dúctil. Las propiedades de los materiales compuestos reforzados con fibras dependen de la longitud, diámetro, orientación, cantidad y propiedades mecánicas de las fibras, de las propiedades de la matriz y de la interfaz fibra-matriz. Las fibras son generalmente polímeros y cerámicos, pero también se tiene la utilización de fibras naturales, incorporados como elementos de refuerzo en una matriz polimérica. Este tipo de materiales ofrecen muchas ventajas, entre las cuales cabe resaltar la reducción de costo de manufactura y su menor impacto ambiental.

De acuerdo al diámetro y a sus características, las fibras pueden ser agrupadas en tres grupos diferentes: whiskers, fibras y alambres, tal como se muestra en la figura 4.12:



**Figura 4. 12:** Refuerzos de Alambres, Fibras y Whiskers.

**Fuente:** (Guerrero, y otros, 2011).

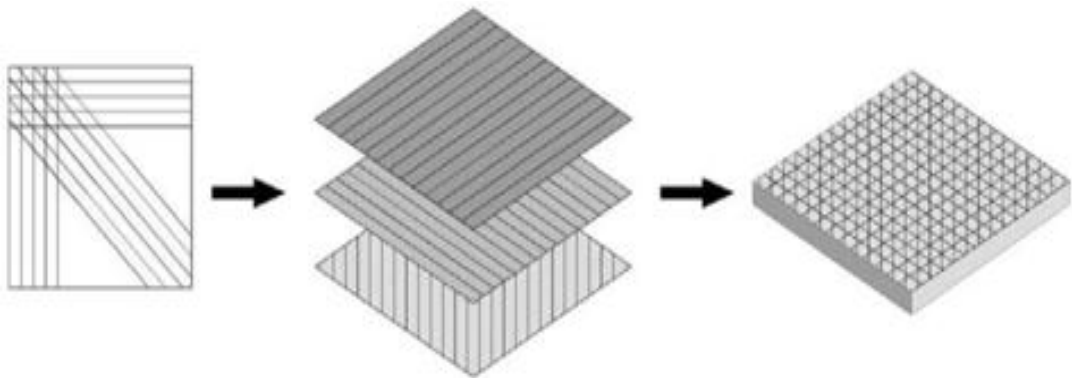


#### 4.2.3.4.3. Elementos Estructurales

Las propiedades de estos compuestos no solo dependen de las propiedades de sus materiales constituyentes, sino que son fuertemente dependientes de la geometría de los elementos estructurales. Un compuesto laminar es uno de los compuestos estructurales más comunes, y está formado por láminas que tienen una dirección preferencial de alta resistencia.

Las capas son apiladas y posteriormente consolidadas, de tal manera que la orientación preferencial de las fibras en cada capa varía de una lámina a otra. Así, un compuesto laminado presenta alta resistencia en las dos dimensiones.

En la figura 4.13, se muestra la estructura de un compuesto laminado:



**Figura 4. 13:** Refuerzos de Alambres, Fibras y Whiskers.

**Fuente:** (Guerrero, y otros, 2011).

#### 4.2.4. Clasificación de los Materiales Compuestos

Para una mejor comprensión, es necesario primero conocer la clasificación de los materiales tradicionales. Según (Ashby M. , 2011), los materiales se clasifican en seis grupos, tal y como se muestra en la figura 4.14:

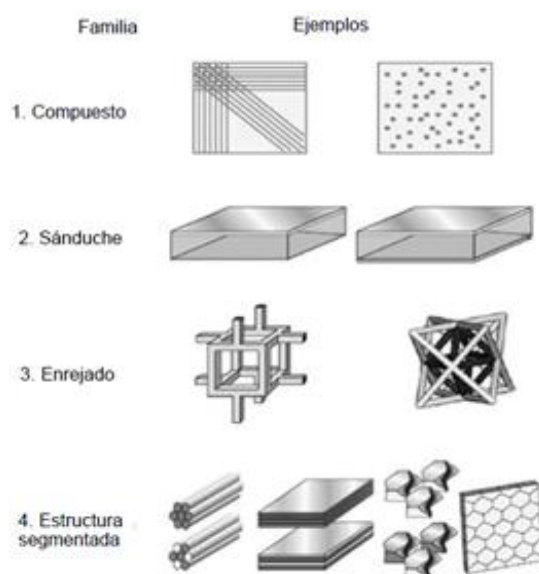


**Figura 4. 14:** Clasificación Tradicional de los Materiales.

**Fuente:** (Ashby M. , 2011).

Según la clasificación anterior, (Ashby M. , 2011) no habla directamente de materiales compuestos, sino que él hace referencia a un material híbrido que se forma de la combinación de dos o más materiales.

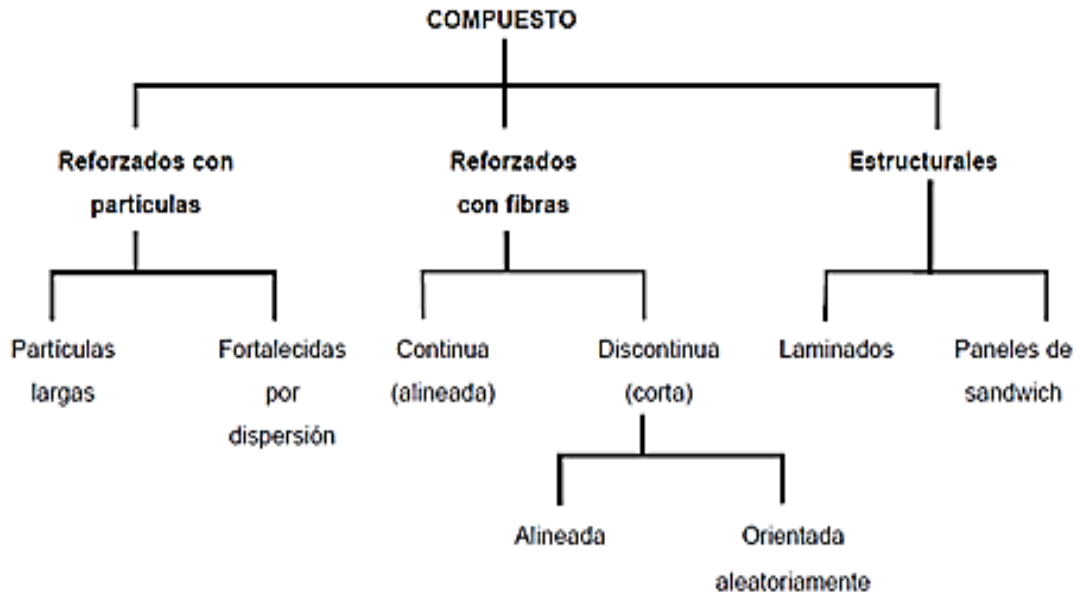
De esta manera, los materiales híbridos se subdividen tal como se muestra en la figura 4.15:



**Figura 4. 15:** Subdivisión de los Materiales Híbridos.

**Fuente:** (Ashby M. , 2011).

Seguendo con la clasificación, según (Callister, 2007), citado por (Guerrero, y otros, 2011) plantea que los materiales compuestos con fines estructurales se pueden clasificar tal como se muestra en la figura 4.16:



**Figura 4. 16:** Clasificación de los Materiales Compuestos Según el Tipo de Refuerzo.

**Fuente:** (Callister, 2007), citado por (Guerrero, y otros, 2011).

#### 4.2.5. Propiedades Mecánicas de los Materiales Compuestos

Las estructuras ingenieriles están sometidas a cargas mecánicas y térmicas, por lo que sobre las mismas se inducen esfuerzos y deformaciones. Por tal motivo, el mundo hoy en día requiere y demanda de nuevos materiales para aplicaciones en la industria, y particularmente la industria automotriz, en donde uno de los requerimientos principales es la reducción del consumo de combustible, teniendo como estrategia la reducción del peso de los vehículos, aumentando de esta manera el uso de plásticos y composites de matriz polimérica amigables con el ambiente.

Es por esta razón, que es preciso conocer cómo se ven afectadas las propiedades de un material, según sus constituyentes, para poder crear materiales adecuados a las necesidades actuales (Callister, 2007), citado por (Guerrero, y otros, 2011).

#### **4.2.5.1. Propiedades Mecánicas en la Zona de la Intercara Refuerzo - Matriz**

El efecto de la configuración de la zona de intercara es determinante para los materiales compuestos. Esta tiene un efecto a nivel microscópico, con lo cual influye significativamente en las propiedades del material (Li, Wang, & Zhang, 2007), citado por (Guerrero, y otros, 2011). La intercara es la superficie o la zona de unión donde ocurre la discontinuidad, sea física, mecánica, química, etc. En esta zona la matriz debe “mojar” al refuerzo. Por ello, se suelen utilizar agentes de enlace o unión, de tal forma que mejore la mojabilidad y aumente la superficie de intercara. Para obtener propiedades mecánicas deseables en un compuesto, la carga aplicada debe ser transferida de manera efectiva de la matriz hacia el refuerzo a través de la interfaz.

Esto significa que la intercara debe tener un tamaño relativamente grande. Asimismo, debe exhibir gran adhesión entre el refuerzo y la matriz. La falla en la intercara es denominada desunión (Larson, 2011).

#### **4.2.5.2. Propiedades Mecánicas de los Materiales Compuestos Reforzados con Fibras**

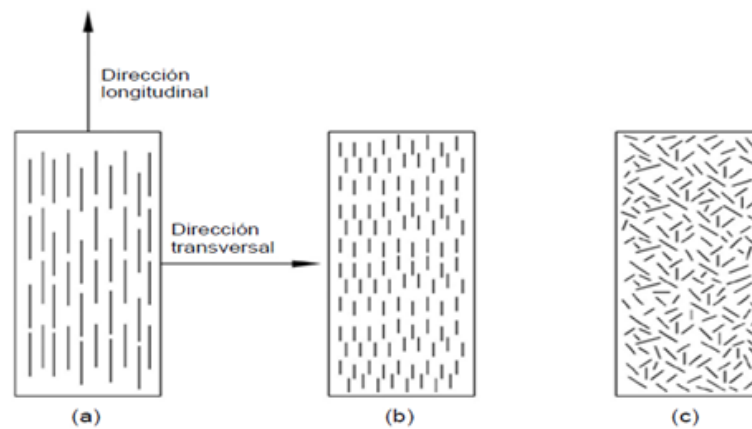
Los compuestos reforzados con fibras manifiestan anisotropía. Esto es, algunas propiedades varían dependiendo del eje geométrico o plano a lo largo del cual fueron determinadas. Para que un compuesto sea isotrópico en cuanto a una propiedad en específico, los elementos de refuerzo de fibras deben estar orientados de forma aleatoria. Esto no es fácil de lograr para fibras discontinuas, pues la mayoría de métodos de fabricación tienden a impartir una cierta orientación a las fibras.

Las fibras continuas en forma de hojas o láminas se utilizan para, deliberadamente, hacer del material compuesto un material anisotrópico en una dirección en particular que se conoce está a lo largo del eje o plano principal de carga. De esta manera, se crea la posibilidad de orientar las fibras en la dirección en que se aplicará la mayor carga, lo cual incrementa la eficiencia del refuerzo ante la carga (Larson, 2011).

#### 4.2.5.2.1. Influencia de la Orientación y Cantidad de la Fibra

La orientación de las fibras, su cantidad y distribución tienen una influencia significativa en la resistencia mecánica y en otras propiedades de los materiales compuestos.

En la figura 4.17 se muestran las diferentes alineaciones de un material compuesto reforzado con fibra:



**Figura 4. 17:** Orientación de la Fibra: (a) Continua y Alineada, (b) Discontinua y Alineada y (c) Discontinua al Azar.

**Fuente:** (Callister, 2007), citado por (Guerrero, y otros, 2011).

La orientación de la fibra es muy importante para las propiedades finales del material compuesto. Cuando se trabaja con fibra continua y alineada, las propiedades mecánicas dependerán principalmente del ángulo formado entre la dirección de aplicación de la carga y la dirección de la fibra (Callister, 2007), citado por (Guerrero, y otros, 2011).

#### 4.2.5.2.2. Influencia de la Longitud de la Fibra en Compuestos Reforzados con Fibras Discontinuas Alineadas

Si se analiza la influencia de la longitud de la fibra en compuestos reforzados con fibras discontinuas alineadas, se puede llegar a establecer una relación matemática entre la carga que soporta la fibra y la que soporta la matriz, en la que se determina que, a

mayor cantidad de fibra, mayor resistencia. Sin embargo, para los cálculos se asume que la fibra es un cilindro y que estos cilindros se pueden ir acumulando en la matriz. Con estas consideraciones, teóricamente se ha determinado que un 90% del área transversal de la matriz puede ser cubierta por fibra. Pero en la práctica, solo es posible alcanzar hasta un 65%, porque superado este valor, la matriz ya no cubre a la fibra. También se deben tomar en cuenta las propiedades de la matriz con la que se esté trabajando, ya que la cantidad máxima de fibra también dependerá de su mojabilidad. Por otro lado, se conoce que las fibras cortas o discontinuas proveen una menor resistencia. A pesar de esto, son las que han tomado fuerza en el mercado, tal es el caso de la fibra de vidrio. Esto es debido a que los costos de producción son bajos y es fácil obtener piezas de diversas formas (Callister, 2007), citado por (Guerrero, y otros, 2011).

#### **4.2.5.3. Ensayos Destructivos y Evaluación de las Propiedades Mecánicas de los Materiales Compuestos**

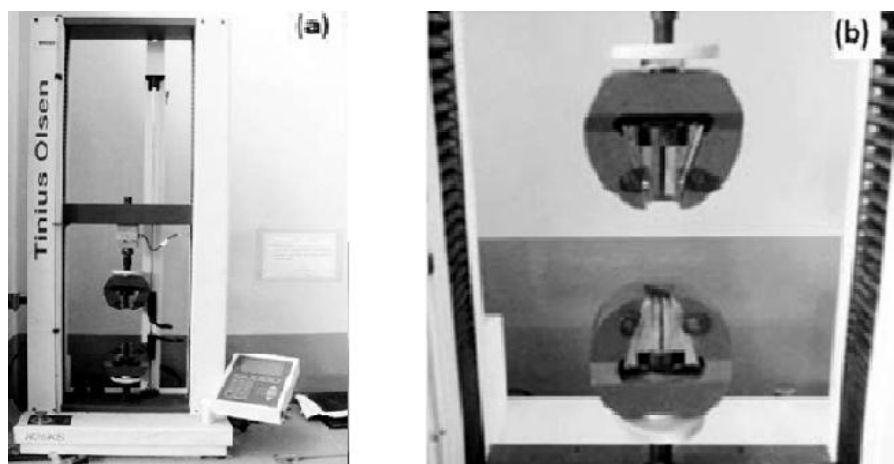
Según (Guerrero, y otros, 2011), la evaluación de las propiedades mecánicas para la caracterización de los materiales compuestos, se hace fundamentalmente utilizando ensayos destructivos, el cual consiste en tomar determinada cantidad de muestras de un material y realizar cierto número de pruebas para caracterizar el comportamiento del mismo. Los ensayos mecánicos se realizan ante circunstancias simuladas y con equipo adecuado, de tal forma que los resultados tengan validez. Asimismo, existen normas para los procedimientos de caracterización mecánica, tal es así que institutos normalizadores como ASTM, ASME, ISO, UNE, ICONTEC, INEN, etc., han generado gran cantidad de normas para diferentes propósitos, entre los que se incluye la caracterización mecánica.

La Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, ASTM por sus siglas en inglés, ha desarrollado normas para ensayo de materiales entre las cuales se pueden encontrar las normas de caracterización de composites. Para el proyecto el ensayo que se realiza es el que se describen a continuación:

#### 4.2.5.3.1. Ensayo de Tracción

El ensayo de tracción es uno de los ensayos mecánicos más utilizado, por lo que durante la ejecución del presente trabajo técnico lo emplearemos para la caracterización de los materiales compuestos, para la aplicación en la carrocería del vehículo monoplaza tipo Formula SAE de la Universidad Politécnica Salesiana.

El material ensayado se deforma hasta la rotura de la probeta, mediante la aplicación de una fuerza uniaxial a lo largo del eje principal, y que aumenta de manera gradual. En cuanto a los materiales compuestos reforzados con fibras, el ensayo de tracción se lleva a cabo bajo las condiciones de la norma ASTM D638-14 y se lo realiza utilizando una máquina universal de ensayos como la que se muestra en la figura 4.18 (a). Como implemento para la realización del ensayo debe utilizarse algún elemento mecánico que garantice que la sujeción de la probeta sea adecuada, de tal forma que el deslizamiento sea mínimo. Para esto pueden usarse mordazas cuneiformes como se aprecia en la figura 4.18 (b).



**Figura 4. 18:** (a) Máquina Universal de Ensayos, (b) Mordazas para Ensayo de Tracción.

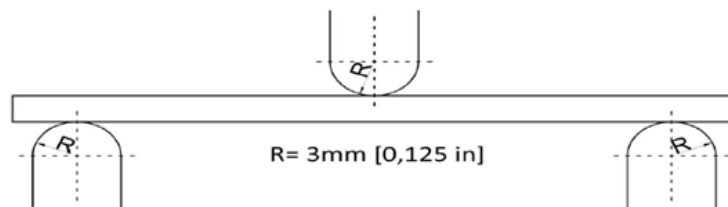
**Fuente:** (Guerrero, y otros, 2011).

Las probetas a ensayar deben presentar dimensiones específicas indicadas en la norma mencionada anteriormente. Además, dichas probetas requieren mostrar superficies libres de defectos visibles, fisuras o imperfecciones. Las marcas ocasionadas por operaciones de mecanizado de la probeta serán cuidadosamente eliminadas con una lima fina o un abrasivo y las superficies limadas serán “suavizadas” con papel

abrasivo. El acabado final se hará en una dirección paralela al eje largo de la probeta. Si es necesario hacer marcas para las mordazas, estas se harán con pinturas o tinta, las cuales no modifican el material.

#### 4.2.5.3.2. Ensayo de Flexión

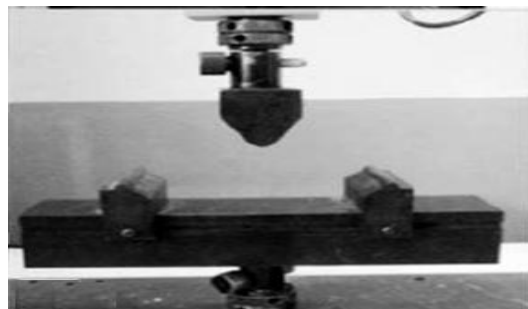
Se lo efectúa para determinar la rigidez a la flexión y propiedades de resistencia de un compuesto de matriz polimérica. El procedimiento aplicado corresponde a un sistema de carga en tres puntos utilizando una carga central en una viga con apoyos simples; tal como se muestra en la figura 4.19:



**Figura 4. 19:** Configuración de Carga a Flexión de Tres Puntos.

**Fuente:** (Guerrero, y otros, 2011).

Así también, el equipo que se emplea para este ensayo se indica en la figura 4.20:



**Figura 4. 20:** Equipo Para Ensayo a Flexión.

**Fuente:** (Guerrero, y otros, 2011).

Para la realización de esta investigación, se requieren al menos 5 probetas por cada condición de ensayo. Las dimensiones de las probetas requeridas para los ensayos se encuentran indicadas en la norma ASTM. Al igual que en los ensayos de tracción, las probetas deben tener ausencia de fisuras o defectos que influyan erradamente en los resultados del ensayo.



### **4.3. MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADOS CON FIBRAS VEGETALES**

#### **4.3.1. Presente y Futuro de los Compuestos Poliméricos Reforzados con Fibras Vegetales**

Un material debe estar diseñado de una forma amigable con el medio ambiente, para que luego de ser usado este se pueda reciclar o se pueda desechar para su degradación. Es por esto que la utilización de fibras vegetales es fundamental, ya que son de origen natural, en donde estas fibras heredan ciertas propiedades ecológicas a los materiales compuestos a fabricarse. Todo proceso de producción tiene mayor aceptación cuando el impacto ambiental es mínimo. Por este motivo el uso de las fibras vegetales y materiales biodegradables ha ganado una mayor acogida por parte de la población de todo el mundo (Guerrero, y otros, 2011).

Según (CICO, 2009) citado por (Guerrero, y otros, 2011), las fibras naturales generalmente presentan una buena resistencia mecánica, poco peso y bajos costos. Es por esto, que las fibras naturales resultan atractivas para varias industrias. Siendo la industria automotriz europea una de ellas, esta industria se encuentra utilizando un aproximado de 80.000 toneladas de fibras naturales al año para reforzar los paneles termoplásticos.

En nuestro país el desarrollo de materiales compuestos se encuentra en sus etapas iniciales, por lo tanto, el uso de fibras naturales es muy limitado. Donde las fibras extraídas han sido empleadas en productos de escaso valor agregado como es el caso de la Abacá y la Cabuya, mientras que en otros casos se ha aprovechado tan solo el recurso alimenticio de las plantas, considerando como un desecho sólido la parte fibrosa que corresponde al 80% del fruto de las mismas, como es el caso del coco.

Ecuador es el segundo productor mundial de abacá luego de Filipinas, con un aproximado de 14.765 toneladas anuales registradas en el año 2015; en la zona ecuatoriana el cultivo de abacá se encuentra geográficamente concentrado en un

triángulo comprendido por las provincias de Pichincha, Esmeraldas y Manabí. También encontramos algunas fincas en la provincia de Los Ríos.

En todo el país se registró una superficie total sembrada de 14,831 hectáreas. Las principales zonas productoras son La Concordia y Santo Domingo, tal como se indica en la tabla 4.2:

**Tabla 4. 2:** Distribución del Cultivo de Abacá en el Ecuador.

<b>Cultivos de Abacá en el Ecuador</b>	
<b>Zonas Productoras</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>La Concordia</b>	39%
<b>Santo Domingo de los Tsáchilas</b>	36%

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, citaron a (EL PRODUCTOR, 2016).

En lo referente a la producción de cabuya en el 2008 se produjo un aproximado de 5,400 toneladas que generó cerca de 2.7 millones según el MAGAP. Así también, en el Ecuador existe un aproximado de 2,348 hectáreas de cultivo de cabuya las cuales se distribuyen tal como se muestra en la tabla 4.3:

**Tabla 4. 3:** Distribución del Cultivo de Cabuya en el Ecuador.

<b>Cultivos de Cabuya en el Ecuador</b>	
<b>Provincia</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>Imbabura</b>	51%
<b>Carchi</b>	47%
<b>Otras Provincias de la Sierra</b>	2%

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, citaron a (Líderes, 2008).

En el Ecuador también se encuentra el cultivo de coco, con las siguientes provincias como principales productores de este fruto, las mismas que se describen en la tabla 4.4:

**Tabla 4. 4:** Distribución del Cultivo de Coco en el Ecuador.

<b>Cultivos de Coco en el Ecuador</b>		
<b>Provincia</b>	<b>Producción de Coco (t/ha)</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>Manabí</b>	11001	0.90
<b>Esmeraldas</b>	66000	5.45
<b>Guayas</b>	1568	0.13
<b>Sucumbíos</b>	770000	63.65
<b>Napo</b>	260000	21.50
<b>Orellana</b>	95000	7.85
<b>Galápagos</b>	6000	0.50

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, citaron a (TOMALÁ AQUINO, 2015).

Además, el Ecuador cuenta con cultivos de caña guadua angustifolia kunt (GAK), que es una planta nativa de nuestro país y que se la conoce comúnmente como bambú. La producción en el año 2003 se estimó en 8000 hectáreas de las cuales sólo 3000 son plantaciones programadas y 5000 son de crecimiento natural.

En la tabla 4.5 se muestra la distribución por provincias (Klop, Cárdenas, & Marlin), citado por (Valarezo Jaramillo, 2013).

**Tabla 4. 5:** Distribución por Provincias del Cultivo de GAK en el Ecuador.

<b>Provincia</b>	<b>Hectáreas</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>Pichincha</b>	751.5	17.6
<b>Guayas</b>	1464.5	34.3
<b>Manabí</b>	375	8.8
<b>Los Ríos</b>	1174	27.5
<b>El Oro</b>	100	2.3
<b>Esmeraldas</b>	240	5.6
<b>Bolívar</b>	80	1.9
<b>Cotopaxi</b>	60	1.4
<b>Pastaza</b>	13	0.3
<b>Zamora</b>	12	0.3
<b>Total</b>	<b>4270</b>	<b>100</b>

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, citaron a (Valarezo Jaramillo, 2013).

En el año 2009 la producción de GAK en el Ecuador fue de 15,000 hectáreas entre las de crecimiento natural como las plantaciones programadas, apreciándose claramente que existe un importante crecimiento de mercado debido a las múltiples aplicaciones que brinda esta planta (Producción de la Guadua Angustifolia por el Método de Chusquines, 2010), citado por (Valarezo Jaramillo, 2013).

Una de las nuevas tendencias en el sector automotriz es utilizar materiales compuestos, creciendo el interés por utilizar este tipo de polímeros reforzados con fibras naturales debido a que al final de su vida útil estos se pueden enterrar y degradar naturalmente por los microorganismos sin causar mayores impactos medioambientales.

#### **4.3.1.1. Principales Fibras Vegetales que Pueden Ser Incorporadas como Refuerzo en la Elaboración de Materiales Compuestos**

##### **4.3.1.1.1. Abacá**

###### **a. Beneficios y Aplicaciones**

Posee una buena resistencia mecánica, flotabilidad, resistencia al daño por agua salada y gran longitud, puede llegar a ser mayor de tres metros (Guerrero, y otros, 2011).

###### **b. Origen y Disponibilidad**

El líder mundial de producción de abacá es Filipinas, en donde la planta se cultiva en aproximadamente 130000 hectáreas, en segundo lugar, se encuentra Ecuador, donde el abacá ha sido sembrado en muchas fincas y la producción está cada vez más mecanizada. En el 2007, Filipinas produjo cerca de 60000 toneladas de fibra de abacá, mientras que Ecuador produjo 14765 (EL PRODUCTOR, 2016).

###### **c. Costos**

La tonelada de este producto cuesta 1.400 dólares. Hasta el año 2006 el rendimiento promedio por hectárea era de 1,4 toneladas. Sin embargo, apenas el 15% de lo que se obtiene es utilizado para la exportación, revela (EL TELEGRAFO, 2012).

#### **4.3.1.1.2. Sisal (*Agave Sisalana*)**

##### **a. Beneficios y Aplicaciones**

Las fibras de sisal son de color amarillo, crema o blanco y presentan una textura suave. Pueden ser fácilmente degradadas en agua salada, pero en general exhiben gran resistencia y flexibilidad. Su uso tradicional se encuentra relacionado con la elaboración de sogas, alfombras y piezas artesanales. Sin embargo, su aprovechamiento más vanguardista se ha enfocado a la producción de muebles, estantes y piezas para la industria automotriz como paneles y revestimiento internos, así como también en elementos de barcos (Guerrero, y otros, 2011).

##### **b. Origen y Disponibilidad**

El fique tiene su origen en la América Tropical, sobre todo en las regiones andinas de Colombia, Venezuela y Ecuador, donde prevalecen condiciones tropicales durante casi todo el año. Las demás cuerdas y cordajes del género agave son también conocidas también como: cabuya, sisal, fique; y es una fibra natural áspera, resistente y de larga duración. El cultivo de la cabuya o penco en el Ecuador se localiza en las provincias del Carchi, Imbabura, Pichincha, Tungurahua, Chimborazo, Azuay, Cañar, Loja, Guayas y Manabí (CORPEI, 2009).

##### **c. Costos**

El costo está aproximadamente a \$ 1400.00 por tonelada (Chavéz, 2007).

#### **4.3.1.1.3. Curauá (*Ananaserectifolius*)**

##### **a. Beneficios y Aplicaciones**

La extracción de esta fibra se enfoca principalmente hacia la producción de materiales compuestos utilizados en la industria automovilística. Actualmente, autos como el Fox y el Polo de Volkswagen llevan estos materiales en su techo, en la parte interna de las puertas y en la tapa de compartimiento del equipaje (Guerrero, y otros, 2011).

#### **b. Origen y Disponibilidad**

Esta planta tiene su origen en Brasil donde se la cultiva en la región amazónica, no se encuentra disponible en Ecuador (Guerrero, y otros, 2011).

#### **c. Costos**

Su comercialización en Ecuador no está disponible.

### **4.3.1.1.4. Yute**

#### **a. Beneficios y Aplicaciones**

Al poseer una textura rígida y áspera no es una buena materia prima para textiles, por lo que su uso se ha limitado a la fabricación de cordeles, tapetes, sacos de empaque y geotextiles (Guerrero, y otros, 2011).

#### **b. Origen y Disponibilidad**

Esta planta es originaria de la región del Golfo de Bengala, sin embargo hoy en día la producción se concentra en la India y Bangladesh (Guerrero, y otros, 2011).

#### **c. Costos**

El precio unitario de la fibra de yute es de \$3 el metro. (Caiza Chasi & Vilaña Monteros, 2015).

### **4.3.1.1.5. Ramio**

#### **a. Beneficios y Aplicaciones**

Es muy utilizada en la confección de vestimentas militares, telas, tapicería, redes de pescar, sogas, cordeles y fabricación de papel (Guerrero, y otros, 2011).

#### **b. Origen y Disponibilidad**

Es una planta originaria de la zona subtropical de China. Es una especie dicotiledónea perteneciente a la familia Urticaceae, con un porte herbáceo de 1,5 a 2 metros de altura. En el trópico de Centro y Sur América se ha adaptado de manera excelente, especialmente en zonas con altitudes entre 200 y 1 800 msnm y con temperaturas de 17,5 a 28°C. (ECURED, 2015).

#### **c. Costos**

La comercialización en Ecuador del Ramio se da solo en confecciones y vestimentas.

### **4.3.1.1.6. Coco**

#### **a. Beneficios y Aplicaciones**

Sus usos varían desde productos artesanales, cuerdas y cordeles, hasta productos no tejidos con los que es posible fabricar colchones, asientos de autos, aislantes, alfombras, etc. (Guerrero, y otros, 2011).

#### **b. Origen y Disponibilidad**

Los principales países productores y exportadores de fibra de coco son la india y Sri Lanka, cuya producción se estima en 500000 toneladas lo cual representa un valor de \$100 millones. En el Ecuador el coco se cultiva en las provincias de Esmeraldas, Guayas, Manabí, El Oro, Napo, Orellana y Galápagos (Guerrero, y otros, 2011).

#### **c. Costos**

El precio por libra de la fibra de coco es de \$1,00 (nexoLOCAL, 2012).

#### **1.3.1.1.7. Lino**

##### **a. Beneficios y Aplicaciones**

La aplicación de esta fibra se la aprecia en ropa de cama, manteles, telas para velas y en menor medida para ropa de vestir (Naturales, 2015).

##### **b. Origen y Disponibilidad**

Los líderes en producir Lino son Francia, Bélgica, y los Países Bajos. Otros productores significativos son China, Republica Checa y Rusia (Guerrero, y otros, 2011).

##### **c. Costos**

La comercialización en Ecuador del Lino solo se da en confecciones y vestimentas.

