



**ESPE**  
**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA  
ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

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

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PARACHOQUES DELANTERO Y  
POSTERIOR DE UN VEHÍCULO CHEVROLET OPTRA AÑO 2008 A PARTIR  
DE FIBRA NATURAL DE LA PLANTA DE ABACÁ**

**AUTORES:**

**DARWIN JAVIER MOREANO MOREANO**

**DAVID ANTONIO ZAMBRANO ROMERO**

**TUTOR: ING. MIGUEL CARVAJAL**

**LATACUNGA**

**2016**



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

Certifico que el trabajo de titulación **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PARACHOQUES DELANTERO Y POSTERIOR DE UN VEHÍCULO CHEVROLET OPTRA AÑO 2008 A PARTIR DE FIBRA NATURAL DE LA PLANTA DE ABACÁ”** realizado por los señores **DARWIN JAVIER MOREANO MOREANO**, y **DAVID ANTONIO ZAMBRANO ROMERO**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti –plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **DARWIN JAVIER MOREANO MOREANO**,y **DAVID ANTONIO ZAMBRANO ROMERO** para que lo sustente públicamente.

**Latacunga, 16 de agosto 2016**

  
Ing. Miguel Carvajal  
Tutor



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

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros **DARWIN JAVIER MOREANO MOREANO**, con cédula de identidad N°0503331050 y **DAVID ANTONIO ZAMBRANO ROMERO** con cédula de identidad 0503444234, declaramos que este trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PARACHOQUES DELANTERO Y POSTERIOR DE UN VEHÍCULO CHEVROLET OPTRA AÑO 2008 A PARTIR DE FIBRA NATURAL DE LA PLANTA DE ABACÁ**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría en virtud de ello me declaro responsable de contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Latacunga, 16 de agosto 2016**

  
Darwin Javier Moreano Moreano  
C.C.: 0503331050

  
David Antonio Zambrano Romero  
C.C.:0503444234



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

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **DARWIN JAVIER MOREANO MOREANO** y **DAVID ANTONIO ZAMBRANO ROMERO** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PARACHOQUES DELANTERO Y POSTERIOR DE UN VEHÍCULO CHEVROLET OPTRA AÑO 2008 A PARTIR DE FIBRA NATURAL DE LA PLANTA DE ABACÁ**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva autoría y responsabilidad.

**Latacunga, 16 de agosto 2016**

  
\_\_\_\_\_  
Darwin Javier Moreano Moreano  
C.C.: 0503331050

  
\_\_\_\_\_  
David Antonio Zambrano Romero  
C.C.: 0503444234

## DEDICATORIA

El presente trabajo que lo he realizado con gran dedicación y esfuerzo, así como mi carrera universitaria, la dedico con amor a mi madre Norma Sofía Romero Carrasco quien desde el primer momento de mi existir, me ha cuidado y protegido pese a todo, siendo la mujer incondicional que ha velado siempre por mí y que con mayor esfuerzo me ha criado y me ha hecho un hombre de bien, mi madre hermosa que sacrifico su vida por la mía, todo este esfuerzo es tuyo te amo con todo mi ser.

A mi mayor orgullo y bendición mi hijo David Mateo quien me impulso en cada momento a continuar cuando me rendía en quien he pensado durante todo este tiempo , a quien entrego mi esfuerzo para poder brindarle un buen futuro y demostrarle que los problemas no son obstáculos si no enseñanzas y que nosotros tenemos el valor suficiente de enfrentar cualquier adversidad y decirle que sepa que la vida hay que disfrutarla día a día sin importar nada ,la felicidad esta en uno ,y hay que hacer siempre lo que uno desee en la vida con pasión sin malicia alguna y serás feliz siempre.

Y a mis padres Marco Zambrano y Carlos Quevedo, por el apoyo incondicional que me han otorgado las enseñanzas con paciencia, brindándome aprendizajes de la vida, evitándome muchos tropezones innecesarios.

Este sueño cumplido también lo dedico con mucha ternura, a ese ser maravilloso que es mi segunda madre, mi abuelita Rebeca Carrasco, por todo el amor que me brindó, por sus palabras de motivación que con dulzura grabó en mi corazón, gracias a su ejemplo y enseñanzas soy una mejor persona y en especial por la bendición que me otorga siempre.

A mis hermanos Melanie y Andrés, a los cuales amo con todo mi corazón, y que siempre contaran conmigo, lucharía mil batallas por cada uno de ellos con solo verlos sonreír.

A mis tías, Diana Romero, Belén Romero, Margarita Romero, Mayra Romero, por todo el cariño que me han otorgado por saberme entender y siempre aconsejarme por sus sonrisas y aliento quienes me han cuidado desde que era un niño, así como la admiración que generan mis tíos Ángel romero y Carlos romero por jamás rendirse y ser hombres de sacrificio por sus familias.

A mis tíos José Luis, María del Carmen, Miguel Ángel, Anita y Héctor Hugo Zambrano quienes son un ejemplo de esfuerzo y superación los cuales me han brindado su apoyo y amor incondicional y siempre me han dado sus consejos, aliento y el estar siempre pendientes de mí.

DAVID ZAMBRANO

## AGRADECIMIENTOS

Luego de haber culminado mis estudios superiores y haber alcanzado la meta propuesta, quiero dejar constancia de mi profundo agradecimiento a Escuela Politécnica del Ejército sede Latacunga, departamento de Energía y Mecánica, institución modeladora del intelecto y del espíritu, a sus distinguidos catedráticos que de una u otra manera contribuyeron en mi formación académica; de manera especial quiero hacer llegar mi reconocimiento y gratitud al Ing. Miguel Carvajal el cual su con experiencia y amplios conocimientos supo guiar de manera adecuada en todo este proceso de titulación.

Finalmente agradezco con mucho cariño a mis compañeros Félix Mayorga, Martín Núñez, Darwin Semante mis fieles confidentes, por compartir el esfuerzo dado en mi camino universitario y ser un apoyo cuando perdía el aliento para continuar, y en especial a mi gran amigo y compañero de tesis Darwin Moreano que con paciencia me supo entender y sin duda fue el mayor apoyo, el cual puso todo su esfuerzo para que culminemos este sueño quien me alegraba en los días que ya no daba más quien fue mi soporte cuando caía a quien admiro por el gran ser humano que es y el cual agradezco a Dios por conocer.

DAVID ZAMBRANO

## DEDICATORIA

**A:**

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Mi madre Ofelia Moreano, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaste. Mamá gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto te lo debo a ti, gracias madre con tu carácter, has logrado hacer hombre el cual soy TE AMO.

Mi Padre Olmedo Moreano, Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

Mis hermanos, Magaly por ser ejemplo de vida, Richard por ser mi amigo, por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas gracias hermanos por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

Mi cuñado Rodrigo Taipe, por ser un amigo y ejemplo de vida, por apoyarme siempre, gracias cuñado por tus consejos, y por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

Mis tíos Homero, David, María, Hugo, Cesar, Milton gracias por su apoyo incondicional.

Finalmente a mi amiga, compañera, confidente y mi todo Jesica Álvarez.

DARWIN MOREANO

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todos los que formamos el grupo de trabajo. Por esto agradezco a nuestro tutor, Ing. Miguel Carvajal, a quien le debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza, a mi compañero David Zambrano, quien lo largo de este tiempo ha puesto a prueba sus capacidades y conocimientos en el desarrollo de nuestro proyecto de titulación, el cual ha finalizado llenando todas nuestras expectativas.

Agradezco a un gran amigo, pana, confidente Carlos Esmeraldas, por ser la persona quien ha estado con sus conocimientos, y paciencia, apoyándome y guiándome incondicionalmente en este proyecto de titulación.

Finalmente agradezco a mis amigos Félix Mayorga, Javier Murillo, Diego Puquji, Fabricio Chicaiza, Jonathan Aguilar, Luis Caizalitin, Eduardo Corrales, José Tubon, Mayra Tutillo, Pamela, Nelly quienes en este largo proceso de vida universitaria que hemos compartido momentos inolvidables.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	I
CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
AGRADECIMIENTOS .....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT.....	xxi

### CAPÍTULO I

<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes .....	1
1.1.1 Producción y mercado del abacá.....	1
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivo .....	5
1.3.1. Objetivo general .....	5
1.3.2. Objetivos específicos.....	5
1.4 Hipótesis.....	5
1.5 Variables.....	6
1.5.1 Operacionalización de variables .....	6

### CAPÍTULO II

<b>GENERALIDADES DE MATERIALES COMPUESTOS.....</b>	<b>7</b>
2.1 Importancia del material compuesto. ....	7
2.1.1 Componentes de los materiales compuestos .....	8

2.1.2	Matrices y refuerzos .....	10
2.1.3	Funciones de la matriz y los refuerzos .....	10
2.1.4	Selección de la matriz .....	12
2.1.5	Compuestos reforzados con fibras vegetales.....	17
2.2	Tipos de tejidos .....	19
2.2.1	Tejidos plano .....	19
2.2.2	Tejido sarga.....	20
2.2.3	Tejido satén.....	21
2.2.4	Fibras.....	23
2.2.5	Composición química de las fibras vegetales .....	27
2.2.6	Propiedades mecánicas de las fibras vegetales .....	29
2.3	Tratamiento de la fibra .....	31
2.4	Fibra natural abacá generalidades. ....	31
2.4.1	Características .....	31
2.4.2	Clasificación taxonómica del abacá:.....	32
2.4.3	Grado de la fibra .....	33
2.5	El abacá en el Ecuador .....	33
2.5.1	Variedades .....	34
2.5.2	Distribución geográfica de la producción nacional .....	35
2.6	Técnicas para el cultivo.....	36
2.7	Materiales compuestos en la industria automotriz. ....	40
2.7.1	Aplicabilidad.....	41
2.8	Métodos y técnicas de conformación de materiales compuestos .....	42
2.8.1	Estratificación Manual.....	42
2.8.2	Moldeo por aspersión.....	44
2.8.3	Moldeo por compresión.....	45
2.8.4	Extrusión.....	46
2.8.5	Inyección.....	46
2.8.6	Moldeo por transferencia de resina (RTM) .....	47
2.8.7	Moldeo por pultrusión.....	48
2.8.8	Selección del método de fabricación .....	48
2.8.9	Forma de las piezas.....	49
2.8.10	Dimensiones.....	49
2.8.11	Espesores .....	49

2.8.12	Aspecto.....	50
2.8.13	Porcentaje de refuerzo.....	50
2.8.14	Series de fabricación.....	51
2.8.15	Cadencias.....	51
2.8.16	Superficie de trabajo.....	51
2.8.17	Mano de obra.....	52
2.8.18	Inversiones.....	52
2.9	Tracción y Flexión.....	54
2.9.1	Tracción.....	55
2.9.2	Flexión.....	56
2.9.3	Esfuerzo de diseño.....	58
2.10	Diagrama tensión deformación típico de un material frágil.....	59
2.11	Consejo de investigación para la reparación de automóviles “RCAR”.....	60
2.11.1	Test de paragolpes.....	61
2.11.2	Test parachoque delantero configuración.....	62
2.11.3	Test parachoque posterior configuración.....	63
2.11.4	Barrera de acero diseño y dimensiones.....	63
2.11.5	Dimensiones.....	64

### **CAPÍTULO III**

	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS PROTOTIPO.....</b>	<b>64</b>
3.1	Ensayos empleados.....	67
3.2	Dimensionamiento específico de probetas.....	67
3.3	Fabricación de probetas.....	69
3.4	Muestras de probetas.....	70
3.4.1	Obtención del volumen de la matriz y el refuerzo.....	72
3.5	Ensayo de tracción mediante la norma ASTM D3039/ D3039M-08.....	76
3.6	Condiciones de ensayo según la norma ASTM D3039-08.....	76
3.7	Resultados.....	77
3.7.1	Probetas a tracción de fibra de abacá 30% volumen – 3 cm.....	77
3.7.2	Probetas a tracción de fibra de abacá 30% volumen - 2 cm.....	82
3.7.3	Probetas a tracción de fibra de abacá- tejido axial.....	84
3.7.4	Probetas a tracción de fibra de abacá- tejido plano.....	86

3.7.5	Probetas a tracción material polímero de parachoque .....	88
3.8	Ensayo de flexión mediante la norma ASTM D7264 / D7264M – 15.....	93
3.8.1	Condiciones de ensayo.....	93
3.8.2	Resultados.....	94
3.8.3	Probetas a flexión de fibra de abacá 30% volumen – 3 cm.....	94
3.8.4	Probetas a flexión de fibra de abacá 30% volumen - 2 cm.....	100
3.8.5	Probetas a flexión de fibra de abacá- tejido axial .....	102
3.8.6	Probetas a flexión de fibra de abacá- tejido plano .....	104
3.8.7	Probetas a flexión material polímero de parachoques .....	107

## CAPÍTULO IV

### DISEÑO E INGENIERÍA ASISTIDO POR COMPUTADORA DEL PROTOTIPO.....109

4.1	Diseño y modelación asistido por computador .....	113
4.2	Cumplimiento de estándares de prototipo.....	116
4.2.1	Solucionador (solver).....	117
4.2.2	Mallado.....	117
4.2.3	Tipología.....	118
4.2.4	Convergencia jacobiana.....	120
4.3	Ensayo de parachoques (bumper test) frontal y posterior según norma RCAR.....	122
4.4	Simulación en el software ANSYS .....	124
4.4.1	Simulación del parachoque delantero Optra 2008.....	124
4.4.2	Simulación parachoque delantero de compuesto resina epoxi – abacá a <b>10Km/h</b> .....	129
4.4.3	Simulación parachoque Optra 2008 posterior.....	133
4.4.4	Simulación del parachoque posterior a <b>10Km/h</b> de compuesto de fibra de abacá – resina epoxi.....	137
4.4.5	Resultados de la simulación parachoques delanteros .....	141
4.4.6	Resultados de la simulación parachoques posterior.....	141

## CAPÍTULO V

### PROCESO DE MANUFACTURA.....139

5.1	Definición y selección del proceso de manufactura .....	143
5.2	Características del proceso de manufactura. ....	144
5.2.1	Impregnación .....	144
5.2.2	Estratificación.....	144
5.2.3	Consolidación.....	144
5.2.4	Solidificación.....	145
5.3	Construcción de moldes .....	146
5.4	Acabados superficiales .....	150

## **CAPÍTULO VI**

<b>MARCO ADMINISTRATIVO .....</b>	<b>148</b>
-----------------------------------	------------

6.1	Recursos .....	152
6.2	Talento humano.....	152
6.3	Recursos tecnológicos .....	152
6.4	Recursos materiales.....	153
6.5	Financiamiento .....	154
6.6	Costos de mano de obra .....	154
6.7	Análisis del costo beneficio.....	154
6.8	Análisis de costos del proyecto .....	155

## **CAPÍTULO VII**

<b>VALIDACIÓN HIPÓTESIS .....</b>	<b>153</b>
-----------------------------------	------------

7.1	Conceptualización ANOVA.....	157
7.1.1	Hipotesis .....	157
7.1.2	Variables .....	157
7.1.3	Aplicación XLSTAT .....	158

<b>CAPÍTULO V III.....</b>	<b>158</b>
----------------------------	------------

8.1	CONCLUSIONES .....	162
8.2	RECOMENDACIONES .....	163

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>164</b>
---	------------

<b>ANEXOS</b> .....	163
---------------------	-----

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Producción y mercado del abacá.....	1
Tabla 2	Operacionalización de variables independiente y dependiente.....	6
Tabla 4	Especificaciones técnicas de la resina Epóxi Cretonbond 52YN.....	14
Tabla 5	Especificaciones técnicas de la resina poliéster.....	15
Tabla 6	Características generales de las diferentes resinas.....	16
Tabla 7	Cuadro comparativo de las propiedades de tejidos de refuerzo para materiales compuestos.....	22
Tabla 8	Clasificación de fibras de origen vegetal.....	26
Tabla 9	Composición química en porcentaje de algunas fibras vegetales.....	28
Tabla 10	Propiedades que la celulosa le confiere a una fibra natural.....	29
Tabla 11	Ventajas y desventajas de utilizar fibras naturales como refuerzos.....	30
Tabla 12	Clasificación taxonómica.....	33
Tabla 13	Diferencia entre los tipos de fibras que cultivan en el Ecuador.....	35
Tabla 14	Cuadro comparativo tecnologías de fabricación.....	53
Tabla 15	Especificaciones geométricas.....	68
Tabla 16	Resultados de los ensayos de tracción realizados según la norma ASTM D3039-08.....	78
Tabla 17	Resultados de los ensayos de tracción realizados según la norma ASTM D3039-08.....	83
Tabla 18	Resultados de los ensayos de tracción realizados según la norma ASTM D3039-08.....	85
Tabla 19	Resultados de los ensayos de tracción realizados según la norma ASTM D3039-08.....	87
Tabla 20	Resultados de los ensayos de tracción.....	89
Tabla 21	Resultados de los ensayos de flexión realizados según la norma ASTM D7264-15.....	94
Tabla 22	Resultados de los ensayos de flexión realizados según la norma ASTMD 7264-15.....	100
Tabla 23	Resultados de los ensayos de flexión realizados según la norma	

	ASTM D7264-15.....	103
Tabla 24	Resultados de los ensayos de flexión realizados según la norma ASTM D7264-15.....	105
Tabla 25	Resultados de los ensayos de flexión realizada según la norma ASTMD 7264-15.....	107
Tabla 26	Criterios para esfuerzos de diseño, esfuerzos normales directos. ....	128
Tabla 27	Tabla comparativa de los parachoques delanteros. ....	141
Tabla 28	Tabla comparativa de los parachoques posteriores. ....	141
Tabla 29	Recursos utilizados en los guardachoques compuesto resina –abacá. ..	153
Tabla 30	Mano de obra de los guardachoques delantero y posterior. ....	154
Tabla 31	Análisis del costo beneficio.....	155
Tabla 32	Costo total del proyecto.....	156
Tabla 33	Datos cuantitativos de la resistencia.....	158
Tabla 34	Datos cuantitativos (Estadísticos Descriptivos) .....	159
Tabla 35	Análisis de varianza .....	159
Tabla 36	Coefficientes estandarizados .....	160

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Producción y mercado del Abacá en el mundo. ....	2
Figura 2	Materiales compuestos en la naturaleza: (a) madera y (b) huesos. ....	8
Figura 3	Configuración básica de un material compuesto. ....	9
Figura 4	Componentes los materiales compuestos. ....	10
Figura 5	Carga de tracción aplicada al compuesto y soportada por los refuerzos. ....	11
Figura 6	Disposiciones comunes de fibras que refuerzan CMP. ....	18
Figura 7	Configuraciones comunes de fibras que refuerzan CMP. ....	19
Figura 8	Estructura básica del tejido plano. ....	20
Figura 9	(a) Tejido tipo basket2x2, (b) tejido tipo oxford y (c) tejido tipo leno. ...	20
Figura 10	Estructura del tejido sarga o diagonal. ....	21
Figura 11	(a) Tejido diagonal a mano derecha, (b) tejido diagonal a mano izquierda y (c) tejido diagonal 2x2 a mano derecha. ....	21
Figura 12	Estructura del tejido satén. ....	22
Figura 13	Clasificación de las fibras naturales. ....	24
Figura 14	Clasificación de las fibras químicas. ....	25
Figura 15	Tallos múltiples de la planta de abacá. ....	32
Figura 16	Fibra de Abacá. ....	33
Figura 17	Planta de abacá. ....	34
Figura 18	Deshoje. ....	37
Figura 19	Corte de Tallos. ....	37
Figura 20	Tuxeado. ....	38
Figura 21	Desfibrado. ....	39
Figura 22	Secado. ....	39
Figura 23	Estratificación manual. ....	44
Figura 24	Moldeo por aspersion. ....	45
Figura 25	Moldeo por compresión. ....	45
Figura 26	Extrusora de doble tornillo, modelo CKY75-180, marca Coperion. ....	46
Figura 27	Esquema del proceso de inyección. ....	47
Figura 28	Esquema del proceso de moldeo por transferencia de resina. ....	47
Figura 29	Proceso de pultrusión. ....	48
Figura 30	Representación esquemática de una carga a tracción (a) y compresión (b). ....	55

Figura 31	Diagrama tensión deformación de un material frágil.....	60
Figura 32	Test parachoque delantero.....	63
Figura 33	Test parachoque posterior. ....	63
Figura 34	Barrera de parachoques de acero con anti - retorno.....	64
Figura 35	Etiqueta de barrera y absorbedor de energía, sección A –A. ....	64
Figura 36	Amortiguador de energía y la cubierta de parachoques. ....	65
Figura 37	Barrera de acero diseño sin respaldo.....	65
Figura 38	Dimensiones de la barrera.....	65
Figura 39	Dimensiones de barrera principal, vista desde arriba.....	66
Figura 40	Medidas probetas de ensayo sometidos a tracción.....	68
Figura 41	Medidas probetas de ensayo sometidos flexión.....	69
Figura 42	Realización de tejido plano artesanalmente con fibra de abacá.....	70
Figura 43	Moldes macho y hembra.....	71
Figura 44	Maquina universal TINIUM serie SL.....	72
Figura 45	Esquema del proceso de fabricación de probetas.....	75
Figura 46	Obtención final de probeta.....	76
Figura 47	Ensayo de tracción siguiendo los parámetros de la norma ASTM D 3039-08.....	77
Figura 48	Ensayo de tracción con resina 52YN + 1 capa de fibra de abacá 30% volumen - 3 cm.....	78
Figura 49	Diagrama esfuerzo deformación muestra # 4.....	79
Figura 50	Cálculo del módulo tangente a través del diagrama esfuerzo deformación de la muestra # 4.....	81
Figura 51	Ensayo de tracción con resina 52YN + 1 capa de fibra de abacá 30% volumen - 2 cm.....	83
Figura 52	Diagrama esfuerzo deformación muestra # 2.....	84
Figura 53	Ensayo de tracción con resina 52YN + 1 capa fibra de abacá - tejido axial.....	85
Figura 54	Diagrama esfuerzo deformación muestra # 1.....	86
Figura 55	Ensayo de tracción con resina 52YN + 1 capa fibra de abacá - tejido plano.....	87
Figura 56	Diagrama esfuerzo deformación muestra # 1.....	88
Figura 57	Ensayo de tracción con polímero de parachoques del Chevrolet Optra..	89
Figura 58	Diagrama esfuerzo deformación muestra # 2.....	90

Figura 59	Cálculo del módulo tangente a través del diagrama esfuerzo deformación de la muestra # 2. ....	92
Figura 60	Ensayos de flexión realizados en las probetas de material compuesto, siguiendo los parámetros de la norma ASTM D7264-15.....	94
Figura 61	Ensayo de flexión con resina 52YN + 1 capa de fibra de abacá 30% volumen - 3 cm.....	95
Figura 62	Diagrama esfuerzo deformación muestra # 2.....	96
Figura 63	Cálculo del módulo tangente a través del diagrama esfuerzo deformación de la muestra # 2 a flexión. ....	97
Figura 64	Diagrama de momento. ....	98
Figura 65	Ensayo de flexión con resina 52YN + 1 capa de fibra de abacá 30% volumen - 2 cm.....	101
Figura 66	Diagrama esfuerzo deformación muestra # 3.....	102
Figura 67	Ensayo de flexión con resina 52YN + 1 capa fibra de abacá – tejido axial. ....	103
Figura 68	Diagrama esfuerzo deformación muestra # 3.....	104
Figura 69	Ensayo de flexión con resina 52YN + 1 capa fibra de abacá - tejido plano. ....	105
Figura 70	Diagrama esfuerzo deformación muestra # 3.....	106
Figura 71	Ensayo de flexión con polímero de parachoques del Chevrolet Optra. ....	107
Figura 72	Diagrama esfuerzo deformación muestra # 1.....	108
Figura 73	Cálculo del módulo tangente a través del diagrama esfuerzo deformación de la muestra # 2. ....	109
Figura 74	Diagrama de momento probeta polímero.....	110
Figura 75	Almazon de alambre del parachoques delantero.....	113
Figura 76	Almazon del alambre del parachoques posterior. ....	114
Figura 77	Superficie del parachoques delantero.....	114
Figura 78	Superficie del parachoques posterior. ....	115
Figura 79	Parachoques delantero ensamblado en superficies.....	115
Figura 80	Parachoques posterior ensamblado en superficies. ....	115
Figura 81	Parachoques delantero de Optra 2008.....	117
Figura 82	Mallado de un parachoques delantero de Optra 2008.....	118
Figura 83	Diferentes tipos de elementos. ....	118
Figura 84	Número de nodos de los parachoques delantero y posterior. ....	120

Figura 85	Parachoques delantero y posterior convergencia jacobiana.....	122
Figura 86	Alimentación del software para los parachoques delantero y posterior de compuesto resina epoxi y fibra de abacá.....	123
Figura 87	Alimentación del software para los parachoques delanteros y posteriores originales Optra 2008. ....	123
Figura 88	Deformación máxima del parachoque delantero Optra 2008 a 10Km/h.....	125
Figura 89	Resultados basados en la simulación parachoque delantero de compuesto resina epoxi – abacá a 10Km/h. ....	130
Figura 90	Deformación máxima del parachoque Optra 2008 posterior a 10Km/h.....	134
Figura 91	Resultados basados en la simulación del parachoque posterior a 10Km/h de compuesto de fibra de abacá – resina epoxi. ....	138
Figura 92	Esquema de procesamiento de construcción de moldes.....	147
Figura 93	Esquema de procesamiento de construcción de parachoques con base y matriz.....	149
Figura 94	Esquema de procesamiento de acabados superficiales. ....	151
Figura 95	Esquema de procesamiento. ....	153
Figura 96	Esquema de procesamiento. ....	158
Figura 97	Intervalo de confiabilidad del 95%. ....	160
Figura 98	Residuos estandarizados.....	161

## RESUMEN

El proyecto se realizó con la finalidad de determinar la factibilidad de crear autopartes en el país, con materia prima y mano de obra local. Al continuar la investigación y rigiéndonos mediante normas internacionales como lo son las ASTM en lo referente a los ensayos se pudo determinar las propiedades del compuesto para la aplicación en este caso de guardachoques apreciando mejor muestra de fibra de abacá colocada como refuerzo, indicando un  $\sigma=68,58$  (Mpa) así como su  $\epsilon= 2,82$  %, además del polipropileno en el cual el  $\sigma= 21,95$  (Mpa) y su  $\epsilon=10,90\%$ , se observa en sus resultados un comparativo de características en caso de la resistencia a la flexión , la cual a primera vista resalta que es un material tenaz capaz de absorber altas cargas en una colisión. Finalmente determinando la factibilidad del proyecto y deseando ver un punto de vista ya con cargas dinámicas o como lo son en un impacto nos guiamos con la norma RCAR para impactos y colisiones, la cual mediante el software de ingeniería ANSYS podemos observar el comportamiento del material al realizar una comparación entre los resultados de los parachoques originales y los realizados en base de fibra de abacá se observa un incremento de cuatro veces mayor en el esfuerzo máximo, así como en el posterior de dos veces mayor en comparación a los parachoques originales, otorgándole al material compuesto una alta tenacidad, además de un aumento en la deformación máxima del 17,03% en los parachoque delantero del compuesto así como un 26,72% en los parachoque posterior por lo cual utilizando la fibra de abacá como parámetro fundamental en desarrollo del proyecto se , utiliza la materia prima existente en el país.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **FIBRA DE ABACÁ**
- **INDUSTRIA AUTOMOTRIZ**
- **RECINAS**
- **TRATAMIENTO TÉRMICO**

## ABSTRACT

This project was performed in order to determine the feasibility of creating auto parts in the country with raw materials and local labor. Continuing research and rigiéndonos by international standards such as ASTM regarding the tests could determine the properties of the compound for use in this case guardachoques appreciating best example of abaca fiber placed as reinforcement, indicating a  $\sigma = 68.58$  (Mpa) and its  $\varepsilon = 2.82\%$ , addition of polypropylene in which  $\sigma = 21.95$  (Mpa) and  $\varepsilon = 10.90\%$ , observed in a comparative results of characteristics in if the flexural strength, which at first sight highlights is tenacious material capable of absorbing high loads in a collision.

Finally determining the feasibility of the project and wishing to see a point of view and with dynamic loads or as they are in an impact we are guided with RCAR standard for impacts and collisions, which by the engineering software ANSYS can observe the behavior of the material a comparison between the results of the original bumper and made based abaca fiber increased four times in the maximum stress is observed, and in the subsequent two-fold higher compared to the original bumper, giving the composite high toughness, in addition to an increase in the maximum deformation of 17.03% in the front bumper of the compound and a 26.72% in the rear bumper so abaca fiber using as a key parameter in the development of project uses the existing raw material in the country.

## KEYWORDS

- **ABACA**
- **AUTOMOTIVE FACTORY**
- **RESIN**
- **THERMAL TREATMENT**

## CAPÍTULO I

### 1.1 Antecedentes

En el Ecuador representa el 0,1% en la producción de abacá a partir de Noviembre desde 1999, hoy en día es una forma de ganarse la vida con un promedio de 29.652 personas, corresponde a 7.413 familias.

En todo el país hay 6.533 jornaleros y/u obreros dedicados al cuidado del cultivo y a labores de cosecha 7 obreros por cada 15 hectáreas. Existen también 130 obreros indirectos, los cuales incluyen a comerciantes, transportistas y personal administrativos de empresas de exportación.

La superficie utilizada en la producción de abacá es de aproximadamente 14.000 hectáreas distribuidas en 5 provincias, en Pichincha (80%), Esmeraldas, Manabí, Los Ríos y Cotopaxi. Entre ellas la provincia de Pichincha posee con mucha ventaja, la concentración más grande de familias cuyos trabajos están relacionados de alguna forma con la producción del abacá (5.931 familias) (Yanza, Octubre de 2014).

#### 1.1.1 Producción y mercado del abacá

**Tabla 1**  
**Producción y mercado del abacá.**

País	Distribución	Producción
Filipinas	79.00%	65,570.00
Ecuador	17.00%	14,110.00
Costa Rica	1.50%	1,245.00
Indonesia	1.02%	845.00
Guinea Ecuatorial	0.98%	815.00
Kenya	0.50%	415.00
<b>Total</b>	<b>100.00%</b>	<b>83, 000.00</b>

Fuente: (López, 2006)

Ecuador ocupa un segundo lugar con el 17 % de total, y Filipinas obtiene el 78% del total mundial, como se puede observar en el figura 1 ,por ello le convierte en el país con mayor producción de abacá, en el mundo, ante Costa Rica, Indonesia, Guinea Ecuatorial y Kenya , que suman en 5% en conjunto.



**Figura 1 Producción y mercado del Abacá en el mundo.**

Fuente: (López, 2006)

El país está conformado en un 89% por autos livianos y en 11% por pesados. Quito concentra el 28% de todos los vehículos que existen a nivel nacional, Guayaquil el 23%, Cuenca el 6%, y en Santo Domingo el 8%, y respecto a marcas, Chevrolet concentra el 40%, con 540 mil unidades a nivel nacional. Se estima que existen 1,5 millones de unidades. Pero son diez las marcas que tienen mayor presencia, las mismas que representan el 85% del parque automotor.

Entre estas constan: Chevrolet, Toyota, Mazda, Hyundai. La relación personas y número de autos también cambió en los últimos años. En el 2000 había siete autos por cada 100 habitantes, ahora la relación es: 11 autos por cada 100 personas. Por ciudades la situación cambia: por ejemplo, en Quito la relación es de 20 por 100 y en Guayaquil de 15 por 100. La importación de repuestos automotrices representa un rubro importante en el comercio ecuatoriano, además de significar una gran fuente de empleo directo (distribuidores y comerciantes de repuestos) e indirecto (talleres mecánicos,

cooperativas de transporte y turismo, compañías de Courier nacionales, entre otros). (García Guerra, 2014)

El sorprendente incremento del parque automotor ecuatoriano, compuesto principalmente por automóviles como: Chevrolet, Volkswagen, Peugeot, Fiat, entre otros, están fabricados con partes que son de origen coreano, brasilero entre otros países.

El sector automotor en el Ecuador tiene una participación muy importante en la economía del país por los ingresos que genera, se estima que el aporte al Fisco del sector por los impuestos aplicados a esta industria bordea los USD 400 millones. Además, es fuente de numerosas plazas de trabajo, llegando alcanzar en el 2010 cerca de 25.000 puestos de trabajo en las actividades directas e indirectas relacionadas a este sector; cerca del 30% del empleo generado se concentra en el área de ensamblaje y el 70% en el área de comercialización. (García Guerra, 2014)

## **1.2 Justificación**

Las fibras naturales tienen un bajo costo y una baja consistencia lo que les confiere una elevada resistencia específica. Son biodegradables y no presentan efectos abrasivos como las fibras de vidrio y los metales. En los dos últimos años se ha trabajado con intensidad en la fabricación de materiales reforzados con fibras naturales como una alternativa a los compuestos más clásicos reforzados con fibra de vidrio y el metal.

Estos materiales compuestos representan una importante alternativa en el reemplazo de los compuestos reforzados a base de metal, aluminio, cromo, tungsteno, etc. y cuyas propiedades resultan en muchas ocasiones comparables, e incluso presentan propiedades superiores.

Hoy en día en el Ecuador, hablar sobre la “Matriz Productiva” viene siendo una constante cada vez más amplia, tanto en los diferentes sectores productivos como en los diferentes niveles socioeconómicos. Pero cada vez parecería que se

“enreda” más la interpretación de este concepto. Este breve análisis lo que busca es ampliar la conceptualización del significado de la Matriz Productiva para el estado y, con ello, ver las diferentes alternativas de acción que se puede tener en el sistema productivo del Ecuador. (Jaramillo, 2014).

“La matriz productiva es el conjunto de interacciones entre los diferentes actores de la sociedad que utilizan los recursos que tienen a su disposición, con los cuales generan procesos de producción. Dichos procesos incluyen los productos, los procesos productivos y las relaciones sociales resultantes de esos procesos.” (Jaramillo, 2014).

El Ecuador se ha concentrado en la explotación de materias primas, con muy bajos niveles de tecnificación, lo cual ha provocado que sea un mercado muy susceptible de ser sustituido en los mercados internacionales. Esta realidad lo que provoca es una incesante necesidad de mayor explotación de recursos naturales que solamente ha permitido mantener los ingresos, ya que no se controlan los precios internacionales, colocándonos en una posición muy vulnerable. (Jaramillo, 2014).

En el Ecuador el desarrollo de materiales compuestos se encuentra en sus etapas iniciales, por ende, el uso de fibras naturales todavía es limitado. En general, la extracción de fibras vegetales ha tenido un desarrollo incipiente en el país, lo que puede cambiar tomando en cuenta el gran potencial que el Ecuador ofrece para la producción de fibras naturales y la necesidad de desarrollar aplicaciones de mayor valor agregado para las mismas. Resulta importante conocer la producción de fibras naturales en el país.

En cuanto a la producción de abacá, Ecuador es el segundo productor mundial después de Filipinas, con aproximadamente 10.000 toneladas anuales. (Guerrero, 2011)

### **1.3 Objetivo**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar y construir parachoques delantero y posterior de un vehículo Chevrolet Optra año 2008 a partir de fibra natural de la planta de Abacá.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Investigar fuentes bibliográficas con la adecuada certificación ISBN.
- Caracterizar el material mediante probetas de ensayo.
- Realizar ensayos de tracción y flexión en muestras del materiales tanto de fábrica como el compuesto natural de la fibra de abacá.
- Determinar las propiedades mecánicas de los materiales expuestos.
- Obtener la factibilidad del nuevo material mediante la comparación de los datos de cada compuesto previamente obtenido en ensayos.
- Determinar método de conformación de los parachoques delantero y posterior del vehículo Chevrolet Optra año 2008.
- Realizar moldes de parachoques delantero y posterior del vehículo Chevrolet Optra año 2008.
- Fabricar y dar acabados superficiales en los parachoques realizados con el nuevo material a base de la fibra natural de la planta de Abacá.

### **1.4 Hipótesis**

Es posible que los guardachoques del material compuesto en base a la fibra del Abacá tenga una resistencia mayor al material de los

guardachoques originales.

## 1.5 Variables

Variable Independiente. Guardachoques del material compuesto en base a la fibra del abacá y guardachoques de material original.

Variable Dependiente. Resistencia del material.

### 1.5.1 Operacionalización de variables

**Tabla 2**

**Operacionalización de variables independiente y dependiente.**

<b>OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTE.</b>				
<b>Contextualización</b>	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
En la determinación del material en base a la fibra de abacá para guardachoques en comparación a los guardachoques originales se determina el método de aplicación para la modelación de los guardachoques del material compuesto.	Modelación.	Tipo de Proceso.	Estratificación manual.	Observación directa. Reportes. Bibliografía.
	Conformación	Tipo de material.	Compuesto Polimérico	Investigaciones científicas. Artículos científicos. Fichas técnicas.
<b>OPERACIONALIZACION DE LA VARIABLE DEPENDIENTE.</b>				
En el estudio de la resistencia del material compuesto en base de fibra de abacá y el material original existen normas de ensayos mecánicos ASTM las cuales implican parámetros a considerar como el espesor, largo y ancho así como el número de muestras para tener valores de estandarización en los muestreos.	Parámetros Físicos.	Espesores.	Largo 250mm ancho 25mm espesor 2,5mm.	Ensayos de laboratorio: El uso de las normas ASTM.
	Superficie.	Volumen de	Porcentaje	Ensayos de

fibra.	volumétric o de fibra 30%.	laboratorio: Muestras de 5 probetas.
--------	----------------------------------	--

## CAPÍTULO II

### GENERALIDADES DE MATERIALES COMPUESTOS

#### 2.1 Importancia del material compuesto.

Hoy en día a nivel mundial el uso de las fibras naturales toma gran importancia, posee baja densidad, alta rigidez y la capacidad de biodegradarse, además gracias a las ventajas que estas presentan con el medio ambiente, la cual constituye un recurso natural y renovable. Actualmente a nivel mundial se produce aproximadamente 30 millones de toneladas de fibra natural. El uso de las fibras tiene una gran acogida en tapicería, la industria textilera y en aplicaciones industriales. (Guerrero, 2011)

Emplear fibras naturales en este tipo de materiales tendría como beneficio adicional la reducción del consumo de plásticos, consecuentemente disminuiría el uso de derivados del petróleo, a la vez que las fibras naturales constituyen una materia prima de bajo costo y de fácil obtención. Parece ser que hoy en día los compuestos son el material de elección para muchas aplicaciones de ingeniería. Sin embargo, la idea de material compuesto no es reciente, ya que su concepto ha sido manejado por el ser humano desde las primeras sociedades agrícolas. (Guerrero, 2011)

Un claro ejemplo es el adobe, el mismo que está compuesto por una matriz arcillosa reforzada con fibras vegetales o paja y ha sido utilizado desde la época de los egipcios. La naturaleza también presenta varios ejemplos donde se observan los principios de los materiales compuestos. En la figura 2 se muestran

dos ejemplos muy comunes de materiales compuestos naturales. (Guerrero, 2011)



a) Madera = Celulosa + Lignina  
Hidroxiapatita

b) Huesos = Colágeno +

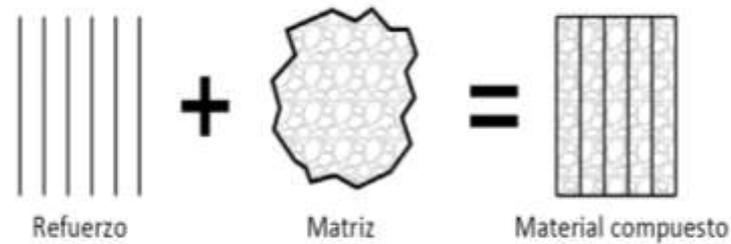
Fuente: (Guerrero, 2011)

La madera es un compuesto natural que se encuentra constituido de fibras largas de celulosa, las cuales son muy flexibles y se encuentran rodeadas por un material llamado lignina. Este último cumple el papel de matriz. Así mismo, los huesos son un material compuesto constituido por colágeno e hidroxiapatita. El colágeno es un material suave, mientras que la apatita es un material muy duro y quebradizo. De esta manera, es posible que los huesos posean características estructurales adecuadas. (Guerrero, 2011)

### 2.1.1 Componentes de los materiales compuestos

“Un material compuesto es básicamente un sistema de materiales formado por dos o más fases distintas, cuya combinación proporciona propiedades que son diferentes y mejores a las de sus constituyentes. En la figura 3 se ilustra la configuración básica de un material compuesto reforzado con fibras.” (Guerrero, 2011)

De manera general se considera a un material compuesto como un material multifásico, lo que refleja la importancia de cada una de las fases constituyentes. Es decir, la combinación de propiedades debe ser adecuada, para que el resultado obtenido sea un material con propiedades mejoradas de manera significativa. (Guerrero, 2011)



**Figura 3 Configuración básica de un material compuesto.**

Fuente: (Guerrero, 2011)

Los materiales compuestos pueden ser diseñados para exhibir varias propiedades específicas requeridas. Estas 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, como se muestra en la figura 4. (Guerrero, 2011)



**Figura 4 Componentes los materiales compuestos.**

Fuente: (Guerrero, 2011)

### 2.1.2 Matrices y refuerzos

En un material compuesto la matriz desempeña varias funciones. Fundamentalmente es la fase continua, la cual engloba y sostiene los elementos de refuerzo, otorgando consistencia y continuidad al material. Entre las funciones básicas se tienen las siguientes: (1) aglutinar los refuerzos, (2) transferir las cargas aplicadas sobre la matriz hacia los refuerzos, (3) proteger la superficie de los refuerzos de la abrasión mecánica, (4) proveer al refuerzo de una barrera contra los efectos del medio ambiente tales como la humedad y (5) 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. (Guerrero, 2011)

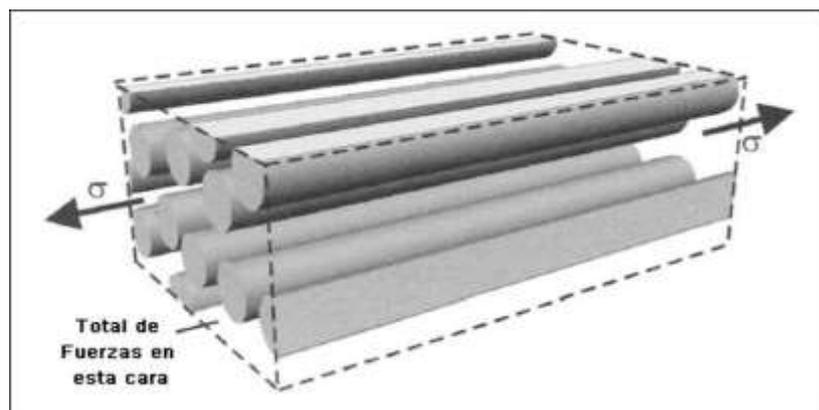
### 2.1.3 Funciones de la matriz y los refuerzos

Los compuestos pueden formularse para solventar diferentes necesidades. En el caso de los que están reforzados con fibras, esta necesidad suele ser la de

mejorar las propiedades mecánicas. Bajo este objetivo es necesario que la matriz y los refuerzos cumplan con lo siguiente:

### A. Funciones de los Refuerzos

En el caso de fibras, la principal función es la de soportar la carga aplicada al material, tal como se puede apreciar en la figura 5 (se estima que las fibras soportan entre el 79 y el 90% de las cargas de tracción). Además, deben proveer propiedades estructurales tales como resistencia mecánica y estabilidad térmica, y otras como las de conductividad eléctrica o aislamiento dependiendo del tipo de fibra usada. (Balseca, 2009)



**Figura 5** Carga de tracción aplicada al compuesto y soportada por los refuerzos.

Fuente: (Balseca, 2009)

### B. Funciones de la matriz

El material de la matriz es decisivo para alcanzar las propiedades finales del compuesto. Los refuerzos, por sí solos, no son suficientes; es por esto que deben estar alojados en una matriz que cumpla con las funciones detalladas a continuación:

- Sostener a las fibras y transmitir la carga aplicada sobre ella hacia las fibras. Esto provee rigidez y da la forma de la estructura.
- Aislar una fibra de otra de tal modo que estas puedan actuar separadamente. Esta característica permite detener o retardar la propagación de una fractura.
- Brindar un buen acabado superficial y ayudar en la producción de piezas que no necesiten maquinado sino que tengan la forma requerida con menos operaciones.
- Proveer la protección necesaria cubriendo a las fibras contra el ataque químico y el daño mecánico.
- Dependiendo del tipo de material, la matriz puede ofrecer ductilidad o resistencia al impacto. Una matriz dúctil puede incrementar la tenacidad del compuesto. Para altos requerimientos de tenacidad es recomendable utilizar matrices de materiales termoplásticos.
- La compatibilidad con la fibra a usarse así como el modo de falla es influenciado fuertemente por la matriz.

#### **2.1.4 Selección de la matriz.**

##### **A. Resina epóxi**

La resina epóxi o poliepóxido es un polímero termoestable (la resina) que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o endurecedor. Las resinas epóxi más frecuentes son producto de una

reacción entre bisfenol-a y la epiclorohidrina, el bisfenol A se obtiene de fenol y acetona. Las resinas epoxi están constituidas comúnmente de dos componentes que se mezclan previamente antes de ser usados; al mezclarse reaccionan causando la solidificación de la resina, su curado se realiza a temperatura ambiente, durante ese curado o secado se forman enlaces cruzados lo que hace que su peso molecular sea elevado. (Brico, s.f.)

**a) Ventajas de resina epoxidica**

- Humectación y de adherencia son óptima.
- Buen aislamiento eléctrico.
- Buena resistencia mecánica.
- Resistente a la humedad.
- Resisten el ataque de fluidos corrosivos.
- Resisten temperaturas elevadas.
- Excelente resistencia química.
- Poca contracción al curar.
- Excelentes propiedades Adhesivas.

**b) Especificaciones técnicas de la resina Epóxi Cretonbond 52YN**

**Tabla 3**  
**Especificaciones técnicas de la resina Epóxi Cretonbond 52YN.**

Diluyente	no requiere
Punto de inflamación	> 100°C
Temperatura de uso	10°C Y 30°C
Densidad	1,2 g/ml
Resistencia a la temperatura	100°C (seco continuo)
Resistencia a la tracción	78,5 MPa
Resistencia a la flexión	96 Mpa
Resistencia a la adherencia	13,8 Mpa
Tiempos de secado	1 hora
Costo	Kit 1 galón 80\$

## B. Resina poliéster

“Las resinas de poliéster son líquidas a temperatura ambiente y pueden ser llevadas a estado sólido, en el caso de las resinas pre-aceleradas, por la adición de un catalizador; y para resinas no pre-aceleradas un acelerador y un catalizador.” (Gil, 2012)

Las resinas se presentan en forma de plásticos termo-estables que son los que se emplean en los materiales compuestos.

El proceso de transformación de estado líquido a sólido se llama curado, polimerización o endurecimiento y viene acompañado de una reacción exotérmica (que desprende calor). Este cambio de estado no se presenta inmediatamente se adicionan los promotores de curado (acelerador y catalizador), es una reacción que ocurre a medida que transcurre el tiempo y se genera de forma gradual, pasando de estado líquido a estado gelatinoso (conocido como estado o tiempo de gel) y finalmente ha estado sólido. En las resinas de poliéster el acelerante o acelerador se llama octoato de cobalto y el catalizador se llama mek (metil-etil-cetona) peróxido. (Gil, 2012)

### **Ventajas resina poliéster:**

- Cristalinidad y transparencia, aunque admite cargas de colorantes.
- Buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes.
- Alta resistencia al desgaste.
- Muy buen coeficiente de deslizamiento.
- Buenas propiedades térmicas.
- Totalmente reciclable.
- Gran indeformabilidad al calor.
- Muy buenas características eléctricas y dieléctricas.

### c) Especificaciones técnicas de la resina poliéster

**Tabla 4**

**Especificaciones técnicas de la resina poliéster.**

Resistencia a la tracción	70 MPa
Módulo de elasticidad en tracción	4300MPa
Densidad	1,1 g/ml
Resistencia a la flexión	110 MPa
Resistencia a la adherencia	0,7 Mpa
Módulo de elasticidad	1700MPa
Punto de inflamación	34°C
Elongación a la rotura	2%
Temperatura de trabajo	80°C
Costo	Kit 1 galón 40\$

Fuente: (Cimpa, 2013)

A continuación en la tabla 6 se detalla las diferentes características que presentan los diferentes tipos de resinas:

**Tabla 5**  
**Características generales de las diferentes resinas.**

Propiedad	Matriz				
	Poliéster insaturado UP	Resina Epoxi	Resina Fenólica	Resina Vinilester	Resina Poliamida
<b>Densidad(gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1.17-1,26	1.11-1.25	1.25-1.3	1.17-1.25	1.27-1.42
<b>Alargamiento a la rotura (%)</b>	<3	6-8	<3	3.5-7	6-10
<b>Fluencia</b>	Muy baja				
<b>Temperatura de moldeo (°C)</b>	Temperatura ambiente hasta 180	Temperatura ambiente hasta 170	150-190	Temperatura ambiente hasta 175	350
<b>Temperatura de reblandecimiento</b>	80-160	80-130	100-150	100-150	260 en periodos cortos hasta 500
<b>Propiedades Teológicas</b>	Muy Buenas				Depende de fabricante
<b>Calor de reacción</b>	Reacción exotérmica dependiente de la geometría pieza				
<b>Contracción del fraguado (%)</b>	6-10 lineal entre 1.8 y 2.4	1-3	0.5-1.5	0.1-1	0.5-0.7
<b>Contracción posterior (%)</b>	Hasta 3	Prácticamente ninguna	Hasta 0.4	Hasta 1	Prácticamente ninguna
<b>Tiempo de almacenamiento</b>	Temp. Amb. 6 meses	Bajas Temp. 6 meses	Temp. Amb. 6 meses	Temp. Amb. 6 meses	Temp. Amb. meses

Fuente : (Nasimba, 2015)

Para la investigación se aplicará una resina epoxídica, de la marca CRETONBON, que tiene como características la facilidad de conformado, excelentes propiedades a temperatura ambiente, baja densidad de 1,2 g/ml tiene una resistencia a la tracción de 78,5 MPa mayor a la resina polietileno que tiene una resistencia a la tracción de 70 MPa por lo cual debido a las características de mayor resistencia requeridas para la implementación en los guardachoques que

tienen como finalidad absorber fuerzas en casos de impacto se opta por la resina epoxidica.

La resina epoxi en su estructura cuenta con un monómero reactivo, generalmente estireno, que formará entrecruzamientos entre las cadenas poliméricas durante el proceso de curado, además de proporcionar la viscosidad adecuada a la resina. Para que ocurra la reticulación (curado) se adiciona un iniciador, que es el encargado de desencadenar la reacción y posteriormente un catalizador o promotor para acelerar dicha reacción. (Nasimba, 2015)

### **2.1.5 Compuestos reforzados con fibras vegetales**

Las propiedades mecánicas de estas fibras suelen tener valores relativamente altos y si a esto se suma la capacidad que tienen de biodegradarse y su relativamente bajo costo, se tienen muchas ventajas al momento de elegir las como el refuerzo ideal de una matriz dada. Sin embargo, se debe tomar en cuenta la variabilidad que presentan en cuanto a su diámetro y contextura, por lo tanto en sus propiedades, lo que vuelve complicado el determinar un aporte exacto al compuesto que se está conformando. (Guerrero, 2011)

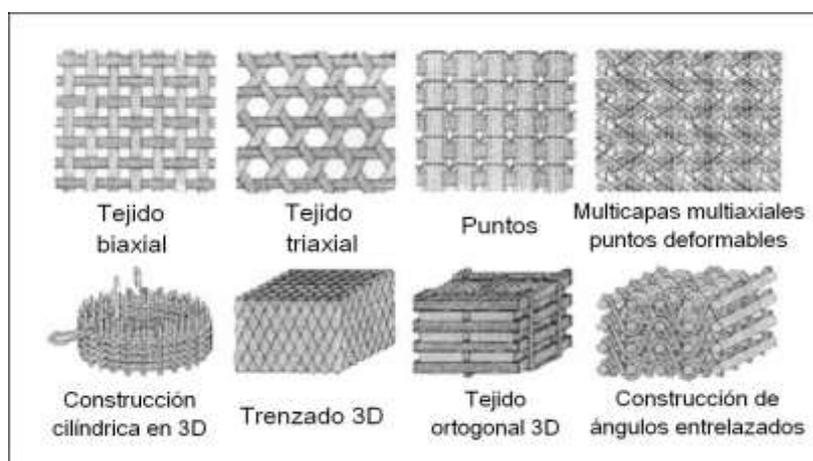
#### **A. Configuración y disposición de las fibras en el compuesto**

El arreglo u orientación de las fibras una con respecto a otra y su distribución dentro de un compuesto tiene una significativa influencia en la resistencia mecánica y en otras propiedades del compuesto reforzado por fibras. (Balseca, 2009)

Con respecto a la dirección de las fibras, dos extremos son posibles:

- Alineación paralela al eje longitudinal de las fibras en una sola dirección.
- Totalmente aleatoria.

Las fibras continuas se usan generalmente alineadas, mientras que las cortas se disponen aleatoriamente. Existen varias configuraciones como las que se puede observar en la figura 6. (Balseca, 2009)

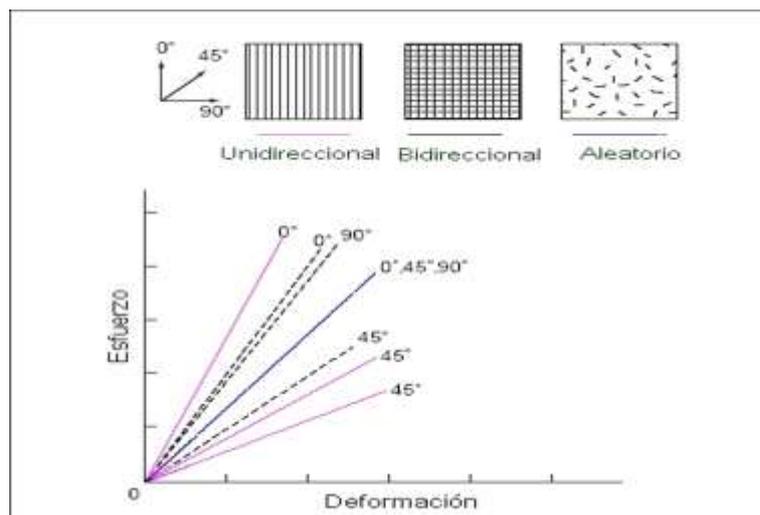


**Figura 6 Disposiciones comunes de fibras que refuerzan CMP.**

Fuente: (Balseca, 2009)

### C. Variación de propiedades

“Pueden existir grandes cambios debido a la orientación de las fibras y debido a su tamaño. En la figura 7 se puede observar la respuesta de diferentes compuestos ante cargas con diferentes direcciones a las de orientación de las fibras.” (Balseca, 2009)



**Figura 7 Configuraciones comunes de fibras que refuerzan CMP.**

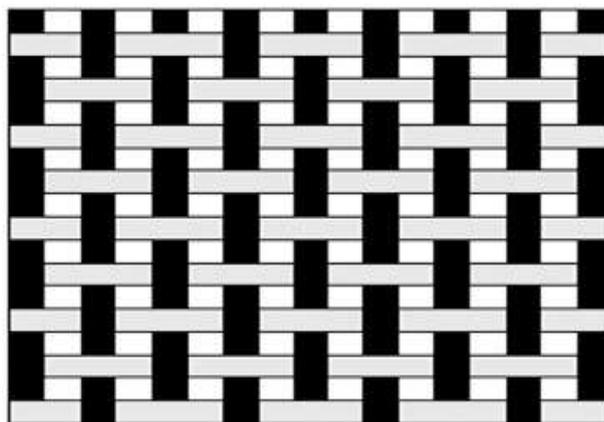
Fuente: (Balseca, 2009)

## 2.2 Tipos de tejidos

### 2.2.1 Tejidos plano

Los tejidos planos son los más simples de todos los tejidos y están formados por filamentos intercalados en donde las fibras de la trama pasan de manera regular y uniforme por encima y por debajo de la urdimbre. Así, la primera fibra correspondiente a la trama pasará por encima de la primera fibra de la urdimbre, debajo de la segunda, encima de la tercera y así sucesivamente. En la próxima columna, las fibras de trama pasarán debajo de la primera de urdimbre, encima de la segunda, debajo de la tercera y así sucesivamente.

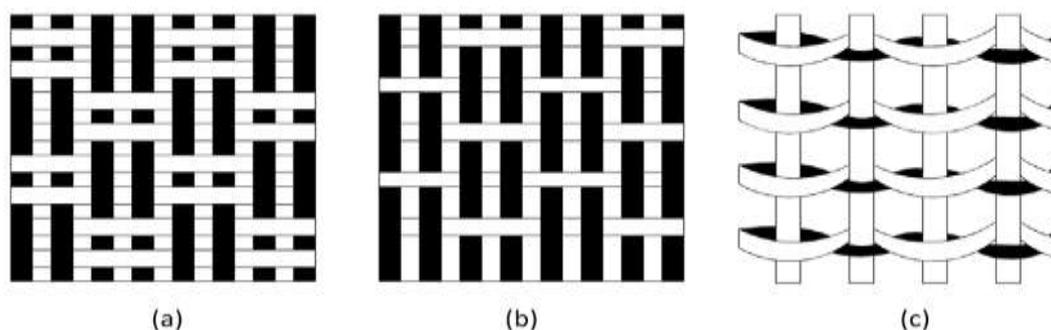
Después se continúa con estas repeticiones de la primera secuencia en la tercera columna y por ende en todas las columnas impares, como se muestra en la figura 8. Estos tejidos tienen un mayor número de entrelazamientos por unidad de área, lo cual puede reducir la resistencia y rigidez de un material compuesto. (Guerrero, 2011)



**Figura 8 Estructura básica del tejido plano.**

Fuente: (Guerrero, 2011)

“Los tejidos tipo plano generalmente son usados en conjunto con otros tipos de tejido debido a su gran abertura de malla. En la figura 9, se observan algunas de las variaciones de este tejido.” (Guerrero, 2011)



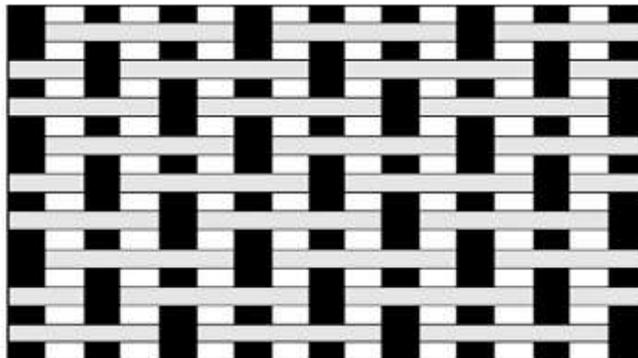
**Figura 9 (a) Tejido tipo basket2x2, (b) tejido tipo oxford y (c) tejido tipo leno.**

Fuente: (Guerrero, 2011)

### 2.2.2 Tejido sarga

Este tipo de tejido consiste en pasar un filamento de fibra de trama sobre dos de urdimbre, luego uno debajo y nuevamente dos encima. La secuencia continúa en la segunda fila de trama pero un filamento más delante de la urdimbre. Estos tejidos tienen una estructura compacta y generalmente presentan buena

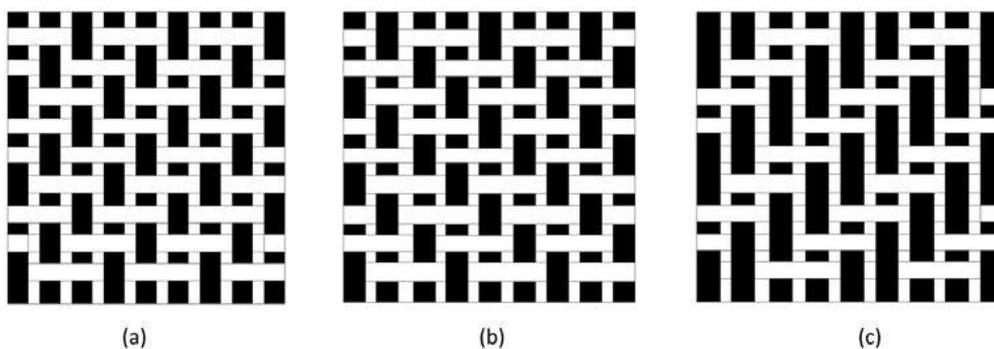
resistencia a la abrasión y al desgaste. En la figura 10, se puede observar la estructura básica de un tejido sarga. (Guerrero, 2011)



**Figura 10 Estructura del tejido sarga o diagonal.**

Fuente: (Guerrero, 2011)

El tejido tipo sarga como se muestra en la figura 11, presenta algunas variaciones, entre las cuales.



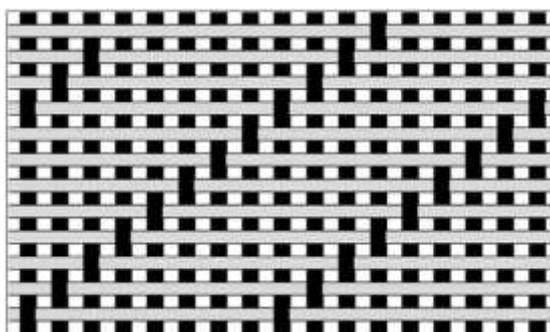
**Figura 11 (a) Tejido diagonal a mano derecha, (b) tejido diagonal a mano izquierda y (c) tejido diagonal 2x2 a mano derecha.**

Fuente: (Guerrero, 2011)

### 2.2.3 Tejido satén

En el tejido satén o raso, los filamentos de la urdimbre se dividen en series mayores que para la sarga (de cinco a ocho series). De estos filamentos, cada uno sólo cubre la trama en la primera pasada; en la siguiente, el tercero saltando

uno y así sucesivamente. De aquí resulta que, teniendo la urdimbre pocos enlaces con la trama, la superficie del tejido aparece brillante. En la figura 12, se puede observar la configuración de un tejido tipo satén. (Guerrero, 2011).



**Figura 12 Estructura del tejido satén.**

Fuente: (Guerrero, 2011)

En la tabla 7 se muestra un cuadro comparativo de las propiedades de los tejidos cuando éstos son usados como refuerzos en materiales compuestos.

**Tabla 6**  
**Cuadro comparativo de las propiedades de tejidos de refuerzo para materiales compuestos.**

PROPIEDAD	T. PLANO	T. DIAGONAL	T. SATÉN	T. BASKET	T. LENO
Estabilidad	4	3	2	2	5
Conformado	2	4	5	3	1
Porosidad	3	4	5	2	1
Acabado	2	3	5	2	1
Equilibrio	4	4	2	4	2
Simetría	5	3	1	3	1
Ondulación baja	2	3	5	2	3
<b>total</b>	22	24	25	18	14

Fuente: (Guerrero, 2011)

#### **2.2.4 Fibras**

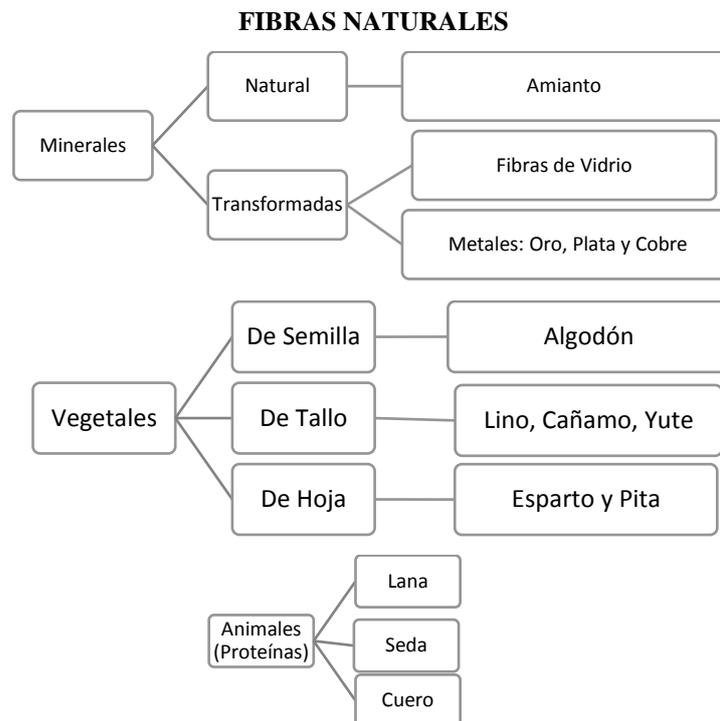
Existen una gran cantidad de materiales, que se presentan en la naturaleza, en forma de fibras, como estructuras unidimensionales delgadas, y largas, para considerarlas fibras estas deben tener un diámetro no mayor a 0,5 mm y debe estar orientado a lo largo de un solo eje. Las propiedades más notables en las fibras es su cohesión molecular. Otorga muy buenas características de resistencia a la tracción, aunque al aplicar cargas de compresión o flexión suelen doblarse fácilmente.