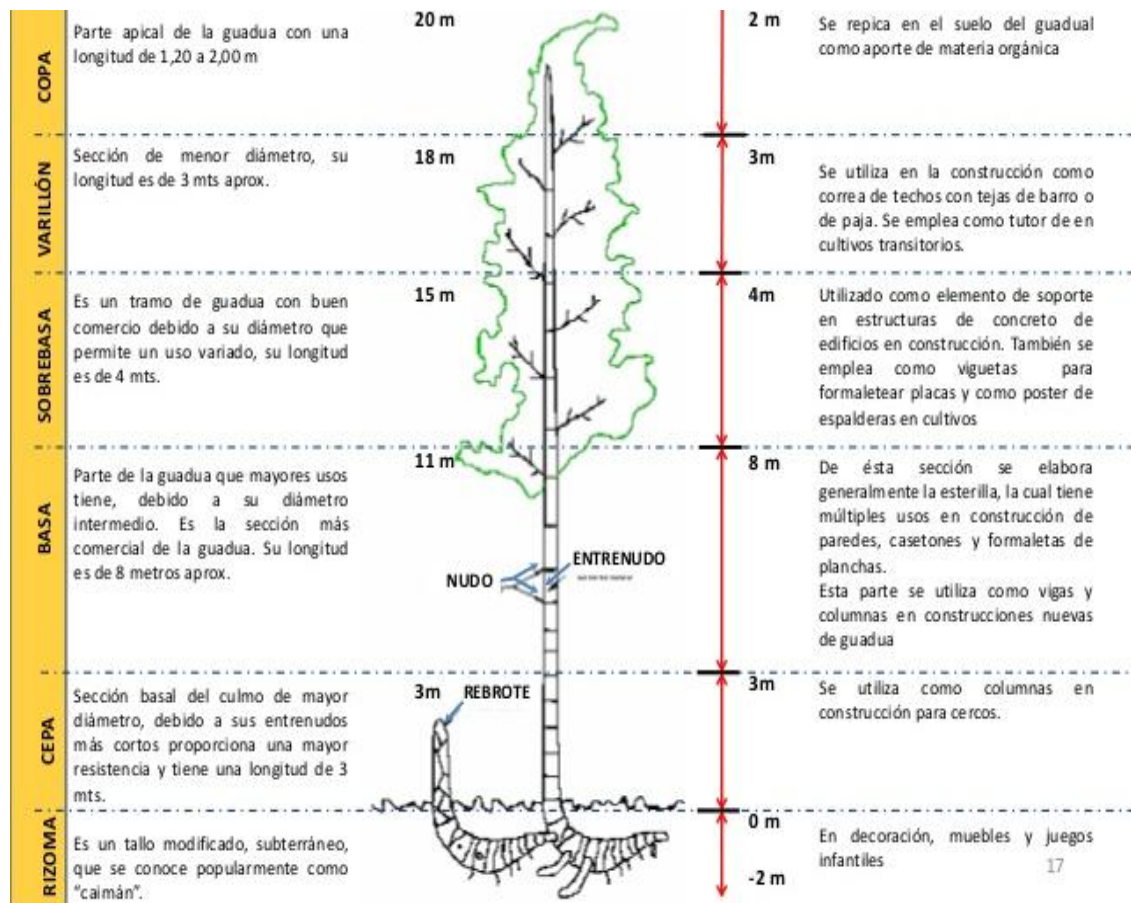
#### **4.3.1.1.8. Guadua Angustifolia Kunt (GAK)**

##### **a. Beneficios y Aplicaciones**

La GAK es la especie de bambú que posee las mejores propiedades físicas y mecánicas en el mundo, además de ser conocida por su alta durabilidad. Los usos más conocidos son: pisos, muebles, construcciones y tableros ( Ian R. Hunter, 2003), citado por (Valarezo Jaramillo, 2013). Para la construcción son muy usados en uniones, en tanques de almacenamiento de agua ya que son económicos, en cercas o paredes en las cuales no se necesite gran seguridad, en andamios para realizar trabajos de pintura y apoyo de materiales. En la creación de tableros se puede realizar laminados y conglomerados.

El uso de mayor importancia es en el mercado automotriz, en el Tokio Motor Show 2005 la compañía Chrysler presentó un vehículo con el interior de bambú (Lindholm & Palm, 2007), citado por (Valarezo Jaramillo, 2013). Además de estas, existen otras aplicaciones de acuerdo a sus partes y crecimiento, tal como se representa en la figura 4.21:





**Figura 4. 21:** Partes y Usos de la Caña Guadua.

**Fuente:** (Sabogal Bernal, 2013).

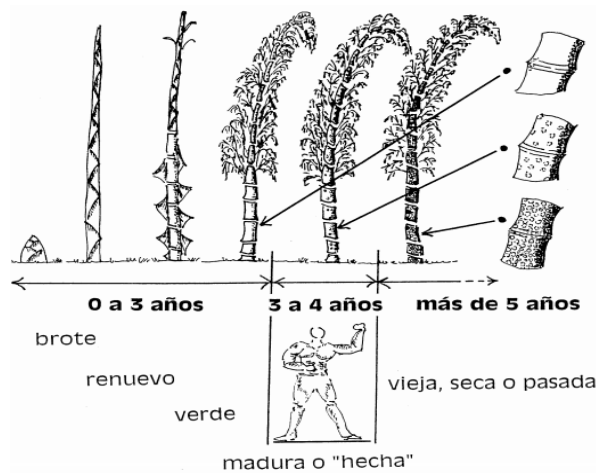
## b. Origen y Disponibilidad

La “Guadua Angustifolia Kunt” (GAK), es el nombre científico de la caña guadua nativa de Ecuador, Colombia y Venezuela conocida mundialmente como “bambú”. Pertenece a la familia de pastos y juncos. Es una planta que tiene un tallo nodulado largo con crecimiento en línea recta uniforme, es liviana y hueca en el centro (Vélez, S.), citado por (Valarezo Jaramillo, 2013).

Al ser una especie nativa de Ecuador su disponibilidad como planta es abundante, es decir de muy fácil adquisición. Mientras que adquirir solamente su fibra es muy complejo, debido a que no existe en el país la maquinaria idónea para la extracción de su fibra, siendo necesario importarla desde Colombia.

### c. Costos

Por ser una planta perenne, tiene la capacidad de regenerarse naturalmente por lo que su rendimiento en volumen por hectárea es muy grande, y además posee un rápido crecimiento por lo que es considerada una planta de bajo costo, pudiendo ser cosechada cada cuatro o cinco años a diferencia de la mayoría de maderas que tarda alrededor de los veinte años para encontrar su madurez, ver figura 4.22 (Mejía, M. E., 2010), citado por (Valarezo Jaramillo, 2013). En el país el costo de los 6 metros de caña es de 4,50 dólares.



**Figura 4. 22:** Crecimiento de la GAK.

**Fuente:** (Botero Cortés, Luis Fernando;, s.f.).

Por otro lado, se debe tener presente que no necesariamente por ser la GAK una planta de bajo costo, la adquisición de su fibra va a tener un costo similar; puesto que no se la puede extraer, por la falta de tecnología adecuada en el país, e inevitablemente tiene que ser importada y es por ese motivo que va a tener un costo superior.

## 4.3.2. Fibras Vegetales

### 4.3.2.1. Clasificación de las Fibras Vegetales

Las Fibras Vegetales son filamentos lignocelulósicos compuestos de células largas y delgadas de esclerénquima, que se encuentra formando parte de las plantas y que

cumple funciones específicas dentro de ellas, como dar soporte, dureza y rigidez a los tejidos vegetales (Guerrero, y otros, 2011). Según la parte de la planta en la que se localizan, las fibras poseen distintas características y propiedades, y estas se clasifican en tres grupos los cuales se representan en la tabla 4.6:

**Tabla 4. 6:** Tipos de Fibras Naturales y su Ubicación dentro de la Planta.

<b>Clasificación de Fibras Vegetales</b>		
<b>Tipo de Fibra</b>	<b>Ubicación Dentro de la Planta</b>	<b>Ejemplos</b>
<b>Fibras Blandas</b>	Se ubican en la parte liberiana del tallo y actúan como un esqueleto, brindándole resistencia estructural y rigidez. Se denominan blandas por su textura suave al tacto, su flexibilidad, elasticidad y su finura.	<b>Tallo:</b> Lino, Ramio, Kenaf, Yute y el Cábano.
<b>Fibras Duras</b>	La constituyen las hojas de ciertas plantas. Estas fibras son de mayor grosor, aspereza y rigidez, pues poseen un alto contenido de lignina.	<b>Hojas:</b> Cabuya, Sisal, Cuaruá, Albaca, Plátano y el Formio.
<b>Fibras de Superficie</b>	Corresponden a los pelos de la epidermis de las semillas.	<b>Semillas:</b> Algodón, Kapok y Algodoncillo.
<b>Otros</b>	<b>Frutos:</b> Palma Aceitera y el Coco.	<b>Caña:</b> Esparto, Bejuco, Bambú y Bagazo.

**Nota.** Fuente: Los Autores, "Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE", citaron a (Salazar, 2010).

#### 4.3.2.2. Propiedades Mecánicas de las Fibras Naturales

Todas las fibras presentan características distintas, las mismas que determinan su utilidad al momento de ser empleadas como refuerzo de matrices poliméricas, en donde todas estas características se encuentran íntimamente ligadas con las propiedades mecánicas que puedan aportar al material, como resistencia a esfuerzos de tracción, flexión e impacto. También conviene destacar que cuando se elige una fibra como refuerzo, se deben tomar en cuenta algunos parámetros importantes que determinan la facilidad de su producción y el rendimiento que estas presentarán.

En la figura 4.23 se señalan algunas de las ventajas y desventajas de utilizar fibras naturales como refuerzo:

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Sostenibilidad</b>	Baja resistencia al agua
Generan un bajo consumo de CO <sub>2</sub>	Alta absorción de agua
<b>Son biodegradables</b>	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
<b>Poseen buenas propiedades mecánicas</b>	Calidad heterogénea
No son tóxicas ni abrasivas	Demanda y ciclos de suministro variables
<b>Tienen bajo costo</b>	Presentan alta flamabilidad

**Figura 4. 23:** Ventajas y Desventajas de Utilizar Fibras Naturales como Refuerzo en la Elaboración de Materiales Compuestos.

**Fuente:** (Baillie, 2004) citado por (Guerrero, y otros, 2011).

Las fibras artificiales han empezado ser sustituidas por fibras vegetales, ya que estas últimas exhiben múltiples ventajas sobre las fibras sintéticas tradicionales. En la figura 4.24 se muestra una breve comparación entre fibras vegetales y fibra de vidrio, en donde se puede apreciar que las fibras naturales son superiores a las sintéticas en todos los aspectos mencionados.

<b>Cualidades</b>	<b>Fibras naturales "FN"</b>	<b>Fibra de vidrio</b>
<b>Densidad</b>	Baja	Doble que las FN
<b>Costo</b>	Bajo	Bajo, mayor a las FN
<b>Renovable</b>	Si	No
<b>Reciclable</b>	Si	No
<b>Consumo de energía</b>	Bajo	Alto
<b>Abrasión a máquinas</b>	No	Si
<b>Riesgo a la inhalación</b>	No	Si
<b>Eliminación</b>	Biodegradable	No biodegradable

**Figura 4. 24:** Comparación entre Fibras Naturales y Fibras Sintéticas.

**Fuente:** (Wambua, Ivens, & Verpoest, 2003) citado por (Guerrero, y otros, 2011).

Asimismo, en la figura 4.25 se comparan las propiedades mecánicas de algunas fibras vegetales y sintéticas:

Fibras	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	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

**Figura 4. 25:** Comparación entre Diferentes Propiedades de las Fibras Vegetales y las Fibras de Vidrio.

**Fuente:** (Páez, 2007) citado por (Guerrero, y otros, 2011).

Las propiedades mecánicas de las fibras artificiales son superiores a las que se presentan las fibras vegetales, cabe destacar que estas últimas son aproximadamente un 50% más livianas que las de vidrio, lo que se traduce en el aumento de eficiencia de materiales que requieren ser resistentes y livianos como es el caso de la industria automotriz.

#### 4.3.2.3. Tejidos y No Tejidos Producidos a Partir de Fibras Naturales

El principio básico de los tejidos 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.

En la figura 4.26 se muestra un diseño esquemático de un tejido:



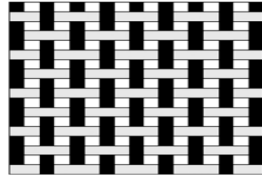
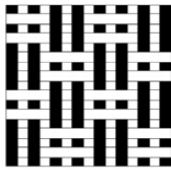
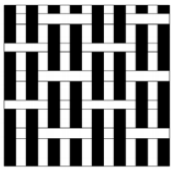
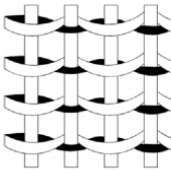
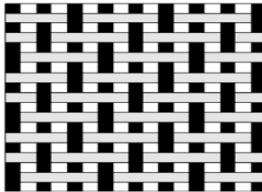
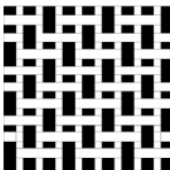
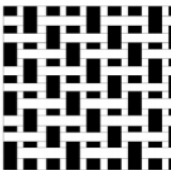

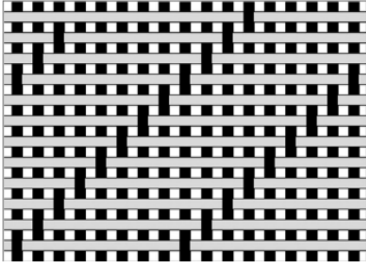
**Figura 4. 26:** Diseño Esquemático de un Tejido.

**Fuente:** (Guerrero, y otros, 2011).

### 4.3.2.3.1. Tejidos

En la tabla 4.7 se puede observar los diferentes tipos de tejidos:

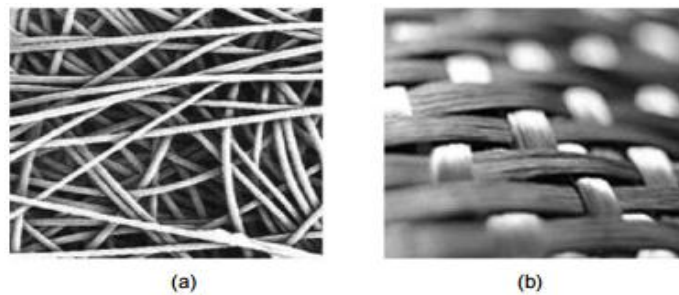
**Tabla 4. 7:** Tipos de Tejido.

<b>Tejido Plano</b>	 <p>Estructura Básica del Tejido Plano</p>
	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div> <p>(a) Tejido Tipo Basket 2x2, (b) Tejido Tipo Oxford y (c) Tejido Tipo Leno</p>
<b>Tejido Sarga</b>	 <p>Estructura de Tejido Sarga</p>
	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div> <p>(a) Tejido Diagonal a Mano Derecha, (b) Tejido Diagonal a Mano Izquierda y (c) Tejido Diagonal 2x2 a Mano Derecha</p>
<b>Tejido Satén</b>	 <p>Estructura del Tejido Satén o Raso</p>

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, citaron a (Guerrero, y otros, 2011).

#### 4.3.2.3.2. No Tejidos

Un no tejido es una estructura plana, flexible y porosa constituida de 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. En la figura 4.27 se muestra la diferencia entre la estructura de un no tejido y la estructura de un tejido.



**Figura 4. 27:** (a) Estructura al Azar de un No Tejido y (b) Estructura de un Tejido.

**Fuente:** (Guerrero, y otros, 2011).

El desarrollo de no tejidos constituye otra forma de tecnificar e industrializar a las fibras naturales. Es más económica y permite utilizar subproductos agrícolas como materia prima, un claro ejemplo es la fibra de coco. Según (Guerrero, y otros, 2011) la fabricación de un no tejido se da básicamente en dos pasos:

##### **a. Formación de la Manta (Estructura No Consolidada)**

Se puede hacer por vía seca, vía húmeda o vía fundida, donde la estructura de la manta puede tener las fibras orientadas en una única dirección (no tejidos orientados) o colocados en forma cruzada (no tejidos desorientados).

##### **b. Consolidación de la Manta**

Esta consolidación se puede lograr por métodos mecánicos (fricción), químicos (adherencia) y térmicos (cohesión). Un ejemplo de aplicación es en la industria automotriz, empleado para la aislación térmica y acústica (anti-ruídos), base de piezas



moldeadas, terminación superficial, separadores de batería, revestimientos internos de paneles laterales, refuerzo de asientos, filtros, y otros.

### **4.3.3. Procesos de Fabricación**

El costo de fabricación de un material compuesto representa entre un 50 y 60% del costo total del producto, para esto es necesario escoger el método de procesamiento más conveniente para obtener el mejor resultado al menor costo. Esta selección depende de ciertos parámetros, tales como: el tipo de matriz, el tipo y geometría del refuerzo, aplicaciones del producto terminado, entre otros. También surge la necesidad de conocer las condiciones del proceso, así como las ventajas y las limitaciones de cada técnica de procesamiento (Guerrero, y otros, 2011).

#### **4.3.3.1. Estratificación Manual**

Según (Guerrero, y otros, 2011) las etapas del proceso de estratificación manual son las que se muestran a continuación:

- a. En primer lugar, se adiciona al molde un agente de desmoldeo para poder retirar con facilidad la pieza final.
- b. Posteriormente el gelcoat es aplicado con una pistola de aspersión o de forma manual con el empleo de un rodillo.
- c. Cuando el gelcoat ha curado parcialmente, se colocan capas del material de refuerzo y se deposita la resina catalizada sobre cada capa de refuerzo. Se pasa un rodillo para permitir que el refuerzo se impregne del polímero y con el objetivo de eliminar el aire atrapado en el laminado.

- d. Se deja curar la pieza a temperatura ambiente. El tiempo de curado depende del sistema catalítico empleado y de la cantidad de iniciador y catalizador utilizada. Finalmente se retira la pieza del molde.

A continuación, en la figura 4.28 se ilustra el proceso de estratificación manual durante la fabricación de un domo de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio.



**Figura 4. 28:** Fabricación de un Domo por Estratificación Manual.

**Fuente:** (Guerrero, y otros, 2011).

Algunas de las ventajas de la estratificación manual son la operación sencilla con la que se maneja, que permite fabricar piezas de diversos tamaños y formas, con alto contenido de refuerzo, y una baja inversión. Las limitaciones de este método es el tedioso trabajo con respecto a la mano de obra, la dificultad de controlar el espesor de la pieza y el buen acabado en sólo una de sus caras. Dado que es una técnica manual, no es posible utilizarla para producciones a gran escala y los resultados dependen directamente de la habilidad del operador.

#### **4.4. MATERIALES COMPUESTOS BIODEGRADABLES**

##### **4.4.1. Contribución Ambiental de los Materiales Compuestos Biodegradables**

Los materiales biodegradables son aquellos que sufren degradación por acción de los microorganismos activos presentes en el medioambiente tales como bacterias, hongos y algas (Rudnik, 2008), citado por (Guerrero, y otros, 2011). Al producirse la

descomposición se obtiene moléculas más simples como dióxido de carbono, metano, biomasa y agua, donde estas pueden ser incorporadas al medio sin ocasionar un impacto significativo en el ambiente, como se muestra en la figura 4.29, donde se puede apreciar la degradación de un envase P(3HB-CO-3HV) en lodo activado durante un período de 0 a 10 semanas (Jung.Débora, 2007), citado por (Guerrero, y otros, 2011).

Las resinas biodegradables pueden ser de origen natural o sintético, entre los polímeros naturales se encuentran el almidón, la celulosa, la lignina, el gluten, el quitosano, el ácido poliláctico (PLA) y los polihidroxicanoatos (PHAs) mientras que, entre los polímeros sintéticos se encuentran la policaprolactona (PCL), la poliglicolida (PGA) y la polidioxanona (PDS) (Guerrero, y otros, 2011).



**Figura 4. 29:** Degradación de un Envase de P(3HB-CO-3HV) en Lodo Activado Durante un Periodo de 0, 2, 4, 6 ,8 y 10 Semanas.

**Fuente:** (Jung.Débora, 2007), citado por (Guerrero, y otros, 2011).

Actualmente, resulta de suma importancia explorar el uso de polímeros o resinas biodegradables, en especial en el área de los materiales compuestos de matriz polimérica biodegradable reforzadas con fibras naturales ya que en el país se dispone de una variedad de materiales entre ellos residuos agroindustriales y fibras naturales (Guerrero, y otros, 2011).

#### **4.4.2. Materiales Compuestos Biodegradables Reforzados con Fibras Vegetales**

El uso de materiales biodegradables reforzados con fibras vegetales ha permitido bajar costos y mejorar ciertas propiedades. Es importante indicar que al combinar una matriz biodegradable con fibras vegetales se obtiene un material completamente biodegradable, lo que permite proponer a estos materiales como una alternativa ecológica ya que tendrán una mejor aceptación en la población debido a la tendencia actual de cuidar y proteger el medio ambiente (Guerrero, y otros, 2011). Vale la pena reiterar, que el interés en la producción y utilización de este tipo de materiales se encuentra influenciado por distintas regulaciones ambientales.

Estos aspectos generan nuevas oportunidades y posibilidades de desarrollo de materiales para una variedad de productos y aplicaciones. Para dichas aplicaciones de materiales biodegradables, el estudio se ha centrado en la utilización de matrices de PLA (polímero biodegradable sintético) y PHA (polímero degradable natural). Las propiedades mecánicas de estos y otros materiales compuestos son afectadas por la cantidad de fibra, su longitud, morfología y orientación.

De esta manera, cuando la matriz es PLA, las propiedades mecánicas también dependerán de las propiedades específicas del PLA, como la masa molar y el contenido residual de láctida. De igual manera, el proceso de fabricación asignará ciertas propiedades al material obtenido. Otros parámetros como la temperatura de secado de las fibras, así como la temperatura de procesamiento del polímero pueden influir de manera considerable. Además, cada proceso de fabricación incluye otros parámetros importantes, sin considerar que la fibra puede ser tratada para obtener mejores propiedades.

De este modo, en la figura 4.30 se muestran algunos resultados típicos de ensayos de tracción e impacto realizados en matriz PLA con diferentes cantidades y tipos de fibra vegetal (Guerrero, y otros, 2011).

Tipo de fibra y contenido	Tipo de PLA	Método de fabricación	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Resistencia al impacto (kJ/cm <sup>2</sup> )
Lino (30%)	PLLA	Extrusión + modificación por fusión	70	8,4	17,8
Lino (40%)	Ácido poliláctico	Moldeo por inyección	68	7,2	N/E
Lino (40%)	Ácido poliláctico	Moldeo por inyección	45	7,2	11,0
Lino (50%)	Ácido poliláctico	Moldeo por compresión	99	6,0	N/E
Algodón (30%)	PLLA	Extrusión + modificación por fusión	30	6,8	5,8
Yute (40%)	PLLA	Moldeo por compresión	100	9,4	14,3

**Figura 4. 30:** Propiedades Mecánicas Típicas de los Compuestos de PLA Reforzados con Fibras Vegetales.

**Fuente:** (Mohanty, Misra, & Drzal, 2005), citado por (Guerrero, y otros, 2011).

Toyota se encuentra estudiando las posibles aplicaciones de materiales biodegradables para sus vehículos en paneles de puertas, tableros, gavetas.

Por otra parte, los polihidroxialcanoatos (PHAs) representan un grupo importante dentro del grupo de polímeros biodegradables. Biopolímeros como el poli (3-hidroxibutirato) (PHB) son muy usados para la elaboración de materiales compuestos completamente biodegradables. Además de las ventajas relacionadas con la biodegradabilidad y biocompatibilidad, las matrices de PHB ofrecen algunas ventajas como las siguientes:

- El PHB es hidrofóbico, por lo tanto, protege la fibra natural del ataque de la humedad.
- El PHB es un poliéster lineal saturado que puede ser procesado como un termoplástico regular a temperaturas relativamente bajas. Por ello, se puede evitar la degradación térmica de la fibra natural.
- Las propiedades mecánicas del PHB son comparables con las propiedades mecánicas del PP (Guerrero, y otros, 2011).

Otro punto importante que se debe considerar, es el elevado costo del PHB, lo que se constituiría en un potencial obstáculo para ciertas aplicaciones, por esta razón, la adición de fibras naturales como refuerzo puede resultar de gran interés, ya que con estas se pueden elaborar productos más económicos y con un rendimiento mecánico mejorado manteniendo la biodegradabilidad.

Al elaborar materiales compuestos completamente biodegradables se necesita tratar adecuadamente la fibra natural, a través de procesos químicos o físicos que le permitan aportar significativamente a las propiedades del material compuesto.

## **4.5. COMPOSITES ELABORADOS CON FIBRAS NATURALES ECUATORIANAS**

### **4.5.1. Investigaciones Previas Desarrolladas en el Ecuador**

En la provincia de Imbabura, las fibras naturales son diversas. Por esta razón, en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra, específicamente en el Centro Nacional de Fibras Naturales “CENFIN”, se han realizado varios estudios y análisis con respecto al desarrollo de materiales compuestos donde son muy usadas las fibras de abacá y cabuya, buscando reciclar residuos agrícolas para que formen parte del refuerzo de composites.

En este Centro se han elaborado materiales con matrices poliméricas y diferentes tipos de fibra vegetal, en donde se destaca la elaboración de tableros compuestos a partir de resinas úreaformaldehído (UF), reforzados con residuos agrícolas de café y cabuya (Guerrero, y otros, 2011).

## **4.6. PROTOTIPOS FABRICADOS A PARTIR DE MATERIALES COMPUESTOS ECUATORIANOS.**

### **4.6.1. Relevancia de la Producción de Prototipos en el Contexto de la Realidad Ecuatoriana**

La satisfacción integral de las necesidades a lo largo de la historia se basa en el desarrollo de productos con los materiales obtenidos. Por esta razón, es necesario definir el comportamiento de un material bajo distintas solicitudes de servicio. Esto se logra con la transformación de los materiales desarrollados a nivel de laboratorio, en objetos de aplicación cotidiana denominados prototipos. De esta forma, se impulsa la innovación de productos, mediante los cuales se busca la satisfacción de distintas exigencias para su aceptación por parte de potenciales usuarios.

La fabricación de prototipos en industrias como la automotriz, tomó en cuenta la facilidad de fabricación para estos prototipos, pretenden que los procesos de fabricación disponibles en el medio permitan la elaboración de los mismos, asegurándose que puedan ser introducidos como sustitutos de productos ya existentes en el mercado.

Los factores a ser considerados son: características funcionales, propiedades y características mecánicas (flexión, tracción e impacto), propiedades estéticas (acabados superficiales, apariencia física) y maquinabilidad (facilidad de corte, de empernado, etc.) (Guerrero, y otros, 2011).

### **4.6.2. Prototipos Fabricados en el Ecuador en Relación a la Industria Automotriz**

A continuación, citamos algunos ejemplos de prototipos referentes a la industria carrocera:

#### 4.6.2.1. Construcción de una Carrocería de un Vehículo Tipo Formula SAE

Este trabajo muestra la investigación realizada para diseñar una carrocería aerodinámica acorde a las normas que exige la organización SAE para un prototipo de auto de carreras tipo Formula SAE, así como también evidenciar la optimización en materiales de construcción con una excelente resistencia y menor peso, para que el prototipo sea ligero y resistente, basado en técnicas de construcción que faciliten disminuir en gran parte el material innecesario sin perder la resistencia de la carrocería (Caiza Chasi & Vilaña Monteros, 2015).

En la figura 4.31 que se muestra a continuación se indica la carrocería de un vehículo monoplace tipo Formula SAE construida por la ESPE sede Latacunga:



**Figura 4. 31:** Carrocería de un Vehículo Tipo Formula SAE.

**Fuente:** (Caiza Chasi & Vilaña Monteros, 2015).

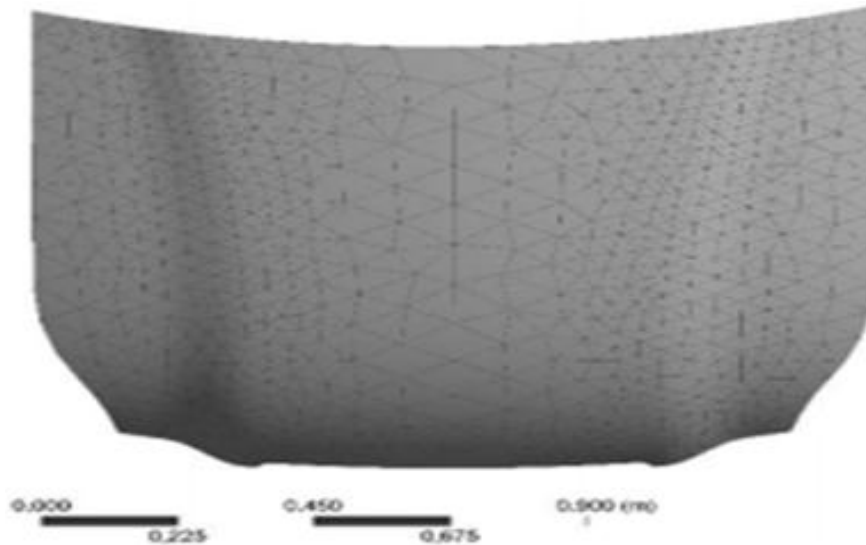
#### 4.6.2.2. Construcción de un Prototipo del Capot de la Camioneta Mazda BT-50

El proyecto se lo realizó en base a la investigación, estudio teórico y experimental de los materiales compuestos orgánicos para la construcción de un prototipo del capot de la camioneta Mazda BT-50.



Proponiendo una alternativa eficiente con la obtención final de un prototipo que minimice la contaminación ambiental (Manjarrés, Santillán, Guerrero, & Pachacama, 2015).

En la figura 4.32 se indica el prototipo del capot de la camioneta Mazda BT-50 del año 2010:



**Figura 4. 32:** Prototipo del Capot de la Camioneta Mazda BT-50.

**Fuente:** (Manjarrés, Santillán, Guerrero, & Pachacama, 2015).

Toda la información indicada en esta investigación referente al estado del arte, es de vital importancia porque nos permite realizar una investigación exhaustiva donde se abordan todas las dudas y problemas que se tenga sobre el tema en estudio, y al analizar la teoría se adquieren los conocimientos necesarios para planificar de mejor manera cómo se puede desarrollar y sacar adelante el proyecto.

## 5. MARCO METODOLÓGICO

### 5.1. Recursos y Materiales

En este punto, se cita los materiales empleados en la fabricación de las probetas de composite de fibra de vidrio, al igual que las probetas de composite de fibra natural de caña guadua.

#### 5.1.1. Tabla de Costos

A continuación, en la tabla 5.1 se detalla de forma general los principales materiales empleados para la fabricación de dichas probetas, describiendo sus respectivos costos:

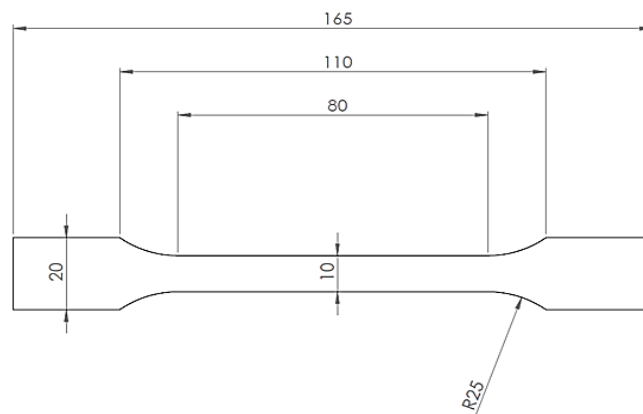
**Tabla 5. 1:** Costos de Materiales Empleados en la Fabricación de Probetas de Composite de Fibra de Vidrio y Probetas de Composite de Fibra Natural de Caña Guadua.