Por esta bondad es que se utilizan como refuerzos en materiales para obtener mejores propiedades. Un ejemplo de la edad antigua muy conocido es el de la utilización de paja para la fabricación de adobes por parte de los hebreos mientras eran esclavos en Egipto. Las fibras se utilizan como refuerzos de materiales para distintas aplicaciones. (Balseca, 2009)

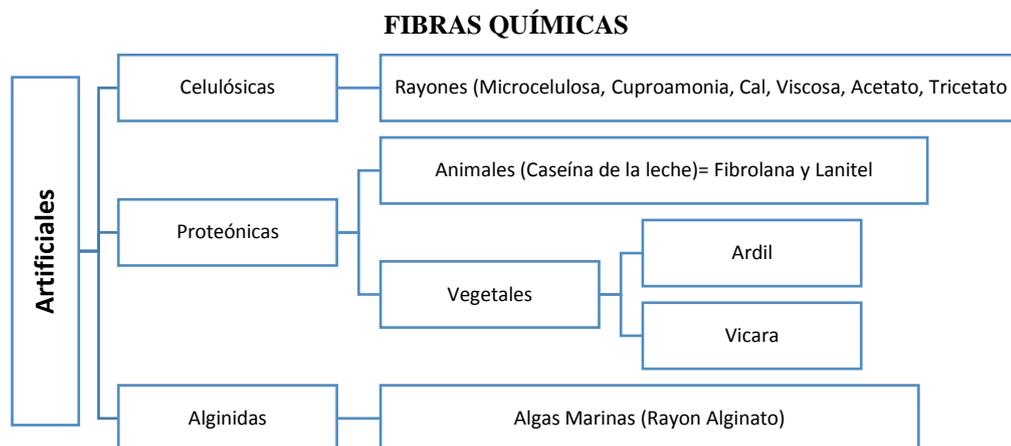
Una fibra que revolucionó el mundo por su resistencia y aplicabilidad en los productos de fibrocemento es el asbesto; lamentablemente, sus efectos cancerígenos han sido un verdadero problema para su aceptación en muchos lugares del mundo. (Balseca, 2009)

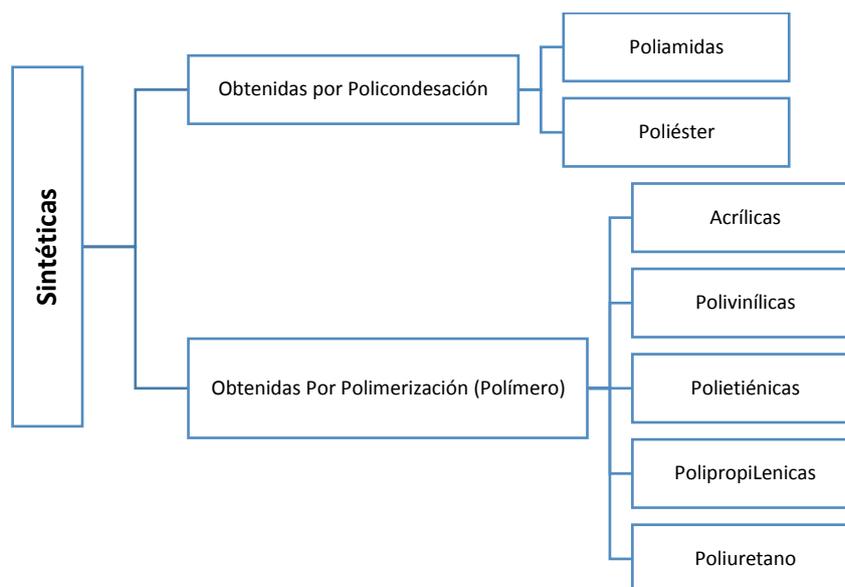
#### **B. Clasificación de las Fibras**

Se las divide según su origen en naturales, y químicas; y según su composición química en artificiales y sintéticas como se muestra en la figura 14. Las fibras naturales a su vez pueden ser de origen mineral, vegetal o animal, como se muestra en la figura 13. (Balseca, 2009)



**Figura 13** Clasificación de las fibras naturales.





**Figura 14 Clasificación de las fibras químicas.**

#### **D. Fibras Naturales de Origen Vegetal**

Las fibras naturales de origen vegetal se dividen en dos grandes grupos: las blandas, que son básicamente de la corteza o fruto de plantas, como el lino, algodón, coco, entre otras; las duras, que tienen su origen en las hojas, como la cabuya, abacá, , palmas, entre otras, como se muestra en la tabla 8.

Los usos de las fibras naturales son legendarios y de alta aplicabilidad dentro de la agricultura, ambiente, farmacéutica, cordelería, empaques, aglomerados, construcción, decoración, artesanías, industria automotriz, textiles, confecciones, papel, aseo y otros usos como combustible, aislante térmico, entre otros. (Balseca, 2009)

En la actualidad ha cobrado enorme importancia la investigación sobre el desarrollo de nuevos productos donde se utiliza fibras naturales. Se ha reportado, por ejemplo, la generación de plásticos inteligentes que permiten el paso de gases, así como plásticos biodegradables para proteger el ambiente. (Balseca, 2009)

**Tabla 7**  
**Clasificación de fibras de origen vegetal.**

<b>FIBRAS DE ORIGEN VEGETAL</b>				
<b>FIBRA</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>USO</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>INCONVENIENTES</b>
<b>Algodón</b>	Es una forma pura de celulosa de alta cristalinidad. Es la fibra de la semilla del algodón.	Textil	Fresco, flexible, no acumula electricidad estática. Tiene alta resistencia al rasgado y al frote, gran poder absorbente, no se apelmaza y es muy duradero.	Encoge si se lava a demasiada Tª y tiende a arrugarse.
<b>Capoc</b>	Es una fibra similar al algodón obtenida de las semillas del árbol de la especie ceiba pentandra. Al ser corta y frágil no puede hilarse igual que éste	Relleno en tapicería, chalecos salvavidas, material aislante.	Ligero. Propiedades repelentes del agua.	
<b>Lino</b>	Fibras obtenidas del tallo de las plantas de la cual coge su nombre. Se debe lavar siempre a mano, nunca debe centrifugarse, ni lavarse a Tª altas.	Ropa de cama, manteles, telas para velas y en menor medida para ropa de vestir.	Fácil de teñir. Es muy fresca debido a que absorber mucha humedad. Agradable al tacto. No acumula electricidad estática.	Fuerte tendencia a arrugarse.
<b>Rafia</b>	Hierba de aproximadamente 1 m de altura, de cuyas hojas se extrae una fibra.	Confección de sombreros, esteras, cesta		
<b>Ramio</b>	Fibra lustrosa más fuerte que el algodón.	Confección de cordeles. Los tejidos (suelen ir mezclados con otras fibras) se usan en colchonería, tapicería	Resistente a los productos químicos fijan bien los tintes, es duradera y suave.	Difícil de hilar. Tendencia a arrugarse
<b>Esparto</b>	También llamado.	Para la industria del papel. Su uso principal:		

CONTINÚA 

		la fabricación de cestas y cuerdas.
<b>Yute</b>	Se extrae de los tallos del yute. Absorbe humedad, es muy sensible a los ácidos, las lejías no le afectan.	Para tejidos para embalajes como sacos y también para cordonería.
<b>Abacá</b>	Fibra fuerte y dúctil.	Con él se confeccionan numerosos géneros textiles: - Tejidos bastos - Cuerdas - Lonas
<b>Abacá de cuerda</b>	Fibra similar al cáñamo. Es larga, sedosa, elástica	- Cabos - Esteras - Tejidos bastos Resistente a la putrefacción por el agua.
<b>Abacá de manila</b>		Las fibras finas se usan para fabricar tejidos. Las más bastas, para cuerdas y cabos

### 2.2.5 Composición química de las fibras vegetales

Las fibras vegetales están constituidas fundamentalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, por esta razón son llamadas fibras lignocelulósicas. Además, su estructura se encuentra formada por algunos elementos minoritarios como proteínas, ceras, resinas y algunos productos inorgánicos. (Guerrero, 2011)

La composición química de las fibras varía según las diferentes especies, la edad de la planta y las condiciones climáticas, pero de manera general se ha

encontrado que la relación entre la celulosa, hemicelulosas y lignina. El contenido de estos componentes en las fibras vegetales permite inferir en el comportamiento que éstas van a presentar al someterlas a diferentes aplicaciones industriales. En la tabla 9 se exhibe el contenido de los principales componentes de algunas fibras vegetales. (Guerrero, 2011)

**Tabla 8**  
**Composición química en porcentaje de algunas fibras vegetales.**

<b>FIBRA</b>	<b>CELULOSA (% PESO)</b>	<b>HEMICELULOSA (% PESO)</b>	<b>LIGNINA (% PESO)</b>
<b>Lino</b>	71,2	18-20	2,2
<b>Cáñamo</b>	70-75	17-22	3,7-5,7
<b>Yute</b>	61-71	13-20	8,1-13
<b>Kenaf</b>	45-57	21	8-13
<b>Ramio</b>	68-76	13-16	0,6-0,7
<b>Abacá</b>	63-70	20-21	5-6
<b>Sisal</b>	67-78	10-14	8-14
<b>Algodón</b>	82-93	3-6	-----
<b>Bambú</b>	35-61	15	27-32
<b>Coco</b>	32-43	0,15-0,25	40-45
<b>Banana</b>	63-64	10	5
Formio	71,3	-----	----

Fuente: (Guerrero, 2011)

La fibra de celulosa es en general una estructura muy firme y poco sensible a la degradación. La cristalinidad de la celulosa se encuentra en función de la gran cantidad de puentes de hidrógeno, hecho que además explica porque la celulosa no es soluble en los sistemas de solventes usuales. (Guerrero, 2011)

Ella es la responsable de determinadas propiedades físicas y mecánicas de las fibras por constituir el material de sostén del vegetal, dándole resistencia y tenacidad. Cuando el contenido de celulosa de una fibra es considerable, se presenta propiedades como las que se indicaran en la tabla 10. (Guerrero, 2011)

**Tabla 9**  
**Propiedades que la celulosa le confiere a una fibra natural.**

<b>FIBRA CON ALTO CONTENIDO DE CELULOSA</b>	
<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Gran capacidad de absorber humedad	Baja resiliencia
Capacidad de soportar altas temperaturas	Susceptible a daños por ácidos minerales y orgánicos.
Bajo volumen	Alta flamabilidad
Buen conductor de la electricidad	Resistencia moderada a la luz solar

Fuente: (Guerrero, 2011)

### **2.2.6 Propiedades mecánicas de las fibras vegetales**

Las fibras naturales han sido usadas para reforzar materiales compuestos desde épocas pretéritas porque la experiencia ha demostrado que son bastante fuertes y resistentes. Para obtener buenas propiedades mecánicas en estos materiales se debe partir de fibras fuertes, con buena adherencia con la matriz y con una orientación adecuada con respecto a la dirección de la carga a la que va a someterse. (Guerrero, 2011)

Es importante destacar que cuando se elige una fibra como refuerzo, se deben tomar en cuenta algunos parámetros importantes que determinarán la facilidad de su producción y el rendimiento que estas presentarán. En la tabla 11 se señalan algunas de las ventajas y desventajas de utilizar fibras naturales como refuerzo. (Guerrero, 2011)

**Tabla 10**  
**Ventajas y desventajas de utilizar fibras naturales como refuerzos.**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Sostenibilidad	Baja resistencia al agua
Generan un bajo consumo de $CO_2$	Alta absorción de agua
Son biodegradables	Baja estabilidad dimensional
Requieren un bajo consumo de energía	Pobre interfaz
No quedan residuos tóxicos al quemarlas	Dureza
Su densidad es baja	Dificultad en su procesamiento
Poseen buenas propiedades mecánicas	Calidad heterogénea
No son tóxicas ni abrasivas	Demanda y ciclos de suministro variables
Tienen bajo costo	Presentan alta flamabilidad

Fuente: (Guerrero, 2011)

Aunque las propiedades mecánicas de las fibras artificiales son superiores a las que presentan las fibras vegetales, cabe destacar que estas últimas son aproximadamente un 50% más livianas, 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 y aeronáutica. Otro beneficio de las fibras naturales para la industria es que son en general menos costosas y requieren menor consumo de energía que las sintéticas, lo que repercute en un bajo costo de procesamiento y en un mínimo impacto sobre el medio ambiente. (Guerrero, 2011)

Cabe mencionar que las propiedades mecánicas finales de este tipo de materiales dependen de la orientación de las fibras. De materiales reforzados con fibras largas orientadas en una sola dirección lo que se va a obtener son materiales anisotrópicos; es decir, que tienen propiedades mecánicas diferentes en distintas direcciones. Por otro lado, se utiliza fibras cortas se obtendrá materiales cuasisotrópicos. (Balseca, 2009)

Para algunas aplicaciones (especialmente de moldeo) las fibras continuas son un inconveniente para el procesamiento del compuesto. Si se usa fibras cortas se espera que las propiedades obtenidas sean mucho más bajas con respecto a las

obtenidas con fibras continuas. El promedio de la carga soportada por las fibras cortas es apenas la mitad que la soportada por las fibras largas, es decir, el esfuerzo a la rotura es un poco más de la mitad que el obtenido por las fibras largas si es que estas fibras cortas estuvieren alineadas en una sola dirección. (Balseca, 2009)

En flexión, compresión y corte, los compuestos formados por fibras cortas son probablemente mejores que los que están formados por fibras continuas. Esto se debe a que la orientación aleatoria de los primeros indica que al menos alguna de las fibras estará correctamente alineada para resistir la deformación por este tipo de esfuerzos (Balseca, 2009)

### **2.3 Tratamiento de la fibra**

Las fibras vegetales contiene una mayor humedad, esto es debido a su origen y condición primitivo, para la utilización del refuerzo como material compuesto, es necesario realizar un tratamiento a la fibra la cual consiste en el proceso de secado a una temperatura de 140 °C durante un periodo de 15 minutos para reducir el porcentaje de humedad de la fibra natural de Abacá. (Balseca, 2009)

### **2.4 Fibra natural abacá generalidades.**

#### **2.4.1 Características**

El abacá es una planta perenne que nace de rizomas cortos, de los cuales emerge un gran número de hijuelos formando un grupo de tallos de 3 a 6 metros de altura como se muestra en la figura 15. Es un vegetal de producción perenne, con un ciclo inicial de 18 a 24 meses, luego de lo cual se realizan cosechas cada

2 o 3 meses. Su periodo de producción es aproximadamente de 15 a 20 años. (Balseca, 2009)



**Figura 15 Tallos múltiples de la planta de abacá.**

La planta madura tiene de 12 a 20 tallos, los mismos que miden de 2,6 a 6,7 m de alto. De los tallos proceden las vainas de las hojas que miden de 1 a 2,5 m de largo. Las mejores regiones para cultivar esta planta son con clima tropical húmedo y temperaturas que varían de 22 a 28 °C. La composición química de la fibra de abacá, corresponde a 62,27 % de celulosa, 21,83 % de sustancias pépticas, 11,85 % de agua y 1,63 % de cenizas, grasas y ceras. (Antonio, 2012)

#### **2.4.2 Clasificación taxonómica del abacá:**

**Tabla 11**  
**Clasificación taxonómica.**

NOMBRE BINOMIAL	MUSA TEXTILES
Reino	Plantae
División	Angiosperma (Magnoliophyta)
Clase	Monocotiledóneas (Liliopsida)
Orden	Zingiberales
Familia	Musaceae
Género	Musa

Fuente: (Antonio, 2012)

### 2.4.3 Grado de la fibra

La fibra de abacá como se muestra en la figura 16 es categorizada según parámetros de limpieza, color, espesor, brillo y espesor. Es una fibra privilegiada por sus propiedades de resistencia al agua, especialmente al agua salada, por lo que es utilizada para fabricar cordelería utilizada en la pesca, además es aplicada en la producción de papel, envolturas para embutidos y es preferida para la fabricación de bolsas de té por su limpieza y estructura que permite la rápida difusión del extracto del mismo. En el Ecuador se consideran cinco categorías de fibra de abacá, siendo la primera categoría la de mejor calidad y la de quinta categoría de menor calidad. (Antonio, 2012)



**Figura 16 Fibra de Abacá.**

## 2.5 El abacá en el Ecuador

El abacá y el banano tienen flores y frutas similares pero se diferencian por la forma de sus hojas; las del banano son redondeadas, mientras que las de abacá son más pequeñas y puntiagudas. Esta planta, que alcanza un promedio de dos metros de altura, tiene una gran importancia económica principalmente por la fibra que se extrae de sus pseudotallos ya que se utiliza para algunas aplicaciones artesanales e industriales con una densidad de 1,3 gr/cc . Sus frutos, mostrados en la figura 17, no son comestibles. (Guerrero, 2011)

El abacá o el Cñamo de Manila (*Musa textilis*) es una planta herbácea que pertenece a la familia Musáceas. Tiene una apariencia muy similar al banano, pero sus propiedades y sus usos son diferentes. (Balseca, 2009)



**Figura 17 Planta de abacá.**

### **2.5.1 Variedades**

“Existen algunas variedades de abacá, pero no todas se cultivan comercialmente. En el país son cultivadas en mayor cantidad la bungalanón y marginalmente la tangongón. Las diferencias más notables entre ambas especies se citan en la tabla 13 En este estudio se utilizará las fibras de abacá de variedad bungalanón, puesto que su cultivo es muy superior al de la otra variedad, que está en vías de desaparición.” (Balseca, 2009)

**Tabla 12**  
**Diferencia entre los tipos de fibras que cultivan en el Ecuador.**

BUNGALANÓN	TANGONGÓN
Variedad Precoz	Producción de hijuelos limitados
Mayor desarrollo como planta	Tallos de diámetro y longitud mayores
Color café en las base y verde	Ligeramente más resistente al mal de Panamá
Brillante en la parte superior	
Fibras blancas y suaves	Fibra áspera pero fuerte

Fuente: (Balseca, 2009)

### 2.5.2 Distribución geográfica de la producción nacional

El clima de Ecuador es muy ventajoso para la producción de la fibra de abacá.

Las plantas de abacá se encuentran localizadas en las provincias de Manabí, Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, Esmeraldas, Los Ríos (Quevedo).

Las zonas donde se encuentran mayormente las plantaciones son en Santo Domingo de los Tsáchilas (36%) y la Concordia (39%). (Muñoz & Zambrano, 2015)

Según el III Censo Nacional Agropecuario, realizado en el año 2000 en el Ecuador se registraron 640 unidades de producción agropecuarias que suman 14.831 hectáreas al cultivo del abacá. La superficie cosechada en el tiempo de referencia del censo fue de 13.986 hectáreas y los principales motivos de las pérdidas de producción se debieron a los bajos precios pagados al productor. La superficie sembrada para el cultivo de abacá de 14.831 hectáreas representa el 0.84% del total nacional que es 1.756.488 hectáreas. A diferencia de otras plantaciones, el abacá no se siembra acompañado de otros cultivos. Según los datos del censo, sólo el 1% de las plantaciones de abacá aparece como cultivo asociado. (Muñoz & Zambrano, 2015)

## **2.6 Técnicas para el cultivo**

“En el Ecuador se obtiene una productividad promedio de fibra de 1,1 a 2 TM/ha. Para llegar a este objetivo se lleva a cabo una serie de operaciones antes de la cosecha que se describen brevemente a continuación:” (Villaprado, 2012)

### **A. Cosecha**

El tiempo que se demora una plantación, entre la siembra y la cosecha, depende de varios factores entre ellos: la naturaleza del terreno, variedad, selección de la semilla, condiciones climáticas, labores culturales, etc. Pero en general, se siembra a la primera cosecha hay entre 18 y 24 meses. El momento propicio para iniciar el corte, es cuando la inflorescencia empieza a formarse. No se recomienda antes ni después de presentar esta condición la planta, ya que se desmejora la calidad y la producción de la fibra se reduce. El proceso de cosecha hasta tener la fibra lista para la venta se realiza mediante las siguientes operaciones: (Villaprado, 2012)

### **B. Deshoje**

Consiste en deshojar y despuntar los tallos que están listos para cosechar. En esta labor se le va indicando al cortador los tallos que han llegado al estado de corte, como se muestra en la figura 18. (Balseca, 2009)



**Figura 18 Deshoje.**

### **C. Corte de Tallos**

“Los tallos seleccionados se cortan a 10 cm del suelo, con un corte en bisel (inclinado) y hacia fuera con el propósito de evitar la pudrición y el ingreso de enfermedades por la parte cortada del tallo que permanece en el suelo, como se muestra en la figura 19.” (Balseca, 2009)



**Figura 19 Corte de Tallos.**

Fuente:[http://www.boandaropax.com/2014\\_04\\_01\\_archive.html](http://www.boandaropax.com/2014_04_01_archive.html)

### **E. Tuxeado**

En el tallo cortado que se encuentra en el suelo, se separan las vainas, que lo rodean y luego con un cuchillo, se cortan en tiras o “tuxes” de 5-8 cm de ancho por 2-4 cm de espesor, y la longitud queda determinada por el tamaño del tallo. Las vainas exteriores producen fibra de calidad inferior, de color canela y las interiores son de mejor calidad por su color blanco, como se muestra en la figura 20. (Villaprado, 2012)



**Figura 20 Tuxeado.**

### **F. Desfibrado**

Se realiza por medio de una máquina que se compone de dos partes; el motor a diésel que genera movimiento (de 8 a 14 caballos de fuerza) a un rodillo; y la desfibradora propiamente dicha que se compone básicamente del rodillo, cuchillas y un sistema de embrague y apertura de las cuchillas, operación que se lleva a cabo con la otra mitad de tuxe que se encuentra envuelto en el rodillo, como se encuentra en la figura 21. (Villaprado, 2012)



**Figura 21 Desfibrado.**

### **G. Secado**

“La fibra obtenida tiene un alto porcentaje de humedad, por lo que es necesario secarla en la misma finca, en tendales construidos de pambil o de caña guadua.” (Villaprado, 2012)

El tiempo de secado de la fibra puede ser horas o días dependiendo de las condiciones climatológicas existentes en ese momento. Paralelamente a esta actividad se va realizando una clasificación preliminar de acuerdo al color que presenta la fibra, como se puede observar en la figura 22. Luego del secado la fibra es arrumada o amontonada en lugares secos con cubierta y ventilación después del secado la fibra siempre conserva cierta humedad y al no tener ventilación toma un mal color y por lo tanto se desmejora su calidad. (Villaprado, 2012)



**Figura 22 Secado.**

## 2.7 Materiales compuestos en la industria automotriz.

Los materiales han sido la columna vertebral de la industria automotriz, que está siendo afectada por la legislación de emisiones de  $CO_2$ . Para combatir esto, un motor más pequeño, turbo-carga y un menor peso son las tendencias globales que están afectando a la elección de los materiales. Una reducción del 10% en el peso del vehículo resulta en un ahorro de combustible de 5 a 7 %, siempre que el tren de potencia sea reducido (o un ahorro de combustible de 3 a 4 % sin modificaciones del tren de potencia). Las sanciones por exceso de emisiones de los vehículos han asegurado que los fabricantes utilicen cada material como una variable de diseño para asegurar que el peso del vehículo se reduzca, sin comprometer la seguridad y el desempeño. Los estudios de los materiales han demostrado que el aluminio, acero avanzado de alta resistencia (AHSS), y algunos plásticos como el polipropileno (PP), poliamida (PA) y poliuretano (PU) se han convertido en las opciones preferidas para el diseño de peso ligero. (Touzet, 2012)

Los metales, debido a su resistencia, reciclabilidad y buenas relaciones de costo-desempeño, históricamente han sido la opción preferida para los componentes estructurales. Para un vehículo de pasajeros típico de tamaño medio, los metales constituyen cerca del 75% del peso de los vehículos, de los cuales alrededor del 60% es acero tradicional y de alta resistencia, y el 7% es acero avanzado de alta resistencia (AHSS). El Aluminio ocupa alrededor de 89% en peso y se espera que muestre un crecimiento saludable, ya que compite con el acero y los plásticos en casi todos los componentes de un automóvil. El Magnesio (en forma de aleación), que muestra la más alta relación resistencia-peso entre los metales estructurales, también tiene un pronóstico positivo de crecimiento. (Touzet, 2012)

“El primer automóvil en usar materiales compuestos para su estructura fue el Lotus Elite de Colin Chapman en 1957, que usó varios moldes de GRP (plástico

reforzado con fibra) pegados para armar un monocasco de material compuesto. Antes de esto, en los 50', el Ford Thunderbird y el Chevrolet Corvette habían usado GRP para parte de la estructura y componentes de la carrocería.” (Touzet, 2012)

Desde entonces, el uso de materiales compuestos en la industria automotriz ha ido en aumento. Su mayor desarrollo se dió en los autos de alta gama donde es primordial la reducción del peso del vehículo sin perder las propiedades mecánicas. Fue en este campo que fueron introducidos los materiales compuestos de fibra de carbono. Sin embargo estos materiales son muy difíciles de reciclar. De acuerdo a normativas europeas el 85% del peso de un automóvil tenía que ser reciclable para el 2005 y se estima que el porcentaje aumentará al 95% para el 2015. (Escobar M. , 2015)

### **2.7.1 Aplicabilidad**

#### **A. Interior de automóvil**

En los últimos años se ha intentado reducir el uso de las fibras de vidrio, aramida o carbono por fibras naturales más económicas y livianas para reducir el peso del automóvil. Con este fin se han utilizado estos materiales en el interior de una gran cantidad de vehículos. Mercedes-Benz usó en 1996 una matriz epoxy con el agregado de fibras de yute para los paneles de las puertas en vehículos clase E. En 2000 Audi utilizó poliuretano reforzado con fibras de lino y sisal para recubrimientos de puertas. Toyota y Mitsubishi, por su parte, desde 2003 han experimentado con matrices de plásticos biodegradables como el PLA (ácido poli láctico) y el PBS (gubernabilidad plásticos biodegradables) combinándolos con fibras de kenaf y bambú. Más recientemente Ford utilizó paja de trigo como refuerzo para partes internas de su crossover Flex. (Escobar M. M., 2016)

## **B. Exterior del automóvil**

El reemplazo de componentes exteriores es complicado ya que estas partes no están protegidas de las condiciones climáticas. Algunos ejemplos son, el colectivo Travego de Mercedes-Benz equipado con un recinto para el motor y transmisión hecho de poliéster y fibras de lino, o el uso de fibras de abacá en lugar de fibra de vidrio para el cobertor del neumático de repuesto en una cupé también de Mercedes-Benz. (Escobar M. M., 2016)

### **2.8 Métodos y técnicas de conformación de materiales compuestos**

#### **2.8.1 Estratificación Manual**

La estratificación manual, también llamada hand lay-up, es la técnica más simple y antigua para la obtención de materiales compuestos de matriz termoestable. Las resinas termoestables permiten un fácil procesamiento y una buena impregnación de refuerzos en forma de fibra, dado que se encuentran en estado líquido a temperatura ambiente. Las matrices más comunes son: poliésteres, resinas epóxicas y fenólicas. La resina a ser utilizada debe contener en su estructura un monómero reactivo, generalmente estireno, encargado de la mojabilidad de la fibra, que formará entrecruzamientos entre las cadenas poliméricas durante el proceso de curado, además de proporcionar la viscosidad adecuada a la resina. Para que ocurra la reticulación (curado) se adiciona un iniciador, que es el encargado de desencadenar la reacción y posteriormente un catalizador o promotor para acelerar dicha reacción. (Guerrero, 2011)

“El material de refuerzo puede presentarse en forma de fibra corta, fibra continua, tejido y es adicionado en un porcentaje en volumen máximo del 40%.

Se han observado porcentajes de espacios vacíos (burbujas de aire atrapadas) de hasta un 15%.” (Guerrero, 2011)

#### Proceso de estratificación manual

1. En primer lugar se adiciona al molde un agente de desmolde por ejemplo una cera para poder retirar con facilidad la pieza final.
2. Posteriormente la resina es aplicada con una pistola de aspersion o de forma manual con el empleo de un rodillo o brocha.
3. Se colocan capas del material de refuerzo y se deposita más 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.
4. 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.
5. Finalmente se retira la pieza del molde.

Algunas de las ventajas de la estratificación manual son la simple operación, que permite fabricar piezas de diversos tamaños, con alto contenido de refuerzo, y la baja inversión, debido a que no requiere aplicación de calor y los reactivos son baratos. Además, este proceso ha sido utilizado durante muchos años, razón por la cual la técnica ha sido optimizada y actualmente tiene una amplia gama de materias primas.

Algunas limitaciones de este método son la alta intensidad de 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 pericia del operador. Otro inconveniente es la toxicidad de las emisiones de solventes al ambiente, especialmente estireno cuando se trabaja con resina poliéster. (Guerrero, 2011)

Actualmente están surgiendo nuevas tecnologías para producir piezas similares utilizando moldes cerrados que eviten este daño ambiental. Puesto que el proceso de estratificación manual es sencillo, es posible fabricar piezas grandes como piscinas, cascos de embarcaciones, yates, paredes laterales de buses y componentes aeroespaciales como fuselaje de los aviones, como se muestra en la figura 23. También se elaboran piezas para fines estructurales. (Guerrero, 2011)



**Figura 23 Estratificación manual.**

### **2.8.2 Moldeo por aspersión**

Este proceso es similar al de estratificación manual e inclusive se utilizan moldes de similares características. La diferencia radica en que se emplea una pistola de aspersión que deposita fibra corta y resina simultáneamente como se muestra en la figura 24, sobre la superficie del molde la cual no requiere aplicación de calor ni presión. (Guerrero, 2011)

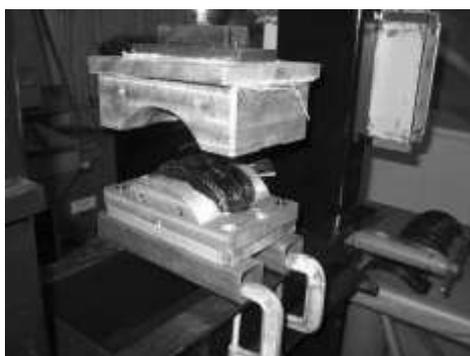


**Figura 24 Moldeo por aspersión.**

Fuente: (Guerrero, 2011)

### **2.8.3 Moldeo por compresión**

Este método de procesamiento se deriva del estampado de placas metálicas, del cual se tiene extenso conocimiento ya que ha sido ampliamente usado y perfeccionado a través de los años, como se muestra en la figura 25. Los moldes empleados en esta técnica son del tipo macho - hembra, que tienen un diseño simple de tal forma que la presión requerida en el proceso de moldeo se puede aplicar fácilmente., la cual consiste en intercalar láminas de matriz y refuerzo en forma de pre impregnado en un molde que es posteriormente prensado. (Guerrero, 2011)



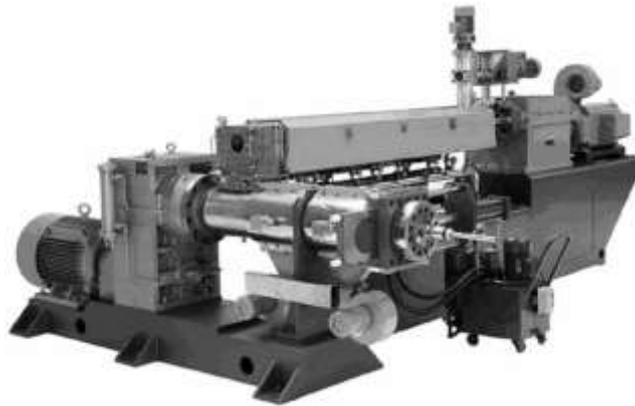
**Figura 25 Moldeo por compresión.**

Fuente: (Guerrero, 2011)

#### 2.8.4 Extrusión

La extrusión es un proceso mediante el cual un material es expulsado a través del orificio de un dado para darle una forma determinada. Este método es empleado en la industria plástica para la obtención de piezas de sección transversal constante de polímeros termoplásticos.

Los equipos de extrusión más comunes son las extrusoras de tornillo, como se puede muestra en la figura 26, en las que la expulsión del polímero se produce por la rotación de un tornillo sinfín. (Guerrero, 2011)

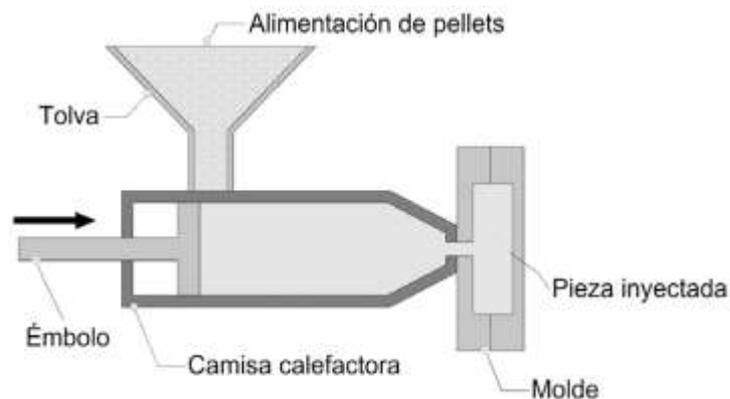


**Figura 26 Extrusora de doble tornillo, modelo CKY75-180, marca Coperion.**

Fuente: (Guerrero, 2011)

#### 2.8.5 Inyección

Este proceso se caracteriza por poseer etapas cíclicas en las cuales el polímero es fundido y transportado a un molde cerrado donde se solidifica tomando la forma del molde como se muestra en la figura 27. Es empleado para el procesamiento de polímeros termoplásticos y materiales compuestos de matriz termoplástica. (Guerrero, 2011)

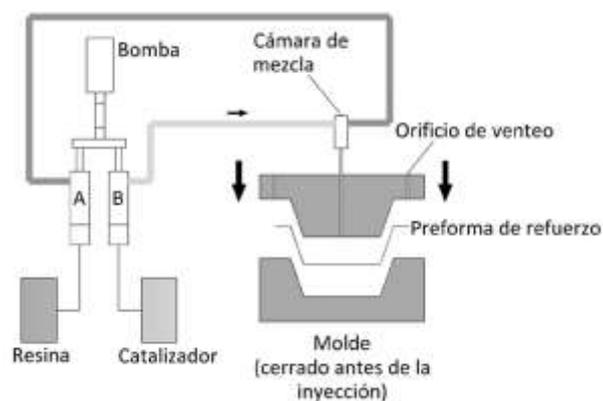


**Figura 27 Esquema del proceso de inyección.**

Fuente: (Guerrero, 2011)

### 2.8.6 Moldeo por transferencia de resina (RTM)

Esta técnica, también conocida como moldeo por transferencia líquida, consiste en la inyección de una resina termoestable en un molde cerrado, en cuyo interior se ha dispuesto previamente un material de refuerzo. La resina puede ser inyectada por uno o más puertos, dependiendo del tamaño de la pieza como se muestra en la figura 28. Los múltiples puntos de inyección permiten una inyección uniforme de resina para la obtención de piezas de gran tamaño y además una reducción del tiempo de ciclo del proceso. (Guerrero, 2011)



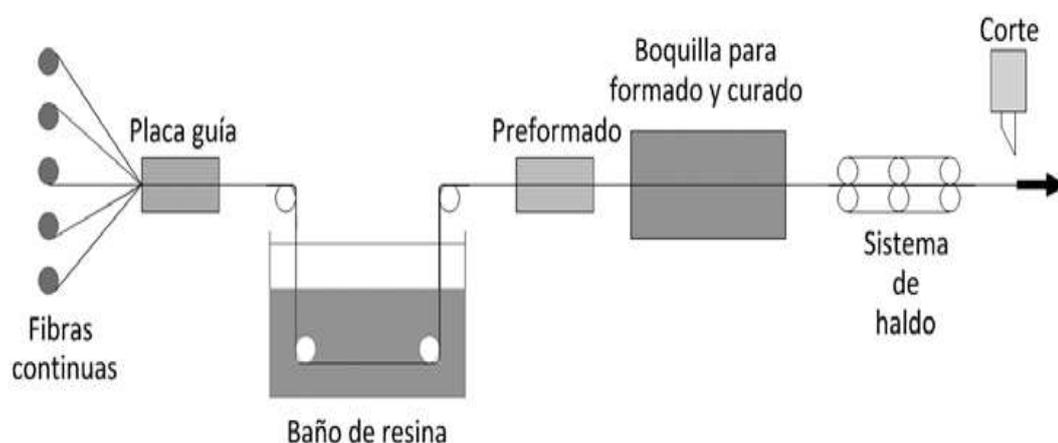
**Figura 28 Esquema del proceso de moldeo por transferencia de resina.**

Fuente: (Guerrero, 2011)

### 2.8.7 Moldeo por pultrusión

“La pultrusión es un proceso continuo, con alto grado de automatización y utilizado para grandes volúmenes de producción. Este método de procesamiento se emplea principalmente para matrices termoestables y en menor proporción para matrices termoplásticas.” (Guerrero, 2011, pág. 118)

“Consiste en impregnar fibras de refuerzo en una matriz polimérica y hacerlas pasar a través de una boquilla a velocidad constante como se muestra en la figura 29. La pieza obtenida posee una sección transversal constante, dada por la forma de la boquilla del molde.” (Guerrero, 2011, pág. 118)



**Figura 29** Proceso de pultrusión.

Fuente: (Guerrero, 2011)

### 2.8.8 Selección del método de fabricación

“No existe una fórmula matemática que dictamine el mejor proceso de fabricación de materiales compuestos en función de su aplicación posterior por lo cual a continuación se observa varios parámetros considerados en cada uno de los métodos de conformación otorgando .” (Miquel, Xavier, Marta, Nura, & Elena)

### **2.8.9 Forma de las piezas**

En este punto se valora la facilidad que presenta cada tecnología para realizar distintas formas (distintas secciones) en la fabricación de piezas de materiales compuestos o MC. Los procesos con mejores resultados son la estratificación manual, moldeo de aspersión y la pultrusión. Por el contrario, los procesos con peores resultados son transferencia de resina e inyección. Estos últimos tienen limitada, en gran medida, la tipología de perfiles que pueden crear. Ello les convierte en poco adecuados ante su uso para elementos de formas complejas. El peso asignado a este parámetro es de 15 sobre 100, considerándolo como muy importante para la aplicación de MC en las estructuras de construcciones industriales. El poder conseguir formas de piezas distintas con relativa facilidad, provoca que estas se puedan adaptar mejor a las necesidades mecánicas concretas de cada estructura. (Miquel, Xavier, Marta, Nura, & Elena)

### **2.8.10 Dimensiones**

Se valora la facilidad con la que se pueden conseguir elementos de grandes dimensiones en las 3 direcciones (x, y, z). Los mejores procesos, desde este punto de vista, son la pultrusión y estratificación manual. El peso asignado a este parámetro es 10 sobre 100, considerándolo como importante para poder crear perfiles con una resistencia suficientemente grande como para poder resistir grandes cargas en ángulos cerrados. (Miquel, Xavier, Marta, Nura, & Elena)

### **2.8.11 Espesores**

Este parámetro valora los espesores máximos y su facilidad de obtención para las piezas fabricadas por las distintas tecnologías estudiadas. El proceso mejor es la pultrusión, mientras que los peores son el proceso de compresión y el de inyección. El peso asignado a este parámetro, al igual que en el anterior, es de 10 sobre 100, pues para poder soportar grandes cargas no es solo necesario tener

perfiles de grandes dimensiones, sino que el grosor de sus paredes sea proporcional (grandes espesores). (Miquel, Xavier, Marta, Nura, & Elena)

### **2.8.12 Aspecto**

En este punto se valora el aspecto final de las piezas resultantes para cada tecnología. El acabado superficial de los elementos tiene una vertiente básicamente estética, aunque las pequeñas irregularidades que presentan algunos acabados más manuales, puede provocar pequeñas diferencias en las dimensiones de la secciones. El mejor proceso con diferencia es la pultrusión, siendo los peores el contacto manual y la aspersion. La importancia de este parámetro se considera más bien baja, otorgándole un peso de 7,5 sobre 100. Ello es debido a que las variaciones en las secciones pueden ser muy pequeñas, presentando una repercusión muy reducida en las propiedades mecánicas de las piezas. (Miquel, Xavier, Marta, Nura, & Elena)

### **2.8.13 Porcentaje de refuerzo**

Se valora el porcentaje máximo de fibra de refuerzo que se puede introducir en el MC (material compuesto) de la pieza a fabricar. Para cada tecnología existen unas limitaciones físicas que impiden introducir toda la fibra de refuerzo deseada en el MC. Desde este punto de vista, los mejores procesos son la pultrusión y la estratificación manual. (Miquel, Xavier, Marta, Nura, & Elena)

Por el otro extremo, los procesos que aceptan una menor introducción de fibras son la aspersion y la compresión .Se considera este parámetro como el más importante de todos los considerados, Por este motivo el peso que se le atribuye es de 25 sobre 100. (Miquel, Xavier, Marta, Nura, & Elena)

#### **2.8.14 Series de fabricación**

Este parámetro valora la facilidad de cada tecnología de poder fabricar en serie elementos de MC. Mide la posibilidad de automatización de la producción. Los mejores procesos son la pultrusión y la transferencia de resina. Los peores son la estratificación manual y el moldeo por aspersión (procesos manuales). Resulta evidente que cualquier elemento que se quiera introducir en la fabricación en serie, debe presentar una gran facilidad para lograr una producción industrial. Ello permite bajar costes y satisfacer las potenciales elevadas demandas del sector. El peso que se atribuye a este parámetro es 10 sobre 100, considerándolo como importante. (Miquel, Xavier, Marta, Nura, & Elena)

#### **2.8.15 Cadencias**

Se valora la magnitud de tiempo necesario para fabricar una pieza de MC en cada proceso de fabricación. Los procesos con un grado de automatización superior precisan de un tiempo menor en la ejecución de un elemento de MC. De entre estos destaca el proceso de transferencia de resina como el mejor, encontrando por el otro lado los procesos de estratificación manual y aspersión como peores. En el sector de industrial el tiempo de fabricación tiene una importancia bastante pequeña cuando la unidad de tiempo de referencia es la hora, como es el caso de la fabricación de MC. Así el peso asignado es de 7,5 sobre 100. (Miquel, Xavier, Marta, Nura, & Elena)

#### **2.8.16 Superficie de trabajo**

En este punto se valora la superficie que requiere la implantación de cada tecnología de fabricación. Cada proceso necesita un espacio determinado que

viene marcado por las dimensiones de la maquinaria necesaria, las zonas de trabajo manual, los almacenes de materias primeras, los almacenes de producto acabado, la necesidad de almacenes intermedios, etc.

El proceso que presenta unas mejores condiciones desde el punto de vista de superficie de trabajo, es el proceso de compresión. El resto poseen unas necesidades de espacio bastante parecidas. Debido a que el espacio necesario para la fabricación de elementos de MC no es exagerado en ninguna de las tecnologías de fabricación estudiadas, su importancia se ha considerado muy baja. Aún y así, se le ha asignado un peso de 2,5 sobre 100. (Miquel, Xavier, Marta, Nura, & Elena)

### **2.8.17 Mano de obra**

En este apartado se valora la necesidad de mano de obra necesaria para cada proceso, tanto desde el punto de vista de cantidad como desde el punto de vista de calificación requerida. Las tecnologías más automatizadas presentan un mejor comportamiento frente a este parámetro. Así las mejores son la transferencia de resina, inyección y la pultrusión. Por el contrario, los procesos manuales son los que requieren una mayor cantidad de operarios y que su calificación sea más elevada. Los peores la estratificación manual y aspersion. La importancia de este parámetro se considera más bien baja. Aún y así, se le otorga un peso de 7,5 sobre 100. Es debido a que los salarios de los operarios son un gasto que repercute directamente sobre el coste del producto terminado, y a la dificultad que puede aparecer para cubrir algunos puestos de trabajo que requieren de cierta calificación. (Miquel, Xavier, Marta, Nura, & Elena)

### **2.8.18 Inversiones**

Se valora la magnitud de la inversión en maquinaria necesaria para cada tipo de tecnología de fabricación. Los procesos automatizados presentan unas

inversiones bastante superiores a los procesos con un componente manual mayor. Así los mejores, desde el punto de vista de inversión necesaria, son la estratificación manual y la aspersión. Los peores la inyección, transferencia de resina y pultrusión. De todas formas la importancia que se le da a este parámetro es bastante baja, pues el aumento de inversión necesario para automatizar un proceso se ve compensado con un aumento de la producción y una disminución de la mano de obra y su calificación. El peso establecido es de 5 sobre 100. (Miquel, Xavier, Marta, Nura, & Elena)

**Tabla 13**  
**Cuadro comparativo tecnologías de fabricación.**

Parámetro	Peso	Estratificación manual	Moldeo por Aspersión	Compresión	Extrusión	Inyección	Transferencia de resina	Pultrusión
Forma de las	15	9	9	6	5	2	2	9
Dimensiones	10	8	7	6	7	3	3	8
Espesores	10	8	8	2	3	6	7	9
Aspecto	7,5	2	2	4	4	5	4	8
% de refuerzo	25	3	2	2	3	3	7	7
Series de	10	2	2	4	5	8	6	8
Cadencias	7,5	2	2	3	4	8	6	6
Superficie de	2,5	2	2	5	3	3	3	3
Mano de obra	7,5	3	3	5	5	6	7	6
Inversiones	5	8	8	7	4	2	2	2
<b>Total %</b>	<b>100</b>	<b>47</b>	<b>45</b>	<b>39</b>	<b>40</b>	<b>43</b>	<b>51</b>	<b>72</b>

Fuente: (Miquel, Xavier, Marta, Nura, & Elena)

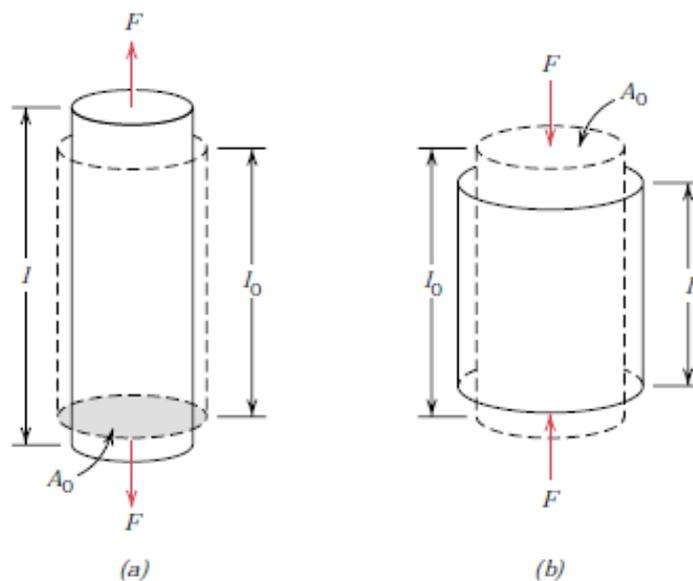
Consecuentemente en la tabla 14 se observa los métodos de conformación, siendo la pultrusión y la transferencia de resina, como las mejores opciones.

No obstante el método que le sigue es el moldeo por colocación manual, utilizada para la construcción de los parachoques debido a que presenta ventajas como su relativa sencillez y no requerir mano de obra especializada, ni inversiones elevadas.

Aun así, presenta los inconvenientes de un ambiente de trabajo molesto, producción lenta, mayor necesidad de mano de obra, acabado fino sólo por una de las caras, y calidad final sometida a la especialización y sensibilidad del operario sin embargo para la aplicación es la mejor opción, al no ser aplicado una fabricación en serie. (Stupenengo, 2011)

## **2.9 Tracción y Flexión**

Si una carga es estática o cambios relativamente lentos con el tiempo se aplica de manera uniforme en una sección transversal o la superficie de un miembro, el comportamiento mecánico puede determinarse mediante una simple prueba de tensión-deformación; hay tres formas principales en las que se puede aplicar una carga: a saber, la tensión, compresión y torsión como se muestra en la figura 30, la representación esquemática (a) da cómo una carga de tracción  $F$  que produce un alargamiento y la tensión lineal positiva punteadas representa la forma antes de la deformación; líneas continuas, después de la deformación, y en el esquema (b) un carga de compresión produce contracción  $F$  y lineal negativa. (Willian Callister, Mayo,2012)



**Figura 30 Representación esquemática de una carga a tracción (a) y compresión (b).**

**Fuente:** (William Callister, Mayo, 2012)

### 2.9.1 Tracción.

Denominada a la intensidad de fuerza ejercida por unidad de área, como se muestra en la ecuación 1.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

$F$  = Carga instantánea aplicada a la sección de las probetas (N) o (lbf).

$A_0$  = Área original en sección transversal antes de aplicar cualquier carga ( $m^2$  o  $pulg^2$ ).

#### A. Deformación lineal

Cantidad de alargamiento por unidad de longitud al ser aplicado una

tensión positiva en un cuerpo el cual es expresado en porcentaje, como se muestra en la ecuación 2

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Dónde:

$\delta$ = Alargamiento obtenido (mm).

L= Longitud total (mm).

## H. Deformación elástica

Deformación en el que la deformación lineal y la tensión son proporcionales se llama deformación elástica, como se muestra en la ecuación 3.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Dónde:

$\sigma$ = Fuerza ejercida sobre el área de sección transversal antes de la ruptura.

$\varepsilon$ = Deformación unitaria en cualquier punto.

### 2.9.2 Flexión

Es realizada cuando se aplica una fuerza perpendicular al eje del objeto en las probetas a estudiar estas pueden darse de dos maneras, la primera cuando se aplica una fuerza con igualdad en la longitud a aplicarse y el otro caso cuando se aplican dos fuerzas proporcionalmente colocadas a distancia de sus extremos o apoyos. (Willian Callister, Mayo,2012)

### A. Esfuerzo máximo a flexión.

Esfuerzo máximo producido en la superficie exterior (*MPa*), como se muestra en la ecuación 4.

$$\sigma_{max} = \frac{M.c}{I} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Dónde:

M = Momento (Nmm)

c = Distancia (mm)

I = Momento de inercia (mm)

$$I = \frac{b \times h^3}{12}$$

(5)

Dónde:

b = Base de la probeta (mm)

h = Altura de la probeta (mm)

### I. Deflexión máxima

Las cargas de flexión aplicadas a una viga hacen que se flexione en una dirección perpendicular a su eje neutro. Una viga recta en su origen se deformará y su forma será ligeramente curva. En la mayor parte de los

casos, el factor crítico es la deflexión máxima de la viga, o su deflexión en determinados lugares. Como se muestra en la ecuación 5. (Monagas, s.f.)

$$Y_{max} = \frac{PL^3}{48EI} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Dónde:

P = Fuerza aplicada (N).

L= Longitud de la probeta (mm).

E = Modulo tangente (MPa).

I = Inercia de la sección transversal con respecto al eje neutro (mm).

### 2.9.3 Esfuerzo de diseño

El diseño de elementos con base en su resistencia consiste en evitar que los esfuerzos máximos igualen o sobrepasen los valores de esfuerzo que producen la falla. Entonces, el esfuerzo máximo en un elemento debe ser menor que la resistencia de fluencia (para prevenir la falla por deformación plástica) y que la resistencia a la rotura (para prevenir la falla por fractura total). Estos objetivos se pueden lograr manipulando dimensiones, geometrías, materiales, tratamientos térmicos, entre otros factores. (UTP, s.f.)

Como se dijo, el esfuerzo máximo en un elemento debe ser menor que la resistencia:

$$\text{Esfuerzo máximo} < \text{Resistencia} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Para romper esta desigualdad, y poder definir los materiales y los valores precisos de las dimensiones de los elementos a diseñar, se utiliza el concepto de ‘esfuerzo de diseño’, conocido también como ‘esfuerzo admisible o permisible’,

‘esfuerzo de trabajo’ y ‘esfuerzo de seguridad’. El esfuerzo de diseño es el máximo esfuerzo que debe soportar un elemento para que efectúe su trabajo con seguridad, es decir, con el fin de evitar su falla. Entonces, el esfuerzo de diseño debe ser menor que la resistencia del material.

La ecuación (6) se puede cambiar por:

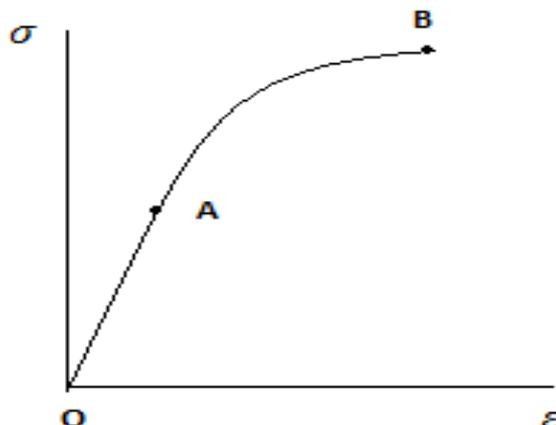
$$\text{Esfuerzo máximo} \leq \text{Esfuerzo de diseño} < \text{Resistencia}$$

(Ecuación 7)

En la ecuación 7 se acepta tanto la desigualdad como la igualdad entre el esfuerzo máximo y el de diseño. Como este último es menor que la resistencia, la falla no ocurrirá si el esfuerzo máximo alcanza este valor. (UTP, s.f.)

## **2.10 Diagrama tensión deformación típico de un material frágil**

Los materiales frágiles fallan con poco alargamiento después de que se ha excedido al límite proporcional (la tensión en el punto A en la figura 31). La reducción de área es insignificante, por lo que la tensión nominal de fractura (punto B) es la misma que la tensión verdadera (Norton R. L.)



**Figura 31 Diagrama tensión deformación de un material frágil.**

Fuente: (Norton R. L.)

## 2.11 Consejo de investigación para la reparación de automóviles “RCAR”

Cuando se hace referencia a crash test, se piensa inmediatamente en los ensayos de impacto, en los que se evalúa la seguridad que ofrece el vehículo a sus ocupantes ante una colisión, ya sean los test de obligado cumplimiento para obtener la homologación, o los realizados por entidades independientes, como EURO NCAP “Programa de valoración de vehículos nuevos”. Sin embargo, existen otros crash test, menos conocidos por el público general, como los realizados por los 24 centros mundiales de investigación pertenecientes al **RCAR**, del que cesvimap “Centro de experimentación y seguridad vial MAPFRE”, forma parte del comité directivo. (Ruiz, 2009)

Uno de los objetivos fundamentales de los centros de investigación miembros del RCAR es trabajar con los fabricantes de automóviles, a fin de mejorar la dañabilidad y reparabilidad de sus vehículos. Con objeto de satisfacer las necesidades de los consumidores, los fabricantes de automóviles necesitan tomar un papel activo en el desarrollo de sus diseños y procesos de fabricación,

centrando sus esfuerzos tanto en la seguridad del consumidor como en la dañabilidad y reparabilidad del vehículo. (Ruiz, 2009)

Se define la dañabilidad como la capacidad de un vehículo de soportar los esfuerzos producidos en una colisión, lo que abarca su facultad tanto para absorber la energía del impacto como para limitar las deformaciones y daños en su estructura componentes. Por su parte, reparabilidad de un automóvil es la posibilidad y facilidad para su reparación, tanto desde el punto de vista técnico como económico. (Ruiz, 2009)

La mejora de ambas cualidades no debe ir reñida con la seguridad de los ocupantes del vehículo ni con la de otros usuarios de la vía. Para evaluar estos conceptos, se somete al vehículo a diversas pruebas de impacto para analizar su comportamiento y sus costes de reparación, clasificando cada modelo en función de los resultados obtenidos. Esta clasificación permite a las compañías de seguros establecer unas primas más acordes al riesgo real asegurado, ofreciendo, a su vez, una información muy valiosa para el diseño de futuros modelos. (Ruiz, 2009)

La optimización de la dañabilidad y reparabilidad es un beneficio que redundará en favor de todas las partes implicadas: el fabricante obtiene una ventaja competitiva con un vehículo que le permitirá un ahorro económico en sus reparaciones, la aseguradora tendrá la oportunidad de fijar unas primas más ajustadas con el consiguiente ahorro para el usuario final, éste estará más seguro del automóvil en el que viaja y, por último, el sector reparador llevará a cabo sus trabajos de una forma más eficiente. (Ruiz, 2009)

### **2.11.1 Test de paragolpes**

El RCAR tiene también estandarizado el procedimiento para evaluar los paragolpes tanto delanteros como traseros en un impacto a baja velocidad. El comportamiento de estas piezas ante una colisión tiene tres vertientes: la

geométrica (no debería existir excesiva diferencia en las alturas sobre el suelo entre diferentes paragolpes), la de compatibilidad (debe buscarse una suficiente superposición entre las traviesas de los paragolpes, a pesar de los cambios de posición debidos a la dinámica de la conducción, por ejemplo una maniobra de frenado), y la de capacidad de absorción de energía (han de ser capaces de absorber la energía en impactos a baja velocidad, sin transmitir daños a otras partes del vehículo). Este test fomenta que los fabricantes de vehículos optimicen el desarrollo de sus paragolpes, para proteger con eficacia al vehículo en impactos a baja velocidad. (Ruiz, 2009)

En este ensayo se utiliza una barrera específicamente diseñada y cubierta de material deformable, montada sobre una superficie indeformable. La altura a la que se sitúa es de 455 mm en el test de paragolpes delantero y de 405 ó 455 – dependiendo del mercado local– en el trasero. En ambas pruebas el vehículo es lanzado a una velocidad de 10 km/h contra la barrera, de manera que el eje longitudinal del vehículo coincida, en el momento del impacto, con el centro geométrico de la barrera. (Ruiz, 2009)

### **2.11.2 Test parachoque delantero configuración**

Altura de la barrera: 457 mm desde el suelo hasta el borde inferior de la barrera.

Velocidad: 10 km/h, como se muestra en la figura 32. (Ruiz, 2009)



**Figura 32 Test parachoque delantero.**

Fuente: (RCAR, 2010)

### 2.11.3 Test parachoque posterior configuración

Altura de la barrera: 457 mm desde el suelo hasta el borde inferior de la barrera

Velocidad: 10 km/h, como se muestra en la figura 33. (Ruiz, 2009)



**Figura 33 Test parachoque posterior.**

Fuente: (RCAR, 2010)

### 2.11.4 Barrera de acero diseño y dimensiones

La barrera de parachoques es una construcción rígida de acero con un radio de  $3,400 \text{ mm} \pm 25 \text{ mm}$  a través de toda su anchura, como se muestra en la figura 34. Es  $1500 \text{ mm} \pm 25 \text{ mm}$  de ancho, con un piso, de  $100 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$  cara

vertical de altura. La barrera es de al menos 230 mm de profundidad en su centro (sin bridas) y debe ser construido de manera que se puede montar a una pared de choque inflexible e inmuebles a varias alturas. La barrera de acero tiene un radio de 25,4 mm incorporado en cada extremo. (RCAR, 2010)

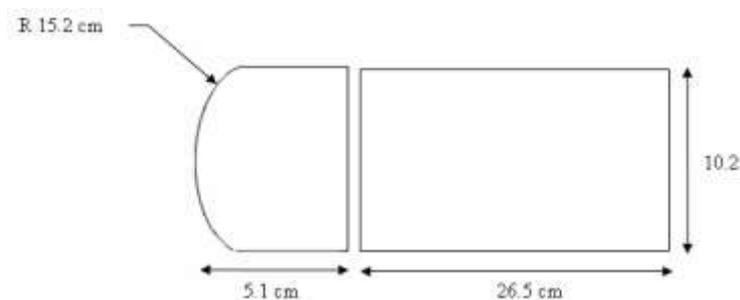


**Figura 34 Barrera de parachoques de acero con anti - retorno.**

Fuente: (RCAR, 2010)

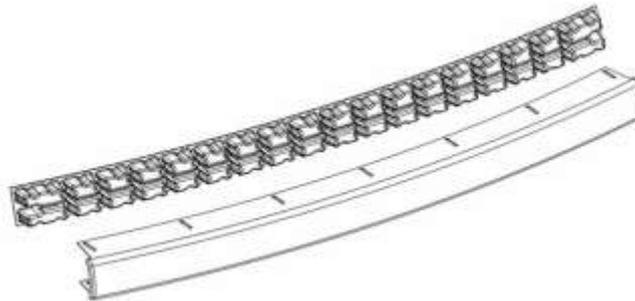
### 2.11.5 Dimensiones

El absorbedor de energía deberá ser tan larga como la cara parachoques, 50 mm de profundidad y está curvado a lo largo de su longitud con un radio de 3400 mm para permitir el montaje en la cara de la barrera. La cara frontal del absorbedor tiene un radio de arriba a abajo  $150 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ , como se muestra en las figuras 35, figura 36, figura 37, figura 38.



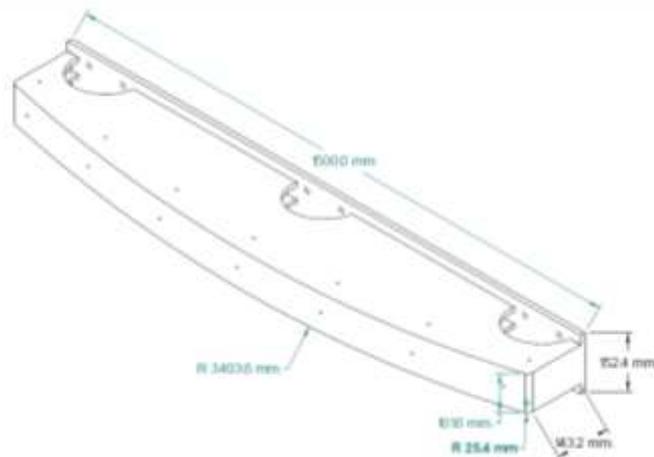
**Figura 35 Etiqueta de barrera y absorbedor de energía, sección A -A.**

Fuente: (RCAR, 2010)



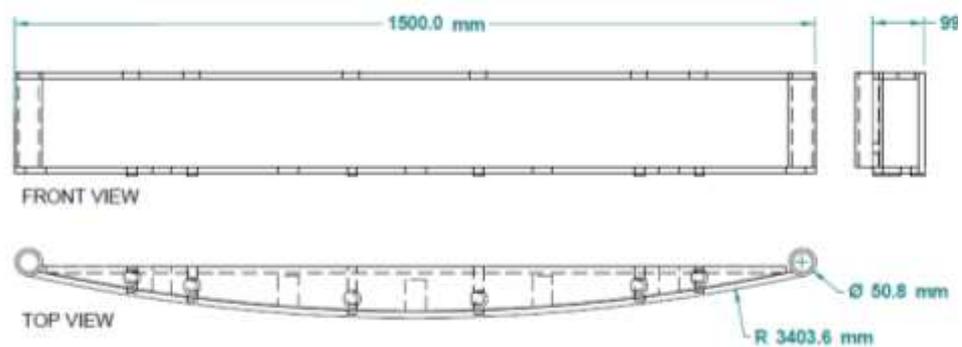
**Figura 36** Amortiguador de energía y la cubierta de parachoques.