MATERIALES EMPLEADOS EN LA FABRICACIÓN DE PROBETAS			
Descripción	Cantidad	Valor	Valor
		Unitario	Total
Resina Poliéster Ortotereftalica 1847	6 kg.	6,27	37,62
Gel Coat Isoftalico Blanco 888 NPG	3 kg.	11,54	34,62
Metil Etil Cetona Peróxido	1 kg.	10,80	10,80
Fibra de Vidrio MAT	3 kg.	5,60	16,80
Alcohol Polivinílico	1 Kg.	4,75	4,75
Caña Guadua	1	4,50	4,50
Vidrio de 4 Líneas (30x30) cm <sup>2</sup> .	12	0,70	8,40
Paquete de 50 Vasos Plásticos Cerveceros	1	4,00	4,00
Brochas Wilson	8	3,25	26,00
		<b>Total</b>	<b>147,49</b>

**Nota.** El costo total de materiales empleados es de 147,49 dólares. Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

## 5.2. DISEÑO DE LA DE PROBETA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTILLA

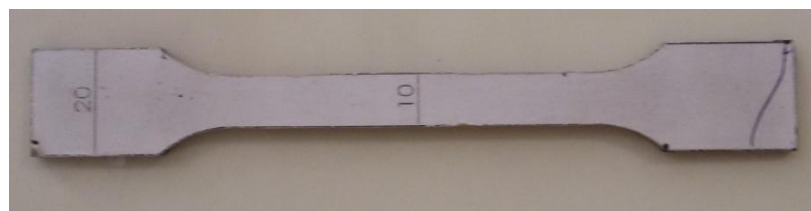
Se diseña la probeta en el software Solidworks, basado en la normativa ISO 527-2 recomendada por el laboratorio a realizar los ensayos, tal como se muestra en la figura 5.1:



**Figura 5. 1:** Dimensionado de la Probeta Mediante el Software Solidworks.

**Fuente:** ISO 527-2.

Una vez diseñada la probeta bajo la normativa citada anteriormente, se procede a construir la plantilla. Para esto, fue necesario imprimir el diseño a escala real y recortar a ras del contorno del dibujo de la probeta. Luego de esto, se procede a pegar el recorte de la probeta sobre un retazo de cartón prensado, para finalmente recortar el cartón y obtener la plantilla; tal como se muestra en la figura 5.2. La misma que posteriormente será utilizada de plantilla para la obtención de probetas de composite de fibra de vidrio y probetas de composite de fibra natural de caña guadua.



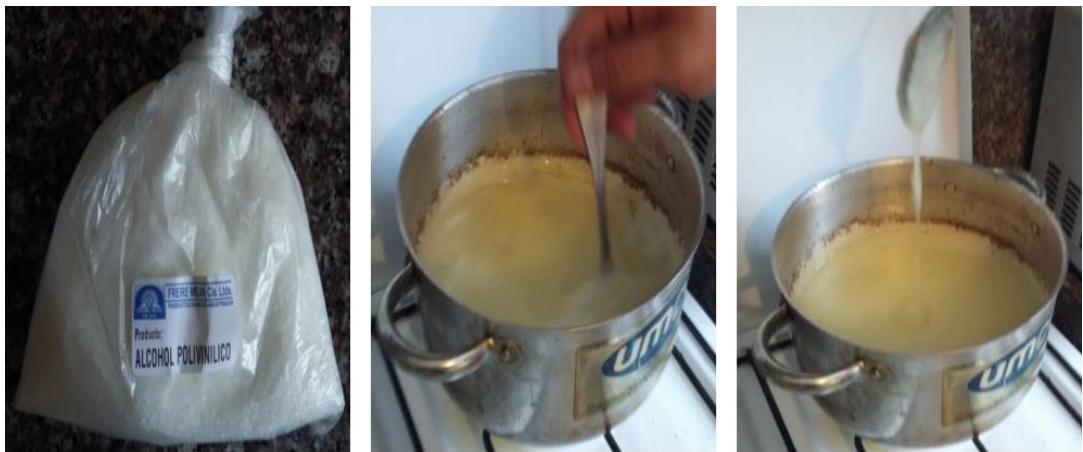
**Figura 5. 2:** Plantilla Para la Obtención de Probetas.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

### 5.3. PREPARACIÓN Y OBTENCIÓN DEL ALCOHOL POLIVINÍLICO.

Una sustancia muy importante para la construcción de las láminas de composite de fibra de vidrio, y las láminas de fibra natural de caña guadua es el alcohol polivinílico. El mismo que se utiliza para eliminar impurezas que se encuentren sobre el vidrio, y además, al final del proceso de obtención de las láminas actúa como agente desmoldante, permitiendo despegar fácilmente el vidrio.

Para la preparación del alcohol polivinílico, se debe hervir 1 litro de agua, y a continuación verter progresivamente 300 gramos de alcohol polivinílico en polvo y diluirlo hasta obtener una sustancia viscosa; tal como se muestra en la figura 5.3. Es sumamente importante agregar el alcohol en porciones moderadas sobre el agua hirviendo; caso contrario, al verter todos los 300 gramos de alcohol en polvo, se llegarán a formar bolas de alcohol polivinílico al entrar en contacto con el agua hirviendo, las mismas que serán imposibles de llegar a diluir.



**Figura 5. 3:** Preparación y Obtención del Alcohol Polivinílico.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

## 5.4. OBTENCIÓN DE PROBETAS DE COMPOSITE DE FIBRA DE VIDRIO.

Para la obtención de las probetas de composite de fibra de vidrio, se requiere 4 retazos de vidrio de 4 líneas, cuyas dimensiones fueron 30 cm. de alto por 30 cm. de ancho, para la elaboración de los moldes, tal como se indica en la figura 5.4.

Estos vidrios sirven para brindar un excelente acabado superficial en una de las caras de las diferentes láminas, debido a la ausencia de porosidades en el mismo.



**Figura 5. 4:** Vidrio de 4 Líneas de (30x30) cm<sup>2</sup>.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

### 5.4.1. Aplicación del Alcohol Polivinílico

Para la construcción de las láminas de composite de fibra de vidrio, se aplica 3 finas películas de alcohol polivinílico sobre el vidrio de (30x30) cm<sup>2</sup>, con un intervalo de secado de 30 minutos entre cada película. El esparcimiento de las 3 finas capas de alcohol polivinílico sobre el área del vidrio se lo realiza en una sola dirección, pudiendo ser en forma vertical de arriba hacia abajo, o a su vez, en forma horizontal de izquierda a derecha; esto con el objetivo de obtener al final del proceso de fabricación un excelente acabado superficial en la lámina. A continuación, se detallarán estas 3 etapas:

#### 5.4.1.1. Primera Película de Alcohol Polivinílico

La primera película de alcohol polivinílico se coloca con el objetivo de limpiar el vidrio de impurezas que puedan afectar el acabado de la lámina de composite de fibra de vidrio, la misma se aplica en dirección vertical, es decir, de arriba hacia abajo como se observa en la figura 5.5.



**Figura 5. 5:** Primera Película de Alcohol Polivinílico.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

#### 5.4.1.2. Segunda Película de Alcohol Polivinílico

Es sumamente importante dejar secar la primera capa de alcohol polivinílico como mínimo un intervalo de 30 minutos, para que la película de alcohol se seque adecuadamente y no afecte el acabado superficial de la lámina. Una vez transcurrido este tiempo, se procede a la aplicación de la segunda capa de alcohol polivinílico en la misma dirección que la primera película, esto es, en forma vertical de arriba hacia abajo; tal como se muestra en la figura 5.6:



**Figura 5. 6:** Segunda Película de Alcohol Polivinílico.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

### 5.4.1.3. Tercera Película de Alcohol Polivinílico

Después de 30 minutos de haber aplicado la segunda película de alcohol polivinílico, se aplica la tercera capa, manteniendo la dirección de aplicación de la primera y segunda película de alcohol, esto es, en forma vertical de arriba hacia abajo tal como se observa en la figura 5.7. Al mantener la misma dirección durante todo el proceso de aplicación de alcohol polivinílico garantiza un excelente acabado superficial.



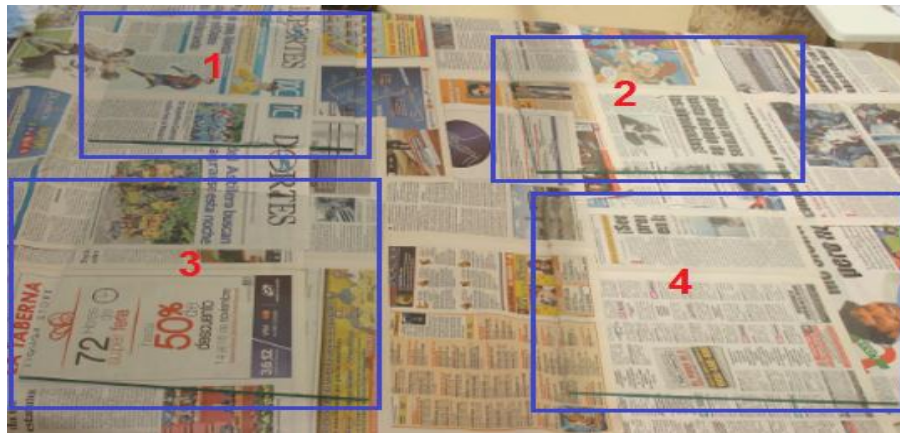
**Figura 5. 7:** Tercera Película de Alcohol Polivinílico.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

En la figura 5.8 se presenta todo el proceso concluido en los 4 vidrios, es decir, se encuentran las 3 finas películas de alcohol polivinílico ya totalmente secas, aunque a simple vista no son perceptibles, pero en cambio son palpables ya que el alcohol es



una sustancia pegajosa. Una vez concluida esta etapa, a continuación, se procederá a la aplicación de la capa de gel coat.



**Figura 5. 8:** Finas Películas de Alcohol Polivinílico Totalmente Secas.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

#### **5.4.2. Pesos de Materiales Empleados para la Fabricación de Láminas de Composite de Fibra de Vidrio**

En este apartado se describen los materiales empleados y sus respectivas proporciones en gramos que se utilizaron en la fabricación de 2 láminas de composite de fibra de vidrio de 3 y 4 capas respectivamente; cada lámina con un área de  $(30 \times 30) \text{ cm}^2$ . Dicha medida se recomienda por los autores (Fajardo, y otros, 2015) debido a que es un área con la cual se puede obtener el número de probetas requeridas para los ensayos destructivos.

##### **5.4.2.1. Lámina de Composite de Fibra de Vidrio de 3 Capas de $(30 \times 30) \text{ cm}^2$**

Los materiales a utilizarse con sus respectivos pesos en gramos requeridos para la elaboración de una lámina de composite de fibra de vidrio de 3 capas de  $900 \text{ cm}^2$  son los que se describen a continuación en la tabla 5.2.



**Tabla 5. 2:** Pesos de Materiales Empleados para la Fabricación de una Lámina de Composite de Fibra de Vidrio de 3 Capas de (30x30) cm<sup>2</sup>.

<b>Lámina de Composite de Fibra de Vidrio de 3 Capas de (30x30) cm<sup>2</sup></b>			
<b>Fibra de Vidrio MAT</b>	3 retazos de (30x30) cm <sup>2</sup> con un peso total de 126,16 gramos		
<b>Gel Coat</b>	75 gramos	<b>Catalizador (MEK)</b>	2,6325 gramos
<b>Resina Poliéster</b>	200 gramos	<b>Catalizador (MEK)</b>	7,02 gramos

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

#### 5.4.2.2. Lámina de Composite de Fibra de Vidrio de 4 Capas de (30x30) cm<sup>2</sup>

Los materiales a utilizarse con sus respectivos pesos en gramos requeridos para la elaboración de una lámina de composite de fibra de vidrio de 4 capas de 900 cm<sup>2</sup> son los que se describen a continuación en la tabla 5.3.

**Tabla 5. 3:** Pesos de Materiales Empleados para la Fabricación de una Lámina de Composite de Fibra de Vidrio de 4 Capas de (30x30) cm<sup>2</sup>.

<b>Lámina de Composite de Fibra de Vidrio de 4 Capas de (30x30) cm<sup>2</sup></b>			
<b>Fibra de Vidrio MAT</b>	4 retazos de (30x30) cm <sup>2</sup> con un peso total de 174,45 gramos		
<b>Gel Coat</b>	75 gramos	<b>Catalizador (MEK)</b>	2,6325 gramos
<b>Resina Poliéster</b>	300 gramos	<b>Catalizador (MEK)</b>	10,53 gramos

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

#### 5.4.3. Aplicación del Catalizador (MEK)

Los autores (Fajardo, y otros, 2015) recomiendan utilizar 3,51 gramos de catalizador (MEK), ver figura 5.9, por cada 100 gramos de gel coat, ver figura 5.10, al igual que por cada 100 gramos de resina poliéster, ver figura 5.16.

Debido a esto, al emplear 300 gramos de gel coat para cuatro vidrios de (30x30) cm<sup>2</sup>. en la construcción de las láminas de composite de fibra de vidrio para 3 y 4 capas respectivamente, se coloca 10,53 gramos de catalizador (MEK). Siendo éste, un aditivo que se implementa para acelerar el secado del gel coat y de la resina poliéster, ya que sin el MEK estos dos tardarían en secar varias semanas.



**Figura 5. 9:** Gramos de MEK Requerido por Cada 100 gramos de Gel Coat y Resina Poliéster.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

#### 5.4.4. Aplicación del Gel Coat

En la figura 5.10 se puede observar cómo se pesaron los 100 gramos de gel coat para la aplicación en los moldes.



**Figura 5. 10:** Cantidad de 100 gramos de Gel Coat.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

Se pesa 3 vasos de 100 gramos de gel coat para aplicar los 3,51 gramos de catalizador (MEK) en cada vaso, ver figura 5.11. Para el proceso de aplicación de gel coat es de vital importancia tener pesado los 3 vasos con 100 gramos de gel coat por separado, y de la misma manera tener pesado las 3 tapitas con 3,51 gramos de catalizador (MEK), y de esta manera ir ocupando y mezclando conforme se vaya requiriendo.

No se debe mezclar los 300 gramos de gel coat con los 10,53 gramos de catalizador en un solo recipiente, ya que este último va a hacer efecto de manera rápida logrando solidificar progresivamente la mezcla, y al colocarlo sobre la superficie del vidrio se notarán grandes grumos sólidos de gel coat que dañarán por completo el acabado superficial. La preparación del gel coat se la realiza para cuatro láminas de composite de fibra de vidrio (MAT), de los cuales 2 láminas fueron de 3 capas y las otras 2 láminas fueron de 4 capas, lo cual nos da un total de 3600 cm<sup>2</sup>, tal como se observa en la figura 5.13.



**Figura 5. 11:** Mezcla entre 100 gramos de Gel Coat y 3,51 gramos de Catalizador (MEK).

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

En la figura 5.12, se puede apreciar la forma en la que se aplica el gel coat sobre la superficie del vidrio que se encuentra cubierta con 3 finas capas de alcohol polivinílico con la ayuda de una brocha. Se recomienda que la brocha a emplearse sea de muy buena calidad para evitar que desprenda cerdas y así evitar daños en el acabado superficial de las diferentes láminas de composite de fibra de vidrio.

El gel coat sirve para proteger el laminado contra la acción de la intemperie y la humedad, de igual manera, proporciona un acabado liso y brillante en una de las caras de la lámina, y además sirve como base para la aplicación de pintura. Según los autores (Fajardo, y otros, 2015) recomiendan aplicar el gel coat en dirección perpendicular a la forma en la que se colocó el alcohol polivinílico anteriormente, en este caso en dirección horizontal al molde, es decir, de izquierda a derecha; esto es para cubrir de forma uniforme toda el área del molde y lograr un excelente acabado superficial. Para esto, se debe tener precaución de no asentar mucho la brocha para no dejar surcos visibles en la superficie del molde.

En este proceso se emplea una sola mano de gel coat, colocando una capa significativa de la misma para que la superficie de la lámina al final del proceso se encuentre de color blanco en la totalidad de su área de manera uniforme. Según (PlastiQuímica, 2016) hace referencia que el espesor asimilado por cada capa de gel coat aplicada sobre una superficie aproximadamente es de entre 0.4 y 0.5 mm.



**Figura 5. 12:** Aplicación de Gel Coat sobre la Superficie del Vidrio Cubierto por el Alcohol Polivinílico.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

Es sumamente importante dejar que el gel coat esté totalmente seco para la posterior aplicación de la resina poliéster, este proceso tarda aproximadamente unas 3 horas; de esta forma se garantiza un excelente acabado superficial.

En la figura 5.13 se observa el gel coat aplicado en los moldes:

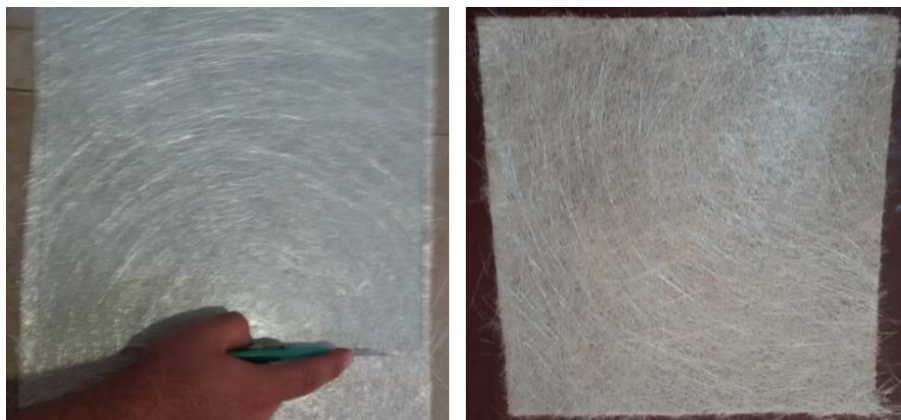


**Figura 5. 13:** Gel Coat Aplicado Sobre Todos los Cuatro Moldes.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

#### 5.4.5. Corte de Fibra de Vidrio (MAT) en Retazos

En la figura 5.14 se muestra la manera en la que se procede a cortar la fibra de vidrio (MAT) en retazos, teniendo como medida y plantilla los vidrios de (30x30) cm<sup>2</sup>. En total se cortan 14 pedazos de fibra de vidrio para su respectiva aplicación en los 4 moldes.



**Figura 5. 14:** Corte de Retazos de Fibra de Vidrio.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

En la figura 5.15 se observa la cantidad en gramos de fibra de vidrio que se utiliza para cada molde, tanto para el de 3 capas como para el de 4 capas:

Las 3 capas de fibra de vidrio pesaron 126,16 gramos con un área de 900 cm<sup>2</sup>.

Las 4 capas de fibra de vidrio pesaron 174,45 gramos con un área de 900 cm<sup>2</sup>.



**Figura 5. 15:** Cantidad en Gramos de Fibra de Vidrio que se Usó Para Cada Molde de 3 y 4 Capas.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

#### 5.4.6. Aplicación de Resina Poliéster

Para la preparación de la resina poliéster, se realiza de la misma forma como en el caso del gel coat, es decir empleando la misma relación. Estas cantidades fueron recomendadas por el departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana. Esto es, por cada 100 gramos de resina poliéster se aplicó 3,51 gramos de catalizador (MEK), ver figura 5.16, para acelerar el secado de la resina.

En la tabla 5.2 y tabla 5.3 se especifica la cantidad correspondiente de resina y catalizador para los moldes de 3 y 4 capas de composite de fibra de vidrio respectivamente.





**Figura 5. 16:** Mezcla entre 100 gramos de Resina Poliéster y 3,51 gramos de Catalizador (MEK).

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

#### 5.4.6.1. Primera Capa de Resina Poliéster y Fibra de Vidrio (MAT)

Se procede a aplicar la primera capa de resina poliéster encima del gel coat que se encuentra totalmente seco, esto con la ayuda de una brocha para esparcirlo de manera uniforme; después rápidamente se procede a colocar la primera capa de fibra de vidrio (MAT) por encima de la resina poliéster aplicada en el gel coat, ver figura 5.17, y de manera inmediata se la cubre y empapa de resina poliéster la primera capa de fibra de vidrio (MAT) de una manera uniforme con la ayuda de la brocha, simulando movimientos de golpes de martillo para una correcta absorción de la resina en la fibra de vidrio; tal como se observa en la figura 5.18.



**Figura 5. 17:** Colocación de la Primera Capa de Resina Poliéster y Fibra de Vidrio.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

#### 5.4.6.2. Segunda y Tercera Capa de Resina Poliéster y Fibra de Vidrio (MAT)

En la figura 5.18 se observa el procedimiento que se debe seguir para la colocación de la segunda y tercera capa de fibra de vidrio (MAT). Para esto, se replica el proceso que se la hizo a la primera capa, es decir, una vez se haya empapado uniformemente de resina poliéster a la primera capa de fibra de vidrio (MAT) se coloca inmediatamente la segunda capa de fibra de vidrio (MAT), esta a su vez, se la vuelve a recubrir uniformemente de resina poliéster con la ayuda de una brocha, y luego de que se encuentre la resina poliéster esparcida uniformemente se procede a colocar la tercera capa de fibra de vidrio (MAT) y por último se la vuelve a recubrir de resina poliéster, dejándola secar por unas 3 horas para su posterior desmoldamiento, esto en el caso de la lámina de composite de fibra de vidrio de 3 capas.



**Figura 5. 18:** Colocación de la Segunda y Tercera Capa de Resina Poliéster y Fibra de Vidrio.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

#### 5.4.6.3. Cuarta Capa de Resina Poliéster y Fibra de Vidrio (MAT)

Para la lámina de composite de fibra de vidrio de 4 capas, es necesario aplicar una última capa de fibra de vidrio (MAT), repitiendo el mismo proceso descrito anteriormente. Lo importante es dejar bien humedecidas de resina poliéster cada capa que se colocó de fibra de vidrio (MAT), evitando dejar claros sobre la superficie humedecida, tal como se observa en la figura 5.19.





**Figura 5. 19:** Colocación de la Cuarta Capa de Resina Poliéster y Fibra de Vidrio.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

En la figura 5.20 se puede apreciar el resultado obtenido luego de colocar conjuntamente las diferentes capas de fibra de vidrio (MAT) como las capas de resina poliéster, para láminas de composite de fibra de vidrio de 3 y 4 capas respectivamente; para su posterior secado.



**Figura 5. 20:** Láminas Terminadas de Composite de Fibra de Vidrio para su Posterior Secado.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

#### **5.4.7. Proceso de Desmolde**

Luego de haber dejado transcurrir 3 horas para el correcto secado de las láminas de composite de fibra de vidrio (MAT), se procede a retirar todos los vidrios que sirvieron como base para el acabado de una de las caras de los diferentes moldes. Con la ayuda

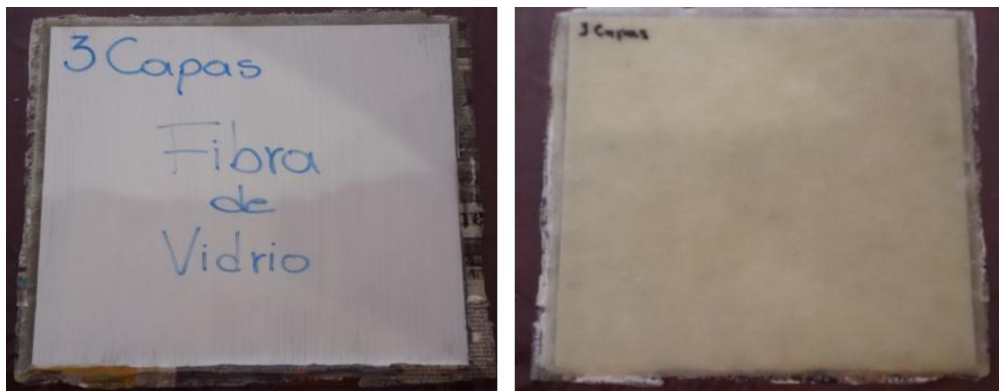
del alcohol polivinílico se pudo desmoldear con gran facilidad todas las láminas ya terminadas, tal como se observa observar en la figura 5.21.



**Figura 5. 21:** Separación del Vidrio y la Lámina de Composite de Fibra de Vidrio en el Proceso de Desmolde.

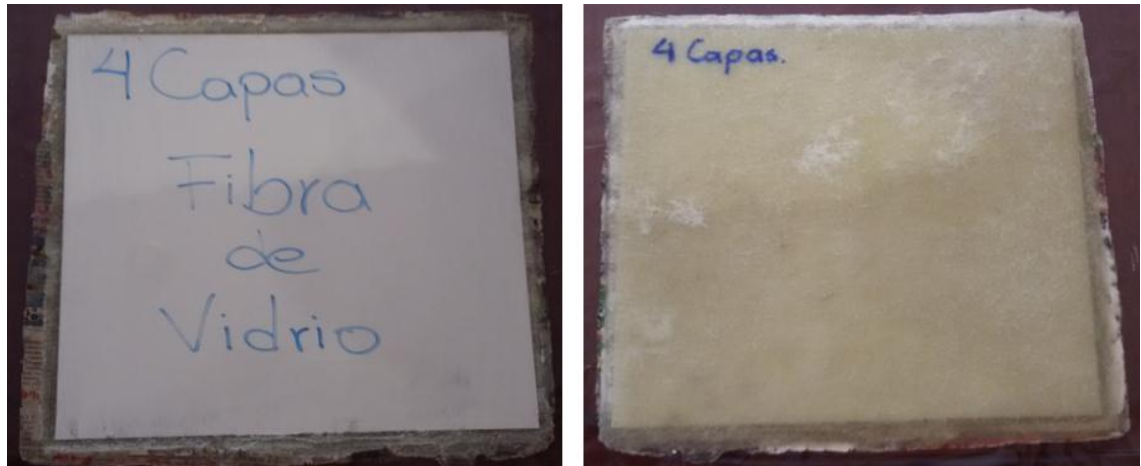
**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

En la figura 5.22 y figura 5.23 se puede apreciar el acabado de las láminas de composite de fibra de vidrio de 3 y 4 capas respectivamente; donde se observa que gracias al molde y al gel coat se obtuvo un excelente acabado superficial.



**Figura 5. 22:** Láminas de Composite de Fibra de Vidrio de 3 Capas.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.



**Figura 5. 23:** Láminas de Composite de Fibra de Vidrio de 4 Capas.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

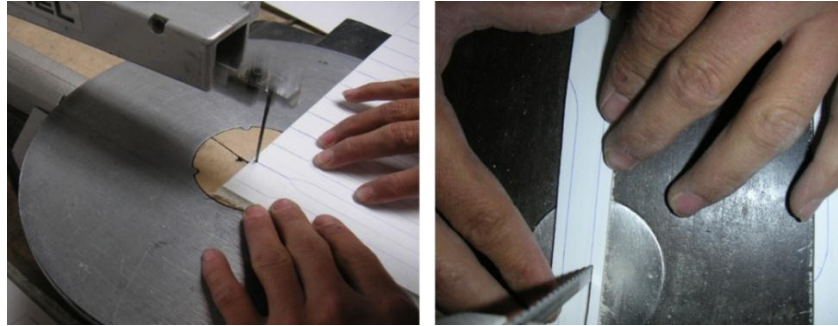
#### 5.4.8. Proceso de Corte

Luego de obtener las láminas de composite de fibra de vidrio de 3 y 4 capas, se utiliza la plantilla de cartón prensado en forma de probeta construida anteriormente bajo la norma ISO 527-2, ver figura 5.2, para calcarlas sobre la superficie de las láminas; y posteriormente proceder a cortar las probetas mediante la utilización de una sierra Dremel, como se puede apreciar en la figura 5.24 y la figura 5.25.



**Figura 5. 24:** Trazado en la Superficie de las Láminas de Composite de Fibra de Vidrio y Corte de las Probetas.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.



**Figura 5. 25:** Corte de Probetas de Composite de Fibra de Vidrio con Cierra Dremel.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

#### 5.4.9. Resultados Obtenidos Después del Corte

En la figura 5.26 se observa el resultado final del proceso, que es la obtención de los dos tipos de probetas, estas son, las probetas de composite de fibra de vidrio (MAT) de 3 capas e igual forma la de 4 capas.



**Figura 5. 26:** Probetas de Composite de Fibra de Vidrio de 3 y 4 Capas Obtenidas en el Proyecto.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

#### 5.4.10. Pesos de las Probetas

Se pesan 10 probetas de composite de fibra de vidrio de 3 capas, ver figura 5.27, y de igual manera 10 probetas de composite de fibra de vidrio de 4 capas, ver figura 5.28, con el propósito de obtener su peso en gramos y de esta manera tener un parámetro de comparación de pesos entre ellas, que es lo que se busca con la realización de este proyecto.

#### 5.4.10.1. Probetas de Composite de Fibra de Vidrio de Tres Capas



**Figura 5. 27:** Peso en Gramos de 10 Probetas de Composite de Fibra de Vidrio de 3 Capas.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

#### 5.4.10.2. Probetas de Composite de Fibra de Vidrio de Cuatro Capas



**Figura 5. 28:** Peso en Gramos de 10 Probetas de Composite de Fibra de Vidrio de 4 Capas.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

### 5.5. OBTENCIÓN DE PROBETAS DE COMPOSITE DE FIBRA NATURAL DE CAÑA GUADUA

#### 5.5.1. Obtención de Latillas de Caña Guadua

Para este proyecto en particular, la materia prima a utilizar fue la fibra natural, la cual se la obtuvo a partir de la caña guadua. La parte de la caña guadua que se utiliza para extraer la fibra fue explícitamente su tallo, el mismo que tiene forma cilíndrica y consta de nudos macizos y también entrenudos huecos.



Lo primero que se procede a hacer es buscar y adquirir la caña guadua. Este tipo de caña es muy común en Ecuador por lo que fue muy fácil conseguirla en nuestro medio, ver figura 5.29.



**Figura 5. 29:** Tallo de la Caña Guadua.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

Para la extracción de la fibra, se procede a trabajar con tan solo 2 metros de la caña, por tal motivo se la cortó tal como se aprecia en la figura 5.30.



**Figura 5. 30:** Medición y Corte del Tallo de la Caña Guadua.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

Después de obtener los 2 metros de caña guadua que se necesitan para extraer la fibra, se procede a cortar y eliminar los nudos macizos de esta, para tan solo utilizar los

entrenudos, que es la parte de la caña que nos interesa, tal como se observa en la figura 5.31. De los 2 metros de caña guadua se obtiene 6 entrenudos en total.



**Figura 5. 31:** Corte de los Nudos Macizos y Obtención de los Entrenudos del Tallo de la Caña Guadua.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

Luego de haber obtenido los entrenudos de la caña, se procede a medir 100 mm. a lo largo de cada entrenudo y cortarlos en la forma como se muestra en la figura 5.32.

De los 6 entrenudos que se tenía al principio, al cortarlos se obtienen 12 entrenudos de 100 mm. cada uno.



**Figura 5. 32:** Corte de 100 mm de los 6 entrenudos del tallo de la caña guadua.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

La finalidad por la cual se cortan los entrenudos de esta manera, es para conseguir latillas de aproximadamente 15 mm. de ancho por 100 mm. de largo, estos se cortan alrededor del perímetro de los entrenudos de la caña, tal como se indica en la figura 5.33.



**Figura 5. 33:** Toma de Medidas y Trazado Alrededor de los 12 Entrenudos de 100 mm. de Caña Guadua.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

Una vez concluida la toma de medidas y el trazado alrededor de los 12 entrenudos de 100 mm., se realiza el corte respectivo para llegar a obtener las latillas; las medidas de las latillas descritas anteriormente son las que requieren para la posterior extracción de la fibra corta y las mismas fueron proporcionadas por el grupo de investigación GIMAT de la Universidad Politécnica Salesiana. Para esto, se cortan las latillas con el uso de un machete; se procede a colocar la hoja afilada del machete sobre la línea trazada alrededor del entrenudo, y a continuación con un martillo de caucho se dan golpes moderados con la finalidad de que la hoja del machete vaya introduciéndose y cortando a la vez en forma vertical; tal como se muestra en la figura 5.34. Este proceso es repetitivo y debe realizarse sobre todas las líneas trazadas alrededor del entrenudo.