Fuente: (RCAR, 2010)



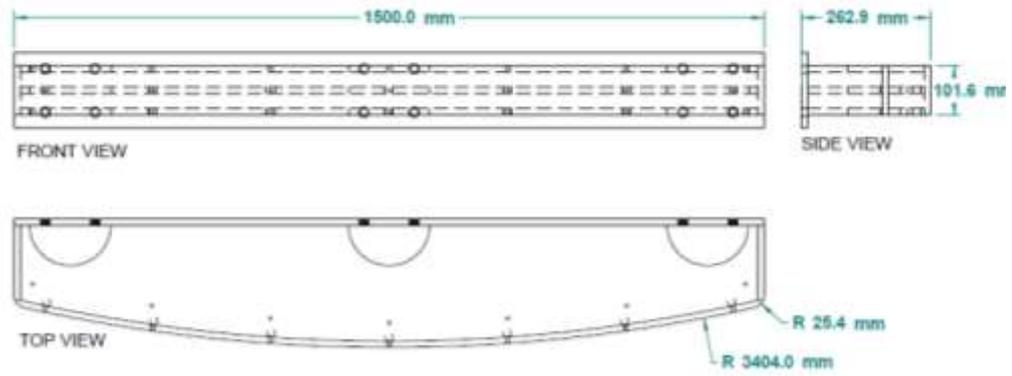
**Figura 37** Barrera de acero diseño sin respaldo.

Fuente: (RCAR, 2010)



**Figura 38** Dimensiones de la barrera.

Fuente: (RCAR, 2010)



**Figura 39 Dimensiones de barrera principal, vista desde arriba.**

Fuente: (RCAR, 2010)

## **CAPÍTULO III**

### **PROTOCOLO DE PRUEBAS PROTOTIPO**

#### **3.1 Ensayos empleados**

Los diferentes tipos de ensayos mecánicos referido a los materiales, sirven para conocer las propiedades mecánicas y entender de mejor manera las características de cada uno de ellos.

Las propiedades mecánicas de los materiales se determinan mediante la realización de experimentos de laboratorio cuidadosamente diseñados que replican la medida de lo posible, las condiciones de servicio a los cuales serán sometidos tanto con el método de ensayo por tracción como de flexión claramente aplicado con las normas correspondientes ASTM.

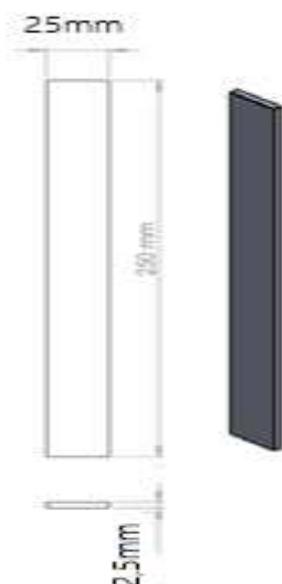
#### **3.2 Dimensionamiento específico de probetas.**

El ancho, espesor y largo para la realización de las probetas fueron seleccionadas según la necesidad requerida; la muestra seleccionada debe contener un número suficiente de fibras en la sección transversal para ser estadísticamente representativa como lo dicta la norma ASTM , por ello a continuación se muestra en la tabla 11, la selección de medidas para la probetas a realizar.

**Tabla 14**  
**Especificaciones geométricas.**

<b>ESPECIFICACIONES GEOMÉTRICAS RECOMENDADAS ENSAYO A TRACCIÓN</b>			
Orientación de Fibras	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Largo (mm)
0° unidireccional	15	1.0	250
90° unidireccional	25	2.0	175
Equilibrada y simétrica	25	2.50	250
Aleatorio –discontinuo	25	2.50	250

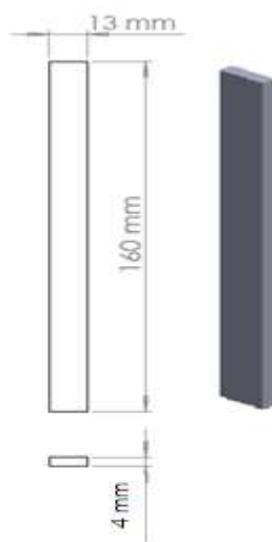
Planos correspondientes de medidas para la obtención de 5 probetas por molde, como se muestra en la figura 40.



**Figura 40** Medidas probetas de ensayo sometidos a tracción.

En lo referente al ensayo de flexión correspondiente mediante la norma ASTM D 7264 / D7264M – 15, el tamaño de muestra se elige de tal manera que las propiedades de flexión se determinan con precisión a partir de las pruebas siendo la relación estándar de envergadura a espesor es de 32: 1, el espesor de la

muestra estándar es de 4 mm, y el ancho de la muestra estándar es de 13 mm [0,5 pulg.] Con la longitud de la muestra siendo alrededor del 20% más largo que él [0.16 in.] lapso de apoyo. Como se muestra en la figura 41, para un dibujo de la pieza estándar de prueba en SI, respectivamente para materiales compuestos.



**Figura 41 Medidas probetas de ensayo sometidos flexión.**

### **3.3 Fabricación de probetas**

Al tener las medidas correspondientes como se aprecia en las figuras 40 Y 41, para el método de ensayo de tracción y flexión.

Se procedió a realizar las probetas necesarias teniendo en cuenta el método de fabricación que fue preciso utilizar moldes de hierro forjado para tener una compactación uniforme final así como para evitar deformaciones por medio de las altas temperaturas ejercidas al momento de la reacción química existente entre la resina epoxi de 180° C con su respectivo catalizador siendo esta exotérmica. (Ponce, 2011, pág. 95)

Lo cual cabe mencionar el porcentaje volumétrico del 30% de material de refuerzo para obtener mejores resultados de las propiedades mecánicas del material compuesto, expresada en la tabla de esfuerzo vs fracción volumétrica de la fibra de abacá así como las medidas expresadas de fibras cortas de 20 mm y 30 mm respectivamente. (Balseca, 2009, pág. 211)

### 3.4 Muestras de probetas.

Para la realización de las diferentes pruebas de ensayos se vió la necesidad de implementar un estudio de configuración bidireccional como se lo explica en el capítulo 2, al considerarse la orientación de las fibras más óptimas.

Por tanto se realizó dos tipos de tejidos uno plano a 0°-45° y uno axial 0°-90° los cuales fueron laboriosos y presentaron varios retos al no disponer de la tecnología necesaria en el país y lográndolo mediante tejedoras artesanales, como se muestra en la figura 42.



**Figura 42 Realización de tejido plano artesanalmente con fibra de abacá.**

Al igual se aplicó moldes fabricados mediante placas de hierro reforzado de espesor de  $\frac{1}{2}$  in como se puede apreciar en la figura 43.



**Figura 43 Moldes macho y hembra.**

En la figura 44 se puede observar la máquina de prueba Tinius Olsen modelo H25K-S para las pruebas de tensión, flexión las cuales a ser hidráulicas tienen un rendimiento con capacidades máximas marco de 25 KN la cual debe estar correctamente calibrado, que puede ser operado a una velocidad constante de movimiento de la cruceta, y en el que el error en el sistema de aplicación de la fuerza no deberá exceder de 61% de la escala completa. El mecanismo de fuerza indicador deberá ser esencialmente libre de la inercia que no deberá superar el 1% de la fuerza medida.

Así como la utilización del calibrador de vernier con una apreciación de 0,01 mm.



**Figura 44** Maquina universal TINIUM serie SL.

### 3.4.1 Obtención del volumen de la matriz y el refuerzo

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

$\rho$  = Densidad

$m$  = Matriz

$f$  = Fibra

$V_m$  = Volumen matriz

$V_f$  = Volumen refuerzo

$\rho_m$  = Densidad matriz =  $1,1 \frac{gr}{cc}$  (Dato obtenido página 12)

$\rho_f$  = Densidad fibra =  $1,3 \frac{gr}{cc}$  (Dato obtenido página 29)

$VT1 = Traccion = Volumen Total = 15,63cc$

$$Vm(70\%) = 10,94 \text{ cc}$$

$$Vf(30\%) = 4,69 \text{ cc}$$

$$Mm = \rho m \cdot Vm$$

$$Mm = 1,1 \frac{\text{gr}}{\text{cc}} \times 10,94 \text{ cc}$$

$$Mm = 12,03 \text{ g r}$$

$$Mf = \rho f \cdot Vf$$

$$Mf = 1,3 \frac{\text{gr}}{\text{cc}} \times 4,69 \text{ cc}$$

$$Mf = 6,09 \text{ g r}$$

$$VT2 = \text{Flexion} = \text{Volumen Total} = 8,32 \text{ cc}$$

$$Vm(70\%) = 5,82 \text{ cc}$$

$$Vf(30\%) = 2,50 \text{ cc}$$

$$Mm = \rho m \cdot Vm$$

$$Mm = 1,1 \frac{\text{gr}}{\text{cc}} \times 5,82 \text{ cc}$$

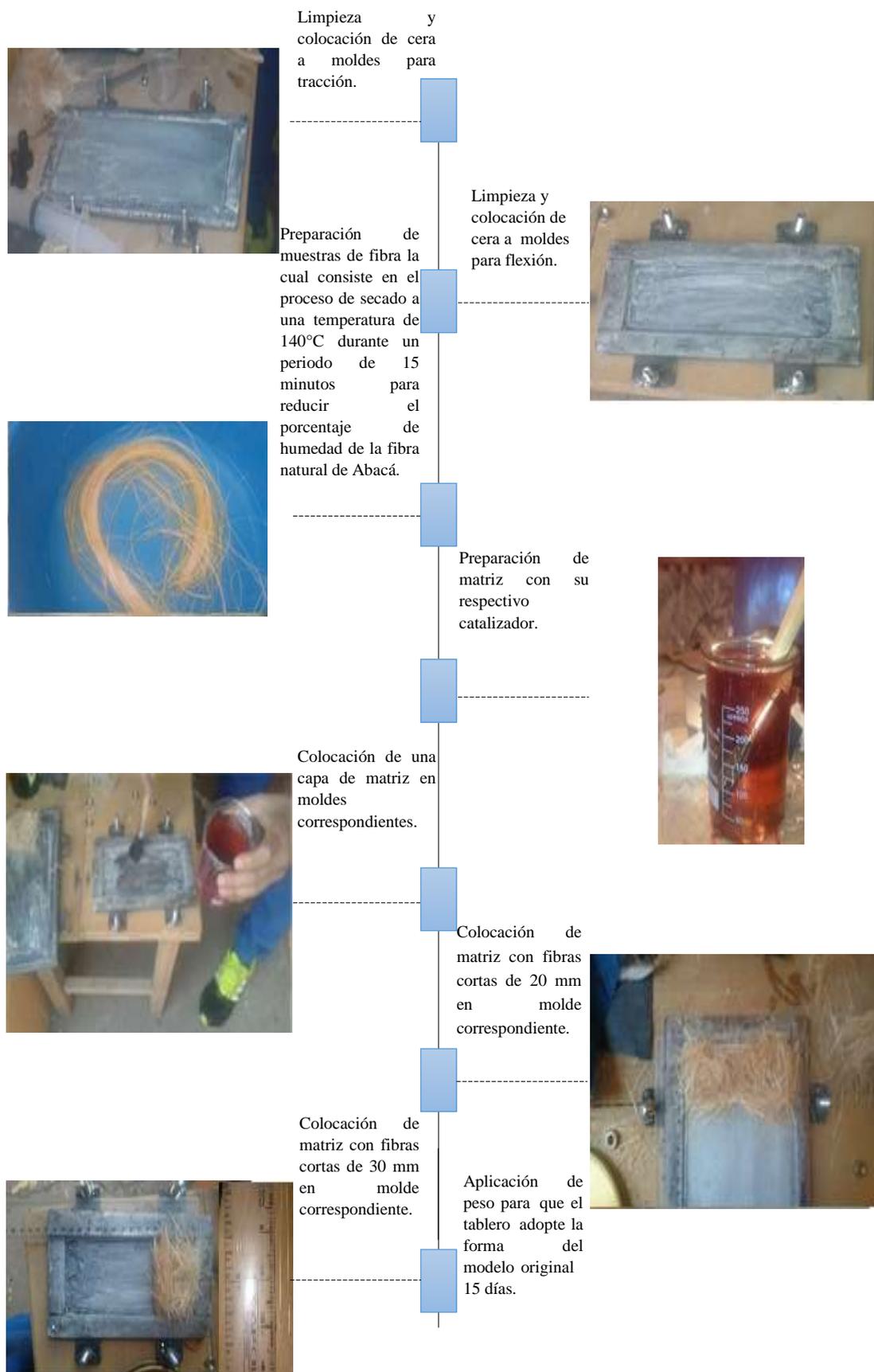
$$Mm = 6,40 \text{ g r}$$

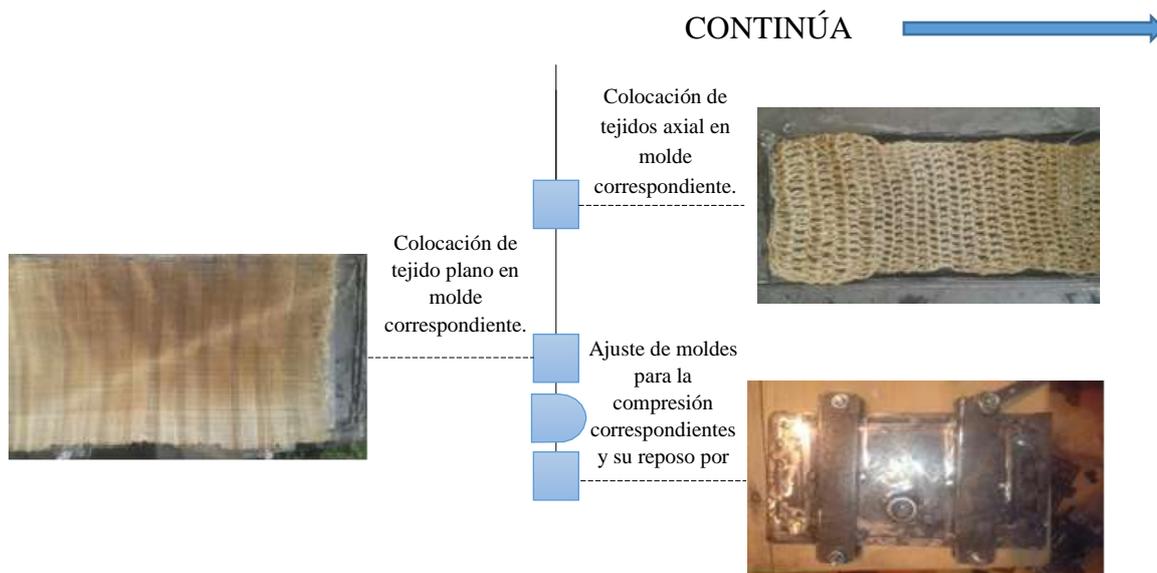
$$Mf = \rho f \cdot Vf$$

$$Mf = 1,3 \frac{\text{gr}}{\text{cc}} \times 2,50 \text{ cc}$$

$$Mf = 3,25 \text{ g r}$$

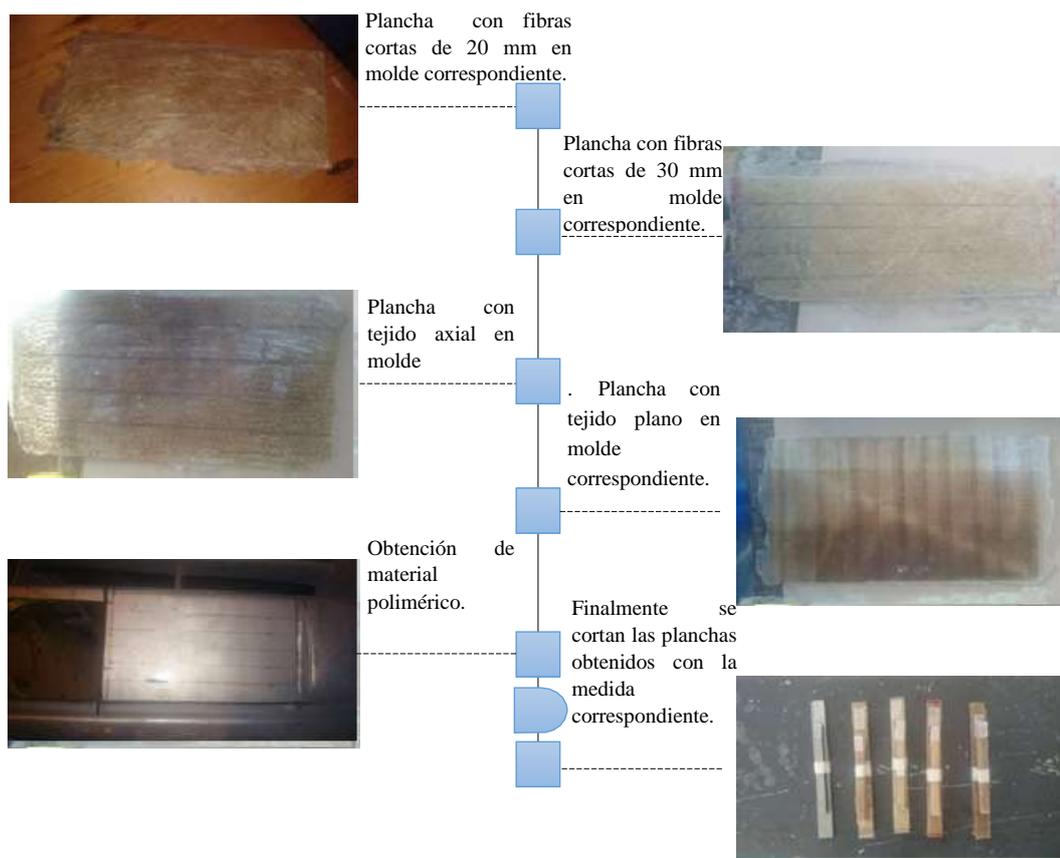
Por consiguiente el método de fabricación de las probetas correspondientes se la puede observar en la figura 45.





**Figura 45** Esquema del proceso de fabricación de probetas

Finalmente con el tiempo adecuado para la activación del curado procedemos a retirar y verificar la muestra de 5 probetas obtenidas para realizar las divisiones necesarias como observamos en la figura 46.



**Figura 46** Obtención final de probeta.

### 3.5 Ensayo de tracción mediante la norma ASTM D3039/ D3039M-08

Este método de ensayo determina la resistencia a la tracción en el plano así como las propiedades de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras de alto módulo.

### 3.6 Condiciones de ensayo según la norma ASTM D3039-08

- Velocidad de ensayo: 2 mm/min.
- El extensómetro debe ser colocado con una separación de 50 mm entre marcas.



**Figura 47** Ensayo de tracción siguiendo los parámetros de la norma ASTM D 3039-08.

### **3.7 Resultados**

#### **3.7.1 Probetas a tracción de fibra de abacá 30% volumen – 3 cm**

En la tabla 16, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos a tracción en las probetas de material compuesto identificado como resina 52YN + 1 capa de fibra de abacá 30% volumen - 3 cm.

**Tabla 15**  
**Resultados de los ensayos de tracción realizados según la norma ASTM D3039-08.**

No	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga Última (N)	Resistencia Última (MPa)	Módulo Tangente (MPa)	Deformación A la rotura %
1	24,57	3,39	83,29	2058	24,71	5874	0,431
2	24,52	3,42	83,86	2064	24,64	4406	0,552
3	24,94	3,22	80,31	2057	25,65	6320	0,423
4	24,90	3,34	83,27	2293	27,54	5304	0,532
5	24,91	3,34	83,19	2051	25,69	4862	0,471

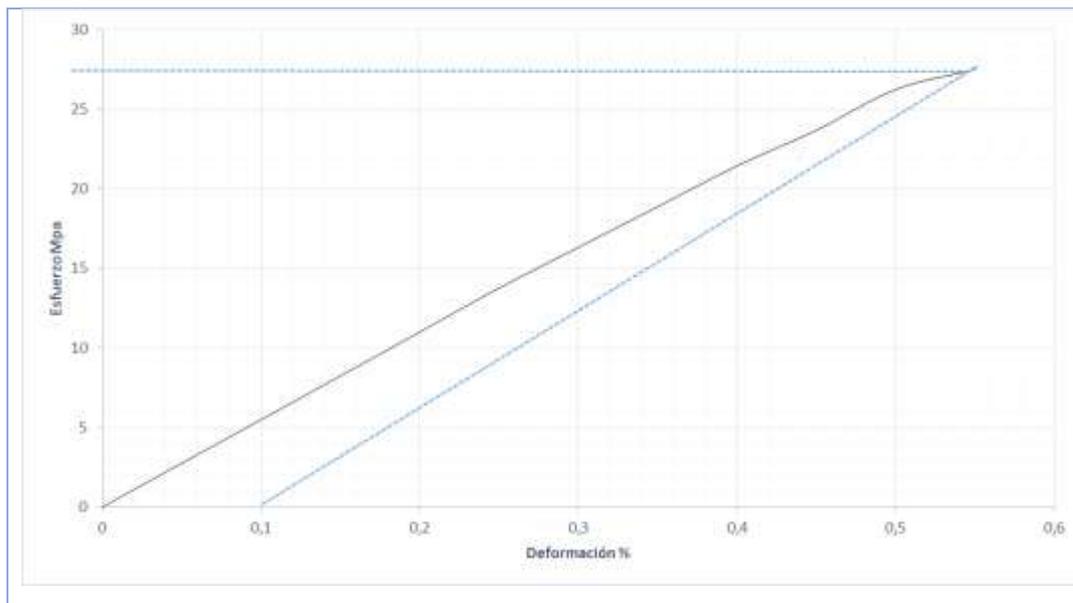
En la figura 48 se puede apreciar las condiciones de una muestra de la probeta del material identificado como resina 52YN + 1 capa de fibra de abacá 30% volumen - 3 cm después de los ensayos de tracción.



**Figura 48** Ensayo de tracción con resina 52YN + 1 capa de fibra de abacá 30% volumen - 3 cm.

Por consiguiente, con los datos generados a través de las pruebas de tracción se puede observar que la probeta número 4 presenta las mejores propiedades mecánicas para la representación del diagrama esfuerzo – deformación del material, como se muestra en la figura 49.

No	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga Última (N)	Resistencia Última (MPa)	Módulo Tangente (MPa)	Deformación A la rotura %	Resistencia a la fluencia (MPa)
4	24,90	3,34	83,27	2293	27,54	5304	0,532	27,00



**Figura 49 Diagrama esfuerzo deformación muestra # 4.**

#### **A. Cálculos**

##### **d) Cálculo de la resistencia a la fluencia, por el método del corrimiento**

Se traza una línea una línea recta, sobre el diagrama tensión - deformación, paralela a la parte lineal inicial de la curva, pero se desplaza cierta deformación estándar, como 0,002 o 0,2%. Como se muestra en la figura 49.

Datos:

Deformación a la rotura = 0,532 %

$$0,532 \times 0,002 = 1,064 \times 10^{-3} \times 100\% = 0,1064\%$$

$$0,2\% - 0,1\% = 0,1\%$$

$$0,1\% \div 5\% = 0,02\%$$

0,1 %

$$S_y = 27 \text{ MPa}$$

**e) Cálculo de la resistencia última**

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde:

F= Fuerza a la que la probeta está sometida.

A= Área de la probeta.

Datos obtenidos de la figura 49:

$$F= 2293 \text{ N}$$

$$A=83,27 \text{ mm}^2 \rightarrow 0,08327 \text{ m}^2$$

Reemplazando:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{2293 \text{ N}}{0,08327 \text{ m}^2}$$

$$\sigma = 27,54 \text{ MPa}$$

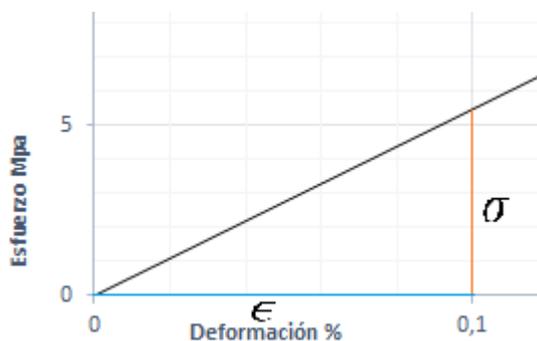
**f) Cálculo del módulo tangente**

$$Tg\theta = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo normal a tracción.

$\epsilon$  = Deformación.



**Figura 50** Cálculo del módulo tangente a través del diagrama esfuerzo deformación de la muestra # 4.

$$Tg\theta = \frac{5,3MPa}{0,1} \times 100$$

$$Tg\theta = 5300 MPa$$

#### g) Cálculo de la deformación sometida a la tracción

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \text{ Ecuación 1}$$

Donde:

$\epsilon$  = Deformación.

$\delta$  = Deformación axial.

$L$  = Longitud original.

La rigidez de un material es una función de su módulo de elasticidad  $E$ , se define como:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo.

$\epsilon =$  Deformación.

Resolviendo para la deformación se obtiene:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}$$

Igualando la ecuación 1 y 2:

$$\frac{\delta}{L} = \frac{\sigma}{E}$$

Resolviendo para la deformación se tiene:

$$\delta = \frac{\sigma L}{E}$$

Datos obtenidos de la figura 49:

$$L = 24,9 \text{ mm}$$

$$\sigma = 27,54 \text{ MPa}$$

$$E = 5304 \text{ MPa}$$

Remplazado la ecuación:

$$\delta = \frac{\sigma L}{E}$$

$$\delta = \frac{27,54 \text{ MPa} \times 24,9 \text{ mm}}{5300 \text{ MPa}}$$

$$\delta = 0,1293 \text{ mm}$$

$$\epsilon = \frac{\delta}{L}$$

$$\epsilon = \frac{0,1293 \text{ mm}}{24,9 \text{ mm}}$$

$$\epsilon = 5,192 \times 10^{-3} \times 100\%$$

$$\epsilon = 0,52\%$$

### 3.7.2 Probetas a tracción de fibra de abacá 30% volumen - 2 cm

En la tabla 17, se aprecian los resultados de los ensayos de tracción realizados según la norma ASTM D3039-08 en las probetas de material compuesto identificado como resina 52YN + 1 capa de fibra de abacá 30% volumen - 2 cm.

**Tabla 16**  
**Resultados de los ensayos de tracción realizados según la norma ASTM D3039-08.**

No	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga Última (N)	Resistencia Última (MPa)	Módulo Tangente (MPa)	Deformación A la rotura %
1	24,90	3,25	80,93	1587	19,64	6504	0,318
2	26,80	2,95	79,06	1847	23,35	5323	0,436
3	25,48	3,24	82,56	1441	17,43	5909	0,297
4	24,81	3,51	87,08	1398	18,82	4562	0,453
5	25,68	3,42	87,82	1473	16,34	5231	0,529

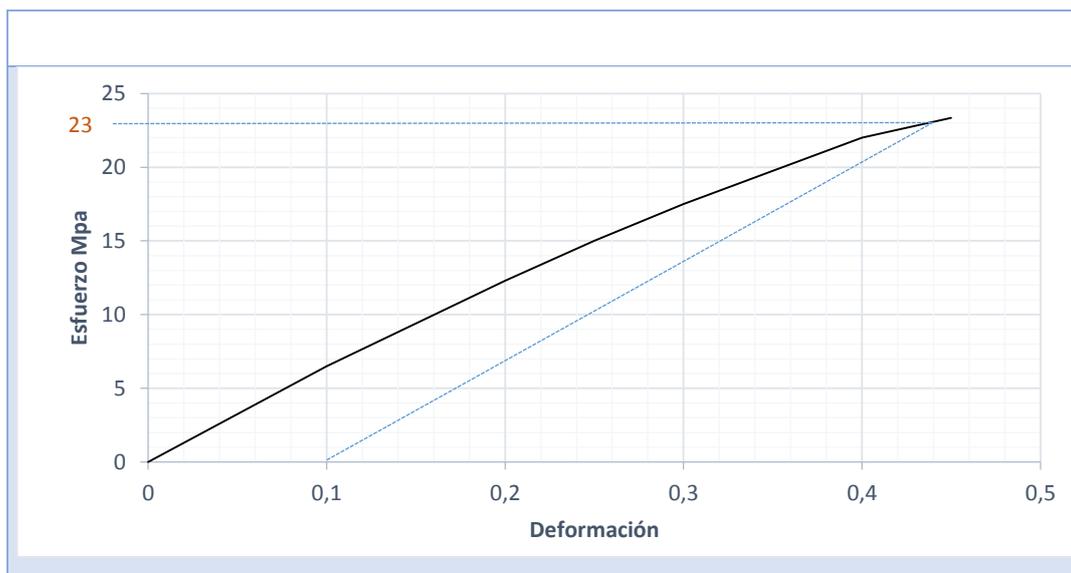
En la figura 51 se puede apreciar las condiciones de una muestra de la probeta del material identificado como resina 52YN + 1 capa de fibra de abacá 30% volumen - 2 cm después de los ensayos de tracción.



**Figura 51** Ensayo de tracción con resina 52YN + 1 capa de fibra de abacá 30% volumen - 2 cm.

Por consiguiente, con los datos generados a través de las pruebas de tracción se puede observar que la probeta número 2 presenta las mejores propiedades mecánicas para la representación del diagrama esfuerzo – deformación del material, como se muestra en la figura 52.

No	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga Última (N)	Resistencia Última (MPa)	Módulo Tangente (MPa)	Deformación A la rotura %	Resistencia a la fluencia (MPa)
2	26,80	2,95	79,06	1847	23,35	5323	0,436	23,00



**Figura 52 Diagrama esfuerzo deformación muestra # 2**

#### **A. Cálculo de la resistencia a la fluencia por el método del corrimiento**

Se traza una línea una línea recta, sobre el diagrama tensión - deformación, paralela a la parte lineal inicial de la curva, pero se desplaza cierta deformación estándar, como 0,002 o 0,2%. Como se muestra en la figura 52.

Datos:

Deformación a la rotura = 0,436 %

$$0,436 \times 0,002 = 8,72 \times 10^{-4} \times 100\% = 0,0872\%$$

$$S_Y = 23 \text{ MPa}$$

#### **3.7.3 Probetas a tracción de fibra de abacá- tejido axial**

En la tabla 18, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de tracción en las probetas de material compuesto identificado como resina 52YN + 1 capa de fibra de abacá- tejido axial.

**Tabla 17**  
**Resultados de los ensayos de tracción realizados según la norma ASTM D3039-08.**

No	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga Última (N)	Resistencia Última (MPa)	Módulo Tangente (MPa)	Deformación A la rotura %
1	26,33	3,40	89,52	506,7	5,66	1591	0,308
2	24,37	3,58	87,24	389,2	4,31	3016	0,059
3	24,60	3,75	92,25	458,3	4,97	4013	0,115
4	25,14	3,65	91,76	403,5	4,62	3982	0,123
5	23,94	3,19	76,36	345,5	4,09	3180	0,218

En la figura 53 se puede apreciar las condiciones de una muestra de la probeta del material identificado como resina 52YN + 1 capa fibra de abacá - tejido axial después de los ensayos de tracción.



**Figura 53** Ensayo de tracción con resina 52YN + 1 capa fibra de abacá - tejido axial.

Por consiguiente, con los datos generados a través de las pruebas de tracción se puede observar que la probeta número 1 presenta las mejores propiedades mecánicas para la representación del diagrama esfuerzo – deformación del material, como se muestra en la figura 54.