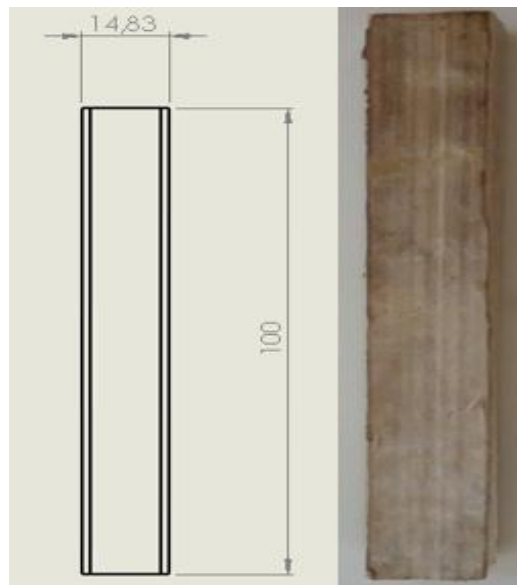




**Figura 5. 34:** Corte de las Latillas de Aproximadamente 15 mm. de Ancho por 100 mm. de Largo.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

Después del proceso de cortado, se obtienen latillas de caña guadua de dimensiones apropiadas, listas para el proceso de extracción de la fibra, tal como se observa en la figura 5.35 y figura 5.36.



**Figura 5. 35:** Latillas de Caña Guadua de Aproximadamente 15 mm. de Ancho por 100 mm. de Largo.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.



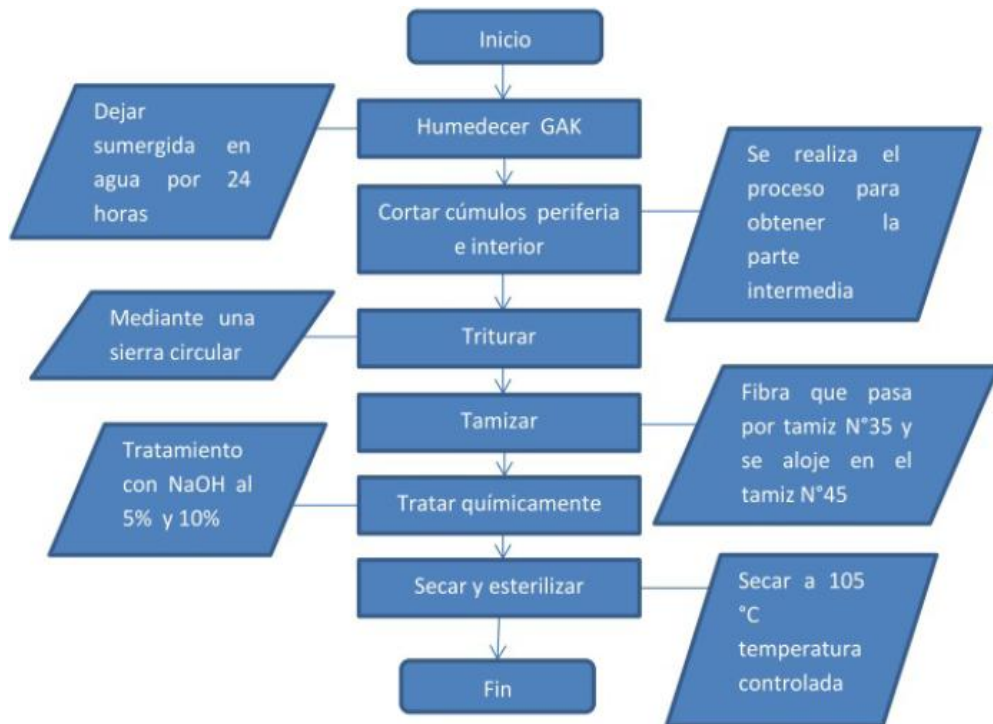
**Figura 5. 36:** Latillas de Caña Guadua.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

### **5.5.2. Proceso de Extracción de Fibra Corta**

En este apartado se hace mención al proceso de extracción de fibra corta de caña guadua, el mismo que fue realizado por el Grupo de Investigación en Nuevos Materiales y Procesos de Transformación (GIMAT) de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Motivo por el cual, su explicación no se extendió a profundidad. Toda la información relevante a este tema se puede encontrar en la tesis realizada por Luis Eduardo Valarezo Jaramillo que tiene por título “OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE UN MATERIAL BIOCOPUESTO A BASE DE UNA MATRIZ POLIMÉRICA Y REFORZADA CON FIBRAS NATURALES DE GUADÚA ANGUSTIFOLIA PROVENIENTE DEL ECUADOR”.

Según (Valarezo Jaramillo, 2013) para la obtención de la fibra ocupada como refuerzo en el compuesto se siguieron las etapas mostradas en la figura 5.37:



**Figura 5. 37:** Flujograma del Proceso de Obtención de Fibra de Caña Guadua.

**Fuente:** (Valarezo Jaramillo, 2013).

La fibra corta que se obtiene después de concluir el proceso es la que se indica a continuación en la figura 5.38. La misma que se emplea en la fabricación de las probetas de composite de fibra natural de caña guadua.



**Figura 5. 38:** Fibra Natural de Caña Guadua.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

### 5.5.3. Obtención de Probetas

Para la fabricación de las probetas de composite de fibra natural de caña guadua se empieza preparando los moldes, para esto, lo primero que se hace es cortar 3 retazos de vidrio de 4 líneas con una medida de (30x30) cm<sup>2</sup>.

#### 5.5.3.1. Aplicación del Alcohol Polivinílico

A continuación, se procede a limpiar los 3 retazos de vidrio con una primera capa de alcohol polivinílico, asegurándonos con esto, eliminar cualquier impureza que se encuentre sobre la superficie de los vidrios, para que al final la lámina de composite de fibra natural obtenida quede con un excelente acabado superficial. La dirección que se debe aplicar es exactamente igual a la descrita anteriormente en la fabricación de probetas de composite de fibra de vidrio; es decir, se aplica en forma vertical de arriba hacia abajo; tal como se observa en la figura 5.39.



**Figura 5. 39:** Primera Capa de Alcohol Polivinílico Sobre los 3 Retazos de Vidrio (30x30) cm<sup>2</sup>.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

Luego de eliminar cualquier tipo de impurezas sobre las superficies de los moldes, y después de haber transcurrido 30 minutos para el secado de la primera capa de alcohol polivinílico; se procede inmediatamente a colocar la segunda capa de alcohol, utilizando el mismo procedimiento que se describe anteriormente en la obtención de las probetas de composite de fibra de vidrio.

En total se colocan 3 capas de alcohol polivinílico con un intervalo de secado de 30 minutos por cada una de ellas. Siendo la finalidad del alcohol polivinílico ayudar en la etapa de desmoldado, así como también ayudar a obtener un excelente acabado superficial de la lámina de composite de fibra natural de caña guadua.

### 5.5.3.2. Fabricación de los Moldes

Para culminar con la preparación de los moldes, se procede a cortar 12 retazos de cartón de una longitud un poco mayor a los 30 cm. de los vidrios. Estos pedazos de cartón son pegados al contorno de los 3 vidrios de (30x30) cm<sup>2</sup>. con la ayuda de una cinta de embalaje, ver figura 5.40, y de esta forma obtener 3 moldes cerrados, ver figura 5.41, ya que la sustancia que se vierte en dichos moldes es líquida; tal como se muestra en la figura 5.45.



**Figura 5. 40:** Fabricación de los Moldes Cerrados Para el Vaciado del Composite de Fibra Natural.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.





**Figura 5. 41:** Obtención de los Moldes Cerrados Para el Vaciado del Composite de Fibra Natural.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

### 5.5.3.3. Porcentajes de Fibra Natural y Resina Poliéster a Utilizar

Dado que el principal objetivo de este proyecto es la reducción sustancial de peso, se opta por mantener como parámetro fijo el peso de resina poliéster y variar solamente el porcentaje del peso de la fibra de caña guadua, esto para la preparación de la mezcla del material, tal como se indica en la figura 5.42.



**Figura 5. 42:** Porcentaje de Fibra Natural de Caña Guadua a Utilizarse en los 3 Moldes.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

El peso de la resina poliéster que se elige para la mezcla es de 300 gramos, medida que se aplica para cada uno de los moldes, ver figura 5.43. Con esto se logra obtener un

espesor apropiado para las láminas de composite de fibra natural para una correcta fabricación de las probetas.



**Figura 5. 43:** Porcentaje de Resina Poliéster que se Utiliza Para Cada Uno de los Moldes.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

#### **5.5.3.4. Pesos de Materiales Empleados para la Fabricación de Láminas de Composite de Fibra Natural de Caña Guadua**

En este apartado se describen los materiales empleados y sus respectivas proporciones en gramos que se utiliza en la fabricación de 3 láminas de composite de fibra natural de caña guadua; cada lámina con un área de  $(30 \times 30) \text{ cm}^2$ . Dicha medida se recomienda por los autores (Fajardo, y otros, 2015) debido a que es un área con la cual se puede obtener el número de probetas requeridas para los ensayos destructivos.

##### **5.5.3.4.1. Lámina de Composite de 10% de Fibra Natural de Caña Guadua**

Los materiales a utilizarse con sus respectivos pesos en gramos requeridos para la elaboración de una lámina de composite de 10% de fibra natural de caña guadua de  $900 \text{ cm}^2$ , son los que se describen a continuación en la tabla 5.4.

**Tabla 5. 4:** Pesos de Materiales Empleados en la Fabricación de una Lámina de Composite de 10% de Fibra Natural de Caña Guadua.

---

<b>Lámina de Composite de 10% de Fibra Natural de Caña de Guadua</b>	
<b>Resina Poliéster</b>	300 gramos
<b>Catalizador (MEK)</b>	10,53 gramos
<b>Fibra de Caña Guadua</b>	30 gramos

---

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

#### **5.5.3.4.2. Lámina de Composite de 15% de Fibra Natural de Caña Guadua**

Los materiales a utilizarse con sus respectivos pesos en gramos requeridos para la elaboración de una lámina de composite de 15% de fibra natural de caña guadua de 900 cm<sup>2</sup>, son los que se describen a continuación en la tabla 5.5.

**Tabla 5. 5:** Pesos de Materiales Empleados en la Fabricación de una Lámina de Composite de 15% de Fibra Natural de Caña Guadua.

---

<b>Lámina de Composite de 15% de Fibra Natural de Caña de Guadua</b>	
<b>Resina Poliéster</b>	300 gramos
<b>Catalizador (MEK)</b>	10,53 gramos
<b>Fibra de Caña Guadua</b>	45 gramos

---

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

#### **5.5.3.4.3. Lámina de Composite de 20% de Fibra Natural de Caña Guadua**

Los materiales a utilizarse con sus respectivos pesos en gramos requeridos para la elaboración de una lámina de composite de 20% de fibra natural de caña guadua de 900 cm<sup>2</sup>, son los que se describen a continuación en la tabla 5.6.



**Tabla 5. 6:** Pesos de Materiales Empleados en la Fabricación de una Lámina de Composite de 20% de Fibra Natural de Caña Guadua.

<b>Lámina de Composite de 20% de Fibra Natural de Caña de Guadua</b>	
<b>Resina Poliéster</b>	300 gramos
<b>Catalizador (MEK)</b>	10,53 gramos
<b>Fibra de Caña Guadua</b>	60 gramos

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

### 5.5.3.5. Preparación de la Mezcla (Resina Poliéster + Fibra Natural + Catalizador)

Este proceso es repetitivo para todos y cada uno de los moldes, es decir, tanto para los moldes de 10%, 15% y 20% de fibra natural de caña guadua.

Primero se procede a pesar por separado la fibra natural, la resina poliéster y el catalizador (MEK) en las cantidades antes especificadas. Luego de esto, se vierte la fibra natural en el vaso de resina poliéster y con movimientos rápidos se agita bien hasta conseguir una mezcla uniforme. Se aconseja utilizar una paleta de uso médico para mezclar la resina poliéster y la fibra natural. Después de obtener dicha mezcla uniforme a manera de colada, se vierten a continuación los 10,53 gramos de catalizador (MEK), ver figura 5.44, tal como se describe en la tabla 5.4, tabla 5.5 y tabla 5.6.

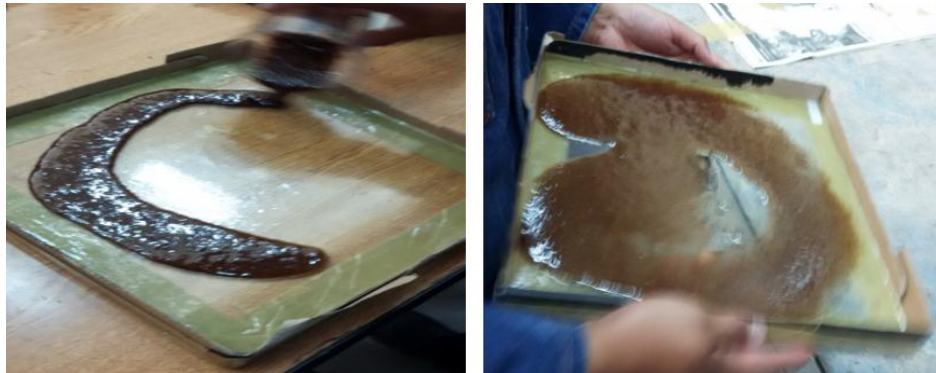


**Figura 5. 44:** Preparación de la Mezcla (Resina Poliéster + Fibra Natural + Catalizador).

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

### 5.5.3.6. Aplicación de la Mezcla en los Moldes

Una vez que se termina de mezclar adecuadamente estos tres elementos: la fibra natural, la resina poliéster y el catalizador (MEK), se procede a verter la mezcla en los tres moldes, esto es, en los moldes para los porcentajes de 10%, 15% y 20% de fibra natural respectivamente. Y de manera inmediata se empieza a esparcir uniformemente la mezcla por toda la superficie del molde, ver figura 5.45, teniendo que ser lo más rápido posible antes de que el catalizador empiece a actuar y se lleguen a formar grumos, los cuales perjudican el proceso de fabricación de las probetas, ya que unas tenderán a ser más pesadas que otras.



**Figura 5. 45:** Esparcimiento de la Mezcla (Resina Poliéster + Fibra Natural + Catalizador) en el Molde.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

Para el posterior secado de la mezcla es muy importante colocar el molde en un lugar que se encuentre nivelado, esto se logra con la ayuda de un nivel. De esta manera se asegura que el espesor de la lámina de composite de fibra natural sea uniforme en toda su área.

En la figura 5.46 se muestra el proceso de secado; para esta etapa se deja secar 24 horas las mezclas de fibra natural de caña guadua, resina poliéster y catalizador (MEK); para tener una mayor seguridad al momento de separar la lámina de composite de fibra natural de la placa de vidrio en el proceso de desmolde.



**Figura 5. 46:** Secado de Láminas de Composite de 10%, 15% y 20% de Fibra Natural de Caña Guadua.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

### 5.5.3.7. Proceso de Desmolde

Es muy importante retirar con mucha precaución las láminas de composite de fibra natural de las placas de vidrio, ya que el cartón que se encuentra en los alrededores del molde suele pegarse junto a este. Para proceder a retirar con suma facilidad las láminas de composite de fibra natural de los moldes, se utiliza un estilete o cuchilla para eliminar los retazos de cartón adheridos en el contorno del molde, tal como se indica en la figura 5.47.



**Figura 5. 47:** Separación de la Placa de Vidrio y la Lámina de Composite de Fibra Natural en el Proceso de Desmolde.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

Luego de haber terminado con el proceso de separación de las placas de vidrio de las láminas de composite de fibra natural, se puede apreciar en la figura 5.48 la obtención final de las tres láminas de composite de 10%, 15% y 20% fibra natural de caña guadua respectivamente.



**Figura 5. 48:** De Izquierda a Derecha: Láminas de Composite de 10%, 15% y 20% de Fibra Natural de Caña Guadua Respectivamente.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

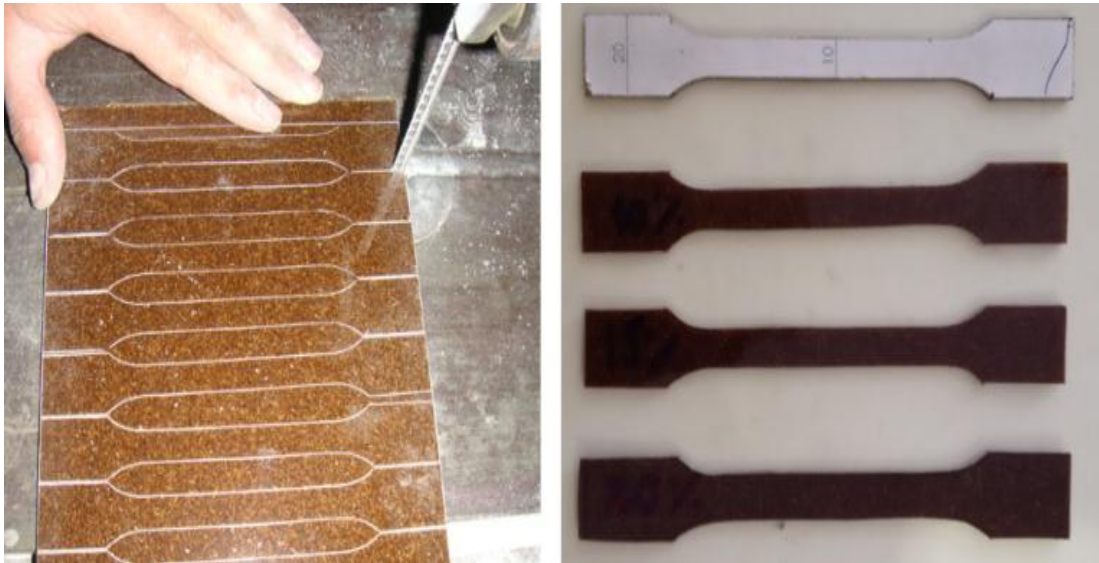
#### **5.5.3.8. Proceso de Corte y Obtención de Probetas**

Después de haber obtenido las diferentes láminas de composite de 10%, 15% y 20% de fibra natural de caña guadua; se procede a utilizar la plantilla de cartón prensado en forma de probeta construida anteriormente bajo la norma ISO 527-2, ver figura 5.2, siendo la misma normativa que se emplea para las probetas de composite de fibra de vidrio, y por ende posee las mismas dimensiones, ver figura 5.1.

En la figura 5.49 se puede observar en la fotografía de la izquierda, el trazado que se realiza con la ayuda de la plantilla y el posterior proceso de cortado mediante una sierra Dremel de cada una de las probetas, en los distintos porcentajes realizados, siendo estos 10%, 15% y 20% de fibra natural de caña guadua.

De igual forma, en la fotografía de la derecha se observa la obtención final de las probetas de composite de fibra natural de caña guadua, viéndose de arriba hacia abajo: la plantilla de cartón prensado, la probeta de composite de 10% de fibra natural, la

probeta de composite de 15% de fibra natural, y por último la probeta de composite de 20% de fibra natural.



**Figura 5. 49:** Trazado en la Superficie de las Láminas de Composite de Fibra Natural y Posterior Corte de Probetas.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

#### 5.5.3.9. Pesos de Probetas

A continuación, se pesan las probetas de composite de fibra natural de caña guadua; empezando con 10 probetas de porcentaje del 10% de fibra, ver figura 5.50, de igual manera 10 probetas con porcentaje del 15% de fibra, ver figura 5.51, y por último se pesan 10 probetas con porcentaje del 20% de fibra, ver figura 5.52.

Todo esto, con la finalidad de obtener sus respectivos pesos en gramos y así tener un parámetro de comparación entre estas; así como también entre los dos tipos de probetas obtenidas, es decir, entre probetas de composite de fibra de vidrio y probetas de composite de fibra natural, para una comparación final entre ambos composites.



### 5.5.3.9.1. Probetas de Composite de 10% de Fibra Natural de Caña Guadua



**Figura 5. 50:** Peso en Gramos de 10 Probetas de Composite de 10% de Fibra Natural de Caña Guadua.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

### 5.5.3.9.2. Probetas de Composite de 15% de Fibra Natural de Caña Guadua



**Figura 5. 51:** Peso en Gramos de 10 Probetas de Composite de 15% de Fibra Natural de Caña Guadua.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

### 5.5.3.9.3. Probetas de Composite de 20% de Fibra Natural de Caña Guadua



**Figura 5. 52:** Peso en Gramos de 10 Probetas de Composite de 20% de Fibra Natural de Caña Guadua.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Enero 20, 2016.

Después de haber pesado cada grupo de probetas, se procede a realizar los ensayos de tracción respectivos, los mismos que se detallan y explican más adelante en el apartado de resultados.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. ENSAYOS DE TRACCIÓN

Los ensayos de tracción se efectuaron en el Laboratorio de Nuevos Materiales de la Escuela Politécnica Nacional, tal como se aprecia en la figura 6.1:



**Figura 6. 1:** Ensayo de Tracción Realizado en una Probeta de Material Compuesto Siguiendo los Parámetros de la Norma ASTM D638-14.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Escuela Politécnica Nacional / Laboratorio de Nuevos Materiales, Marzo 07, 2016.

Para las respectivas pruebas de tracción se utilizó la norma de ensayo ASTM D638-14; las especificaciones geométricas de las probetas se realizaron bajo la norma ISO 527-2, la cual sirve para determinar las propiedades de tensión en polímeros y composites.

Los composites a caracterizar para la aplicación en la carrocería del vehículo monoplaza FSAE son considerados materiales poliméricos compuestos (Mariano, Tecnología de los Plásticos, 2011).

En la tabla 6.1, se aprecia las principales condiciones de ensayo de la norma ASTM D638-14.



**Tabla 6. 1:** Condiciones de Ensayo de la Norma ASTM D638-14

<b>Principales Condiciones de Ensayo de la Norma ASTM D638-14</b>	
<b>Numero de Muestras</b>	Al menos 5 especímenes
<b>Velocidad de Ensayo</b>	5mm/min
<b>Tipo de Muestra</b>	<b>I</b>
<b>Ancho de la Sección Angosta</b>	13+/-0,5mm
<b>Espesor</b>	7 mm o inferior

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Escuela Politécnica Nacional / Laboratorio de Nuevos Materiales, Marzo 07, 2016.

Para la elaboración de los ensayos de tracción se utilizan los siguientes equipos:

- Máquina universal de ensayos Tinius Olsen modelo H25K-S; capacidad máxima 25 kN; precisión utilizada: 0,1 N, 0,01 MPa.
- Calibrador de vernier Mitutoyo modelo Absolute Digimatic (12” /300 mm) con una apreciación de 0,01 mm.
- Micrómetro Mitutoyo modelo M110-25 con una apreciación de 0,01 mm.

### **6.1.1. Muestras**

Las muestras se dividieron en 5 grupos de diez probetas, cada grupo está dividido de la siguiente manera:

- 3 Capas de fibra de vidrio
- 4 Capas de fibra de vidrio
- Fibra natural 10%
- Fibra natural 15%
- Fibra natural 20%

## 6.1.2. Resultados de los Ensayos de Tracción

En esta sección se interpretan los resultados obtenidos en la caracterización para determinar el composite más idóneo y con las mejores propiedades mediante los ensayos realizados para la aplicación en la carrocería del Monoplaza Formula SAE.

### 6.1.2.1. Material Compuesto por 3 Capas de Fibra de Vidrio

En la tabla 6.2, se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de tracción para el composite “3 Capas de fibra de vidrio”, en donde la media del módulo tangente para el ensayo es de 15057 [MPa] y su carga última es de 2484,3 [N].

$$1 \text{ [Kgf]}=9,8067 \text{ [N]} \text{ (ENDMEMO, 2016).}$$

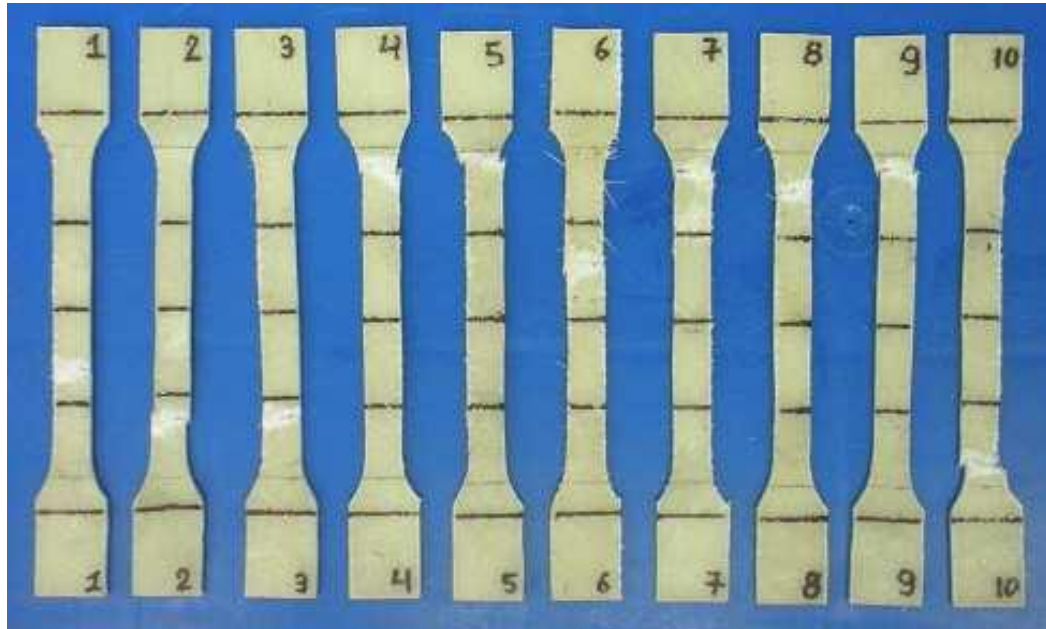
Esta carga última de 2484,3 [N] equivale a 253,33 [Kgf], es decir este composite puede soportar este peso en tracción antes de romperse.

**Tabla 6. 2:** Resultados Obtenidos en los Ensayos de Tracción de las Probetas del Material Compuesto con el Nombre "3 Capas de Fibra de Vidrio".

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D638-10 (Material compuesto con refuerzo 3 capas de fibra de vidrio)							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo tangente (MPa)	Deformación a la rotura (%)
1	11,05	2,08	22,98	2660,2	115,50	14030	0,851
2	11,05	2,08	22,98	2232,5	96,90	15890	0,689
3	11,23	2,53	28,41	2486,6	87,56	14710	0,611
4	11,20	2,43	27,22	2809,0	103,20	15270	0,699
5	10,91	2,62	28,58	2221,0	77,85	17410	0,477
6	11,48	2,41	27,67	2503,4	90,71	15000	0,710
7	11,30	2,24	25,31	2541,5	100,20	13980	0,736
8	10,86	2,39	25,96	2537,0	97,74	15900	0,676
9	10,58	2,46	26,03	2356,7	90,59	12870	0,733
10	10,95	2,40	26,28	2494,7	95,13	15510	0,641
		Promedio	$\bar{x}$	2484,3	95,54	15057	0,682
		Desviación estándar	$S_{n-1}$	180,1	10,06	1261	0,097
		Coefficiente variación	CV	7,2	10,53	8	14,158

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Escuela Politécnica Nacional / Laboratorio de Nuevos Materiales, Marzo 07, 2016.

En la figura 6.2, se aprecia las condiciones en las que quedaron las probetas del composite “3 Capas de fibra de vidrio” después de realizado los ensayos de tracción.



**Figura 6. 2:** Probetas de Composite “3 Capas de fibra de vidrio” Después de Realizados los Ensayos de Tracción.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Escuela Politécnica Nacional / Laboratorio de Nuevos Materiales, Marzo 07, 2016.

#### **6.1.2.2. Material Compuesto por 4 Capas de Fibra de Vidrio**

En la tabla 6.3, se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de tracción para el composite “4 Capas de fibra de vidrio”, en donde la media del módulo tangente para el ensayo es de 18237 [MPa] y su carga última es de 2914,3 [N].

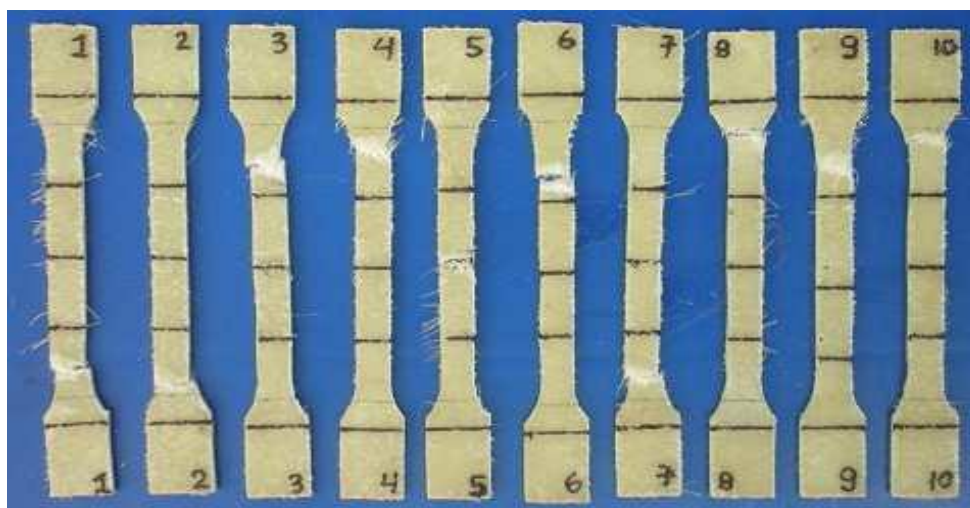
Esta carga última de 2914,3 [N] equivale a 297,1759 [Kgf], es decir este composite puede soportar este peso en tracción antes de romperse.

**Tabla 6. 3:** Resultados Obtenidos en los Ensayos de Tracción de las Probetas del Material Compuesto con el Nombre "4 Capas de Fibra de Vidrio".

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D638-10 (Material compuesto con refuerzo 4 capas de fibra de vidrio)								
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo tangente (MPa)	Deformación a la rotura (%)	
1	11,42	2,84	32,43	3280,6	101,00	18600	0,599	
2	11,30	2,96	33,45	2552,3	76,18	9938	0,541	
3	11,12	2,89	32,14	3402,5	105,80	36010	0,644	
4	11,51	2,94	33,84	2825,0	83,62	21110	0,496	
5	11,28	2,87	32,37	3155,2	97,50	16350	0,649	
6	11,10	2,87	31,86	2933,3	92,12	21760	0,418	
7	11,24	3,10	34,84	2824,2	80,92	13450	0,626	
8	11,12	3,02	33,58	2815,0	83,86	15360	0,563	
9	11,52	2,90	33,41	3196,7	95,52	13890	0,742	
10	11,42	3,07	35,06	2158,3	61,54	15900	0,406	
Promedio				$\bar{x}$	2914,3	87,81	18237	0,568
Desviación estándar				$S_{n-1}$	371,1	13,23	7185	0,106
Coeficiente variación				CV	12,7	15,07	39	18,694

**Nota.** Fuente: Los Autores, "Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE", Escuela Politécnica Nacional / Laboratorio de Nuevos Materiales, Marzo 07, 2016.

En la figura 6.3, se aprecia las condiciones en las que quedaron las probetas del composite "4 Capas de fibra de vidrio" después de haber realizado los ensayos de tracción.



**Figura 6. 3:** Probetas de Composite "4 Capas de fibra de vidrio" Después de Realizados los Ensayos de Tracción.

**Fuente:** Los Autores, "Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE", Escuela Politécnica Nacional / Laboratorio de Nuevos Materiales, Marzo 07, 2016.

### 6.1.2.3. Material Compuesto de 10% de Fibra de Natural

En la tabla 6.4, se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de tracción para el composite con refuerzo de fibra de bambú del 10%, en donde la media del módulo tangente para el ensayo es de 7571 [MPa] y su carga última es de 658,3 [N].