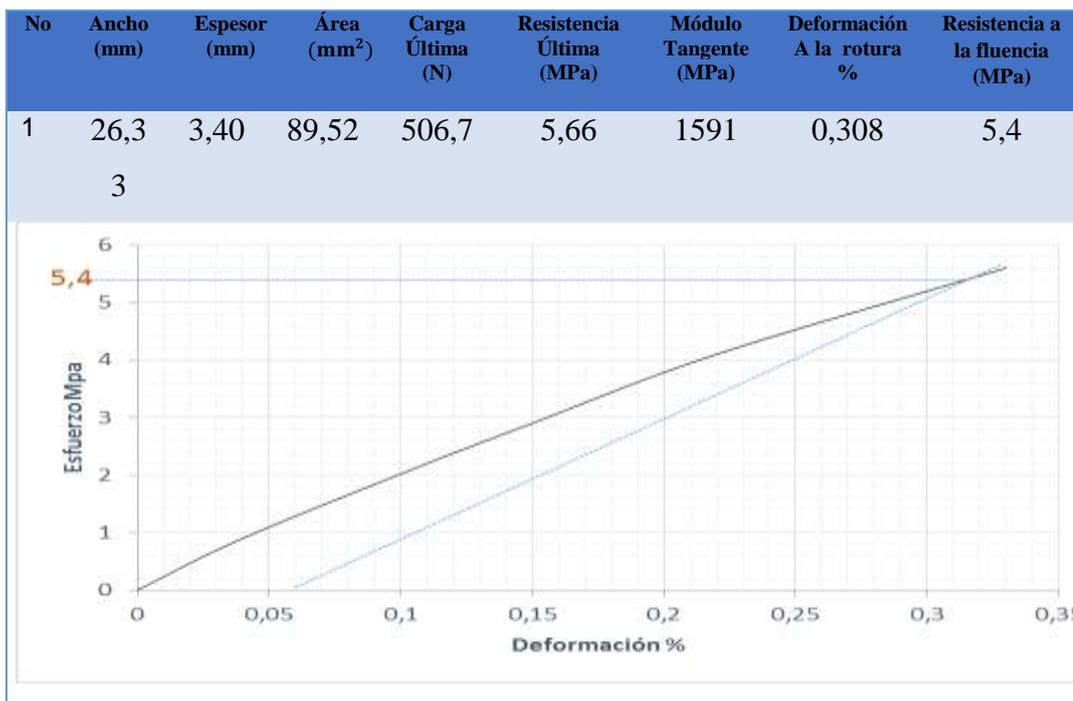


Figura 54 Diagrama esfuerzo deformación muestra # 1.

#### A. Cálculo de la resistencia a la fluencia por el método del corrimiento

Se traza una línea una línea recta, sobre el diagrama tensión - deformación, paralela a la parte lineal inicial de la curva, pero se desplaza cierta deformación estándar, como 0,002 o 0,2%, como se muestra en la figura 54.

Datos:

Deformación a la rotura = 0,308 %

$$0,308 \times 0,002 = 6,16 \times 10^{-4} \times 100\% = 0,0616\%$$

$$S_Y = 5,4 \text{ MPa}$$

#### 3.7.4 Probetas a tracción de fibra de abacá- tejido plano.

En la siguiente tabla 19, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de tracción en las probetas de material compuesto identificado como resina 52YN + 1 capa de fibra de abacá- tejido plano.

**Tabla 18**  
**Resultados de los ensayos de tracción realizados según la norma ASTM D3039-08.**

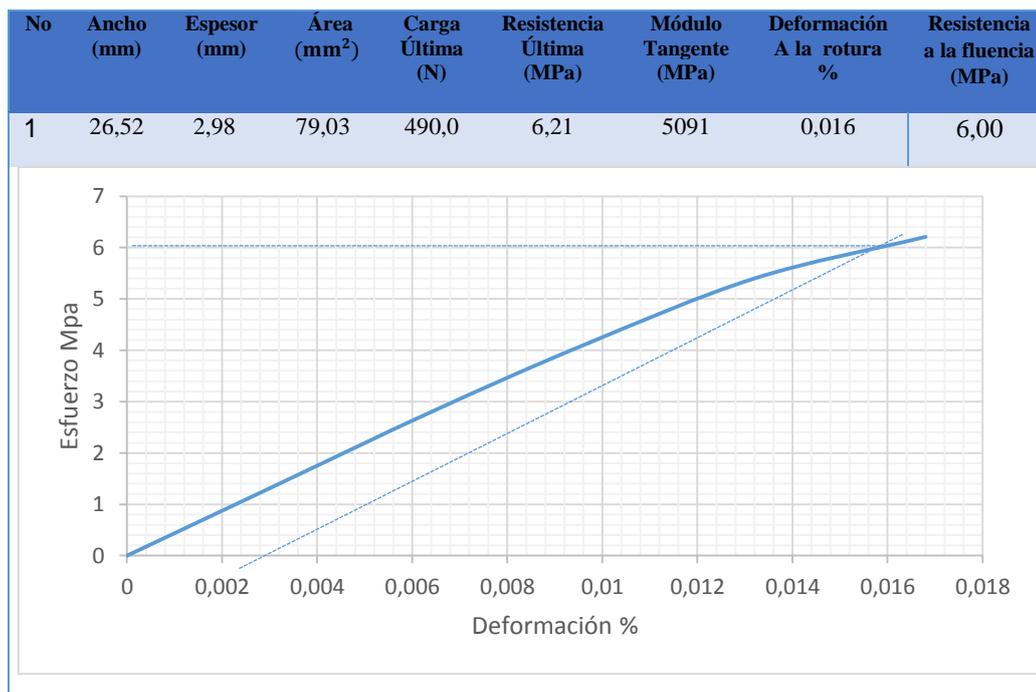
No	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga Última (N)	Resistencia Última (MPa)	Módulo Tangente (MPa)	Deformación A la rotura %
1	26,52	2,98	79,03	490,0	6,21	5091	0,016
2	25,76	3,15	81,14	315,8	3,90	3793	0,079
3	25,76	3,14	81,00	315,8	3,89	3793	0,073
4	23,86	2,96	70,62	313,3	4,27	2982	0,071
5	22,98	2,23	51,24	311,3	5,29	2982	0,071

En la figura 55 se puede apreciar las condiciones de una muestra de la probeta del material identificado como resina 52YN + 1 capa fibra de abacá - tejido después de los ensayos de tracción.



**Figura 55 Ensayo de tracción con resina 52YN + 1 capa fibra de abacá - tejido plano.**

Por consiguiente, con los datos generados a través de las pruebas de tracción se puede observar que la probeta número 1 presenta las mejores propiedades mecánicas para la representación del diagrama esfuerzo – deformación del material, como se muestra en la figura 56.



**Figura 56 Diagrama esfuerzo deformación muestra # 1.**

#### **A. Cálculo de la resistencia a la fluencia por el método del corrimiento**

Se traza una línea una línea recta, sobre el diagrama tensión - deformación, paralela a la parte lineal inicial de la curva, pero se desplaza cierta deformación estándar, como 0,002 o 0,2%. Como se muestra en la figura 56

Datos:

Deformación a la rotura = 0,016%

$$0,016 \times 0,002 = 3,2 \times 10^{-5} \times 100\% = 3,2 \times 10^{-3}\%$$

$$S_Y = 6 \text{ MPa}$$

#### **3.7.5 Probetas a tracción material polímero de parachoque**

En la siguiente tabla 20, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de tracción en las probetas de material compuesto identificado como polímero de parachoques del Chevrolet Optra.

**Tabla 19**  
**Resultados de los ensayos de tracción.**

No	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga Última (N)	Resistencia Última (MPa)	Módulo Tangente (MPa)	Deformación A la rotura %
1	25,34	3,02	76,42	797,5	10,44	1730	10,43
2	25,65	2,675	68,61	757,5	11,04	1917	3,279
3	24,89	3,01	74,91	743,2	10,67	1250	2,681
4	25,01	2,84	71,02	749,7	10,98	1456	2,993
5	25,87	2,93	75,79	753,5	11,01	1546	3,116

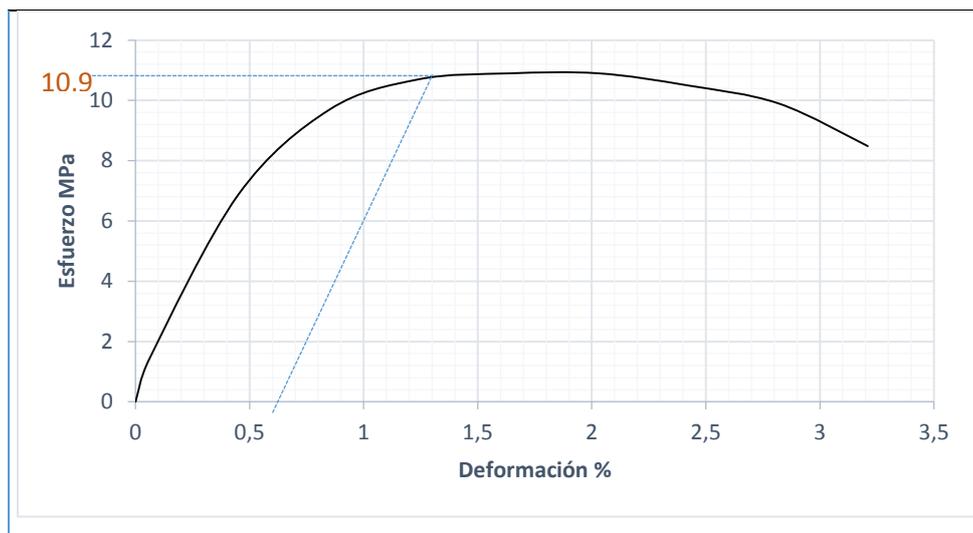
En la figura 57 se puede apreciar las condiciones de una muestra de la probeta del material identificado como polímero de parachoques de Chevrolet Optra después de los ensayos de tracción.



**Figura 57** Ensayo de tracción con polímero de parachoques del Chevrolet Optra.

Por consiguiente, con los datos generados a través de las pruebas de tracción se puede observar que la probeta número 2 presenta las mejores propiedades mecánicas para la representación del diagrama esfuerzo – deformación del material, como se muestra en la figura 58.

No	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga Última (N)	Resistencia Última (MPa)	Módulo Tangente (MPa)	Deformación A la rotura %	Resistencia a la fluencia (MPa)
1	25,65	2,675	68,61	757,5	11,04	1917	3,279	10,9



**Figura 58 Diagrama esfuerzo deformación muestra # 2.**

### A. Cálculos

#### a) Cálculo de la resistencia a la fluencia, por el método del corrimiento

Se traza una línea recta, sobre el diagrama tensión - deformación, paralela a la parte lineal inicial de la curva, pero se desplaza cierta deformación estándar, como 0,002 o 0,2%, como se muestra en la figura 58.

Datos:

Deformación a la rotura = 3,279 %

$$3,279 \times 0,002 = 0,006558 \times 100 = 0,6558\%$$

$$1 - 0,5 = 0,5$$

$$0,5 \div 5 = 0,1$$

$$0,5 + 0,1 = 0,6$$

**$S_y = 10,9 \text{ MPa}$**

#### h) Cálculo del esfuerzo máximo

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde:

F= Fuerza a la que la probeta está sometida.

A= Área de la probeta.

Datos obtenidos de la figura 58:

$$F= 757,5 \text{ N}$$

$$A=68,65 \text{ mm}^2 \rightarrow 0,06865 \text{ m}^2$$

Remplazando:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{757,5 \text{ N}}{0,06865 \text{ m}^2}$$

$$\sigma = \mathbf{11,04 \text{ MPa}}$$

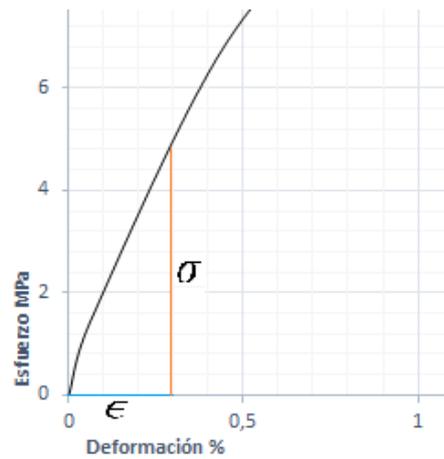
### i) Cálculo del módulo tangente

$$Tg\theta = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo normal a tracción.

$\epsilon$ = Deformación.



**Figura 59** Cálculo del módulo tangente a través del diagrama esfuerzo deformación de la muestra # 2.

$$Tg\theta = \frac{4,6 \text{ MPa}}{0,3} \times 100$$

$$Tg\theta = 1600 \text{ MPa}$$

**j) Cálculo de la deformación sometida a la tracción**

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Igualando la ecuación 1 y 2 :

$$\frac{\delta}{L} = \frac{\sigma}{E}$$

Resolviendo para la deformación se tiene:

$$\delta = \frac{\sigma L}{E}$$

Datos obtenidos de la figura 58 página 80.

$$L = 25,65mm$$

$$\sigma = 11,04MPa$$

$$E = 1600 MPa$$

Remplazando:

$$\delta = \frac{\sigma L}{E}$$

$$\delta = \frac{11,04 MPa \times 25,65 mm}{1600MPa}$$

$$\delta = 0,1769 mm$$

$$\epsilon = \frac{\delta}{L}$$

$$\epsilon = \frac{0,1769mm}{25,65 mm}$$

$$\epsilon = 6,76 \times 10^{-3} \times 100\%$$

$$\epsilon = \mathbf{0,69\%}$$

### 3.8 Ensayo de flexión mediante la norma ASTM D7264 / D7264M – 15

Este método de ensayo determina la resistencia a la tracción en el plano propiedades de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras de alto módulo.

#### 3.8.1 Condiciones de ensayo

- Velocidad de ensayo: 1 mm/min
- Método: Flexión por tres puntos

- La relación espesor - distancia entre apoyos que se considera es 1:16

En la figura 60, se ilustra el ensayo de flexión realizado en las probetas de material compuesto.



**Figura 60** Ensayos de flexión realizados en las probetas de material compuesto, siguiendo los parámetros de la norma ASTM D7264-15.

### 3.8.2 Resultados

#### 3.8.3 Probetas a flexión de fibra de abacá 30% volumen – 3 cm

En la tabla 21, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de flexión en las probetas de material compuesto identificado como resina 52YN + 1 capa de fibra de abacá 30% volumen - 3 cm.

**Tabla 20**

**Resultados de los ensayos de flexión realizados según la norma ASTM D7264-15.**

No	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga Última (N)	Resistencia Última (MPa)	Módulo Tangente (MPa)	Deformación A la rotura %
1	12,71	4,39	55,80	125,83	54,15	2650	2,25
2	13,69	4,39	60,10	171,67	68,58	2670	2,82
3	13,04	4,50	58,68	160,00	65,59	2670	2,91
4	11,90	4,47	53,19	138,33	62,37	2860	2,34

5	12,52	4,28	53,58	124,82	61,43	2639	2,79
---	-------	------	-------	--------	-------	------	------

En la figura 61 se puede apreciar las condiciones de una muestra de la probeta del material identificado como resina 52YN + 1 capa de fibra de abacá 30% volumen - 3 cm después de los ensayos de flexión.



**Figura 61 Ensayo de flexión con resina 52YN + 1 capa de fibra de abacá 30% volumen - 3 cm.**

Por consiguientes con los datos generados por las prueba de flexión de esta muestra se puede observar cual genera las mejores características mecánicas la muestra número 2 obteniendo así su diagrama de esfuerzo – deformación, como se muestra en la figura 62.

No	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga Última (N)	Resistencia Última (MPa)	Módulo Tangente (MPa)	Deformación A la rotura %	Resistencia a la fluencia (MPa)
2	13,69	4,39	60,10	171,69	68,58	2670	2,82	68,00

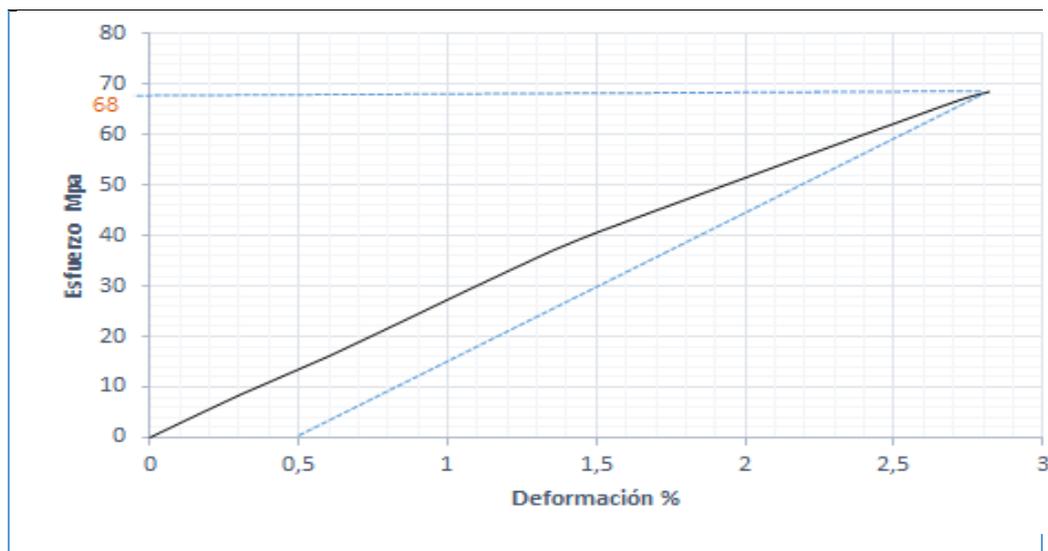


Figura 62 Diagrama esfuerzo deformación muestra # 2.

### A. Cálculos

#### a) Cálculo de la resistencia a la fluencia, por el método del corrimiento

Se traza una línea recta, sobre el diagrama tensión - deformación, paralela a la parte lineal inicial de la curva, pero se desliza cierta deformación estándar, como 0,002 o 0,2%, como se muestra en la figura 62.

Datos:

Deformación a la rotura = 2,82 %

$$2,82 \times 0,002 = 5,64 \times 10^{-3} \times 100 = 0,564\%$$

$$1 - 0,5 = 0,5$$

$$0,5 \div 5 = 0,1$$

$$0,5\%$$

$$S_y = 68 \text{ MPa}$$

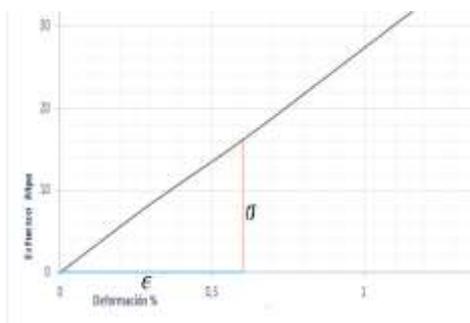
**b) Cálculo del módulo tangente**

$$Tg\theta = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Donde

$\sigma$  = Esfuerzo normal a tracción

$\epsilon$  = Deformación



**Figura 63 Cálculo del módulo tangente a través del diagrama esfuerzo deformación de la muestra # 2 a flexión.**

$$Tg\theta = \frac{16 \text{ MPa}}{0.6} \times 100$$

$$Tg\theta = 2666 \text{ MPa}$$

**c) Cálculo de la flexión sometida.**

Datos obtenidos de la figura 62:

$$P = 171,67 \text{ N}$$

$$s_u = 68,58 \text{ MPa}$$

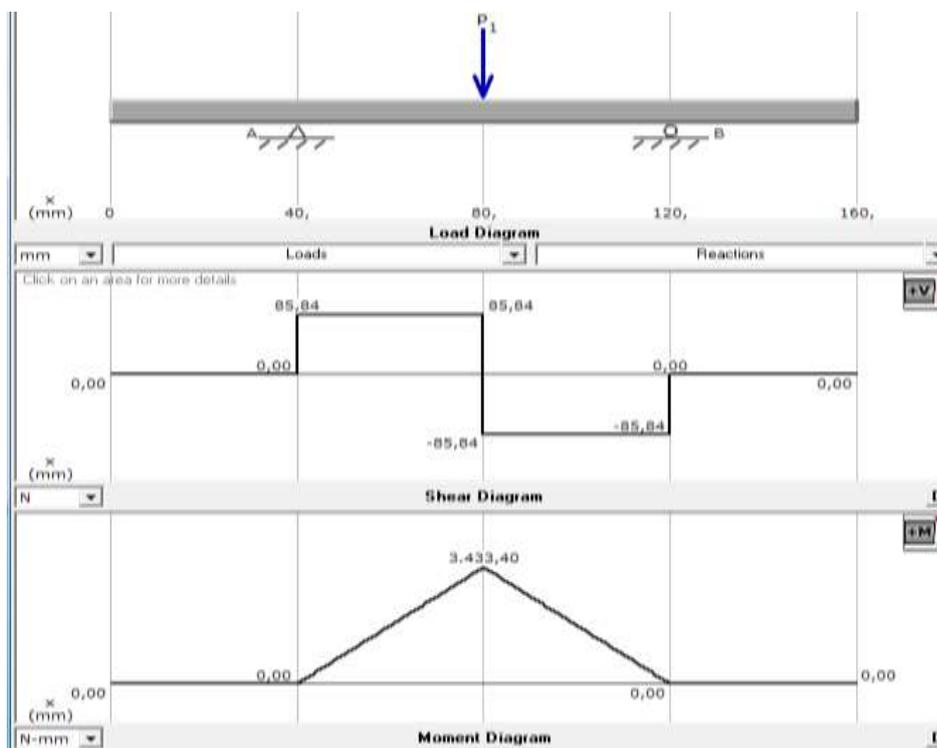
$$b = 13,69 \text{ mm}$$

$$h = 4,39 \text{ mm}$$

$$L = 160\text{mm}$$

$$E=2670\text{MPa}$$

$$h=4,98\text{mm}$$



**Figura 64 Diagrama de momento.**

$$R_A = R_B = \frac{P}{2} = \frac{171,67}{2} = 85,835 \text{ N}$$

$$A_1 = (40)\text{mm} (85,835)\text{N}$$

$$A_1 = 3433,4 \text{ Nmm}$$

$$A_1 = A_2$$

$$M_{max} = 3433,4 \text{ Nmm}$$

**d) Esfuerzo máximo a tensión**

$$\sigma_{max} = \frac{M.C}{I}$$

M = Momento

C = Distancia

I = Momento de inercia

$$I = \frac{b \times h^3}{12}$$

$$b = 13,69 \text{ mm}$$



$$b = 13,69 \text{ mm}$$

$$b = 13,69 \text{ mm}$$

$$h = 4,39 \text{ mm}$$

$$C = 2,195 \text{ mm}$$

$$I = \frac{b \times h^3}{12}$$

$$I = \frac{(13,69 \text{ mm}) \times (4,39 \text{ mm})^3}{12}$$

$$I = 96,51 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{(3433,4 \text{ Nmm})(2,195 \text{ mm})}{96,51 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{max} = \frac{(7536,313) \text{ Nmm}^2}{96,51 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{max} = \frac{7536,313 \text{ N}}{96,51 \text{ mm}^2} \times \frac{1 \text{ MPa m}^2}{10^6 \text{ N}} \times \frac{1000^2 \text{ mm}^2}{1 \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{max} = 78.08 \text{ MPa}$$

e) Deformación elástica

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\epsilon = \frac{78,08 \text{ MPa}}{2670 \text{ MPa}}$$

$$\epsilon = 2,92 \%$$

- **Deflexión máxima**

$$Y_{max} = \frac{PL^3}{48EI}$$

$$Y_{max} = \frac{(171,67 \text{ N})(80 \text{ mm})^3}{48(2670 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2})(96,51 \text{ mm}^4)}$$

$$Y_{max} = \frac{7,10 \text{ N} \cdot \text{mm}^3 \text{ mm}^2}{\text{N} \cdot \text{mm}^4}$$

$$Y_{max} = 7 \text{ mm}$$

### 3.8.4 Probetas a flexión de fibra de abacá 30% volumen - 2 cm

En la siguiente tabla 22, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de flexión en las probetas de material compuesto identificado como resina 52YN + 1 capa de fibra de abacá 30% volumen - 2 cm.

**Tabla 21**  
**Resultados de los ensayos de flexión realizados según la norma ASTM D 7264-15.**

No	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga Última (N)	Resistencia Última (MPa)	Módulo Tangente (MPa)	Deformación A la rotura %
----	------------	--------------	-------------------------	------------------	--------------------------	-----------------------	---------------------------

1	12,85	4,31	55,38	100,83	43,71	2260	2,38
2	12,49	4,52	56,90	160,83	68,45	2957	4,37
3	12,92	4,48	57,88	105,00	43,54	2340	1,97
4	14,13	4,39	62,03	124,17	48,00	2290	2,25
5	13,98	4,63	64,72	137,82	52,46	2289	2,78

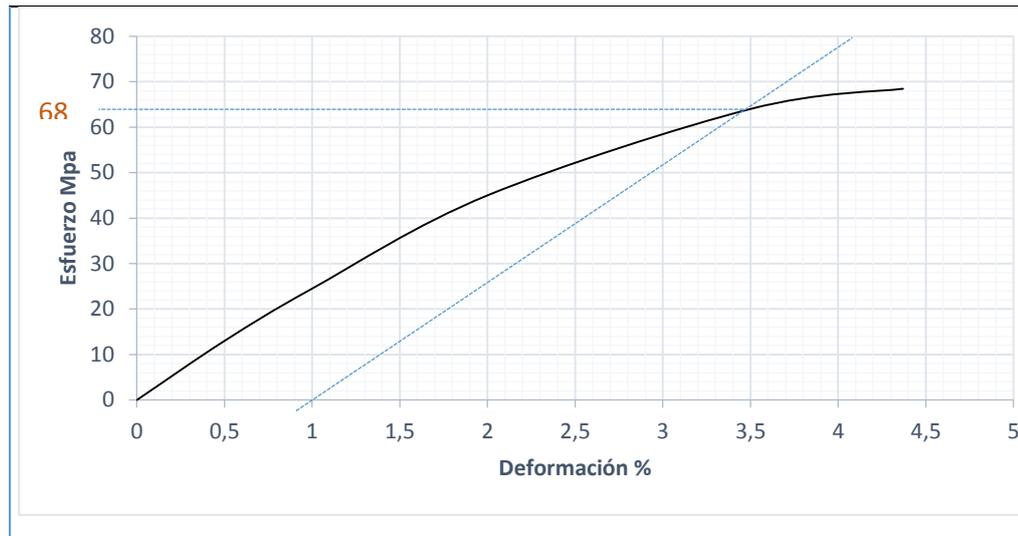
En la figura 65 se puede apreciar las condiciones de una muestra de la probeta del material identificado como como resina 52YN + 1 capa de fibra de abacá 30% volumen - 2 cm" después de los ensayos de flexión.



**Figura 65 Ensayo de flexión con resina 52YN + 1 capa de fibra de abacá 30% volumen - 2 cm.**

Por consiguientes con los datos generados por las prueba de flexión de esta muestra se puede observar cual genera las mejores características mecánicas la muestra número 2 obteniendo así su diagrama de esfuerzo –deformación, como se muestra en la figura 66.

No	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga Última (N)	Resistencia Última (MPa)	Módulo Tangente (MPa)	Deformación A la rotura %	Resistencia a la fluencia (MPa)
2	12,49	4,52	56,90	160,83	68,45	2957	4,37	68,00



**Figura 66 Diagrama esfuerzo deformación muestra # 3.**

#### **A. Cálculo de la resistencia a la fluencia, por el método del corrimiento**

Se traza una línea recta, sobre el diagrama tensión - deformación, paralela a la parte lineal inicial de la curva, pero se desplaza cierta deformación estándar, como 0,002 o 0,2%, como se muestra en la figura 66.

Datos:

Deformación a la rotura = 4,37 %

$$4,37 \times 0,002 = 8,74 \times 10^{-3} \times 100 = 0,874\%$$

$$S_Y = 68 \text{ MPa}$$

#### **3.8.5 Probetas a flexión de fibra de abacá- tejido axial**

En la tabla 23, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos a flexión en las probetas de material compuesto identificado como "Resina 52YN + 1 capa de fibra de abacá- tejido axial.

**Tabla 22**  
**Resultados de los ensayos de flexión realizados según la norma ASTM D7264-15.**

No	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga Última (N)	Resistencia Última (MPa)	Módulo Tangente (MPa)	Deformación A la rotura %
1	11,98	4,67	55,90	58,33	16,7	807	2,07
2	12,35	4,66	57,50	45,00	10,07	684	1,88
3	13,98	4,54	63,47	69,17	17,97	923	1,95
4	12,43	4,62	57,43	65,00	18,33	798	2,31
5	12,73	4,56	58,04	61,95	17,32	654	2,71

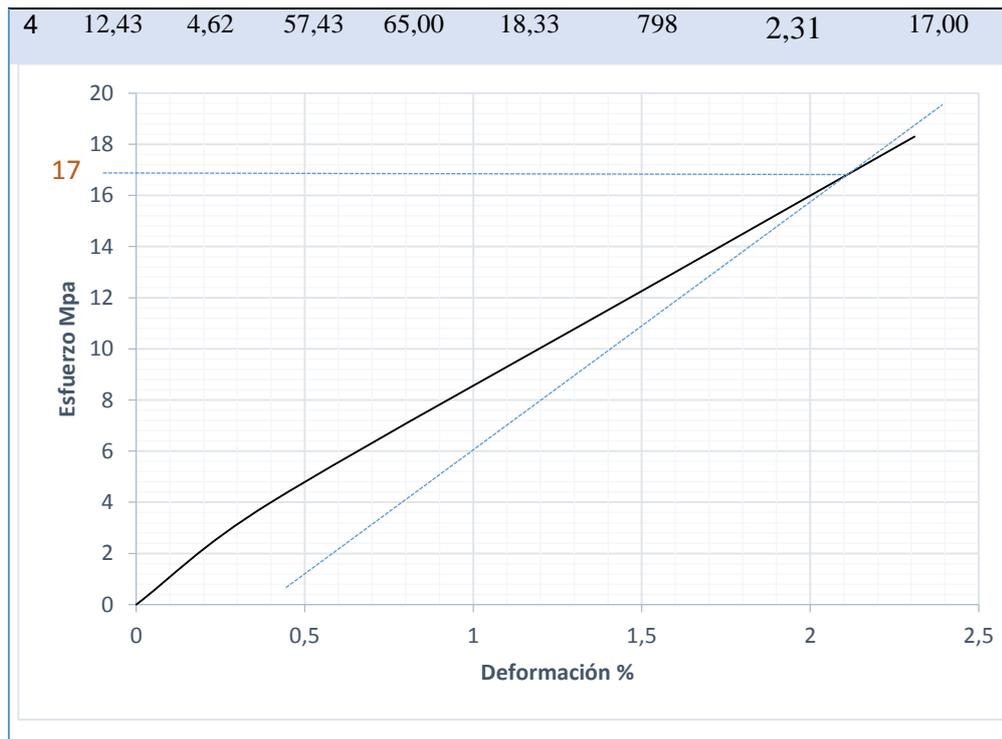
En la figura 67 se puede apreciar las condiciones de una muestra de la probeta del material identificado como resina 52YN + 1 capa fibra de abacá - tejido axial después de los ensayos de flexión.



**Figura 67 Ensayo de flexión con resina 52YN + 1 capa fibra de abacá - tejido axial.**

Por consiguientes con los datos generados por las prueba de flexión de esta muestra se puede observar cual genera las mejores características mecánicas la muestra número 4 obteniendo así su diagrama de esfuerzo –deformación, como se muestra en la figura 68.

No	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga Última (N)	Resistencia Última (Mpa)	Módulo Tangente (Mpa)	Deformación A la rotura %	Resistencia a la fluencia (Mpa)
1	11,98	4,67	55,90	58,33	16,7	807	2,07	
2	12,35	4,66	57,50	45,00	10,07	684	1,88	
3	13,98	4,54	63,47	69,17	17,97	923	1,95	
4	12,43	4,62	57,43	65,00	18,33	798	2,31	
5	12,73	4,56	58,04	61,95	17,32	654	2,71	



**Figura 68 Diagrama esfuerzo deformación muestra # 3**

#### **A. Cálculo de la resistencia a la fluencia, por el método del corrimiento**

Se traza una línea recta, sobre el diagrama tensión - deformación, paralela a la parte lineal inicial de la curva, pero se desliza cierta deformación estándar, como 0,002 o 0,2%, como se muestra en la figura 68.

Datos:

Deformación a la rotura = 2,31 %

$$2,31 \times 0,002 = 4,62 \times 10^{-3} \times 100 = 0,462\%$$

$$S_Y = 17 \text{ MPa}$$

### **3.8.6 Probetas a flexión de fibra de abacá- tejido plano**

En la tabla 24, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de flexión en las probetas de material compuesto identificado como resina 52YN + 1 capa de fibra de abacá- tejido plano.