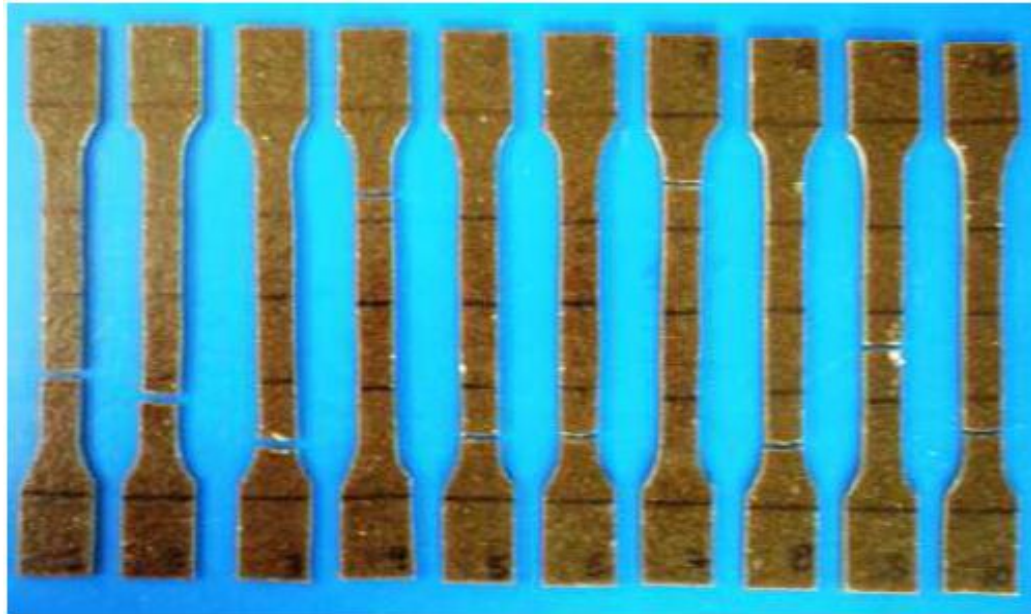
Esta carga última de 658,3 [N] equivale a 67,13 [Kgf], es decir este composite puede soportar este peso en tracción antes de romperse.

**Tabla 6. 4:** Resultados Obtenidos en los Ensayos de Tracción de las Probetas del Material Compuesto con Refuerzo de “Fibra Natural 10%”.

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D638-10 (Material compuesto con refuerzo de fibra natural 10%)							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo tangente (MPa)	Deformación a la rotura (%)
1	11,04	2,96	32,68	838,8	25,66	7612	0,388
2	10,83	2,68	29,02	649,9	22,35	7486	0,315
3	10,84	2,57	27,86	460,7	16,54	7335	0,230
4	10,68	2,84	30,33	680,7	22,40	9250	0,298
5	10,93	3,02	33,01	722,0	21,90	6914	0,323
6	11,18	3,06	34,21	709,8	20,74	4264	0,372
7	10,96	3,10	33,98	668,7	19,69	10530	0,239
8	11,08	3,16	35,01	712,4	20,34	8046	0,270
9	11,01	2,94	32,37	543,0	16,75	7679	0,220
10	11,02	2,80	30,86	597,3	19,35	6590	0,323
		Promedio	$\bar{x}$	658,3	20,57	7571	0,298
		Desviación estándar	$S_{n-1}$	104,9	2,74	1640	0,058
		Coefficiente variación	CV	15,9	13,30	22	19,415

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Escuela Politécnica Nacional / Laboratorio de Nuevos Materiales, Marzo 07, 2016.

En la figura 6.4, se aprecia las condiciones en las que quedaron las probetas del composite con refuerzo “Fibra natural 10%” después de haber realizado los ensayos de tracción.



**Figura 6. 4:** Probetas de Composite “Fibra natural 10%” Después de Realizados los Ensayos de Tracción.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Escuela Politécnica Nacional / Laboratorio de Nuevos Materiales, Marzo 07, 2016.

#### **6.1.2.4. Material Compuesto de 15% de Fibra de Natural**

En la tabla 6.5, se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de tracción para el composite con refuerzo de fibra de bambú del 15%, en donde la media del módulo tangente para el ensayo es de 8583 [MPa] y su carga última es de 658,3 [N].

Esta carga última de 684,8 [N] equivale a 69,83 [Kgf], es decir este composite puede soportar este peso en tracción antes de romperse.

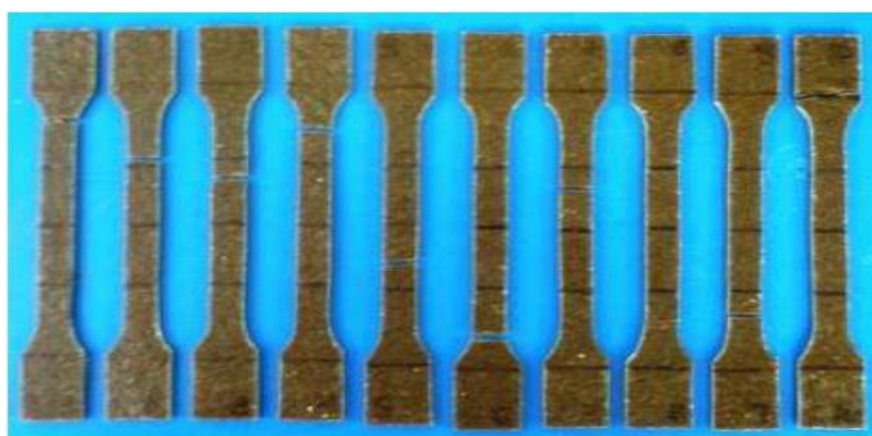


**Tabla 6. 5:** Resultados Obtenidos en los Ensayos de Tracción de las Probetas del Material Compuesto con Refuerzo de “Fibra Natural 15%”.

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D638-10 (Material compuesto con refuerzo de fibra natural 15%)							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo tangente (MPa)	Deformación a la rotura (%)
1	10,76	3,48	37,44	769,7	20,60	12410	0,255
2	10,82	3,33	36,03	831,4	23,06	8397	0,314
3	11,10	3,60	39,96	791,6	19,82	7750	0,296
4	10,93	3,10	33,88	439,9	12,96	8346	0,165
5	11,29	3,34	37,71	789,2	20,96	7078	0,304
6	11,04	3,53	38,97	783,7	20,10	6790	0,315
7	10,80	3,43	37,04	709,6	19,16	6750	0,291
8	11,10	3,62	40,18	685,8	17,10	7045	0,262
9	10,94	3,42	37,41	478,0	12,79	10700	0,132
10	11,11	3,56	39,55	569,2	14,40	10560	0,173
		Promedio	$\bar{x}$	684,8	18,10	8583	0,251
		Desviación estándar	$S_{n-1}$	140,4	3,60	1973	0,069
		Coficiente variación	CV	20,5	19,88	23	27,338

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Escuela Politécnica Nacional / Laboratorio de Nuevos Materiales, Marzo 07, 2016.

En la figura 6.5, se aprecia las condiciones en las que quedaron las probetas del composite con refuerzo “Fibra natural 15%” después de haber realizado los ensayos de tracción.



**Figura 6. 5:** Probetas de Composite “Fibra natural 15%” Después de Realizados los Ensayos de Tracción.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Escuela Politécnica Nacional / Laboratorio de Nuevos Materiales, Marzo 07, 2016.

### 6.1.2.5. Material Compuesto de 20% de Fibra de Natural

En la tabla 6.6, se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de tracción para el composite con refuerzo de fibra de bambú del 20%, en donde la media del módulo tangente para el ensayo es de 8878 [MPa] y su carga última es de 658,3 [N].

Esta carga última de 758,8 [N] es equivalente a 77,38 [Kgf], es decir este composite puede soportar este peso en tracción antes de romperse.

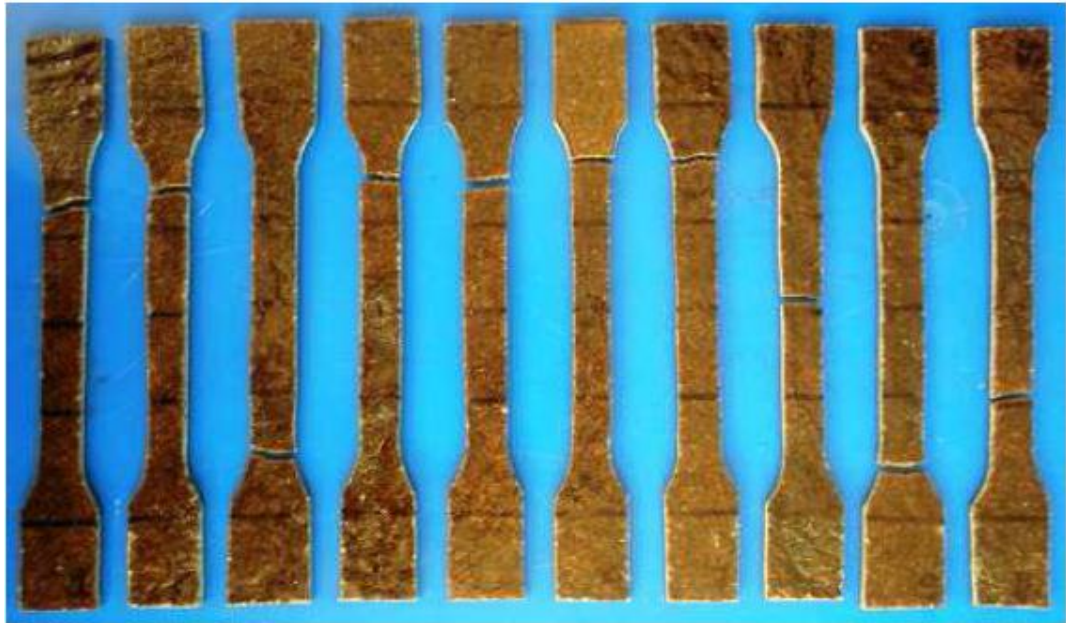
**Tabla 6. 6:** Resultados Obtenidos en los Ensayos de Tracción de las Probetas del Material Compuesto con Refuerzo de “Fibra Natural 20%”.

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D638-10 (Material compuesto con refuerzo de fibra natural 20%)							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo tangente (MPa)	Deformación a la rotura (%)
1	11,76	3,44	40,45	957,5	23,64	8394	0,309
2	11,10	3,68	40,85	533,3	13,07	6978	0,192
3	12,65	3,12	39,47	849,1	21,48	14890	0,223
4	11,57	3,58	41,42	731,4	17,66	7668	0,231
5	12,21	3,30	40,29	897,1	22,23	10550	0,286
6	10,46	3,60	37,66	616,6	16,40	9334	0,186
7	11,94	3,48	41,55	849,2	20,44	6971	0,313
8	11,76	3,59	42,22	867,2	20,55	7509	0,317
9	12,37	3,34	41,32	693,1	16,75	8658	0,213
10	10,86	3,65	39,64	593,3	14,97	7832	0,199
		Promedio	$\bar{x}$	758,8	18,72	8878	0,247
		Desviación estándar	$S_{n-1}$	145,4	3,45	2383	0,053
		Coefficiente variación	CV	19,2	18,40	27	21,626

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Escuela Politécnica Nacional / Laboratorio de Nuevos Materiales, Marzo 07, 2016.

En la figura 6.6, se aprecia las condiciones en las que quedaron las probetas del composite con refuerzo “Fibra natural 20%” después de haber realizado los ensayos de tracción.





**Figura 6. 6:** Probetas de Composite “Fibra natural 20%” Después de Realizados los Ensayos de Tracción.

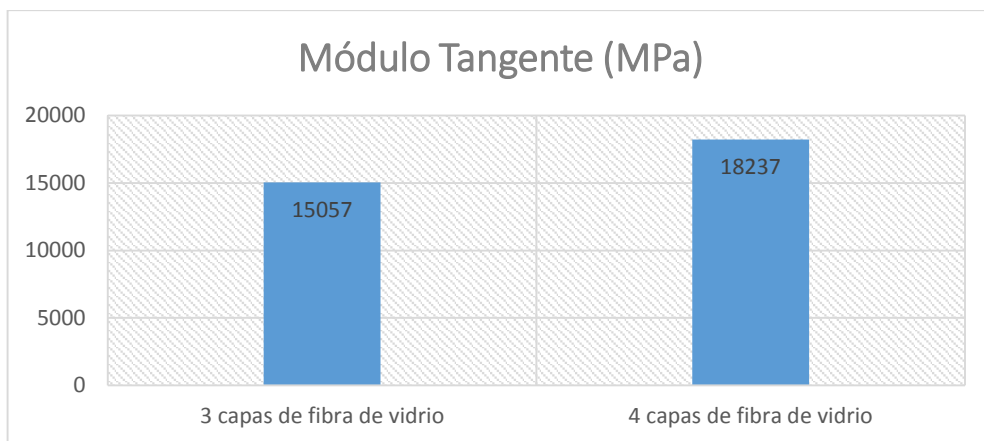
**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Escuela Politécnica Nacional / Laboratorio de Nuevos Materiales, Marzo 07, 2016.

### **6.1.3. Comparación del Módulo de Elasticidad**

A continuación, se analizan los resultados de los módulos de elasticidad para los diferentes tipos de composite mediante gráficos comparativos.

#### **6.1.3.1. Módulo de Elasticidad en el Composite Reforzado con Fibra de Vidrio**

En la figura 6.7, se presenta un cuadro comparativo del módulo de elasticidad para cada uno de los diferentes composites reforzados con fibra de vidrio; teniendo un mayor módulo de elasticidad el reforzado con 4 capas de fibra de vidrio.



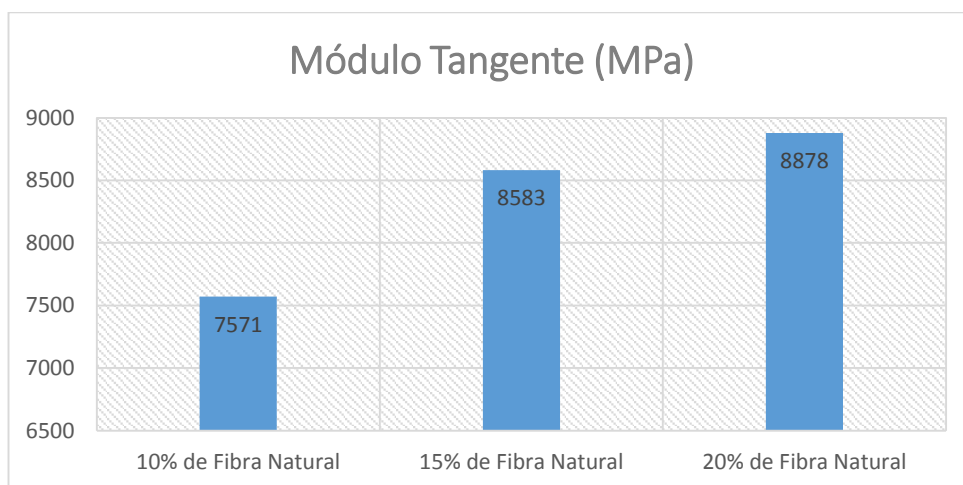
**Figura 6. 7:** Comparación del Módulo Tangente en el Composite Reforzado con Fibra de Vidrio.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016.

Al comparar los módulos de elasticidad, se determina que el composite reforzado con 4 capas de fibra de vidrio es más rígido que el composite de 3 capas.

### 6.1.3.2. Módulo de Elasticidad en el Composite Reforzado con Fibra de Bambú

En la figura 6.8, se presenta un cuadro comparativo del módulo de elasticidad para cada uno de los diferentes composites reforzados con fibra de bambú.



**Figura 6. 8:** Comparación del Módulo Tangente en el Composite Reforzado con Fibra de Bambú.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016.

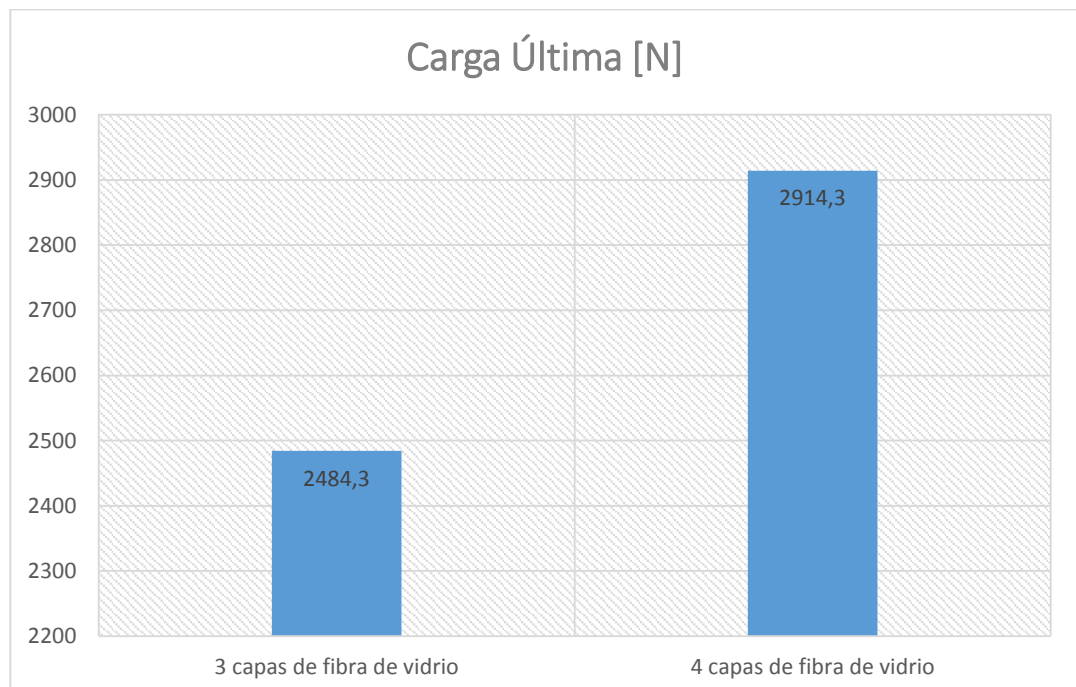
Al observar los resultados, se determina que el composite reforzado con 20% de fibra natural es el más rígido, porque tiene el módulo de elasticidad con mayor valor, seguido del composite reforzado con el 15%.

#### 6.1.4. Comparación de la Carga Última

A continuación, se analizan los resultados de las cargas últimas para los diferentes tipos de composite mediante gráficos comparativos.

##### 6.1.4.1. Carga Última del Composite Reforzado con Fibra de Vidrio

En la figura 6.9, se observa las cargas últimas de los composites reforzados con fibra de vidrio.



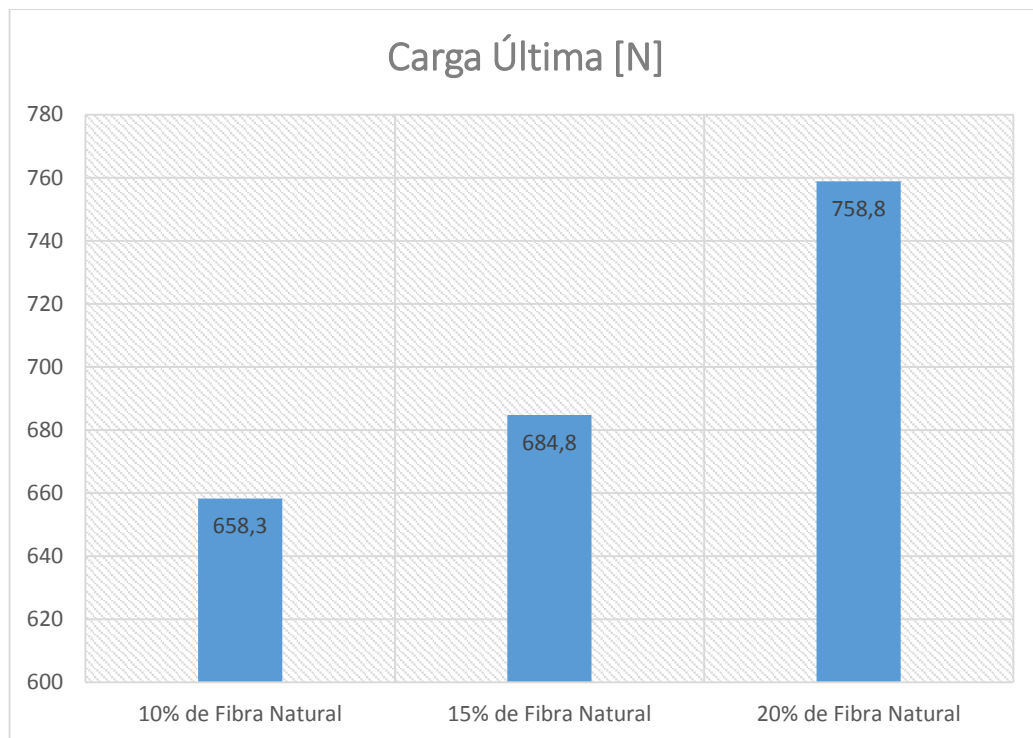
**Figura 6. 9:** Carga Última del Composite Reforzado con Fibra de Vidrio.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016.

Los resultados indican que la carga última del composite reforzado con 4 capas de fibra de vidrio, es mayor que la del composite de 3 capas; por lo tanto, este composite resiste una mayor carga de tracción antes de llegar a fracturarse.

#### 6.1.4.2. Carga Última del Composite Reforzado con Fibra de Bambú

En la figura 6.10, se comparan las cargas últimas para los diferentes tipos de composites reforzados con fibras de bambú.



**Figura 6. 10:** Comparación de la Carga Última en el Composite Reforzado con Fibra de Bambú.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016.

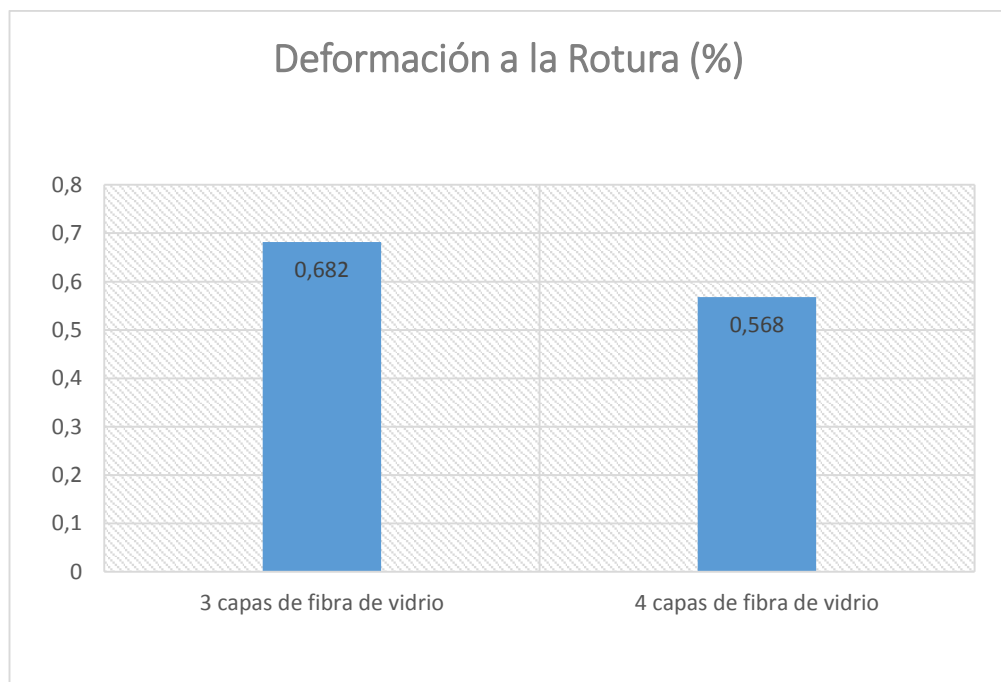
Al comparar las cargas últimas de los diferentes composites reforzados con fibra de bambú, se define que, el composite con 20% de fibra de bambú resiste una mayor carga de tracción, seguido por el reforzado con el 15%.

### 6.1.5. Comparación de la Deformación a la Rotura

La deformación a la rotura, se encuentra estrechamente relacionada con la fragilidad del composite; ya que se entiende por fragilidad, la capacidad que tiene un material de fracturarse con escasa deformación (Gonzalez Canteli, 2013). Y en este punto se analizará la deformación a la rotura para los diferentes tipos de composites.

#### 6.1.5.1. Deformación a la Rotura del Composite Reforzado con Fibra de Vidrio

En la figura 6.11, se observa la deformación a la rotura en porcentajes para los composites reforzados con fibras de vidrio, tanto de 3 como de 4 capas.



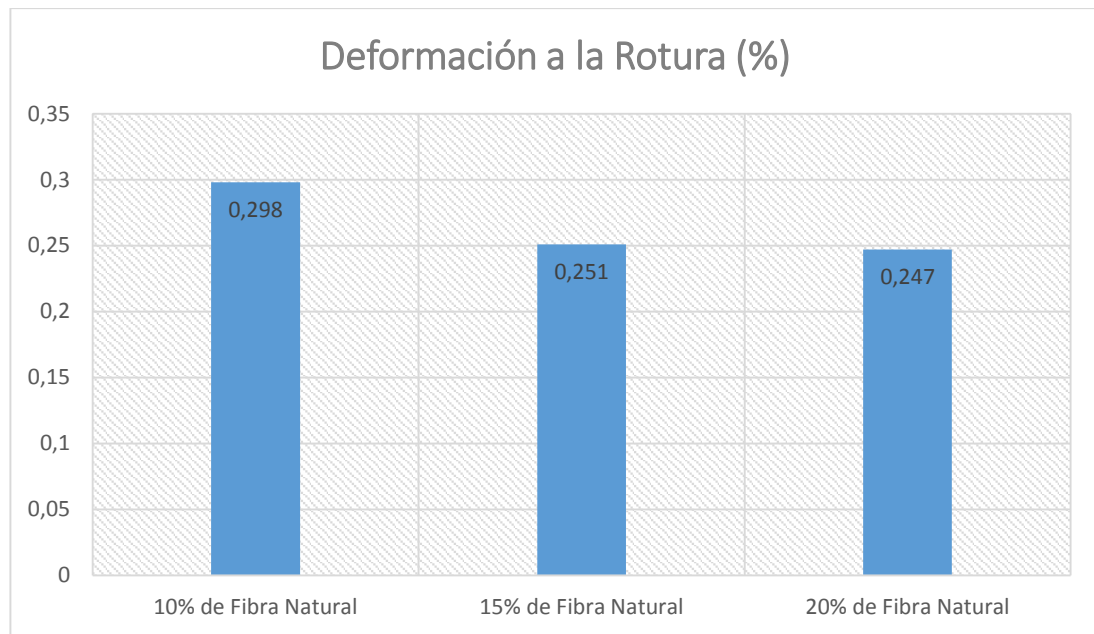
**Figura 6. 11:** Deformación a la Rotura del Composite Reforzado con Fibra de Vidrio.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016.

Al comparar los resultados, se observa que el composite reforzado con 4 capas de fibra de vidrio es el más frágil por tener una menor deformación a la rotura.

### 6.1.5.2. Deformación a la Rotura del Composite Reforzado con Fibra de Bambú

En la figura 6.12, se observa la deformación a la rotura en porcentajes para los composites reforzados con fibras de bambú.



**Figura 6. 12:** Comparación de la Deformación a la Rotura en el Composite Reforzado Con Fibra de Bambú.

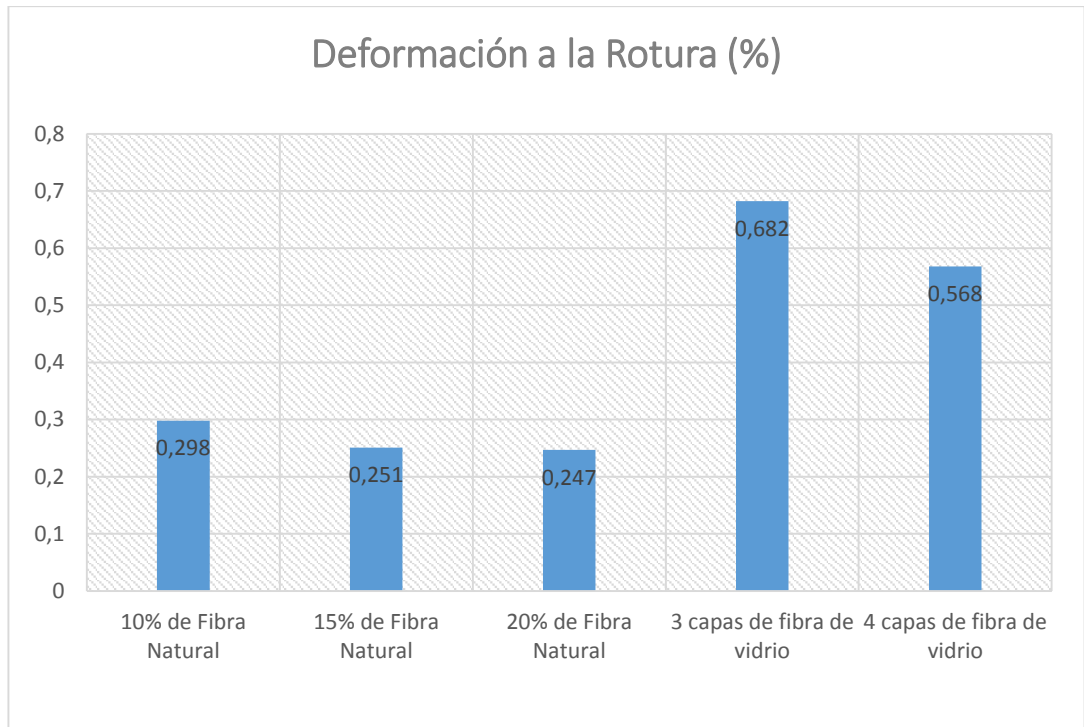
**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016.

El material más frágil en la sección de composites reforzados con fibra de bambú es el reforzado con el 20% de fibra natural, ya que su deformación a la rotura es menor que el resto de configuraciones.

### 6.1.6. Comparación de los Composites

#### 6.1.6.1. Deformación a la Rotura

En la figura 6.13, se observa la deformación a la rotura para los composites reforzados con fibras de vidrio y con fibras naturales.



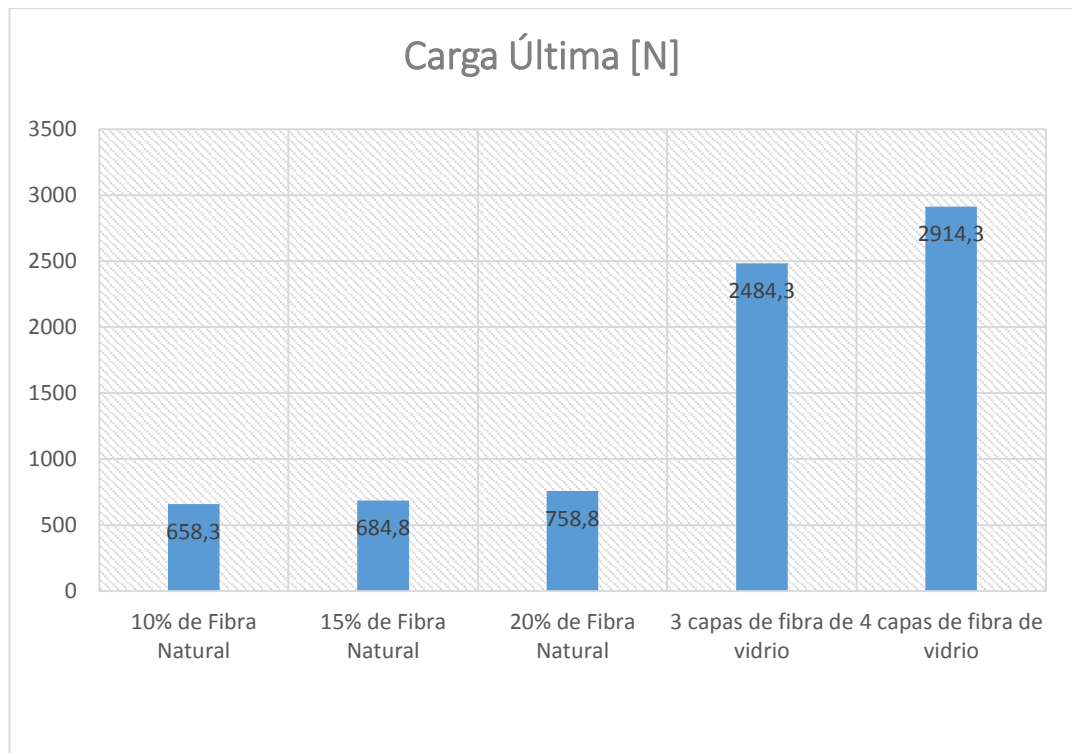
**Figura 6. 13:** Comparación de la Deformación a la Rotura Entre los Composites Reforzados con Fibra de Bambú y Reforzados con Fibra de Vidrio.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016.

En los resultados se aprecia que, los composites reforzados con fibra de vidrio son mucho más tenaces que los composites reforzados con fibras de bambú, ya que soportan una mayor deformación al estar sometidos a una mayor carga. Mientras, los composites de fibra de bambú son los más frágiles, ya que su deformación antes de romperse es mucho menor que el composite de fibra de vidrio, teniendo en cuenta que se rompen a menor carga.

#### 6.1.6.2. Carga Última

En la figura 6.14, se comparan las cargas últimas entre los dos tipos de composites, tanto los reforzados con fibra de bambú, como los reforzados con fibra de vidrio.



**Figura 6. 14:** Comparación de la Carga Última Entre los Composites Reforzados con Fibra de Bambú y Reforzados con Fibras de Vidrio.

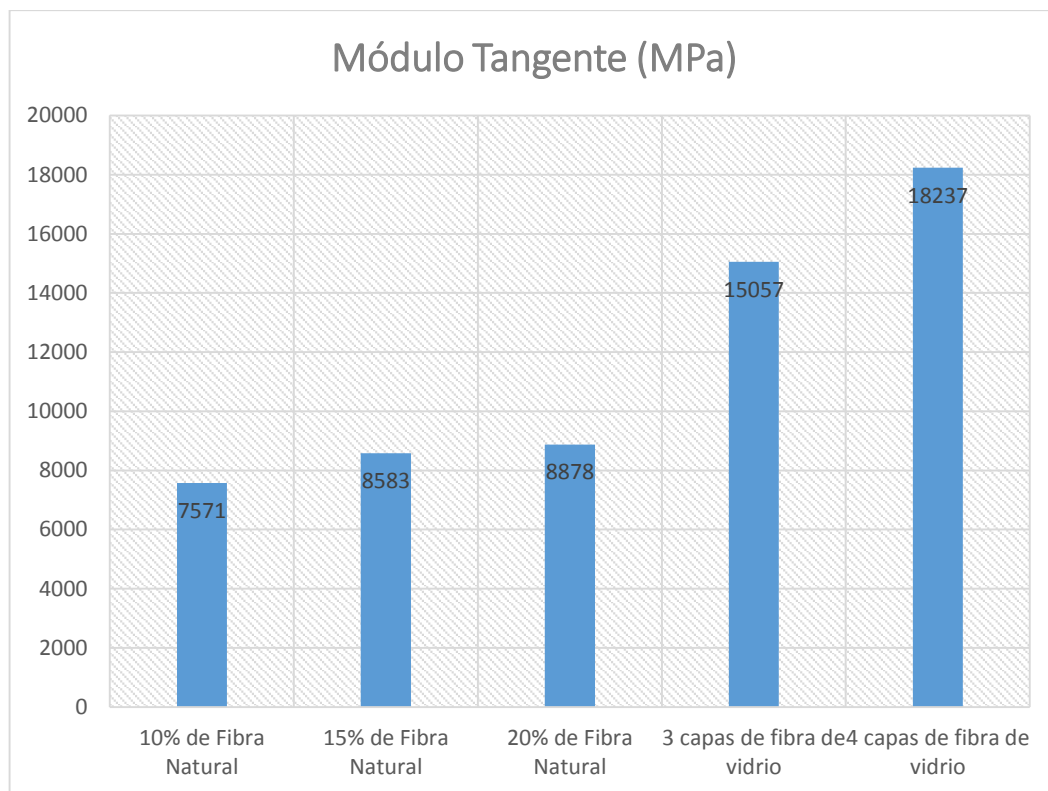
**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016.

En esta comparación de resultados, los composites que soportan más carga son los reforzados con fibras de vidrio, sobresaliendo el de 4 capas. Mientras que, en las diferentes configuraciones de composites reforzados con fibra de bambú no existe mucha diferencia entre sus cargas últimas; teniendo que, el que soporta una mayor carga es el reforzado con 20% de fibra de bambú.

### 6.1.6.3. Módulo de Elasticidad

En la figura 6.15, se aprecia el módulo tangente de los diferentes composites; tanto para los reforzados con fibra de bambú, como para los reforzados con fibra de vidrio.





**Figura 6. 15:** Comparación del Módulo de Elasticidad entre los Composites Reforzados con Fibra de Bambú y Reforzados con Fibra de Vidrio.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016.

Al comparar los resultados se tiene que, los composites reforzados con fibra de vidrio son más rígidos que los reforzados con fibras de bambú. La diferencia entre las cargas de los composites reforzados con fibra de vidrio puede superar hasta en un 51% las cargas de los composites reforzados con fibras de bambú.

### 6.1.7. Pesos de las Probetas

Según la metodología aplicada en esta investigación, el peso de las probetas debería ir antes de la realización y análisis de ensayos; por razones de elección de parámetros para la selección del material idóneo para la aplicación en la carrocería mediante una matriz de decisión, donde el peso es uno de los puntos más importantes.

Se procedió a pesar los cinco grupos de probetas a las cuales se les realizaron los ensayos de tracción, referenciando el peso de cada una de ellas. Al final se sacó la media de cada grupo de probetas para comparar sus respectivos pesos, ver tabla 6.7; ya que la reducción de peso de la carrocería es el principal factor a tomar en cuenta al momento de seleccionar el material idóneo para su fabricación.

**Tabla 6. 7:** Pesos de las Diferentes Probetas Materiales.

Número de Probeta	Fibra de Vidrio		Fibra Natural (Guadua)		
	3 Capas	4 Capas	10%	15%	20%
1	7,95 gr	9,76 gr	8,92 gr	9,85 gr	10,56 gr
2	8,01 gr	10,14 gr	8,61 gr	9,36 gr	10,88 gr
3	8,57 gr	9,87 gr	7,57 gr	9,90 gr	10,34 gr
4	8,12 gr	9,64 gr	8,18 gr	9,85 gr	10,07 gr
5	8,75 gr	9,76 gr	8,57 gr	9,12 gr	10,52 gr
6	7,84 gr	9,36 gr	8,65 gr	9,66 gr	10,80 gr
7	8,18 gr	9,92 gr	7,23 gr	9,67 gr	10,30 gr
8	8,32 gr	9,72 gr	8,26 gr	8,38 gr	10,08 gr
9	8,15 gr	9,95 gr	9,00 gr	9,10 gr	10,50 gr
10	7,64 gr	9,88 gr	9,05 gr	9,44 gr	10,33 gr
$\bar{x}$	<b>8,15 gr</b>	<b>9,80 gr</b>	<b>8,40 gr</b>	<b>9,43 gr</b>	<b>10,44 gr</b>

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016.

Comparando los resultados obtenidos al sacar la media de cada uno de los cinco grupos; se tiene que, el composite reforzado con 3 capas de fibra de vidrio es el más ligero de todos. Sin embargo, por resultados obtenidos anteriormente este composite no es el más resistente, pero sí el menos frágil de todos, ya que tiene un mayor porcentaje de deformación antes de fracturarse cuando se encuentra sometido a una carga.

### 6.1.8. Selección del Material

Para la selección y recomendación del composite idóneo para la elaboración de la carrocería del vehículo monoplace tipo FSAE, se utilizará una matriz de decisión, ver tabla 6.10, la misma que ayudará a identificar la mejor solución considerando varios factores de manera sistemática. La finalidad de realizar esta matriz es para poder decidir que composite cumple con los mejores requerimientos en base a nuestras necesidades; asignando factores de ponderación que van desde 0 hasta 1, donde los factores que más se acercan a 1 significan que son los más importantes según nuestra conveniencia. La suma de todas las ponderaciones nos debe dar como resultado 1.

Para calificar cada uno de los composites asignaremos valores del 1 al 10, donde los valores que más se acerquen a 10 serán los mejores calificados para nuestra aplicación.

En la tabla 6.8, se presenta los rangos de calificación:

**Tabla 6. 8:** Rangos de Calificación para la Matriz de Decisión.

<b>Mala</b>	<b>Media</b>	<b>Buena</b>	<b>Muy Buena</b>
1 a 3	4 a 6	7 a 8	9 a 10

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplace Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016.

Por último, se multiplicó la calificación asignada a cada uno de los factores críticos de selección en la matriz de decisiones por el factor de ponderación, para luego sumar todos estos productos y obtener un rango total. El composite que obtenga el valor máximo o rango mayor será el seleccionado y el que se recomendará para su aplicación en la carrocería del vehículo monoplace.

### 6.1.8.1. Matriz de Decisión Para Composite Reforzado con 3 Capas de Fibra de Vidrio

**Tabla 6. 9:** Matriz de Decisión Para Composites Reforzados con 3 Capas de Fibra de Vidrio.

<b>Composites Reforzados con 3 Capas de Fibra de Vidrio</b>			
<b>Factores Críticos</b>	<b>Factor de Ponderación</b>	<b>Calificación</b>	<b>Factor Ponderado</b>
<b>Peso</b>	0.2	9	1.8
<b>Tenacidad</b>	0.05	9	0.45
<b>Carga</b>	0.15	9	1.35
<b>Costo</b>	0.15	9	1.35
<b>Accesibilidad</b>	0.15	10	1.5
<b>Impacto Ambiental</b>	0.2	2	0.4
<b>Mecanizado</b>	0.1	9	0.9
<b>Total</b>	<b>1</b>		<b>7.75</b>

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016, citaron a (Ashby M. F., 2005).

### 6.1.8.2. Matriz de Decisión para Composite Reforzado con 4 Capas de Fibra de Vidrio

**Tabla 6. 10:** Matriz de Decisión Para Composites Reforzados con 4 Capas de Fibra de Vidrio.

<b>Composites Reforzados con 4 Capas de Fibra de Vidrio</b>			
<b>Factores Críticos</b>	<b>Factor de Ponderación</b>	<b>Calificación</b>	<b>Factor Ponderado</b>
<b>Peso</b>	0.2	8	1.6
<b>Tenacidad</b>	0.05	7	0.35
<b>Carga</b>	0.15	9	1.35
<b>Costo</b>	0.15	9	1.35
<b>Accesibilidad</b>	0.15	10	1.5
<b>Impacto Ambiental</b>	0.2	2	0.4
<b>Mecanizado</b>	0.1	9	0.9
<b>Total</b>	<b>1</b>		<b>7.45</b>

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016, citaron a (Ashby M. F., 2005).

Comparando los resultados obtenidos en las matrices de decisión para los composites reforzados con fibra de vidrio, el mejor calificado es el reforzado con 3 capas, ya que este composite es el que tiene un menor peso y una mayor tenacidad.

### 6.1.8.3. Matriz de Decisión Para Composite Reforzado con 10% de Fibra de Bambú

**Tabla 6. 11:** Matriz de Decisión Para Composite Reforzado con 10% de Fibra de Bambú.

<b>Composite Reforzado con 10% de Fibra de Bambú</b>			
<b>Factores Críticos</b>	<b>Factor de Ponderación</b>	<b>Calificación</b>	<b>Factor Ponderado</b>
<b>Peso</b>	0,2	9	1.8
<b>Tenacidad</b>	0,05	7	0.35
<b>Carga</b>	0,15	6	0.9
<b>Costo</b>	0,15	6	0.9
<b>Accesibilidad</b>	0,15	4	0.6
<b>Impacto Ambiental</b>	0,2	9	1.8
<b>Mecanizado</b>	0,1	7	0.7
<b>Total</b>	<b>1</b>		<b>7.05</b>

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016, citaron a (Ashby M. F., 2005).

### 6.1.8.4. Matriz de Decisión para Composite Reforzado con 15% de Fibra de Bambú

**Tabla 6. 12:** Matriz de Decisión Para Composite Reforzado con 15% de Fibra de Bambú.

<b>Composite Reforzado con 15% de Fibra de Bambú</b>			
<b>Factores Críticos</b>	<b>Factor de Ponderación</b>	<b>Calificación</b>	<b>Factor Ponderado</b>
<b>Peso</b>	0.2	9	1.8
<b>Tenacidad</b>	0.05	6	0.3
<b>Carga</b>	0.15	7	1.05
<b>Costo</b>	0.15	6	0.9
<b>Accesibilidad</b>	0.15	4	0.6
<b>Impacto Ambiental</b>	0.2	9	1.8
<b>Mecanizado</b>	0.1	7	0.7
<b>Total</b>	<b>1</b>		<b>7.15</b>

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016, citaron a (Ashby M. F., 2005).

### 6.1.8.5. Matriz de Decisión para Composite Reforzado con 20% de Fibra de Bambú

Tabla 6. 13: Matriz de Decisión Para Composite Reforzado con 20% de Fibra de Bambú.

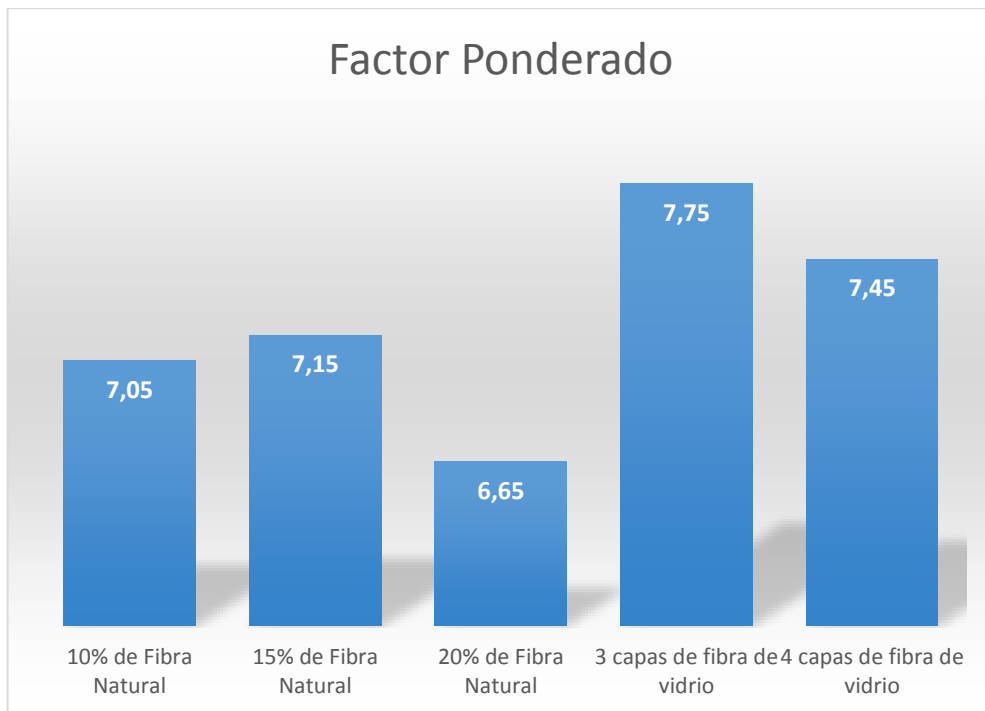
Composite Reforzado con 20% de Fibra de Bambú			
Factores Críticos	Factor de Ponderación	Calificación	Factor Ponderado
Peso	0.2	6	1.2
Tenacidad	0.05	5	0.25
Carga	0.15	8	12
Costo	0.15	6	0.9
Accesibilidad	0.15	4	0.6
Impacto Ambiental	0.2	9	1.8
Mecanizado	0.1	7	0.7
<b>Total</b>	<b>1</b>		<b>6.65</b>

Nota. Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016, citaron a (Ashby M. F., 2005).

Comparando los resultados obtenidos en las matrices de decisión para los composites reforzados con fibra de bambú, el mejor calificado es el reforzado con 15% de fibra, ya que en estos composites la variación del módulo de elasticidad es mínimo, por tal razón se optó por elegir un rango intermedio de este valor.

### 6.1.8.6. Selección del Composite

En este punto, se procede a elegir los composites con las mejores características; esto es, los que obtuvieron una mayor puntuación de acuerdo a las necesidades planteadas en la matriz de decisión, tanto para los composites reforzados con fibra de vidrio, como para los reforzados con fibra de bambú; tal como se indica en la figura 6.16:



**Figura 6. 16:** Comparación del Factor Ponderado Entre los Composites Reforzados con Fibra de Bambú y Reforzados con Fibras de Vidrio.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016.

Comparando los resultados obtenidos, se tiene que el composites reforzado con 3 capas de fibra de vidrio es el mejor calificado debido a sus propiedades mecánicas, resistencia, accesibilidad, costo y lo más importante peso.

Al tener como objetivo primordial la reducción del peso de la carrocería del vehículo monoplaza tipo FSAE, no se puede dejar de lado el composite reforzado con 15% de fibra de bambú, ya que al igual que el reforzado con 3 capas de fibra de vidrio, también es liviano, además tiene como principal característica el ser un composite de base natural amigable con el medio ambiente.

#### **6.1.9. Reducción de Peso en Toda la Carrocería**

En la figura 6.17, se observa las partes en las que se encuentra dividida la carrocería:



**Figura 6. 17:** Partes de la Carrocería del FSAE de la UPS Cuenca.

**Fuente:** (Pauta Solano & Sanchez Ramirez, 2014).

Se revisó los pesos actuales de las distintas secciones de la carrocería y se comparó con los pesos que se podrían generar al utilizar los composites con mejores ponderaciones obtenidas en este proyecto, como es el caso del composite reforzado con 3 capas de fibra de vidrio y el composite reforzado con el 15% de fibra de bambú.

Para una correcta validación de los resultados obtenidos, se procedió a replicar y elaborar una pieza plana perteneciente al vehículo monoplaza tipo FSAE, específicamente la tapa lateral; para la fabricación se utilizó el composite reforzado con 15% de fibra de bambú y el composite reforzado con 3 capas de fibra de vidrio. De esta manera se pudo determinar el porcentaje de reducción de peso, tomando como referencia el peso actual de la carrocería. Además, fue de gran utilidad ya que de esta manera se pudo anticipar los pesos de las diferentes partes de la carrocería.

En la tabla 6.14, se describe el peso de la tapa lateral que dispone actualmente la carrocería del vehículo monoplaza FSAE, que es de 0.702 Kg.; la misma que se toma como referencia y punto de partida para la comparación y determinación porcentual de reducción de peso entre los composites reforzados con 3 capas de fibra de vidrio y el composite reforzado con el 15% de fibra de bambú.



**Tabla 6. 14:** Tabla de Reducción Porcentual en las Tapas Laterales de la Carrocería del FSAE UPS 2014.

<b>Tapa Lateral</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Disminución (%)</b>
<b>Original (Dispone Actualmente la Carrocería)</b>	0.702	0
<b>Composite de 3 Capas de Fibra de Vidrio</b>	0.531	24.36
<b>Composite con 15% de Fibra de Bambú</b>	0.546	22.22

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016.

Analizando y comparando los resultados se tiene que, el composite reforzado con 3 capas de fibra de vidrio disminuyó un 24.36% de peso con respecto a la original; y el composite reforzado con el 15% de fibra de bambú disminuyó un 22.22%.

En la tabla 6.15, se procedió a encontrar los diferentes valores que relacionan la disminución de peso de la tapa lateral para con cada una de las piezas de la carrocería.

En este caso, las partes que serán construidas con el composite reforzado con 3 capas de fibra de vidrio pesaran el 75,64% del peso original, y los reforzados con fibra de bambú pesaran 77,78% del peso original.

**Tabla 6. 15:** Tabla de Reducción de Peso Total de la Carrocería del Monoplaza FSAE.

<b>Cantidad</b>	<b>Partes</b>	<b>Peso Original [Kg]</b>	<b>Peso 3 Capas Fibra de Vidrio [Kg] [Peso Original x 75,64%]</b>	<b>Peso 15% Fibra de Bambú [Kg] [Peso Original x 77,78%]</b>
1	Nariz Frontal	6,5	4,9166	5,0557
2	Pontones Laterales	5,00	3,782	3,889
2	Tapas Laterales	0,8	0,60512	0,62224
3	Tapas Posteriores	0,9	0,68076	0,70002
1	Fondo Plano	8,5	6,4294	6,6113
<b>PESO TOTAL</b>		<b>21,7</b>	<b>16,41388</b>	<b>16,87826</b>

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016.

Al analizar y comparar los resultados obtenidos, se tiene una significativa disminución del peso de la carrocería del FSAE. Siendo para el composite reforzado con 3 capas de fibra de vidrio una disminución del peso de 5,29 [Kg], mientras que, para el composite reforzado con el 15% de fibra de bambú una disminución de 4,82 [Kg].

#### 6.1.10. Comparación de Peso en la Competencia FSAE 2014

En la tabla 6.16, se promedió el peso total de los monoplazas construidos para la competencia FSAE GERMANY del año 2014; esto con la finalidad de realizar una comparación de los resultados obtenidos en cuanto a la reducción de pesos que se consiguió con los composites seleccionados como idóneos en el presente proyecto técnico.

**Tabla 6. 16:** Tabla de Reducción de Peso en la Carrocería del Monoplaza FSAE.

<b>Peso Promedio de los Vehículos Participantes FSAE Germany 2014</b>	<b>Peso Total del Vehículo FSAE UPS 2014</b>	<b>Peso Total del Vehículo con Carrocería de 3 Capas de Fibra de Vidrio</b>	<b>Peso Total del Vehículo con Carrocería de 15% de Fibra de Bambú</b>
276,61 Kg	297 Kg	291,71 Kg	292,18 Kg

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016, (Formula Student Germany, 2014).

Los resultados indican claramente que aún falta mucho peso por reducir, siendo este aproximadamente 15 [Kg] para estar dentro del promedio de los FSAE que compitieron en el 2014. Este peso se lo podría reducir un poco más caracterizando un composite reforzado con 2 capas de fibra de vidrio y complementarlo con la reducción de pesos en algunos de los componentes mecánicos del monoplaza.

## 6.2. APLICACIÓN DE RESULTADOS

### 6.2.1. Pesos de Materiales Empleados Para la Fabricación de Láminas de Composite de Fibra de Vidrio

En este punto se detallan los materiales empleados y sus respectivas proporciones en gramos que se utilizaron para la fabricación de 2 láminas de composite de fibra de vidrio de 3 y 4 capas respectivamente; cada lámina dispone de un área de (60x40) cm<sup>2</sup>.

Esta medida fue requerida debido a que es un área con la cual se puede trabajar y replicar a escala real una pieza plana que forma parte del vehículo monoplaza tipo Formula SAE de la UPS, para posteriormente comparar sus pesos. Para la fabricación de la pieza se modificó el peso del catalizador (MEK) con una nueva medida, teniendo que ser el 1% del peso total ya sea de la resina poliéster o del gel coat dependiendo del polímero que vayamos a utilizar; con esto se logrará una mejor maniobrabilidad de los polímeros antes descritos y se obtendrán mejoras visibles en cuanto al acabado superficial de la pieza del vehículo.

#### 6.2.1.1. Lámina de Composite de Fibra de Vidrio de 3 Capas de (60x40) cm<sup>2</sup>

Los materiales a utilizarse con sus respectivos pesos en gramos requeridos para la elaboración de una lámina de composite de fibra de vidrio de 3 capas de 2400 cm<sup>2</sup> son los que se describen a continuación en la tabla 6.17:

**Tabla 6. 17:** Pesos de Materiales Empleados para la Fabricación de una Lámina de Composite de Fibra de Vidrio de 3 Capas de (60x40) cm<sup>2</sup>.

<b>Lámina de Composite de Fibra de Vidrio de 3 Capas de (60x40) cm<sup>2</sup></b>			
<b><i>Fibra de Vidrio MAT</i></b>	3 retazos de (60x40) cm <sup>2</sup> con un peso total de 335.7 gramos		
<b><i>Gel Coat</i></b>	200 gramos	<b><i>Catalizador (MEK)</i></b>	2 gramos
<b><i>Resina Poliéster</i></b>	533,33 gramos	<b><i>Catalizador (MEK)</i></b>	5,33 gramos

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016.

## 6.2.2. Pesos de Materiales Empleados Para la Fabricación de una Lámina de Composite de 15% de Fibra Natural de Caña Guadua

En este punto se detallan los materiales empleados y sus respectivas proporciones en gramos que se utilizaron para la fabricación de una lámina de composite de 15% de fibra natural de caña guadua; la lámina dispone de un área de (57x35) cm<sup>2</sup>. Se debió reducir medidas en el área de trabajo debido a que se disponía de una cantidad limitada de fibra natural, aunque el área seleccionada fue la adecuada para trabajar y replicar a escala real la pieza plana que forma parte del vehículo monoplaza tipo Formula SAE de la UPS, para posteriormente comparar su peso. Para la fabricación de la pieza se modificó el peso del catalizador (MEK) con una nueva medida, teniendo que ser el 1% del peso total de la resina poliéster; con esto se logrará una mejor maniobrabilidad del mismo y se obtendrán mejoras visibles en cuanto al acabado superficial de la pieza del vehículo.

### 6.2.2.1. Lámina de Composite de Fibra Natural de Caña Guadua de (57x35) cm<sup>2</sup>

Los materiales a utilizarse con sus respectivos pesos en gramos requeridos para la elaboración de una lámina de composite de 15% de fibra natural de caña guadua de 1995 cm<sup>2</sup> son los que se describen a continuación en la tabla 6.18:

**Tabla 6. 18:** Pesos de Materiales Empleados para la Fabricación de una Lámina de Composite de 15% de Fibra Natural de Caña Guadua de (57x35) cm<sup>2</sup>.

<b>Lámina de Composite de 15% de Fibra Natural de Caña de Guadua de ( 57x35) cm<sup>2</sup></b>	
<i>Resina Poliéster</i>	665 gramos
<i>Catalizador (MEK)</i>	6,65 gramos
<i>Fibra de Caña Guadua</i>	99,75 gramos

**Nota.** Fuente: Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo07, 2016.

### **6.2.3. Fabricación de una Réplica a Escala Real de la Tapa Lateral que Forma Parte de la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE**

En este punto se hace referencia a la construcción de la tapa lateral del vehículo monoplaza tipo Formula SAE empelando los composites idóneos seleccionados anteriormente, siendo estos, el composite reforzado con 3 capas de fibra de vidrio y el composite reforzado con 15% de fibra de caña guadua.

#### **6.2.3.1. Fabricación de una Réplica a Escala Real de la Tapa Lateral que Forma Parte de la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE Empleando Composite Reforzado con 3 Capas de Fibra de Vidrio**

El proceso de obtención de la tapa lateral del monoplaza empleando composite reforzado con 3 capas de fibra de vidrio, es exactamente el mismo procedimiento de cómo se obtuvieron las probetas; diferenciándose únicamente en las dimensiones de las láminas y la forma de la pieza después de realizar el corte. Todo el proceso que se siguió para la consecución de la tapa lateral, se encuentra descrito en la hoja de proceso ubicada en el Anexo 1C.



**Figura 6. 18:** Tapa Lateral Construida de Composite Reforzado con 3 Capas Fibras de Vidrio.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016.

### **6.2.3.2. Fabricación de una Réplica a Escala Real de una Pieza Plana que Forma Parte de la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE Empleando Composite con 15% de Fibra Natural de Caña Guadua**

El proceso de obtención de la tapa lateral del monoplaza empleando composite con 15% de fibra de caña guadua, es exactamente el mismo procedimiento de cómo se obtuvieron las probetas; diferenciándose únicamente en las dimensiones de las láminas y la forma de la pieza después de realizar el corte. Todo el proceso que se siguió para la consecución de la tapa lateral, se encuentra descrito en la hoja de proceso ubicada en el Anexo 1D.



**Figura 6. 19 :** Tapa Lateral Construida de Composite Reforzado con 15% de Fibra de Caña Guadua.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016.

## 7. CONCLUSIONES

Se determinó las cantidades óptimas de resina poliéster, catalizador, fibra de vidrio y fibra de caña guadua mediante un proceso experimental, combinando diferentes cantidades de estos componentes tomando en cuenta su peso, acabados, secado y la consistencia del composite.

Para la caracterización se optó por realizar ensayos de tracción a los 5 grupos de probetas de los diferentes composites, ya que con este ensayo se puede determinar la fragilidad, ductilidad, deformación y la resistencia a la carga antes de fracturarse.

En los composites reforzados con fibra de vidrio, el más rígido es el reforzado con 4 capas, ya que su módulo de elasticidad supera con el 17,43% al módulo de elasticidad del reforzado con 3 capas. Sin embargo, el más dúctil es el composite reforzado con 3 capas de fibra de vidrio, ya que su deformación a la rotura supera con un 16,71% al de 4 capas.

En los composites reforzados con fibra de caña guadua, el más rígido es el reforzado con una fracción volumétrica del 20%, ya que su módulo de elasticidad supera con el 3,33% al módulo reforzado con una fracción volumétrica del 15%, y con el 14,72% al módulo reforzado con una fracción volumétrica del 10% de fibra de caña guadua.

Mientras que el composite con mayor tenacidad es el reforzado con una fracción volumétrica del 10% de fibra de caña guadua, ya que su deformación a la rotura es superior que el resto de configuraciones del composite de caña guadua.

El composite reforzado con 4 capas de fibra de vidrio soporta una mayor carga antes de fracturarse, ya que su carga última es superior con un 14,75% al reforzado con 3 capas de fibra de vidrio.

La diferencia de valores entre las cargas últimas es 9,75% entre el composite reforzado con el 20% y el 15% de fibra de caña guadua, y del 13,24% entre el composite reforzado con 20% y 10% de fibra; con estas cifras se concluye que el composite más resistente es el reforzado con una fracción volumétrica del 20% de fibra de caña guadua.

Los composites analizados en este trabajo son más rígidos y más resistentes a cargas, entre más cantidad de fibra tengan en su composición. Pero a su vez, son mucho más frágiles ya que entre más fibra contengan se hacen más resistentes a la deformación.

El material compuesto con fibra de vidrio tiene propiedades mecánicas superiores que el material compuesto reforzado con fibra de caña guadua, ya que, al tomar los módulos de elasticidad más altos de ambos materiales, se tiene que, el de fibra de vidrio es 105 % mayor.

El comportamiento de los materiales compuestos depende mucho del tipo de fibra con el que estén reforzados, es por esto que el composite reforzado con fibra de vidrio es mucho más resistente y tenaz que el reforzado con fibra de caña guadua, ya que, al hacer una comparación entre los dos valores más altos de la deformación a la rotura, el reforzado con fibra de vidrio es 128,86% mayor que el reforzado con fibra de caña guadua.

La razón por la que ciertos ensayos soportaron una mayor carga se debe a la orientación de las fibras; es decir, cuando las fibras se encuentran orientadas en el mismo sentido de la carga, estas tienden a resistir mucho más.

En los composites reforzados con fibra de caña guadua, el material más tenaz es el reforzado con el 10% de fibra, seguido del reforzado con el 15%. El composite que soporta una mayor carga es el composite reforzado con el 20% de fibra de caña guadua, seguido del reforzado con el 15%.