**Tabla 23**

**Resultados de los ensayos de flexión realizados según la norma ASTM D7264-15.**

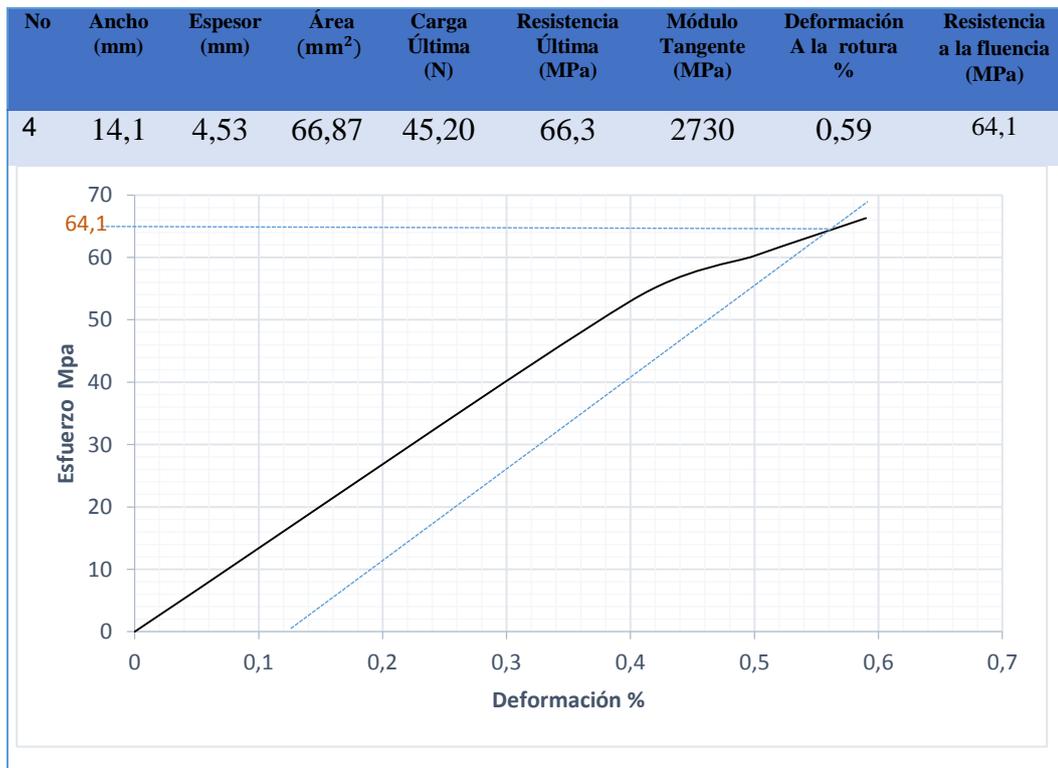
No	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga Última (N)	Resistencia Última (Mpa)	Módulo Tangente (Mpa)	Deformación A la rotura %
1	12,75	4,70	59,93	93,33	37,4	2560	1,48
2	13,85	4,72	65,37	93,33	34,2	2630	1,31
3	13,73	4,76	65,50	123,32	45,2	2751	1,67
4	14,1	4,53	66,87	45,20	66,3	2730	0,59
5	13,98	4,71	65,84	63,11	51,4	2487	1,03

En la figura 69 se puede apreciar las condiciones de una muestra de la probeta del material identificado como resina 52YN + 1 capa fibra de abacá - tejido plano después de los ensayos de flexión.



**Figura 69** Ensayo de flexión con resina 52YN + 1 capa fibra de abacá - tejido plano.

Por consiguientes con los datos generados por las prueba de flexión de esta muestra se puede observar cual genera las mejores características mecánicas la muestra número 4 obteniendo así su diagrama de esfuerzo –deformación, como se muestra en la figura 70.



**Figura 70 Diagrama esfuerzo deformación muestra # 3.**

#### **A. Cálculo de la resistencia a la fluencia, por el método del corrimiento**

Se traza una línea recta, sobre el diagrama tensión - deformación, paralela a la parte lineal inicial de la curva, pero se desplaza cierta deformación estándar, como 0,002 o 0,2%, como se muestra en la figura 70.

Datos:

Deformación a la rotura = 0,59 %

$$0,59 \times 0,002 = 1,18 \times 10^{-3} \times 100 = 0,118\%$$

$$S_Y = 64,1$$

### 3.8.7 Probetas a flexión material polímero de parachoques

En la tabla 25, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de flexión en las probetas de material compuesto identificado como "Polímero de parachoques de Chevrolet Optra".

**Tabla 24**

**Resultados de los ensayos de flexión realizada según la norma ASTM D 7264-15.**

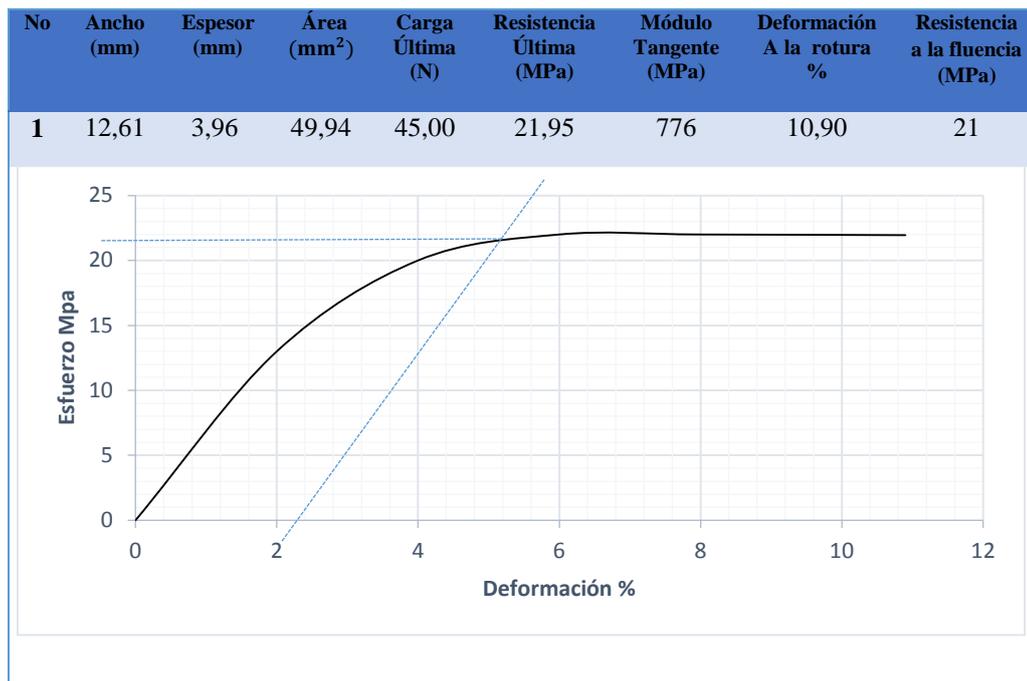
No	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga Última (N)	Resistencia Última (MPa)	Módulo Tangente (MPa)	Deformación A la rotura %
1	12,61	3,96	49,94	45,00	21,95	776	10,90
2	13,1	4,02	53,00	44,17	19,99	704	10,90
3	12,59	3,94	49,60	44,26	19,56	658	10,89
4	12,61	3,97	50,06	44,11	19,33	683	10,89
5	12,98	4,01	52,04	44,97	19,92	701	10,90

En la figura 71 se puede apreciar las condiciones de una muestra de la probeta del material identificado como polímero de parachoques de Chevrolet Optra después del ensayo de flexión.



**Figura 71 Ensayo de flexión con polímero de parachoques del Chevrolet Optra.**

Por consiguientes con los datos generados por las prueba de flexión de esta muestra se puede observar cual genera las mejores características mecánicas la muestra número 1 obteniendo así su diagrama de esfuerzo – deformación, como se muestra en la figura 72.



**Figura 72 Diagrama esfuerzo deformación muestra # 1.**

## A. CÁLCULOS

### a) Cálculo de la resistencia a la fluencia, por el método del corrimiento

Se traza una línea recta, sobre el diagrama tensión - deformación, paralela a la parte lineal inicial de la curva, pero se desplaza cierta deformación estándar, como 0,002 o 0,2% como se muestra en la figura 72.

Datos:

Deformación a la rotura = 10,90 %

$10,90 \times 0,002 = 0,0218 \times 100 = 2,18\%$

**$S_y = 21 \text{ MPa}$**

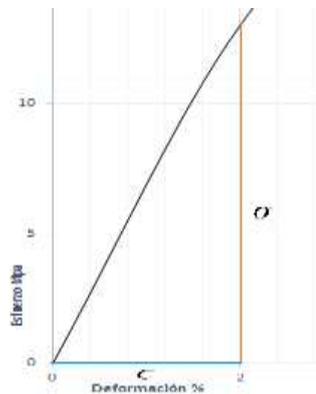
f) Cálculo del módulo tangente

$$Tg\theta = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Donde

$\sigma$  = Esfuerzo normal a tracción.

$\epsilon$  = Deformación.



**Figura 73 Cálculo del módulo tangente a través del diagrama esfuerzo deformación de la muestra # 2.**

$$Tg\theta = \frac{13}{2} \times 100$$

$$Tg\theta = 650 \text{ MPa}$$

g) Cálculo de la deformación sometida a la flexión

Datos obtenidos de la figura 72:

$$P = 45 \text{ N}$$

$$s_u = 21,95 \text{ MPa}$$

$$b = 12,61 \text{ mm}$$

$$h = 3,96 \text{ mm}$$

$$L = 160 \text{ mm}$$

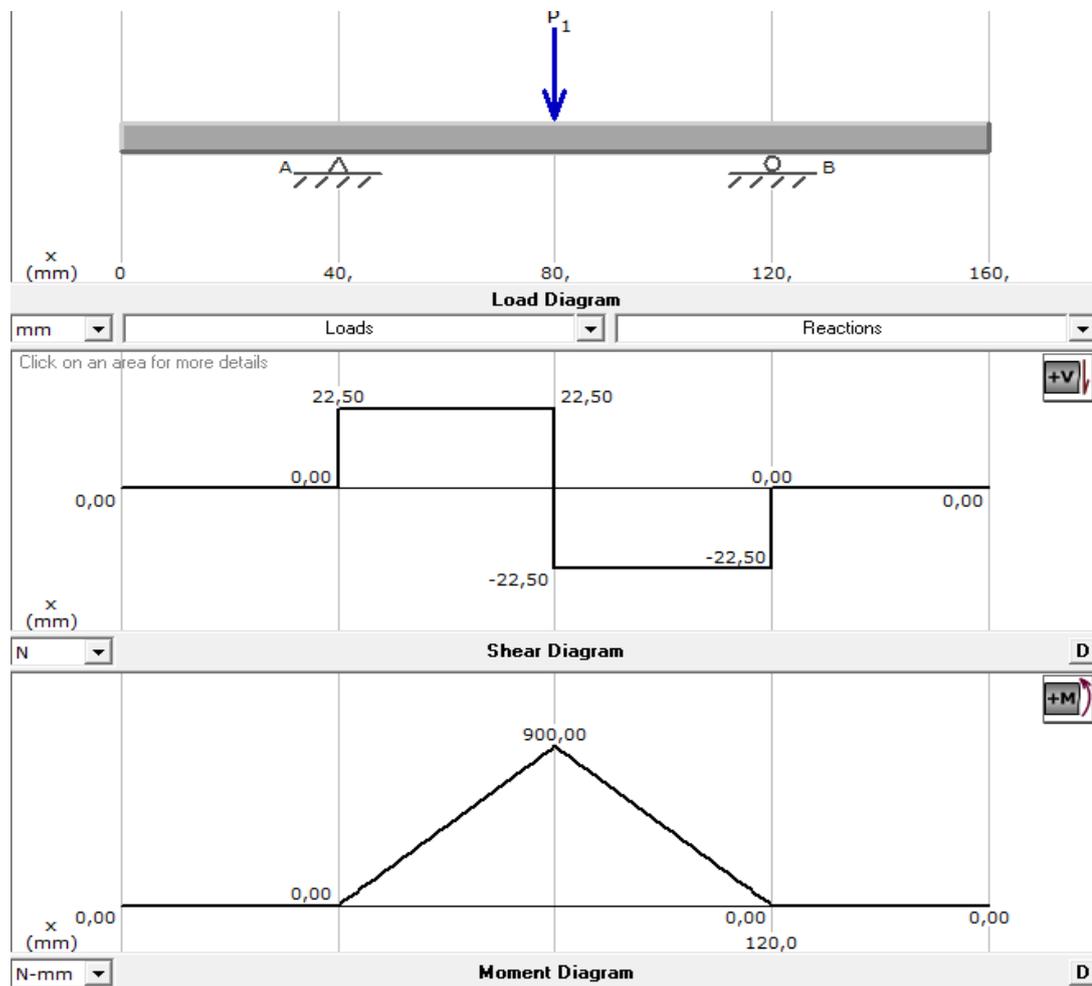


Figura 74 Diagrama de momento probeta polímero.

$$R_A = R_B = \frac{P}{2} = \frac{45}{2} = 22,5 \text{ N}$$

$$A_1 = (40) \text{ mm}(22,5) \text{ N}$$

$$A_1 = 900 \text{ Nmm}$$

$$A_1 = A_2$$

$$M_{max} = 900 \text{ Nmm}$$

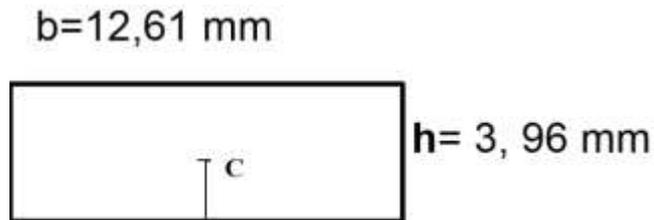
$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot C}{I}$$

M = Momento.

C = Distancia.

I = Momento de inercia.

$$I = \frac{b \times h^3}{12}$$



$$b = 12,61 \text{ mm}$$

$$h = 3,96 \text{ mm}$$

$$I = \frac{b \times h^3}{12}$$

$$C = 1,98 \text{ mm}$$

$$I = \frac{b \times h^3}{12}$$

$$I = \frac{(12,61) \times (3,96)^3 \text{ mm}^4}{12}$$

$$I = 65,26 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{(900 \text{ Nmm})(1,98 \text{ mm})}{65,26 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{max} = \frac{(1782) \text{ Nmm}^2}{65,26 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{max} = \frac{1782 \text{ N}}{65,26 \text{ mm}^2} \times \frac{1 \text{ MPa m}^2}{10^6 \text{ N}} \times \frac{1000^2 \text{ mm}^2}{1 \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{max} = 27,30 \text{ MPa}$$

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\epsilon = \frac{27,30MPa}{776MPa}$$

$$\epsilon = 3,51\%$$

**h) Calculo de la deflexión máxima**

$$\delta_{max} = \frac{PL^3}{48EI}$$

$$\delta_{max} = \frac{(45N)(80mm)^3}{48(776 \frac{N}{mm^2})(65,26mm^4)}$$

$$\delta_{max} = \frac{9,48N \cdot mm^3 mm^2}{N \cdot mm^4}$$

$$\delta_{max} = 9,48mm$$

## CAPÍTULO IV

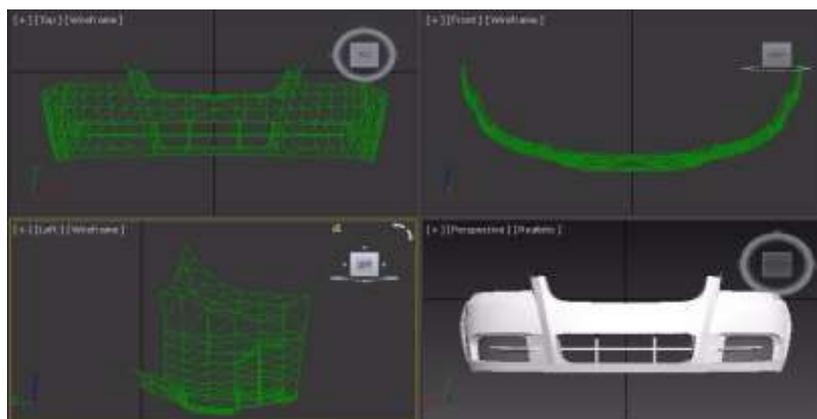
## DISEÑO E INGENIERÍA ASISTIDO POR COMPUTADORA DEL PROTOTIPO

### 4.1 Diseño y modelación asistido por computador

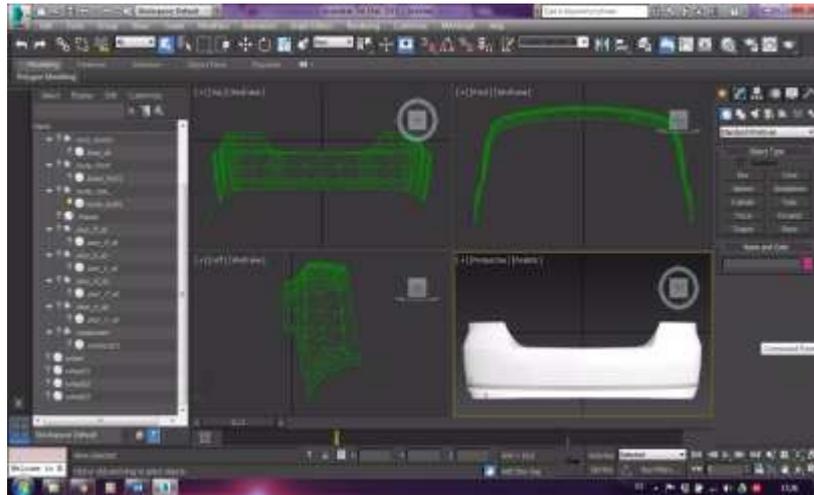
En ingeniería el proceso de diseño es plasmar ideas, desarrollarlas y solucionar el problema de manera inmediata y confiable, para ello se usa conocimientos, recursos y productos existentes para resolver un problema.

El CAD es una técnica de análisis, trata de crear un modelo del comportamiento de un producto, aun antes de que se haya construido. A continuación se detallan los pasos para desarrollo del modelado y estudio de los parachoques delantero y posterior.

1. Para el desarrollo de los parachoques delantero y posterior se crea una geometría en el programa CAD 3ds Max, este programa transforma una fotografía en un armazón de alambre como se muestra en la figuras 75 y 76

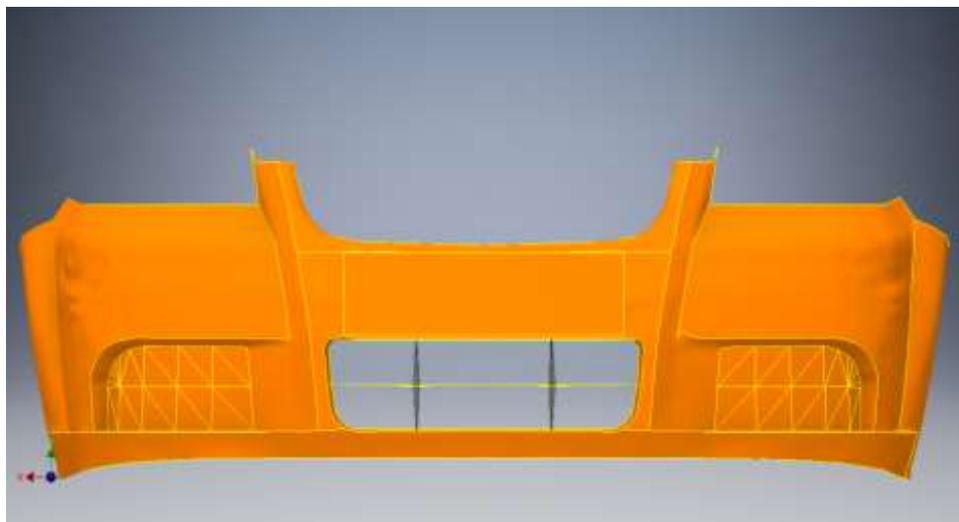


**Figura 75 Armazón de alambre del parachoques delantero.**

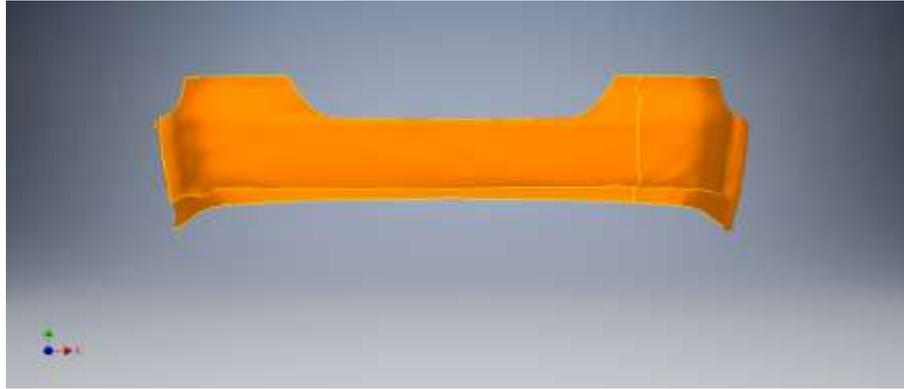


**Figura 76 Armazón del alambre del parachoques posterior.**

2. Del programa 3ds Max, exportar el archivo alámbrico del parachoques delantero y posterior como STL.
3. Abrir el inventor, se importa el archivo STL, y se procede a generarlo como superficie como se muestra en las figuras 77 y 78.

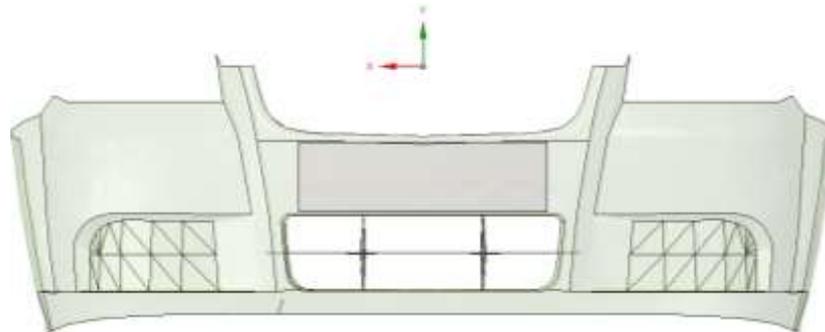


**Figura 77 Superficie del parachoques delantero.**

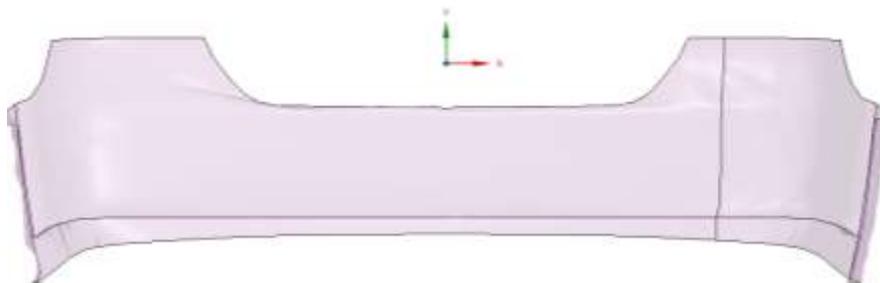


**Figura 78 Superficie del parachoques posterior.**

4. Exportar el archivo de inventor como STP.
5. Abrir el módulo Space Claim de ANSYS, este módulo repara la geometría, delimita, crea contactos como se muestra en las figuras 79 y 80.



**Figura 79 Parachoques delantero ensamblado en superficies.**



**Figura 80 Parachoques posterior ensamblado en superficies.**

6. Se procede a realizar el estudio de impacto, a continuación se detalla los pasos para el análisis.

- Se realiza el mallado tetraédrico debido a que son elementos curvos, el parachoques delantero y posterior.
- Procedemos a poner las condiciones de velocidad a la que se va a realizar el impacto según la norma RCAR a 10 km/h.
- Ejecutamos las condiciones de contorno, esto define el desplazamiento de los elementos.
- Alimentamos al programa con los datos obtenidos en nuestra investigación del polímero y del compuesto, estos datos se encuentran en el capítulo 3 en la cual se escoge como mejor resultado la probeta 2, que se encuentra en la figura 64 para el compuesto, y la probeta 1 para el polímero que se encuentra en la figura 74.
- Se define el tiempo de impacto en 20 milisegundos. (Tajasagar Ambati, 2012, pág. 3)
- Para poder observar la deformación de los parachoques delanteros y posteriores, el tiempo son los mismos para la simulación de los parachoques del polímero y del compuesto.

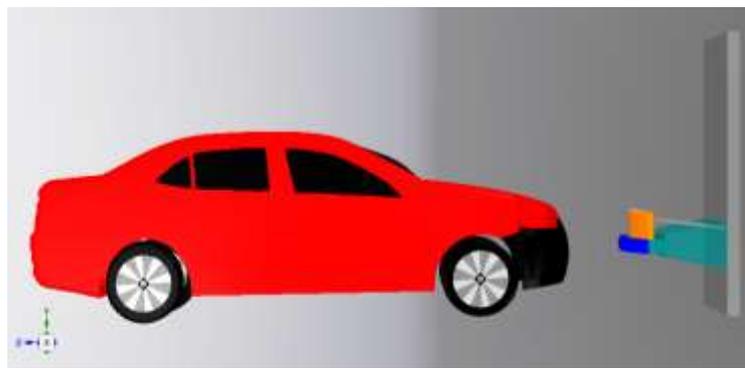
#### **4.2 Cumplimiento de estándares de prototipo.**

El análisis por elementos finitos (AEF) consiste en dividir la geometría en la que se quiere resolver una ecuación diferencial de un campo escalar o vectorial en un dominio, en pequeños elementos, (puntos interconectados entre sí llamados nodos y al conjunto se le conoce como malla) teniendo en cuenta unas ecuaciones de campo en cada elemento, los elementos del entorno y las fuentes generadoras de campo en cada elemento. Esta técnica se encuentra automatizada en las herramientas software comercial, llamadas herramientas de análisis por elementos finitos para problemas físicos tanto de propósito general, como aplicadas a problemas físicos particulares. (Ródenas, s.f.)

El análisis por elementos finitos (AEF) la cual ayudará a obtener productos de calidad superior y de menos costos, o realizar los estudios de fallos de una componente estructural o un equipo, ayudará a mejorar procesos existentes. Al utilizar un programa de AEF se lograra reducir tiempo total de desarrollo de un producto, reduciendo así el número de ciclos prototipo-pruebas- ensayos – evaluación. (Norton R. L.)

#### 4.2.1 Solucionador (solver)

Para realizar el estudio se utilizara el software **ANSYS** el cual permitirá satisfacer necesidades complejas de diseño y análisis, se tiene acceso a cualquier campo de la simulación, es el más utilizado a nivel de ingeniería por su exactitud, y su fácil manejo del programa. Figura 81.



**Figura 81 Parachoques delantero de Optra 2008.**

#### 4.2.2 Mallado

Hoy en día el análisis de elementos finitos es totalmente fiable para realizar el estudio de ingeniería, una vez realizado el modelo geométrico, el programa divide en pequeñas partes de formas sencillas llamadas elementos, y estas están conectados por medio de nodos, este proceso de subdividir el modelo en pequeñas partes se lo llama mallado, como se muestra en la figura 82

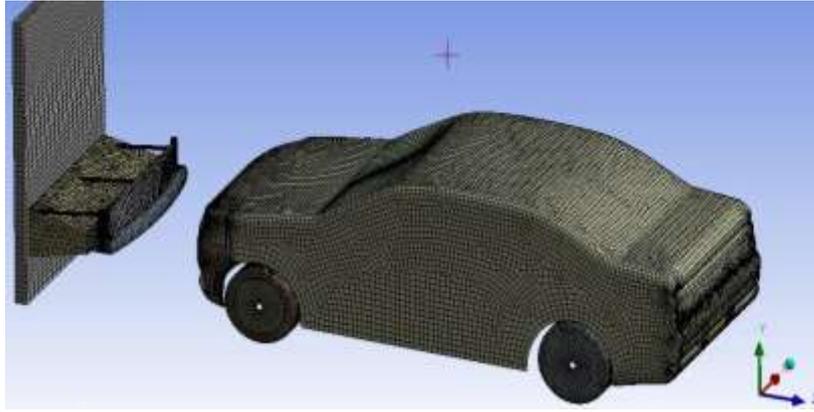


Figura 82 Mallado de un parachoques delantero de Optra

### 4.2.3 Tipología

Los elementos son uni, bi o tridimensionales, llamados también elementos de línea, superficie y volumen, respectivamente.

Asimismo, pueden ser de diferente “orden”, término que se refiere al orden de la función (usualmente un polinomio) que define la distribución de desplazamiento a través del elemento. La figura 83, presenta algunos elementos que se usan comúnmente, agrupados por dimensionalidad y orden. (Norton R. L.)

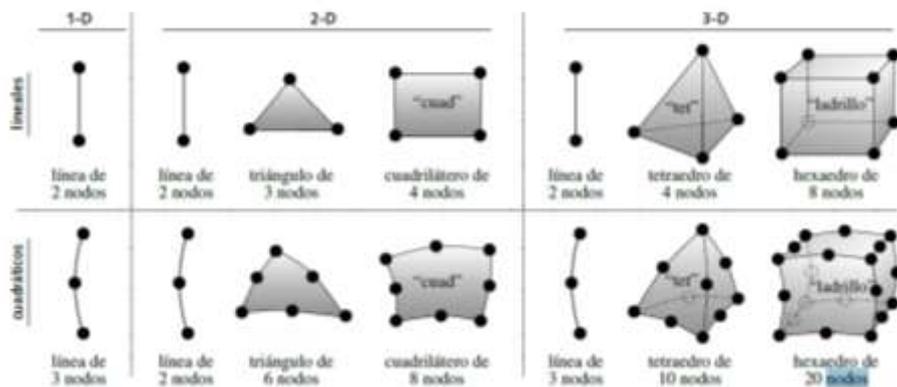


Figura 83 Diferentes tipos de elementos.

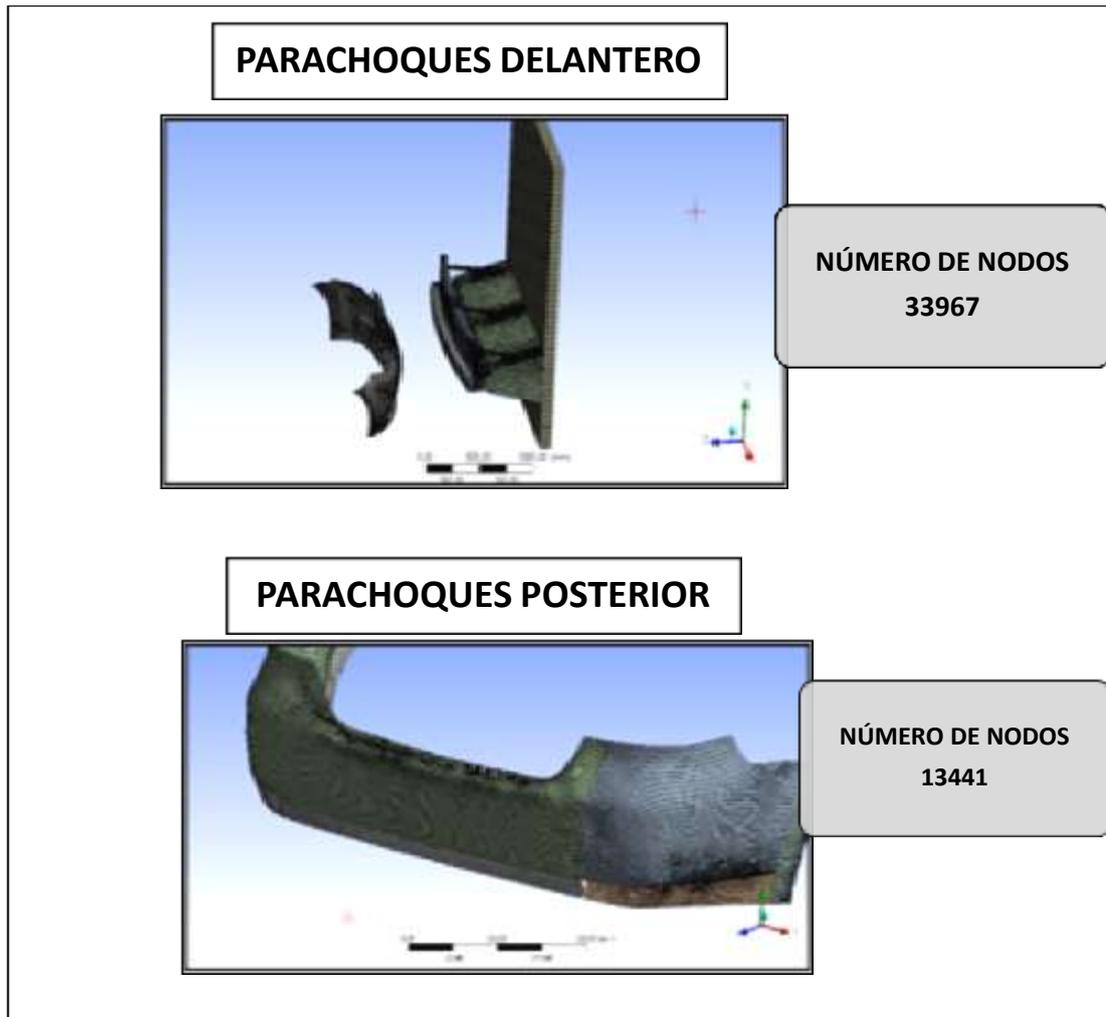
Fuente: (Norton R. L.)