La longitud de las fibras en un material compuesto influye en el porcentaje de deformación a la rotura, es decir a mayor longitud de la fibra mayor porcentaje de deformación a la rotura, debido a esto el composite reforzado con fibra de vidrio presenta un mejor comportamiento al estar sometida a cargas de tracción.

El composite reforzado con 3 capas de fibra de vidrio resultó ser el más liviano con un peso promedio en las 10 probetas de 8,15 [gr], seguido del composite reforzado con el 10% de fibra de bambú con 8,40 [gr] y por último el reforzado con el 15% de fibra de bambú con un peso de 9,43 [gr].

Para la construcción de la tapa lateral del monoplaza FSAE 2014 se concluyó utilizar dos tipos de composites; uno reforzado con 3 capas de fibra de vidrio y otro reforzado con el 15% de fibra de caña guadua; esto se determinó mediante la utilización de una matriz de decisión donde se consideraron aspectos muy importantes como el peso, impacto ambiental, carga, accesibilidad y costo.

La formulación del material compuesto reforzado con 3 capas de fibra de vidrio y reforzado con el 15% de fibra de bambú presentaron las mejores propiedades mecánicas con respecto a tenacidad, deformación a la rotura y principalmente el peso.

El menor peso en la aproximación de la carrocería se la obtuvo aplicando el composite reforzado con 3 capas de fibra de vidrio disminuyendo en 5,29 [Kg] al peso total de la carrocería original y en 4,82 [Kg] con el composite reforzado con el 15% de fibra de caña guadua.

## **8. RECOMENDACIONES**

Diseñar nuevos prototipos con composites más resistentes donde se trabaje con fibra de carbono.

Adquirir equipo adecuado para elaboración de la carrocería como la pistola rociante de fibra de vidrio, rodillos para quitar el aire de las capas de fibra y un gel coat de buena calidad. Implementar un gel coat de buena calidad permite tener un buen acabado superficial de las piezas.

Utilizar nuevos materiales compuestos en la construcción de la carrocería que sean de base natural amigables con el medio ambiente y de fácil adquisición en nuestro país y lo más importante de bajo costo.

Tratar de obtener fibras de caña guadua más largas, para mejorar las propiedades mecánicas del composite.

Aplicar el composite reforzado con 3 capas de fibra de vidrio en la construcción de las partes geométricas complejas de la carrocería y para las partes geométricas planas utilizar el composite reforzado con el 15% de fibra de caña guadua.

Investigar la fusión entre la fibra de vidrio y la fibra de caña guadua para obtener un composite mixto reforzado con ambos tipos de fibras.

Adaptar las composiciones de fibra, resina poliéster y catalizador para las diferentes áreas de las piezas utilizando reglas de tres.

También se recomienda hacer un nuevo estudio y caracterización para la aplicación en la carrocería de un composite reforzado con 2 capas de fibra de vidrio, si se tienen resultados positivos, al aplicar este composite se reduciría aún más el peso de la carrocería.

## 9. TRABAJOS FUTUROS

También existe la posibilidad de mezclar ambos composites utilizando solo la mitad de la composición de cada uno de ellos, para de esta manera obtener un composite mixto, tal como se muestra en la figura 10.1. Por tanto, se recomienda poner mucho énfasis en una futura caracterización.



**Figura 9. 1:** Composite Mixto Reforzado con Fibra Natural de Caña Guadua y Fibra de Vidrio.

**Fuente:** Los Autores, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE”, Marzo 07, 2016.

## 10. REFERENCIAS

- Ian R. Hunter. (2003). Bamboo resources, uses and trade: the future. In *Journal of Bamboo and Rattan, Volume 2* (pp. 319-326).
- (2010, Enero 8). Retrieved from Producción de la Guadua Angustifolia por el Método de Chusquines: <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjJ94L5n6LLAhXBYJoKHXx4CkUQFggAaMAA&url=http%3A%2F%2Fxa.yimg.com%2Fkq%2Fgroups%2F21454170%2F303717710%2Fname%2FPRODUCCION%2BDE%2BLA%2BGUADUA%2BANGUSTIFOLIA%2BPOR%2B>
- 2015 Formula SAE® Rules. (2014). *Sae International*. Retrieved from 2015 Formula SAE® Rules: <http://www.fsaeonline.com/content/2015-16%20FSAE%20Rules%20revision%2091714%20kz.pdf>
- Adamian, R. (2009). *Novos materiais: Tecnologia e aspectos economicos*. Brasil: Coppe.
- Ashby, M. (2011). *Materials Selection in Mechanical Design*. Estados Unidos: Elsevier.
- Ashby, M. F. (2005). *Materials Selection in Mechanical Design* (Vol. Tercera Edición).
- Askeland, D. (2003). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. México.
- Avner, S. (1988). *Introducción a la Metalurgia Física*. México: McGraw-Hill.
- Baillie, C. (2004). "Green Composites. Polymer Composites and the Environment". Estados Unidos: Woodhead Publishing Limited.
- Béguin, J. (2011, Octubre). *Los Materiales Compuestos Dinamismo e Innovación*. Retrieved from <http://www.insee.fr/sessi/4pages/pdf/4p158espagnol>
- Biron, M. (2007). *Thermosets and Composites*. Inglaterra: Elsevier.
- Botero Cortés, Luis Fernando;. (n.d.). *REPRODUCCIÓN DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA POR EL METODO DE CHUSQUINES*. Retrieved from <http://www.inbar.int/sites/default/files/chusquines.pdf>

- Caiza Chasi, V. F., & Vilaña Monteros, J. P. (2015). *DISEÑO, SIMULACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO TIPO FORMULA SAE*. Latacunga: UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE.
- Callister, W. (2007). *Materials Science and Engeneering: An introduction*. Estados Unidos.
- Chavéz, S. C. (2007). *Proyecto para la elaboración de padding y sisal en la empresa Chaide y Chaide S.A*. Quito : Universidad Andina Simón Bolívar Sede Ecuador TESIS.
- Chiluiza, C., & Hernández, J. (2009). *Elaboración de papel artesanas de caña guadua*. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Chung, D. (2010). *Composite Materials, Science and Applications*. Estados Unidos: Springer.
- CICO. (2009, Noviembre). *Perfil de las demas cuerdas y cordajes del genero agave*. Retrieved from "http://www.pucesi.edu.ec/pdf/cabuya.pdf"
- CORPEI. (2009, 11). *"Centro de Informacion de Inteligencia Comercial"*. Retrieved from CICO: <http://www.pucesi.edu.ec/pdf/cabuya.pdf>
- Diffen. (n.d.). *Hardwood vs. Softwood - Difference and Comparison*. Retrieved from [http://www.diffen.com/difference/Hardwood\\_vs\\_Softwood](http://www.diffen.com/difference/Hardwood_vs_Softwood)
- ECURED. (2015, 12 13). *ECURED*. Retrieved from RAMIO-ECURED: <http://www.ecured.cu/Ramio>
- EL PRODUCTOR. (2016, 02 2016). *Periódico de Campo*. Retrieved from <http://elproductor.com/2016/02/24/ecuador-exportacion-de-la-fibra-de-abaca-genera-expectativas-en-productores-del-pais/>
- EL TELEGRAFO. (2012, febrero 19). *Los bajos precios del abacá desincentivan el cultivo de la planta*. Retrieved from <http://www.telegrafo.com.ec/economia/item/los-bajos-precios-del-abaca-desincentivan-el-cultivo-de-la-planta.html>

- ENDMEMO. (2016). *Endmemo.com*. Retrieved from Endmemo.com:  
<http://www.endmemo.com/sconvert/kgflbf.php>
- Fajardo, J., Lasso, D., Paltan, C., Lopez, L., Perguachi, D., & Cruz, L. (2015). *Improving the processing and rheological properties of natural fibre/polypropylene composites*. Cuenca, Ecuador: Professor Dept. of Mechanical Engineering, Universidad Politécnica Salesiana.
- Formula Student Germany. (2014, Julio 29). Formula Student Germany. *International Design Competition*. Retrieved from International design competition.
- Germany, Formula Student. (2013). International Design Competition. *Formula Student Germany*, 44-45.
- Gonzalez Canteli, S. (2013, 11 24). *Elementos Amovibles y Fijos no Estructurales*. Retrieved from <http://eafsgc.blogspot.com/2013/11/propiedades-fisico-mecanicas-de-los.html>
- Guerrero, V. H., Galeas, S., Dávila, J. L., Pontón, P., Rosas, N. M., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). APLICACIONES ESTRUCTURALES E INDUSTRIALES. *NUEVOS MATERIALES*.
- INBAR. (2012). *Preguntas Frecuentes acerca del Bambú*. Retrieved from <http://lac.inbar.int/index.php/el-bambu/preguntas-frecuentes>
- Jung, Débora. (2007). *Cultivo de bactéria Bacillus megaterium para a produção do biopolímero poli (3-hidroxibutirato) e modelagem matematica do bioproseso*. Porto Alegre Brazil.
- Klop, A., Cárdenas, E., & Marlin, C. (n.d.). Bamboo production chain in Ecuador. *Journal of Bamboo and Rattan*.
- Larson, B. (2011). *Composite Structures*. Retrieved from [http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Structure/composite\\_class.htm](http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Structure/composite_class.htm)
- Li, L., Wang, T., & Zhang, W. (2007, Agosto). *Computational Materials Science*. Retrieved from <http://www.elsevier.com/locate/commsci>
- Líderes, R. (2008). *“La industria pone a prueba la resistencia de la cabuya*.

- Lindholm, M., & Palm, S. (2007, Diciembre 5). *Guadua chacoensis in Bolivia - an investigation of mechanical properties of a bamboo species*. Retrieved from <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:17115/FULLTEXT01.pdf>
- Llano Uribe, C. (2012). Fibra de Carbono. *Materiales*, 6.
- López, J. (1987). *Materiales: Metrología I*. Madrid: Thema.
- Manjarrés, F. J., Santillán, E. R., Guerrero, V., & Pachacama, V. (2015). DISEÑO, CARACTERIZACIÓN Y APLICACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE DE RESINA EPOXI Y REFUERZO DE FIBRAS ORGÁNICAS PARA LA APLICACIÓN EN UN PROTOTIPO DE CAPOT DE LA CAMIONETA MAZDA BT50 2010. *DISEÑO, CARACTERIZACIÓN Y APLICACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE DE RESINA EPOXI Y REFUERZO DE FIBRAS ORGÁNICAS PARA LA APLICACIÓN EN UN PROTOTIPO DE CAPOT DE LA CAMIONETA MAZDA BT50 2010*. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.
- Marangon, E. (2011, Julio). CARACTERIZAÇÃO MATERIAL E ESTRUTURAL DE CONCRETOS AUTOADENSÁVEIS REFORÇADOS COM FIBRAS DE AÇO. Rio de Janeiro, Brazil: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Mariano. (2011, Noviembre Jueves). *Tecnologia de los Plasticos*. (Blog dedicado a los materiales plásticos, características, usos, fabricación, procesos de transformación y reciclado) Retrieved from <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/11/gelcoat.html>
- Mariano. (2011, 12 Martes). *Tecnologia de los Plasticos*. Retrieved from Fibra de Vidrio: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/fibra-de-vidrio.html>
- Mazumdar, S. (2003). *Composites Manufacturing: Materials, Product and Process Engineering*. Estados Unidos: CRC Press.
- Mejía, M. E. (2010, Enero). Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua Angustifolia*) para el refuerzo de materiales compuestos. Colombia: Universidad de los Andes.



- Mijangos, C., & Serafin, J. (2007). *Nuevos Materiales en la Sociedad del siglo XXI*. España: CSIC.
- Mohanty, A., Misra, M., & Drzal, L. (2005). biopolimers and biocomposites. *Natural fibers*.
- Naturales, F. (2015). *Universidad del Pais Vasco*. Retrieved from <http://www.sc.ehu.es/iawfemaf/archivos/materia/industrial/libro11b.pdf>
- nexoLOCAL. (2012). *nexoLOCAL*. Retrieved from FIBRA DE COCO LAVADA Y TRATADA SUSTRATO JARDINERÍA 5 LIBRAS: <http://quito.nexolocal.com.ec/p8773038-fibra-de-coco-lavada-y-tratada-sustrato-jardineria-5-libras>
- Páez, J. (2007). “Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión”. Quito, Ecuador: EPN Tesis.
- Pauta Solano, J. F., & Sanchez Ramirez, M. L. (2014, Noviembre). Diseño y Construcción de la Carrocería de un Vehículo de Competencia Tipo Fórmula SAE. *Diseño y Construcción de la Carrocería de un Vehículo de Competencia Tipo Fórmula SAE*. Cuenca, Azuay, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- PlastiQuímica. (2016, Enero 17). *GEL COAT*. Retrieved from [http://www.plastiquimica.cl/pdf/Gel\\_Coat.pdf](http://www.plastiquimica.cl/pdf/Gel_Coat.pdf)
- Rudnik, E. (2008). *Compostable Polymer Materials*. Netherlands: Elsevier: Oxford.
- Sabogal Bernal, S. J. (2013, Julio 6). *Slideshare*. Retrieved from <http://es.slideshare.net/FerminBlanco/guadua-angustifolia>
- 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.
- Saxena, A., Schaffer, J., Antolovic, S., & Sanders, T. (2000). *Ciencia y Diseño de Materiales para Ingeniería*. México: Ceca.

Science Photo Lybray. (2011, Noviembre). *Science Photo Lybray*. Retrieved from [http://www.sciencephoto.com/image/10002/530wm/A8500256-Reinforced\\_plastic,\\_SEM-SPL.jpg](http://www.sciencephoto.com/image/10002/530wm/A8500256-Reinforced_plastic,_SEM-SPL.jpg)

TOMALÁ AQUINO, W. L. (2015). ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA DIEZ HECTÁREAS DE CULTIVO DE COCO (*Cocos nucifera*) EN LA COMUNA VALDIVIA, PENÍNSULA DE SANTA ELENA. La Libertad, Península de Santa Elena, Ecuador.

Valarezo Jaramillo, L. E. (2013, Junio 18). Obtención Experimental de un Material Biocompuesto a Base de una Matriz Polimérica y Reforzada con Fibras Naturales de Guadúa *Angustifolia* Proveniente del Ecuador. Cuenca, Azuay, Ecuador.

Valarezo Jaramillo, L. E. (2013, Junio 18). OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE UN MATERIAL BIOCOPUESTO A BASE DE UNA MATRIZ POLIMÉRICA Y REFORZADA CON FIBRAS NATURALES DE GUADÚA *ANGUSTIFOLIA* PROVENIENTE DEL ECUADOR. Cuenca, Azuay, Ecuador.

Vélez, S. (n.d.). La Guadua *Angustifolia* - El bambú Colombiano.

Wambua, P., Ivens, J., & Verpoest, I. (2003, Febrero). "Natural fibres". *can they replace glass in fibre reinforced plastics?* *Composites Science and Technology* 63 (2003) .

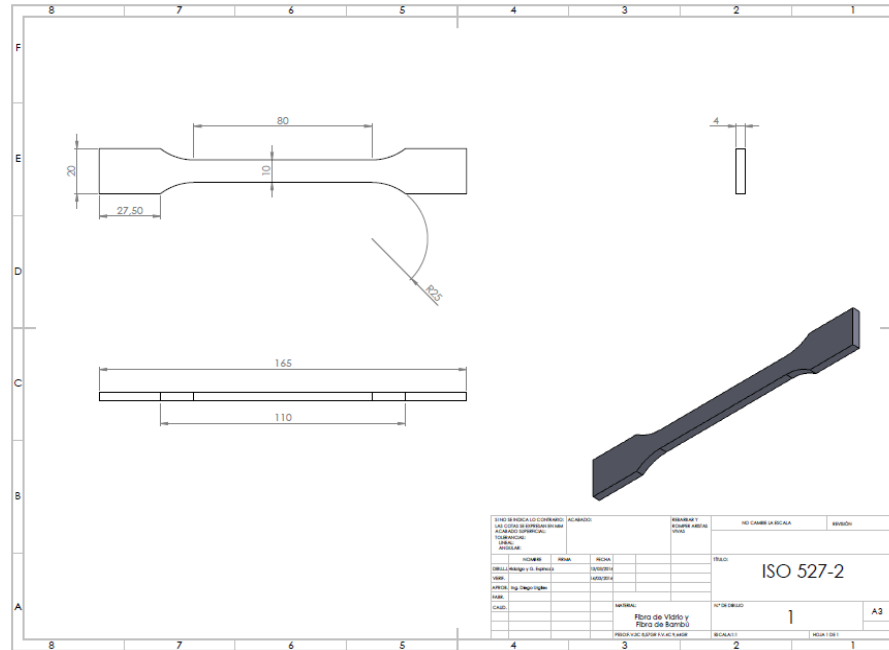
## **11. ANEXOS**

# **ANEXOS**





**ANEXO 1A**

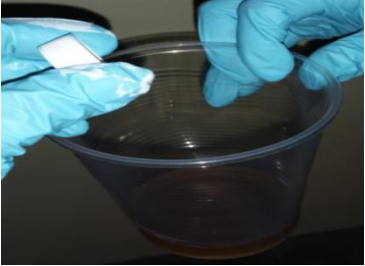



**Hoja de Proceso**




**Probetas de Composite de Fibra de Vidrio de Tres Capas**



<b>Dibujo Técnico</b>					
<b>Proceso de Mecanizado</b>	<b>Presentación Gráfica</b>	<b>Descripción del Proceso</b>	<b>Tiempo [minutos]</b>	<b>Material de la Pieza</b>	<b>Herramientas</b>
<b>Corte del Vidrio</b>		<p>Se recorta un vidrio con una dimensión de 30 cm. de ancho por 30 cm. de largo, con un espesor de 4 líneas.</p>	1	Vidrio	Cuchilla con punta de diamante

<p><b>Aplicación de Alcohol Polivinílico</b></p>		<p>Se colocan tres películas de alcohol polivinílico sobre la superficie del vidrio; con un tiempo de secado de 30 min. de cada capa.</p>	<p>93</p>	<p>Alcohol Polivinílico</p>	<p>Waipe, que no desprenda residuos.</p>
<p><b>Mezcla Gel Coat - Catalizador (MEK)</b></p>		<p>Se pesa 100 gr. de gel coat y 3.51 gr. de catalizador (MEK), y a continuación se los mezclan.</p>	<p>2.3</p>	<p>Gel Coat, Catalizador</p>	<p>Vaso plástico descartable, balanza digital.</p>
<p><b>Aplicación del Gel Coat</b></p>		<p>Se aplica la mezcla gel coat - catalizador sobre la superficie del vidrio, y se lo deja secar por un intervalo de 3 horas.</p>	<p>183</p>	<p>Gel Coat, Catalizador</p>	<p>Brocha que no desprenda cerdas, se sugiere ventilador.</p>
<p><b>Corte de la Fibra de Vidrio</b></p>		<p>Se corta 3 retazos de fibra de vidrio, con una dimensión de 31 cm. de ancho por 31 cm. de largo.</p>	<p>4.3</p>	<p>Fibra de Vidrio MAT</p>	<p>Cuchilla o estile.</p>

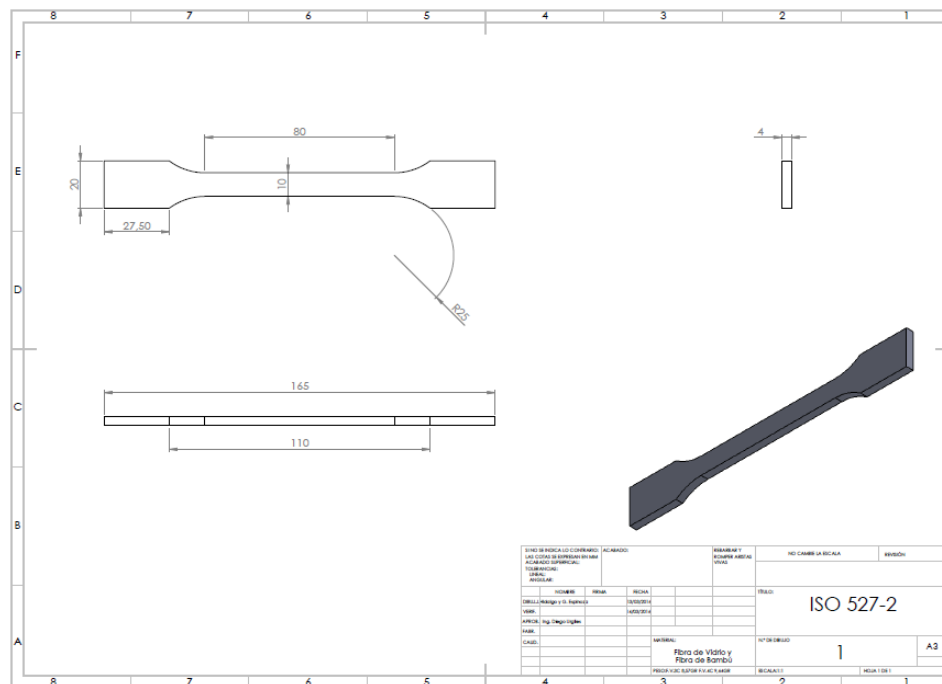
<p><b>Mezcla Resina Poliéster - Catalizador (MEK)</b></p>		<p>Se pesa 200 gr. de resina poliéster y 7,02 gr. de catalizador (MEK), y a continuación se procede a mezclarlos.</p>	<p>3.3</p>	<p>Resina Poliéster, Catalizador (MEK)</p>	<p>Vaso plástico descartable, balanza digital.</p>
<p><b>Aplicación de Resina Poliéster</b></p>		<p>Se aplica la mezcla resina poliéster - catalizador sobre la superficie del vidrio cubierta de gel coat, e inmediatamente se coloca el retazo de fibra de vidrio.</p>	<p>195</p>	<p>Mezcla Resina Poliéster - Catalizador (MEK) – Fibra de Vidrio MAT</p>	<p>Brocha que no desprenda cerdas, se sugiere ventilador.</p>
		<p>Luego el retazo de fibra de vidrio colocado, se empapa con la mezcla resina poliéster - catalizador. Proceso que se repite hasta terminar de colocar los 3 retazos de fibra de vidrio. Concluido el proceso, se lo deja secar por 3 horas.</p>			
<p><b>Desmolde</b></p>		<p>Se retira cuidadosamente el vidrio que sirvió como molde, con la ayuda de una espátula evitando dañar la superficie y el acabado de la lámina.</p>	<p>10</p>		<p>Espátula</p>

<p><b>Trazado y Dibujado</b></p>		<p>Se utiliza la plantilla de cartón prensado en forma de probeta para calcarla sobre la superficie de la lámina obtenida anteriormente.</p>	<p>10</p>		<p>Plantilla de la probeta, marcador.</p>
<p><b>Corte de Probetas</b></p>		<p>Se corta las probetas previamente dibujadas sobre la lámina mediante una cierra Dremel</p>	<p>90</p>		<p>Cierra Dremel</p>
<p><b>Obtención de probetas</b></p>		<p><b>Tiempo Total</b></p>	<p><b>591.90</b></p>		

## ANEXO 1B

### Hoja de Proceso

### Probetas de Composite de 10% de Fibra Natural de Caña Guadua Angustifolia



### Dibujo Técnico

#### Proceso de Mecanizado

#### Presentación Gráfica

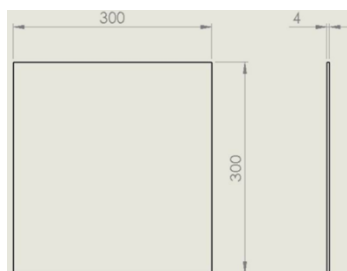
#### Descripción del Proceso

#### Tiempo [minutos]

#### Material de la Pieza

#### Herramientas

#### Corte del Vidrio







Se recorta un vidrio con una dimensión de 30 cm. de ancho por 30 cm. de largo, con un espesor de 4 líneas.




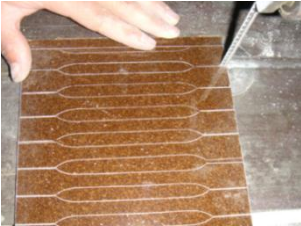

1

Vidrio

Cuchilla con punta de diamante



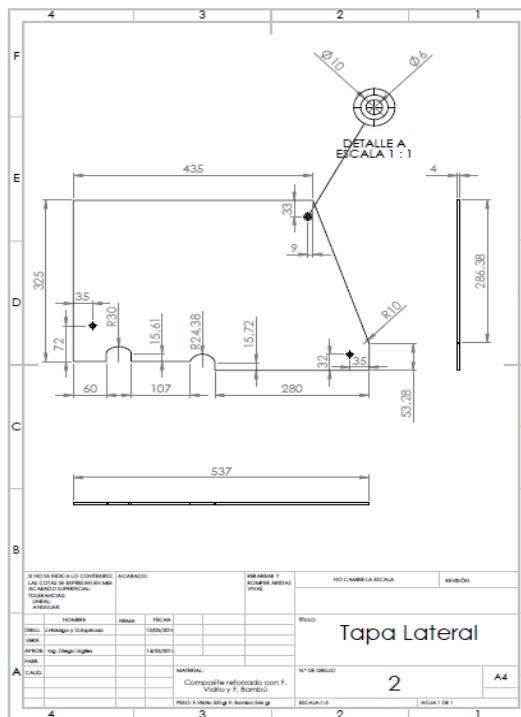
<p><b>Aplicación de Alcohol Polivinílico</b></p>		<p>Se colocan tres películas de alcohol polivinílico sobre la superficie del vidrio; con un tiempo de secado de 30 min. de cada capa.</p>	<p>93</p>	<p>Alcohol Polivinílico</p>	<p>Waipe, que no desprenda residuos.</p>
<p><b>Construcción del Molde</b></p>		<p>Se recortan 4 retazos de cartón con una medida de 31,5 cm. de largo y 3 cm. de ancho, y con la ayuda de una cinta de embalaje se los pega en el contorno del vidrio, obteniendo de esta manera un recipiente.</p>	<p>15</p>	<p>Cartón, cinta de embalaje.</p>	<p>Cuchilla o estile, tijeras.</p>
<p><b>Mezcla Resina Poliéster – Fibra Natural - Catalizador (MEK)</b></p>		<p>Se pesa por separado 300 gr. de resina poliéster y 30 gr. de fibra natural, y a continuación se los mezcla empleando movimientos rápidos hasta conseguir una mezcla uniforme.</p>	<p>5</p>	<p>Resina Poliéster – Fibra Natural - Catalizador (MEK)</p>	<p>Balanza digital, vasos plásticos descartables.</p>
		<p>Luego de haber conseguido una mezcla uniforme, se agrega los 10,53 gr. de catalizador (MEK), y de igual manera, se lo vuelve a mezclar.</p>			

<p><b>Esparcimiento en el Molde</b></p>		<p>Se vierte la mezcla dentro del molde, y de una manera muy rápida se la esparce de manera uniforme por toda la superficie del molde.</p>	<p>1</p>	<p>Resina Poliéster – Fibra Natural - Catalizador (MEK)</p>	<p>Vaso plástico descartable.</p>
<p><b>Secado</b></p>		<p>Luego de haber esparcido la mezcla sobre el molde, se deja secar por 24 horas hasta que la mezcla se haya solidificado. Para que el secado sea más rápido se puede emplear un ventilador doméstico.</p>	<p>1440</p>	<p>Resina Poliéster – Fibra Natural - Catalizador (MEK)</p>	<p>Ventilador</p>
<p><b>Desmolde</b></p>		<p>Se retira cuidadosamente el vidrio que sirvió como molde, con la ayuda de un estilete evitando dañar la superficie y el acabado de la lámina.</p>	<p>10</p>		<p>Cuchilla o estile.</p>
<p><b>Trazado y Corte</b></p>		<p>Se utiliza la plantilla de cartón prensado en forma de probeta para calcarla sobre la superficie de la lámina obtenida anteriormente, y a continuación se corta las probetas mediante una cierra Dremel.</p>	<p>100</p>		<p>Plantilla de la probeta, marcador, cierra Dremel.</p>
<p><b>Obtención de probetas</b></p>		<p><b>Tiempo Total</b></p>	<p><b>1665</b></p>		

## ANEXO 1C

### Hoja de Proceso

### Tapa Lateral de Composite de Fibra de Vidrio de Tres Capas



#### Dibujo Técnico

#### Proceso de Mecanizado

#### Presentación Gráfica

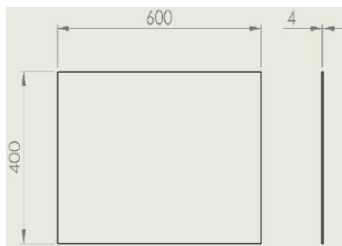
#### Descripción del Proceso

#### Tiempo [minutos]

#### Material de la Pieza

#### Herramientas

#### Corte del Vidrio







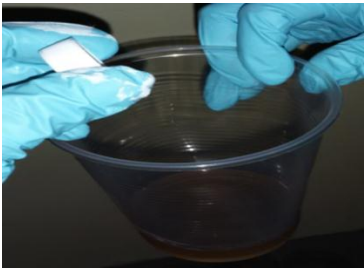


Se recorta un vidrio con una dimensión de 40 cm. de ancho por 60 cm. de largo, con un espesor de 4 líneas.



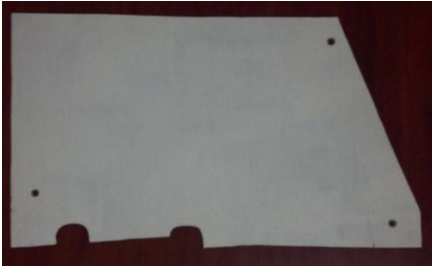
1

Vidrio

Cuchilla con punta de diamante

<p><b>Aplicación de Alcohol Polivinílico</b></p>		<p>Se colocan tres películas de alcohol polivinílico sobre la superficie del vidrio; con un tiempo de secado de 30 min. de cada capa.</p>	<p>95</p>	<p>Alcohol Polivinílico</p>	<p>Waipe, que no desprenda residuos.</p>
<p><b>Mezcla Gel Coat - Catalizador (MEK)</b></p>		<p>Se pesa 200 gr. de gel coat y 2 gr. de catalizador (MEK), y a continuación se los mezclan.</p>	<p>2.3</p>	<p>Gel Coat, Catalizador</p>	<p>Vaso plástico descartable, balanza digital.</p>
<p><b>Aplicación del Gel Coat</b></p>		<p>Se aplica la mezcla gel coat - catalizador sobre la superficie del vidrio, y se lo deja secar por un intervalo de 3 horas.</p>	<p>185</p>	<p>Gel Coat, Catalizador</p>	<p>Brocha que no desprenda cerdas, se sugiere ventilador.</p>
<p><b>Corte de la Fibra de Vidrio</b></p>		<p>Se corta 3 retazos de fibra de vidrio, con una dimensión de 41 cm. de ancho por 61 cm. de largo.</p>	<p>6</p>	<p>Fibra de Vidrio MAT</p>	<p>Cuchilla o estile.</p>

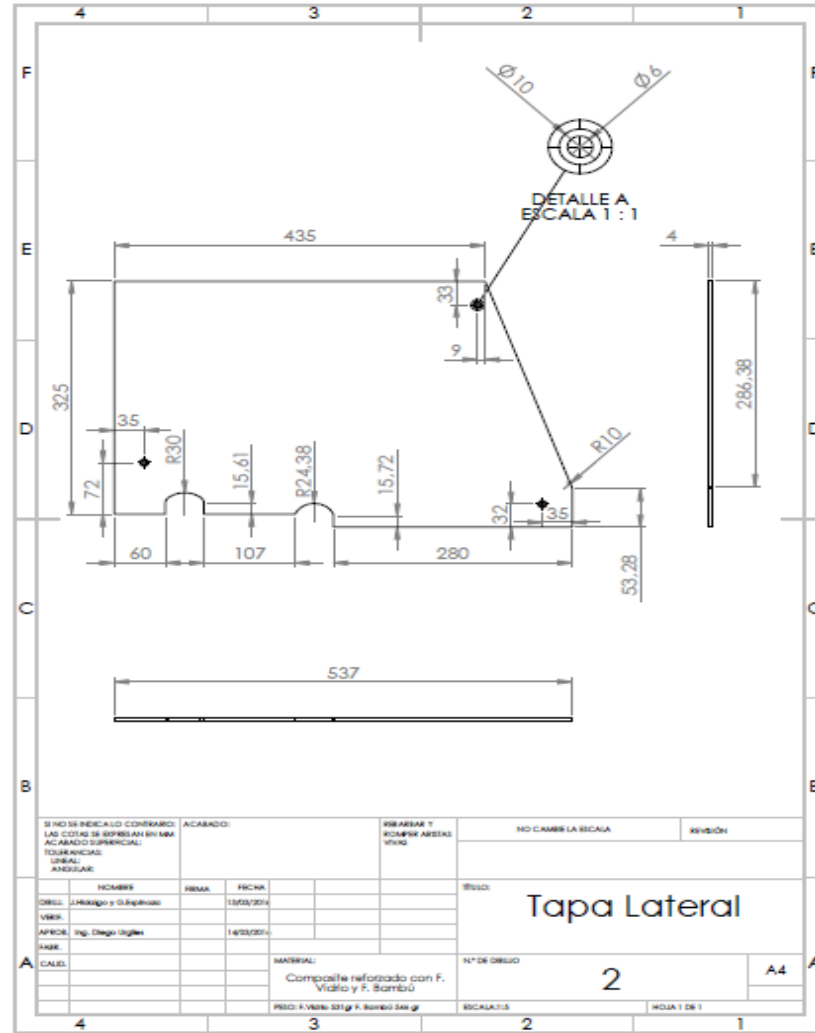
<p><b>Mezcla Resina Poliéster - Catalizador (MEK)</b></p>		<p>Se pesa 533,33 gr. de resina poliéster y 5,33 gr. de catalizador (MEK), y a continuación se procede a mezclarlos.</p>	<p>3.3</p>	<p>Resina Poliéster, Catalizador (MEK)</p>	<p>Vaso plástico descartable, balanza digital.</p>
<p><b>Aplicación de Resina Poliéster</b></p>		<p>Se aplica la mezcla resina poliéster - catalizador sobre la superficie del vidrio cubierta de gel coat, e inmediatamente se coloca el retazo de fibra de vidrio.</p>	<p>200</p>	<p>Mezcla Resina Poliéster - Catalizador (MEK) – Fibra de Vidrio MAT</p>	<p>Brocha que no desprenda cerdas, se sugiere ventilador.</p>
	<p>Luego el retazo de fibra de vidrio colocado, se empapa con la mezcla resina poliéster - catalizador. Proceso que se repite hasta terminar de colocar los 3 retazos de fibra de vidrio. Concluido el proceso, se lo deja secar por 3 horas.</p>				

<p><b>Desmolde</b></p>		<p>Se retira cuidadosamente el vidrio que sirvió como molde, con la ayuda de una espátula evitando dañar la superficie y el acabado de la lámina.</p>	<p>13</p>		<p>Espátula</p>
<p><b>Trazado y Corte</b></p>		<p>Se utiliza la pieza original como plantilla para calcarla sobre la superficie de la lámina obtenida anteriormente, y se corta la pieza previamente dibujada sobre la lámina mediante una cierra Dremel</p>	<p>100</p>		<p>Plantilla de la pieza, marcador, cierra Dremel.</p>
<p><b>Obtención del Prototipo de la Tapa Lateral</b></p>		<p><b>Tiempo Total</b></p>	<p><b>605.6</b></p>		

# ANEXO 1D

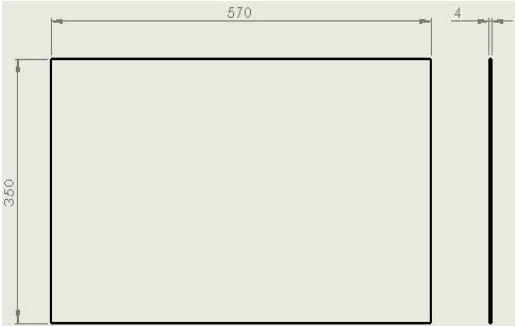


## Hoja de Proceso

### Tapa Lateral de Composite de 15% de Fibra Natural de Caña Guadua Angustifolia









Dibujo Técnico




Proceso de Mecanizado	Presentación Gráfica	Descripción del Proceso	Tiempo [minutos]	Material de la Pieza	Herramientas
<b>Corte del Vidrio</b>		Se recorta un vidrio con una dimensión de 35 cm de ancho por 57 cm de largo, con un espesor de 4 líneas.	1	Vidrio	Cuchilla con punta de diamante
<b>Aplicación de Alcohol Polivinílico</b>		Se colocan tres películas de alcohol polivinílico sobre la superficie del vidrio; con un tiempo de secado de 30 min. de cada capa.	95	Alcohol Polivinílico	Waipe, que no desprenda residuos.
<b>Construcción del Molde</b>		Se recortan 2 retazos de cartón con una medida de 36,5 cm. de largo y 2 retazos de 58,5 cm. de largo con un ancho de 3 cm., y con la ayuda de una cinta de embalaje se los pega en el contorno del vidrio, obteniendo de esta manera un recipiente.	20	Cartón, cinta de embalaje.	Cuchilla o estile, tijeras.

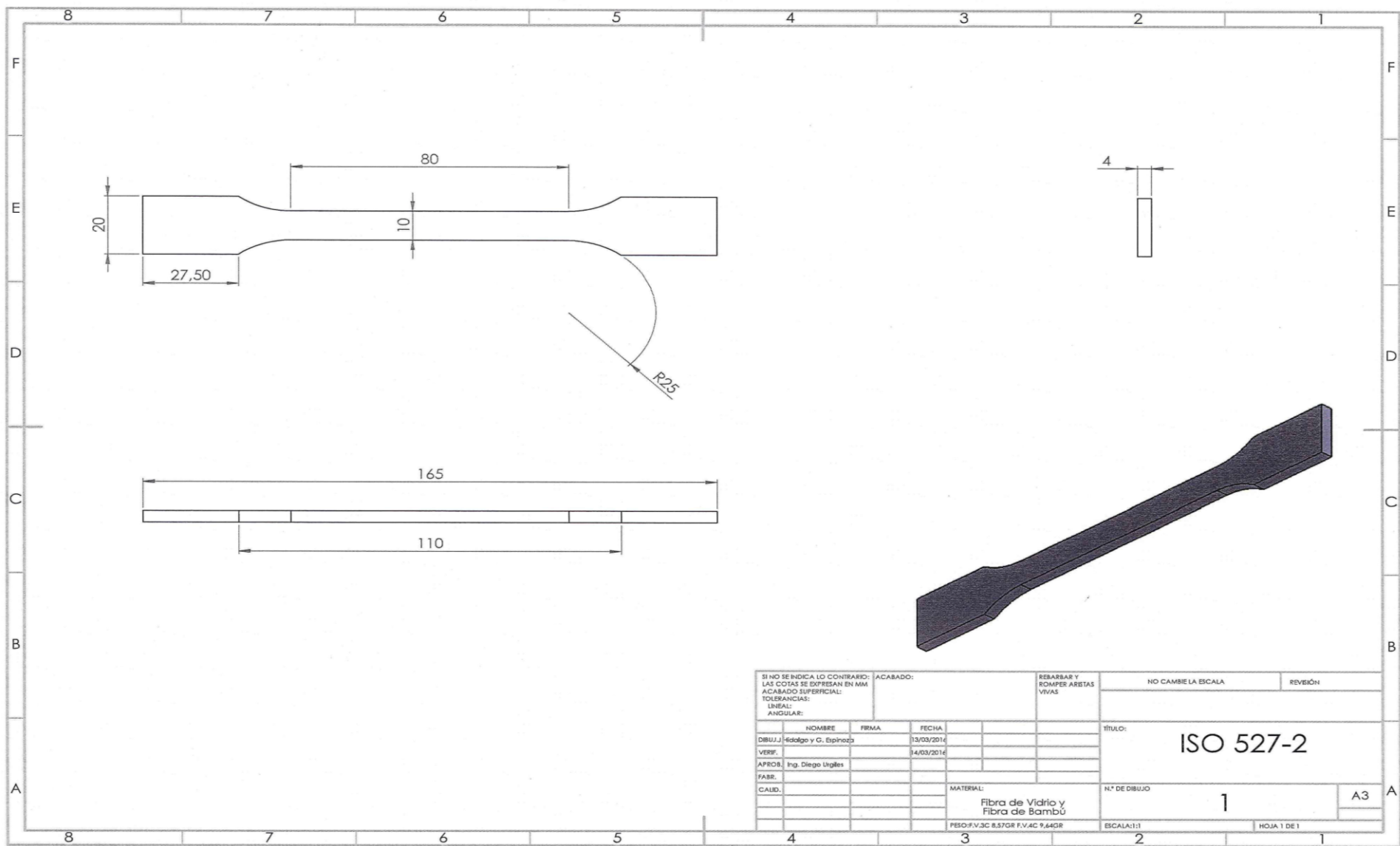


<b>Mezcla Resina Poliéster – Fibra Natural - Catalizador (MEK)</b>		<p>Se pesa por separado 665 gr. de resina poliéster y 99,75 gr. de fibra natural, y a continuación se los mezcla empleando movimientos rápidos hasta conseguir una mezcla uniforme.</p>	7	Resina Poliéster – Fibra Natural - Catalizador (MEK)	Balanza digital, vasos plásticos descartables.
		<p>Luego de haber conseguido una mezcla uniforme, se agrega los 6,65 gr. de catalizador (MEK), y de igual manera, se lo vuelve a mezclar.</p>			
<b>Esparcimiento en el Molde</b>		<p>Se vierte la mezcla dentro del molde, y de una manera muy rápida se la esparce de manera uniforme por toda la superficie del molde.</p>	1.3	Resina Poliéster – Fibra Natural - Catalizador (MEK)	Vaso plástico descartable.

<p><b>Secado</b></p>		<p>Luego de haber esparcido la mezcla sobre el molde, se deja secar por 24 horas hasta que la mezcla se haya solidificado. Para que el secado sea más rápido se puede emplear un ventilador doméstico.</p>	<p>1440</p>	<p>Resina Poliéster – Fibra Natural - Catalizador (MEK)</p>	<p>Ventilador</p>
<p><b>Desmolde</b></p>		<p>Se retira cuidadosamente el vidrio que sirvió como molde, con la ayuda de un estilete evitando dañar la superficie y el acabado de la lámina.</p>	<p>15</p>		<p>Cuchilla o estile.</p>
<p><b>Trazado y Corte</b></p>		<p>Se utiliza la pieza original como plantilla para calcarla sobre la superficie de la lámina obtenida anteriormente, y se corta la pieza previamente dibujada sobre la lámina mediante una cierra Dremel.</p>	<p>100</p>		<p>Plantilla de la pieza, marcador, cierra Dremel.</p>

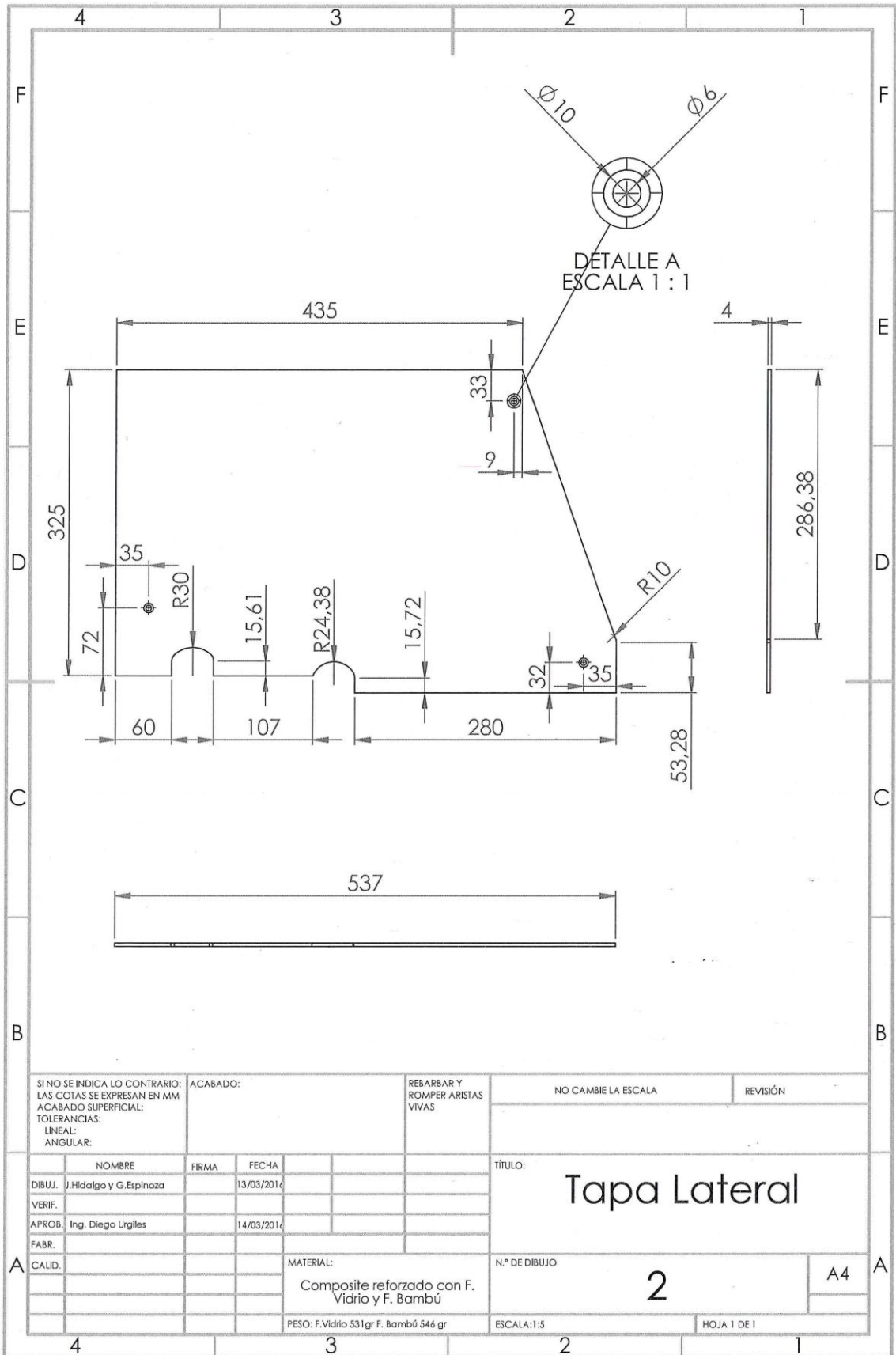
<b>Obtención del Prototipo de la Tapa Lateral</b>		<b>Tiempo Total</b>	<b>1679.3</b>		
---	---	---------------------	---------------	--	--

**ANEXO 2**



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM. ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARJETAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO: <b>ISO 527-2</b>	
DIBUJ.	Hidalgo y C. Espinoza	13/03/2014			N.º DE DIBUJO <b>1</b>	
VERIF.		14/03/2014			A3	
APROB.	Ing. Diego Urzules				ESCALA: 1:1	
FABR.					HOJA 1 DE 1	
CAUID.						
MATERIAL: Fibra de Vidrio y Fibra de Bambú				PESO: F.V.3C 8,57GR F.V.4C 9,44GR		

**ANEXO 3**



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO: <b>Tapa Lateral</b>	
DIBUJ. J.Hidalgo y G.Espinoza		13/03/2016			
VERIF.					
APROB. Ing. Diego Urgiles		14/03/2016			
FABR.					
CALID.			MATERIAL: Composite reforzado con F. Vidrio y F. Bambú	N.º DE DIBUJO <b>2</b>	A4
			PESO: F.Vidrio 531gr F. Bambú 546 gr	ESCALA:1:5	HOJA 1 DE 1

## ANEXO 4



### ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES

*Análisis, procesamiento y evaluación de materiales*



INFORME TÉCNICO  
LANUM-FEB.22

Quito, 22 de febrero de 2015

Trabajo solicitado por: Ing. Marcelo López  
Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca

#### ORDEN DE TRABAJO N° 000002887

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos de tracción realizados en cinco grupos de probetas de material compuesto, siguiendo los parámetros de la norma ASTM D638-14. Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Nuevos Materiales de la Escuela Politécnica Nacional por la persona solicitante.

#### MUESTRAS:

Cinco grupos de diez probetas de material compuesto cada uno denominados por la persona solicitante de acuerdo al contenido de sus fibras de refuerzo de la siguiente manera:

- 3 Capas de fibra de vidrio
- 4 Capas de fibra de vidrio
- Fibra natural 10%
- Fibra natural 15%
- Fibra natural 20%

#### EQUIPOS UTILIZADOS:

- Máquina universal de ensayos Tinius Olsen modelo H25K-S; capacidad máxima 25 kN; precisión utilizada: 0,1 N, 0,01 MPa.
- Calibrador de vernier Mitutoyo modelo Absolute Digimatic (12"/300 mm) con una apreciación de 0,01 mm.
- Micrómetro Mitutoyo modelo M110-25 con una apreciación de 0,01 mm.

#### ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN SEGÚN ASTM D638-14

##### Condiciones de ensayo según la norma ASTM D638-14

Número de muestras: al menos 5 especímenes

Velocidad de ensayo: 5 mm/min

Tipo de muestra: I

Ancho de la sección angosta: 13 +/- 0,5 mm

LANUM-EPN  
Orden N° 000002887





Espesor: 7 mm o inferior

El extensómetro debe ser colocado con una separación de 50 mm entre marcas

En la Fig. 1 se muestra el ensayo de tracción realizado a las probetas de material compuesto.

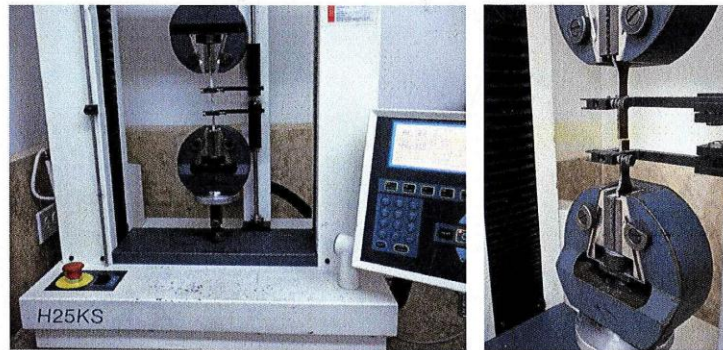


Figura 1. Ensayo de tracción realizado en una probeta de material compuesto siguiendo los parámetros de la norma ASTM D638-14.

## RESULTADOS

a) En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de tracción en las probetas del material compuesto identificado como "3 capas de fibra de vidrio"

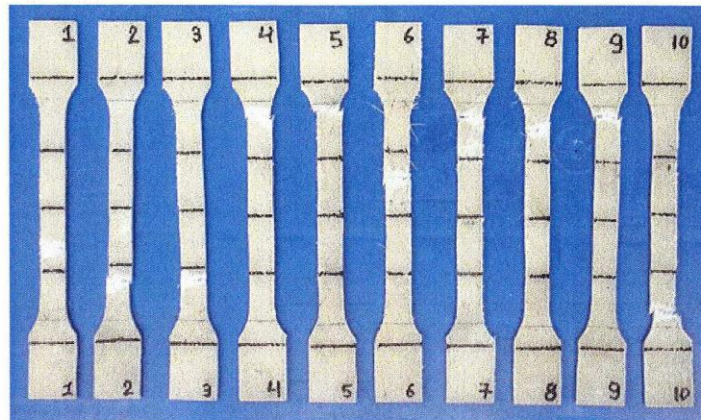
Tabla 1. Resultados de los ensayos de tracción realizados según la norma ASTM D638-14 en las probetas de material compuesto identificadas como "3 capas de fibra de vidrio".

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D638-10 (Material compuesto con refuerzo 3 capas de fibra de vidrio)							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo tangente (MPa)	Deformación a la rotura (%)
1	11,05	2,08	22,98	2660,2	115,50	14030	0,851
2	11,05	2,08	22,98	2232,5	96,90	15890	0,689
3	11,23	2,53	28,41	2486,6	87,56	14710	0,611
4	11,20	2,43	27,22	2809,0	103,20	15270	0,699
5	10,91	2,62	28,58	2221,0	77,85	17410	0,477
6	11,48	2,41	27,67	2503,4	90,71	15000	0,710
7	11,30	2,24	25,31	2541,5	100,20	13980	0,736
8	10,86	2,39	25,96	2537,0	97,74	15900	0,676
9	10,58	2,46	26,03	2356,7	90,59	12870	0,733
10	10,95	2,40	26,28	2494,7	95,13	15510	0,641
		Promedio	$\bar{x}$	2484,3	95,54	15057	0,682
		Desviación estándar	$S_{n-1}$	180,1	10,06	1261	0,097
		Coefficiente variación	CV	7,2	10,53	8	14,158

LANUM-EPN  
Orden N° 000002887



En la Fig. 2 se pueden apreciar las condiciones de las probetas de material compuesto identificadas como "3 capas de fibra de vidrio" después de los ensayos de tracción.



**Figura 2.** Probetas de material de la jaula colombiana (pigmento marrón/café) después de los ensayos de tracción.

b) En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de tracción en las probetas de material compuesto identificadas como "4 capas de fibra de vidrio".

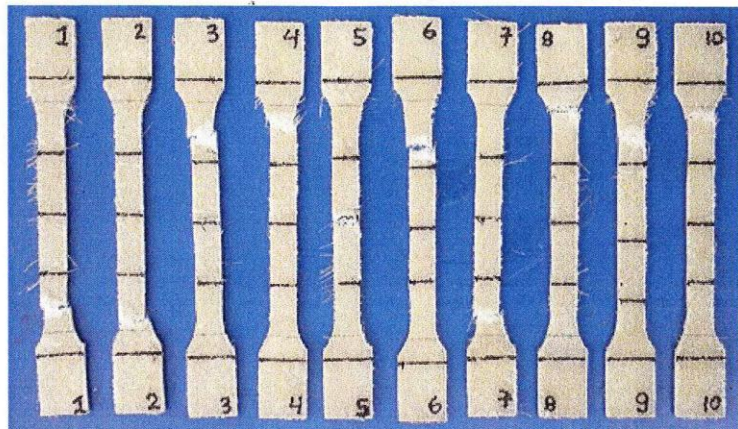
**Tabla 2.** Resultados de los ensayos de tracción realizados según la norma ASTM D638-14 en las probetas identificadas como "4 capas de fibra de vidrio".

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D638-10 (Material compuesto con refuerzo 4 capas de fibra de vidrio)							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo tangente (MPa)	Deformación a la rotura (%)
1	11,42	2,84	32,43	3280,6	101,00	18600	0,599
2	11,30	2,96	33,45	2552,3	76,18	9938	0,541
3	11,12	2,89	32,14	3402,5	105,80	36010	0,644
4	11,51	2,94	33,84	2825,0	83,62	21110	0,496
5	11,28	2,87	32,37	3155,2	97,50	16350	0,649
6	11,10	2,87	31,86	2933,3	92,12	21760	0,418
7	11,24	3,10	34,84	2824,2	80,92	13450	0,626
8	11,12	3,02	33,58	2815,0	83,86	15360	0,563
9	11,52	2,90	33,41	3196,7	95,52	13890	0,742
10	11,42	3,07	35,06	2158,3	61,54	15900	0,406
		Promedio	$\bar{x}$	2914,3	87,81	18237	0,568
		Desviación estándar	$S_{n-1}$	371,1	13,23	7185	0,106
		Coficiente variación	CV	12,7	15,07	39	18,694

En la Fig. 3 se pueden apreciar las condiciones de las probetas identificadas como "4 capas de fibra de vidrio" después de los ensayos de tracción.







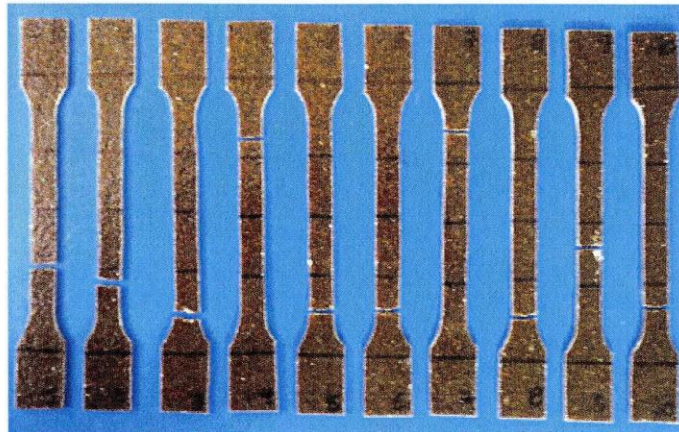
**Figura 3.** Probetas de material compuesto identificadas como "4 capas de fibra de vidrio" después de los ensayos de tracción.

c) En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de tracción en las probetas de material compuesto identificadas como "fibra natural 10%".

**Tabla 3.** Resultados de los ensayos de tracción realizados según la norma ASTM D638-14 en las probetas obtenidas con el material compuesto identificadas como "fibra natural 10%".

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D638-10 (Material compuesto con refuerzo de fibra natural 10%)							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo tangente (MPa)	Deformación a la rotura (%)
1	11,04	2,96	32,68	838,8	25,66	7612	0,388
2	10,83	2,68	29,02	649,9	22,35	7486	0,315
3	10,84	2,57	27,86	460,7	16,54	7335	0,230
4	10,68	2,84	30,33	680,7	22,40	9250	0,298
5	10,93	3,02	33,01	722,0	21,90	6914	0,323
6	11,18	3,06	34,21	709,8	20,74	4264	0,372
7	10,96	3,10	33,98	668,7	19,69	10530	0,239
8	11,08	3,16	35,01	712,4	20,34	8046	0,270
9	11,01	2,94	32,37	543,0	16,75	7679	0,220
10	11,02	2,80	30,86	597,3	19,35	6590	0,323
		Promedio	$\bar{x}$	658,3	20,57	7571	0,298
		Desviación estándar	$S_{n-1}$	104,9	2,74	1640	0,058
		Coefficiente variación	CV	15,9	13,30	22	19,415

En la Fig. 4 se pueden apreciar las condiciones de las probetas de material compuesto identificadas como "fibra natural 10%" después de los ensayos de tracción.



**Figura 4.** Probetas de material compuesto identificadas como "fibra natural 10%" después de los ensayos de tracción.

d) En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de tracción en las probetas de material compuesto identificadas como "fibra natural 15%".

**Tabla 3.** Resultados de los ensayos de tracción realizados según la norma ASTM D638-14 en las probetas obtenidas con el material compuesto identificadas como "fibra natural 15%".

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D638-10 (Material compuesto con refuerzo de fibra natural 15%)							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo tangente (MPa)	Deformación a la rotura (%)
1	10,76	3,48	37,44	769,7	20,60	12410	0,255
2	10,82	3,33	36,03	831,4	23,06	8397	0,314
3	11,10	3,60	39,96	791,6	19,82	7750	0,296
4	10,93	3,10	33,88	439,9	12,96	8346	0,165
5	11,29	3,34	37,71	789,2	20,96	7078	0,304
6	11,04	3,53	38,97	783,7	20,10	6790	0,315
7	10,80	3,43	37,04	709,6	19,16	6750	0,291
8	11,10	3,62	40,18	685,8	17,10	7045	0,262
9	10,94	3,42	37,41	478,0	12,79	10700	0,132
10	11,11	3,56	39,55	569,2	14,40	10560	0,173
		Promedio	$\bar{x}$	684,8	18,10	8583	0,251
		Desviación estándar	$S_{n-1}$	140,4	3,60	1973	0,069
		Coefficiente variación	CV	20,5	19,88	23	27,338

En la Fig. 5 se pueden apreciar las condiciones de las probetas de material compuesto identificadas como "fibra natural 15%" después de los ensayos de tracción.



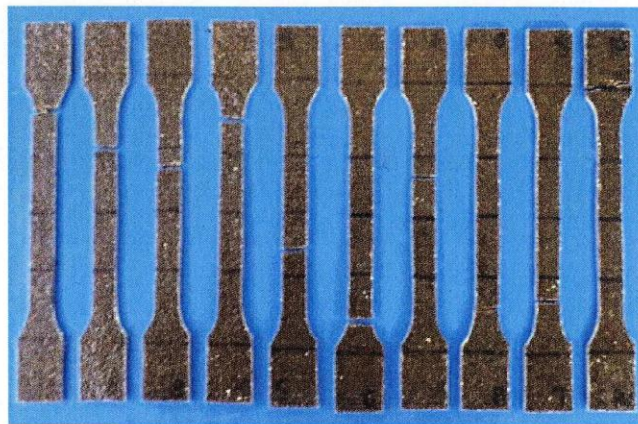


Figura 5. Probetas de material compuesto identificadas como "fibra natural 15%" después de los ensayos de tracción.

e) En la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de tracción en las probetas de material compuesto identificadas como "fibra natural 20%".

Tabla 3. Resultados de los ensayos de tracción realizados según la norma ASTM D638-14 en las probetas obtenidas con el material compuesto identificadas como "fibra natural 20%".

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D638-10 (Material compuesto con refuerzo de fibra natural 20%)							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo tangente (MPa)	Deformación a rotura (%)
1	11,76	3,44	40,45	957,5	23,64	8394	0,309
2	11,10	3,68	40,85	533,3	13,07	6978	0,192
3	12,65	3,12	39,47	849,1	21,48	14890	0,223
4	11,57	3,58	41,42	731,4	17,66	7668	0,231
5	12,21	3,30	40,29	897,1	22,23	10550	0,286
6	10,46	3,60	37,66	616,6	16,40	9334	0,186
7	11,94	3,48	41,55	849,2	20,44	6971	0,313
8	11,76	3,59	42,22	867,2	20,55	7509	0,317
9	12,37	3,34	41,32	693,1	16,75	8658	0,213
10	10,86	3,65	39,64	593,3	14,97	7832	0,199
		Promedio	$\bar{x}$	758,8	18,72	8878	0,247
		Desviación estándar	$S_{n-1}$	145,4	3,45	2383	0,053
		Coefficiente variación	CV	19,2	18,40	27	21,626

En la Fig. 6 se pueden apreciar las condiciones de las probetas de material compuesto identificadas como "fibra natural 20%" después de los ensayos de tracción.



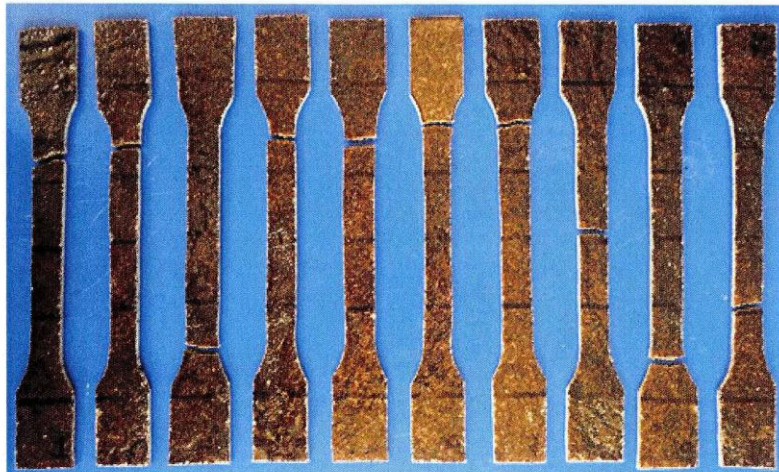


Figura 6. Probetas de material compuesto identificadas como "fibra natural 20%" después de los ensayos de tracción.

Víctor Hugo Guerrero, Ph.D.  
**JEFE DEL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES**