Los expertos no recomiendan el uso de elementos triangulares de 3 nodos o tetraedros de 4 nodos, ya que dan estimaciones imprecisas sobre el esfuerzo y la rigidez. Las mejores estimaciones de esfuerzo son resultado de un elemento cuadrilátero de 4 nodos o un hexaedro de 8 nodos, los cuales tienen deformación lineal a través del elemento. (Norton R. L.)

Por desgracia, en el FEA resulta más difícil mallar piezas con formas complicadas con elementos cuadriláteros o ladrillos, que con triángulos o tetraedros. Una alternativa es incrementar el orden del elemento triángulo o tetraedro, con la finalidad de mejorar su habilidad en el cálculo de esfuerzos. (Norton R. L.)

El triángulo de 6 nodos y el tetraedro de 10 nodos, de orden superior, dan mejores aproximaciones de esfuerzos que sus contrapartes de orden menor, pues han demostrado ser tan buenos como el cuadrilátero de 4 nodos o el ladrillo de 8 nodos, respectivamente. (Norton R. L.)

Para realizar el estudio en los parachoques delanteros y posteriores se procede a seleccionar el elemento de cuadrilátero que usa un algoritmo de alta calidad, en su tipología de elementos el cuadrilátero tiene 4 nodos por volumen de control. Figura 84.



**Figura 84** Número de nodos de los parachoques delantero y posterior.

#### **4.2.4** Convergencia jacobiana

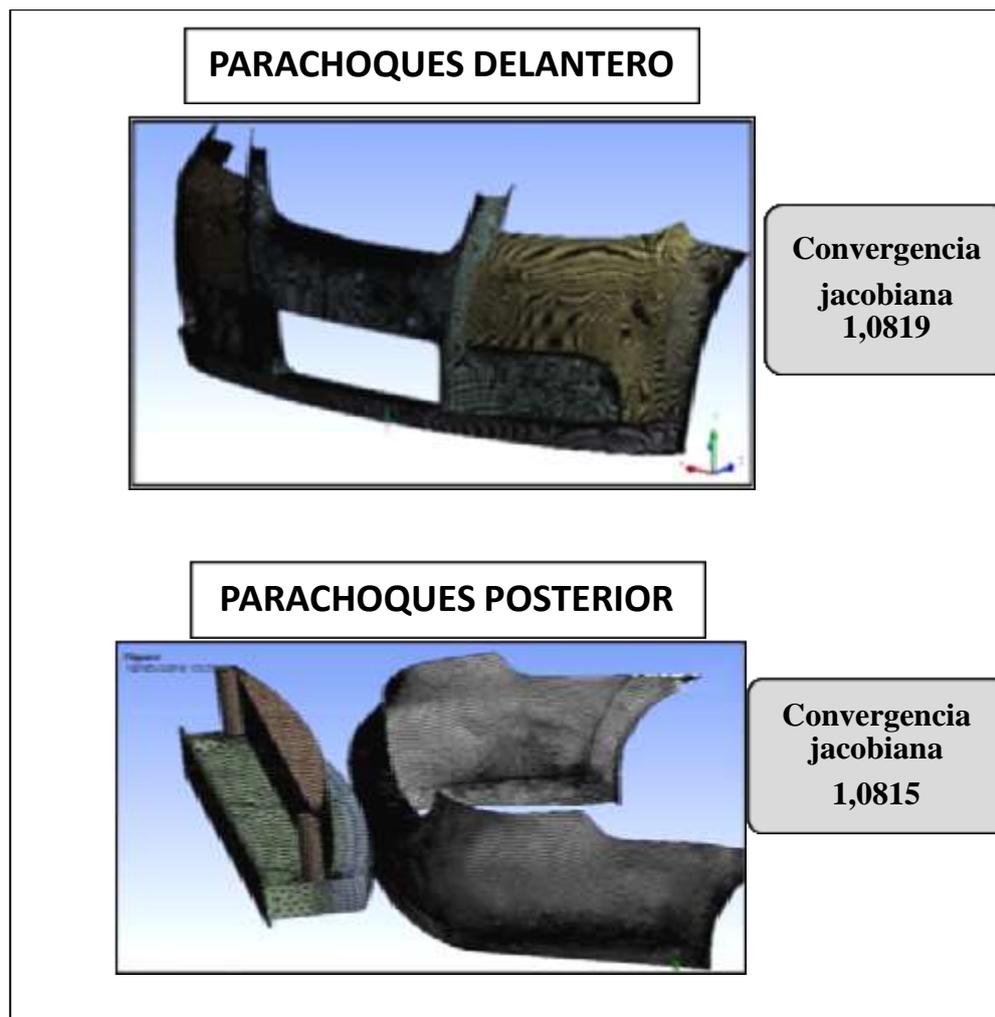
Se basa en trazar la geometría curva de manera más precisa que los elementos lineales del mismo tamaño. Los nodos centrales de las aristas de contorno de un elemento se colocan en la geometría real del modelo.

En contornos extremadamente vivos o curvos, la colocación de los nodos centrales en la geometría real puede generar elementos distorsionados con aristas que se entrecruzan entre sí, la verificación jacobiana de un elemento extremadamente distorsionado es negativa.

Un elemento con una verificación jacobiano negativa produce la interrupción del programa de análisis. El cociente jacobiano de un elemento tetraédrico parabólico, con los nodos centrales ubicados exactamente en el medio de las aristas rectas, es 1 aumenta a medida que aumentan las curvaturas de las aristas. Figura 85.

En un punto dentro del elemento, el cociente jacobiano brinda una medida del grado de distorsión del elemento en dicha ubicación. El software calcula el cociente jacobiano en el número seleccionado de puntos gaussianos para cada elemento tetraédrico. (Solidworks, 2015)

“El software ajusta las ubicaciones de los nodos centrales de elementos distorsionados automáticamente para asegurarse de que todos los elementos pasen la verificación jacobiana.” (Solidworks, 2015)



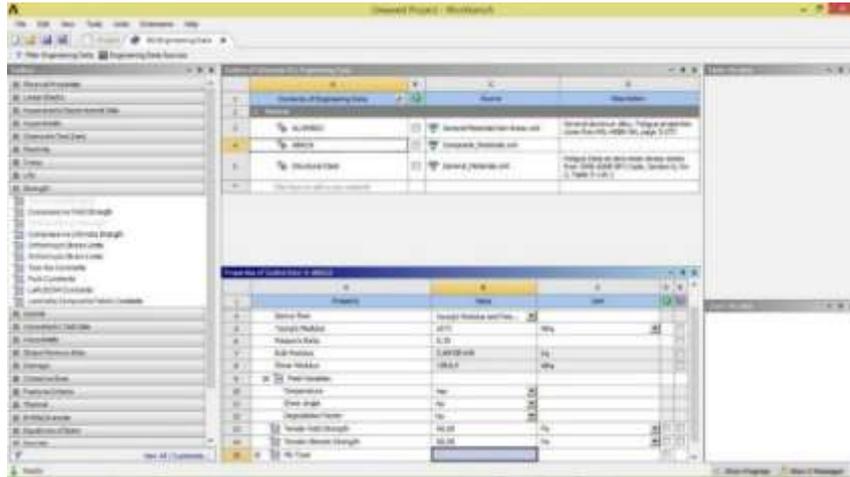
**Figura 85 Parachoques delantero y posterior convergencia jacobiana.**

El mallado de los parachoques consta con un promedio 1,08 de convergencia jacobiana, parámetros que al realizar el análisis, se obtenga una aproximación, lo más cercano a la realidad, y así reduciendo errores en la simulación a desarrollar.

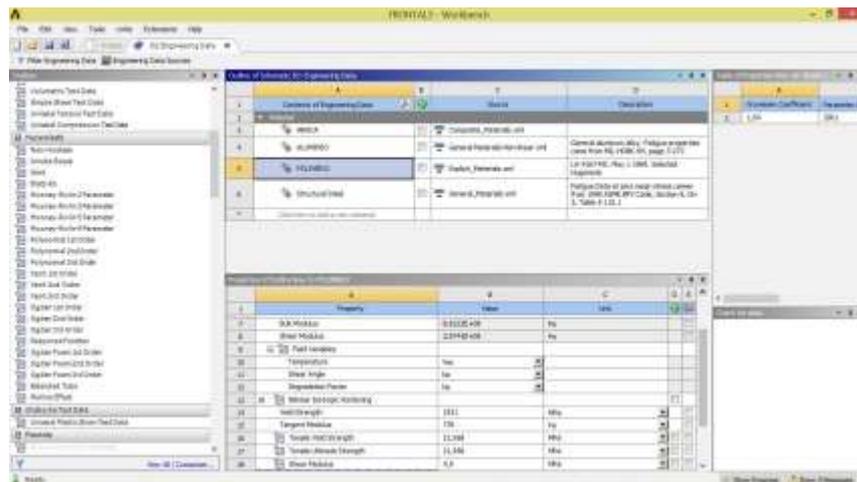
#### **4.3 Ensayo de parachoques (bumper test) frontal y posterior según norma RCAR.**

El estudio por simulación está basado en el método de elementos finitos que permitirán obtener resultados confiables aproximados a la realidad acorde a los requerimientos establecidos por normas vigentes.

Para el desarrollo del ensayo virtual de impacto de los parachoques, la norma RCAR establece requisitos necesarios que servirán como datos para la configuración del software que se, muestra en la figura 86 la configuración de parachoques de compuesto fibra de abacá – resina epoxi, y la figura 87 para la configuración del parachoques original marca Optra 2008.



**Figura 86 Alimentación del software para los parachoques delantero y posterior de compuesto resina epoxi y fibra de abacá.**



**Figura 87 Alimentación del software para los parachoques delanteros y posteriores originales Optra 2008.**

## **4.4 Simulación en el software ANSYS**

### **4.4.1 Simulación del parachoque delantero Optra 2008**

En la figura 88 se detalla la simulación de deformación máxima, momento máximo, factor de seguridad, resultados correspondientes a los parachoque original delantero Optra 2008, sometida a 10 km/h especificadas en la norma RCAR.

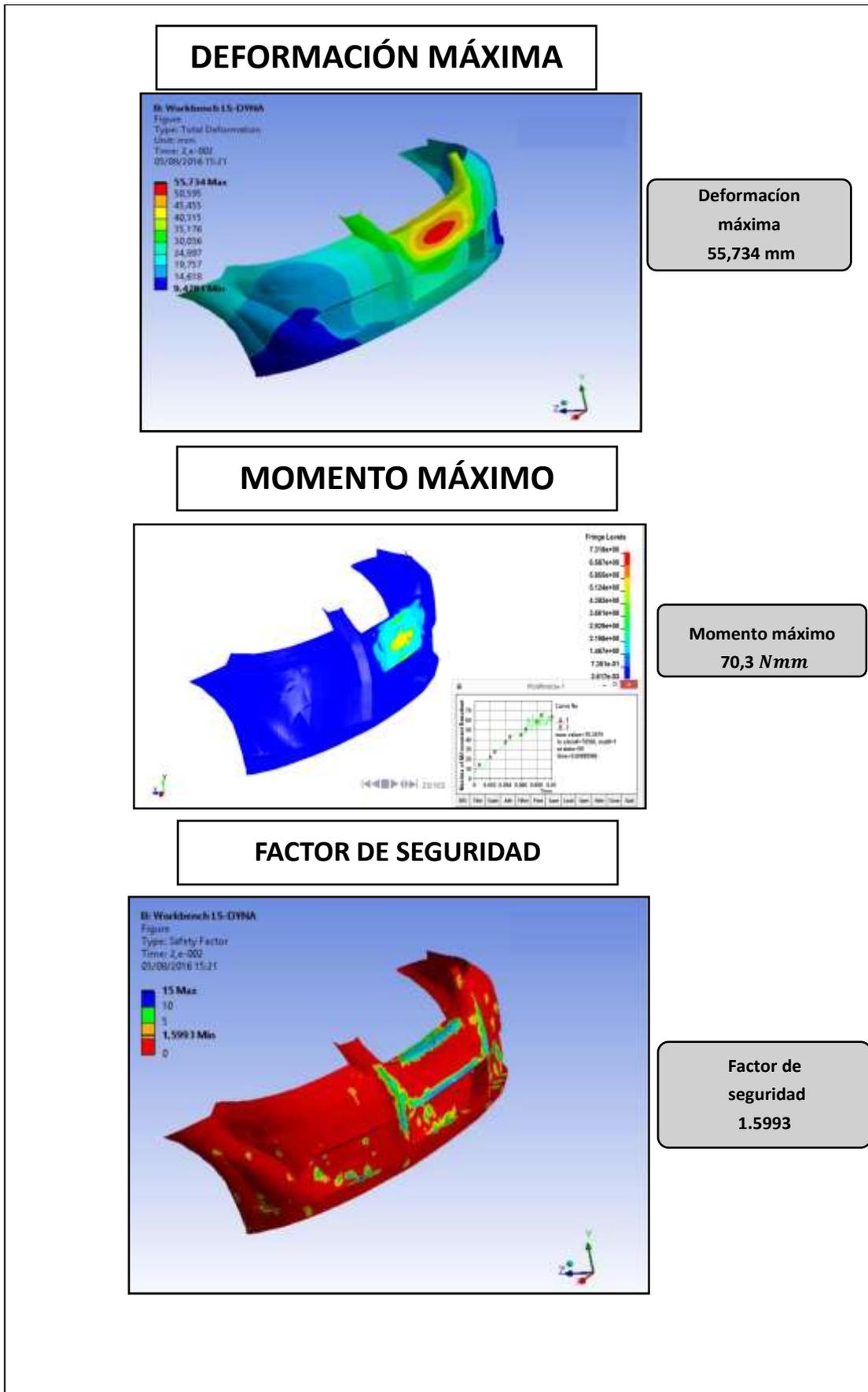


Figura 88 Deformación máxima del parachoque delantero Optra 2008 a  $10 \frac{Km}{h}$

**A. Cálculo de la fuerza de impacto del parachoque delantero Optra 2008**

$$E_C = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Donde:

$E_C =$  Energía cinética.

$m =$  Masa kg.

$v =$  Velocidad  $\frac{m}{s}$ .

Datos:

$m = 1245$  kg (Peso del vehículo.)

$v = 2,778$   $\frac{m}{s}$  (Test configuración RCAR parachoque delantero capítulo 2.)

Remplazando:

$$E_C = \frac{1}{2} \cdot (1245kg) \cdot (2,778 \frac{m}{s})^2$$

$$E_C = 4803,24 N \cdot m$$

$$F = \frac{E_C}{d}$$

Donde:

$F =$  Fuerza de impacto.

$E_C =$  Energía cinética.

$d =$  Deformación máxima.

Datos:

$$E_C = 4803,24 \text{ N. m}$$

$d = 55,734 \text{ mm} = 0,055734 \text{ m}$  (Resultado obtenido de la simulación software ANSYS figura 88.)

Remplazando la ecuación:

$$F = \frac{E_C}{d} \text{ (Pérez D. I., 2009, pág. 20)}$$

$$F = \frac{4803,24 \text{ N. m}}{0,055734 \text{ m}}$$

$$F = 86181 \text{ N}$$

## B. Cálculo del esfuerzo máximo del parachoque delantero Optra 2008

Datos obtenido de la simulación software ANSYS figura 88:

$$M = 70,3 \text{ Nmm}$$

$$I_X = 246,552 \text{ mm}^4$$

$$c = 1,98 \text{ mm}$$

Remplazando la ecuación:

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{(70,3 \text{ Nmm})(1,98 \text{ mm})}{246,552 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{max} = \frac{(139,194) \text{ Nmm}^2}{246,552 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{max} = 0,56MPa$$

**Tabla 25**

**Criterios para esfuerzos de diseño, esfuerzos normales directos.**

FORMA DE CARGA	MATERIAL DÚCTIL	MATERIAL QUEBRADIZO
Estática	$\sigma_d = \frac{S_y}{2}$	$\sigma_d = \frac{S_u}{6}$
Repetida	$\sigma_d = \frac{S_u}{8}$	$\sigma_d = \frac{S_u}{10}$
De impacto de choque	$\sigma_d = \frac{S_u}{12}$	$\sigma_d = \frac{S_u}{15}$

Fuente (Norton)

$$\sigma_d = \frac{S_u}{15}$$

$$\sigma_d = \frac{21,95 MPa}{15}$$

$$\sigma_d = 1,46MPa$$

$$\sigma_d \geq \sigma$$

$$1.46 MPa \geq 0,56 MPa$$

### C. Deflexión en parachoques delantero parachoque Optra 2008

Las cargas combinadas, deben alcanzar una deformación elástica de todos los componentes de la estructura de la carrocería iguales o menores  $\frac{1}{240}$  veces su longitud, (Norma NTE INEN 1323, literal 5.1.4.)

$$Y_{max} = 55,734 mm \quad (\text{Resultado obtenido de la simulación software ANSYS figura 88.})$$

$$L = 2540 mm$$

(Dato obtenido del parachoque original Optra 2008)

Remplazando:

$$Y_{max} \leq \frac{L}{240}$$

$$55,734 \text{ mm} \leq \frac{2540\text{mm}}{240}$$

$$55,734 \text{ mm} \leq \mathbf{10,58\text{mm}}$$

#### 4.4.2 Simulación parachoque delantero de compuesto resina epoxi – abacá a $10 \frac{\text{Km}}{\text{h}}$

En la figura 89 se detalla la simulación de deformación máxima, momento máximo, factor de seguridad y el momento de inercia, sometida a una velocidad de 10 km/h especificado por la norma RCAR, del parachoque delantero compuesto de fibra de abacá – resina epoxi.

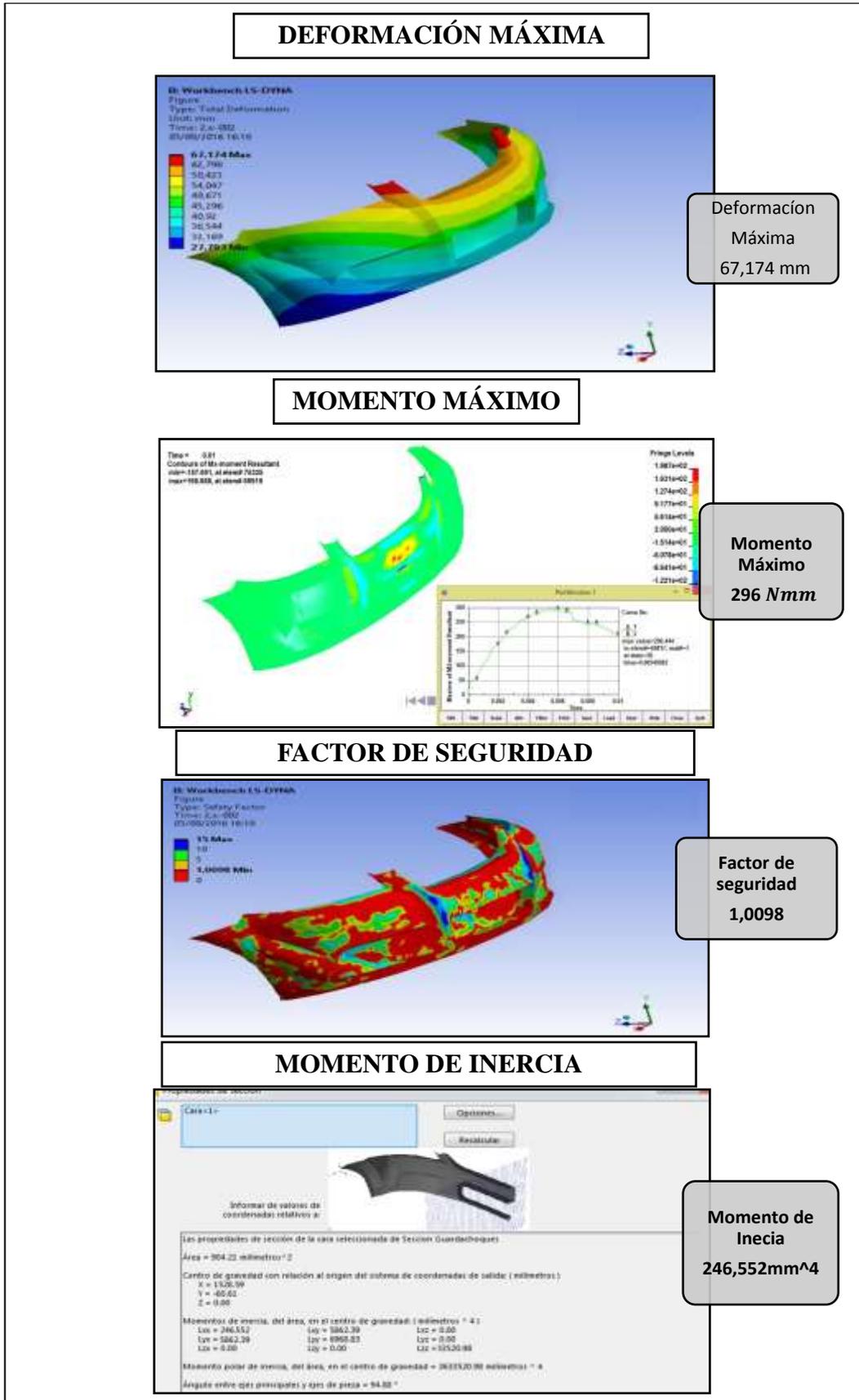


Figura 89 Resultados basados en la simulación parachoque delantero de compuesto resina epoxi – abacá a  $10 \frac{Km}{h}$ .

**A. Cálculo de la fuerza de impacto del parachoque delantero con compuesto resina epoxi – abacá**

$$E_C = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Donde:

$E_C =$  Energía cinética.

$m =$  Masa kg.

$v =$  Velocidad  $\frac{m}{s}$ .

Datos:

$m = 1245$  kg (Peso del vehículo.)

$v = 2,778$   $\frac{m}{s}$  (Test configuración RCAR parachoque delantero capítulo

2.)

Reemplazando:

$$E_C = \frac{1}{2} \cdot (1245kg) \cdot (2,778 \frac{m}{s})^2$$

$$E_C = 4803,24 \text{ N} \cdot m$$

$$F = \frac{E_C}{d}$$

Donde:

$F = \text{Fuerza de impacto.}$

$E_C = \text{Energía cinética.}$

$d = \text{Deformación máxima.}$

Datos obtenido de la simulación software ANSYS figura 89:

$$E_C = 4803,24 \text{ N. m}$$

$$M = 296 \text{ Nmm}$$

$$d = 67,174 \text{ mm} = 0,067174 \text{ m}$$

$$I_x = 246,552 \text{ mm}^4$$

$$c = 1,95 \text{ mm}$$

Remplazando la ecuación:

$$F = \frac{E_C}{d} \text{ (Pérez D. I., 2009, pág. 20)}$$

$$F = \frac{4803,24 \text{ N. m}}{0,067174 \text{ m}}$$

$$F = 71504 \text{ N}$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{(296 \text{ Nmm})(1,95 \text{ mm})}{246,552 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{max} = \frac{(577,2) \text{ Nmm}^2}{246,552 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{max} = 2,34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = \frac{S_u}{15}$$

$$\sigma_d = \frac{68,58 \text{ MPa}}{15}$$

$$\sigma_d = 4,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d \geq \sigma$$

$$4,5 \text{ MPa} \geq 2,34 \text{ MPa}$$

## B. Deflexión en parachoques delantero compuesto resina epoxi – abacá

Las cargas combinadas, deben alcanzar una deformación elástica de todos los componentes de la estructura de la carrocería iguales o menores

$\frac{1}{240}$  veces su longitud, (Norma NTE INEN 1323, literal 5.1.4.)

$$Y_{max} = 28,098 \text{ mm} \quad (\text{Resultado obtenido de la simulación software ANSYS figura 89.})$$

$$L = 2540 \text{ mm} \quad (\text{Dato obtenido del parachoque construido.})$$

$$Y_{max} \leq \frac{L}{240}$$

$$67,174 \text{ mm} \leq \frac{2540 \text{ mm}}{240}$$

$$67,174 \text{ mm} \leq 10,58 \text{ mm}$$

### 4.4.3 Simulación parachoque Optra 2008 posterior

En la figura 90 se detallan la simulación de deformación máxima, momento máximo, factor de seguridad, resultados correspondientes a los parachoque original posterior Optra 2008, sometida a 10 km/h especificadas en la norma RCAR.

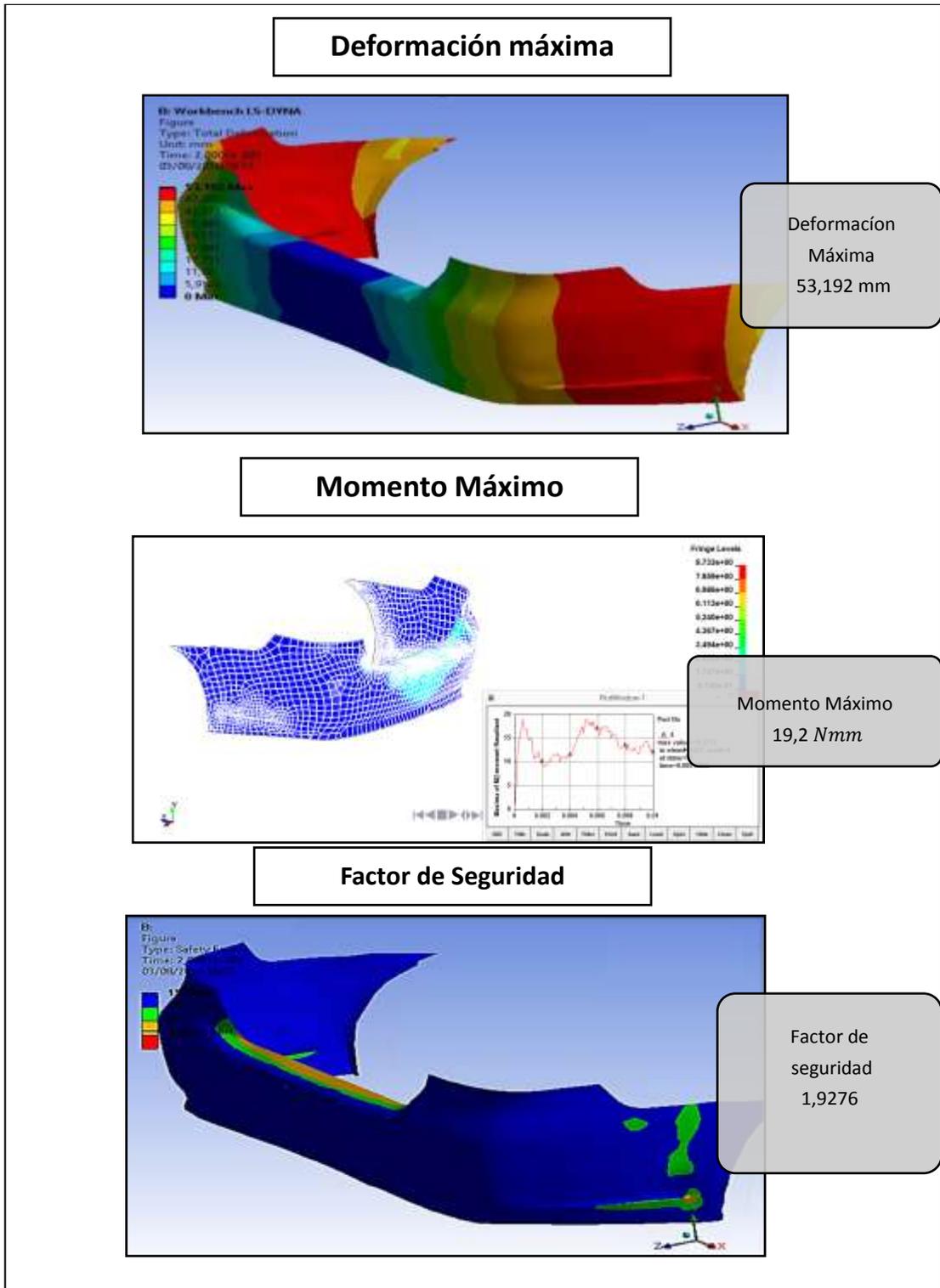


Figura 90 Deformación máxima del parachoque Optra 2008 posterior a  $10 \frac{Km}{h}$ .

### A. Cálculo de la fuerza de impacto del parachoque Optra 2008 posterior

$$E_C = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Donde:

$E_C =$  Energía cinética

$m =$  Masa kg

$v =$  Velocidad  $\frac{m}{s}$

Datos:

$m = 1245$  kg (Peso del vehículo.)

$v = 2,778$   $\frac{m}{s}$  (Test configuración RCAR parachoque delantero capítulo 2.)

Remplazando:

$$E_C = \frac{1}{2} \cdot (1245kg) \cdot (2,778 \frac{m}{s})^2$$

$$E_C = 4803,24 \text{ N} \cdot m$$

$$F = \frac{E_C}{d}$$

Donde:

$F =$  Fuerza de impacto.

$E_C =$  Energía cinética.

$d =$  Deformación máxima.

Datos:

$$E_C = 4803,24 \text{ N} \cdot m$$

$d = 53,192 \text{ mm} = 0,053192 \text{ m}$  (Resultado de la simulación software ANSYS figura 89.)

Remplazando la ecuación:

$$F = \frac{Ec}{d} \text{ (Pérez D. I., 2009, pág. 20)}$$

$$F = \frac{4803,24 \text{ N.m}}{0,053192 \text{ m}}$$

$$F = 90300 \text{ N}$$

## B. Cálculo del esfuerzo máximo del parachoque Optra 2008 posterior

Datos:

$I_x = 544,9711 \text{ mm}^4$  (Resultado obtenido de la simulación software ANSYS figura 91.)

$c = 1,98 \text{ mm}$

$M = 19,2 \text{ N mm}$  (Resultado obtenido de la simulación software ANSYS figura 91.)

Remplazo la ecuación:

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{(19,2 \text{ Nmm})(1,98 \text{ mm})}{544,9711 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{max} = \frac{38,016 \text{ Nmm}^2}{544,9711 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{max} = 0,06 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = \frac{S_u}{15}$$

$$\sigma_d = \frac{21,95 \text{ MPa}}{15}$$

$$\sigma_d = 1,46 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d \geq \sigma$$

$$1,46 \text{ MPa} \geq 0,06 \text{ MPa}$$

### C. Deflexión en parachoques original posterior Optra 2008

Las cargas combinadas, deben alcanzar una deformación elástica de todos los componentes de la estructura de la carrocería iguales o menores  $\frac{1}{240}$  veces su longitud, (Norma NTE INEN 1323, literal 5.1.4.)

$$Y_{max} = 29,847 \text{ mm} \quad (\text{Resultado obtenido de la simulación software ANSYS figura 90.})$$

$$L = 2540 \text{ mm} \quad (\text{Dato obtenido del parachoque original posterior Optra 2008.})$$

$$Y_{max} \leq \frac{L}{240}$$

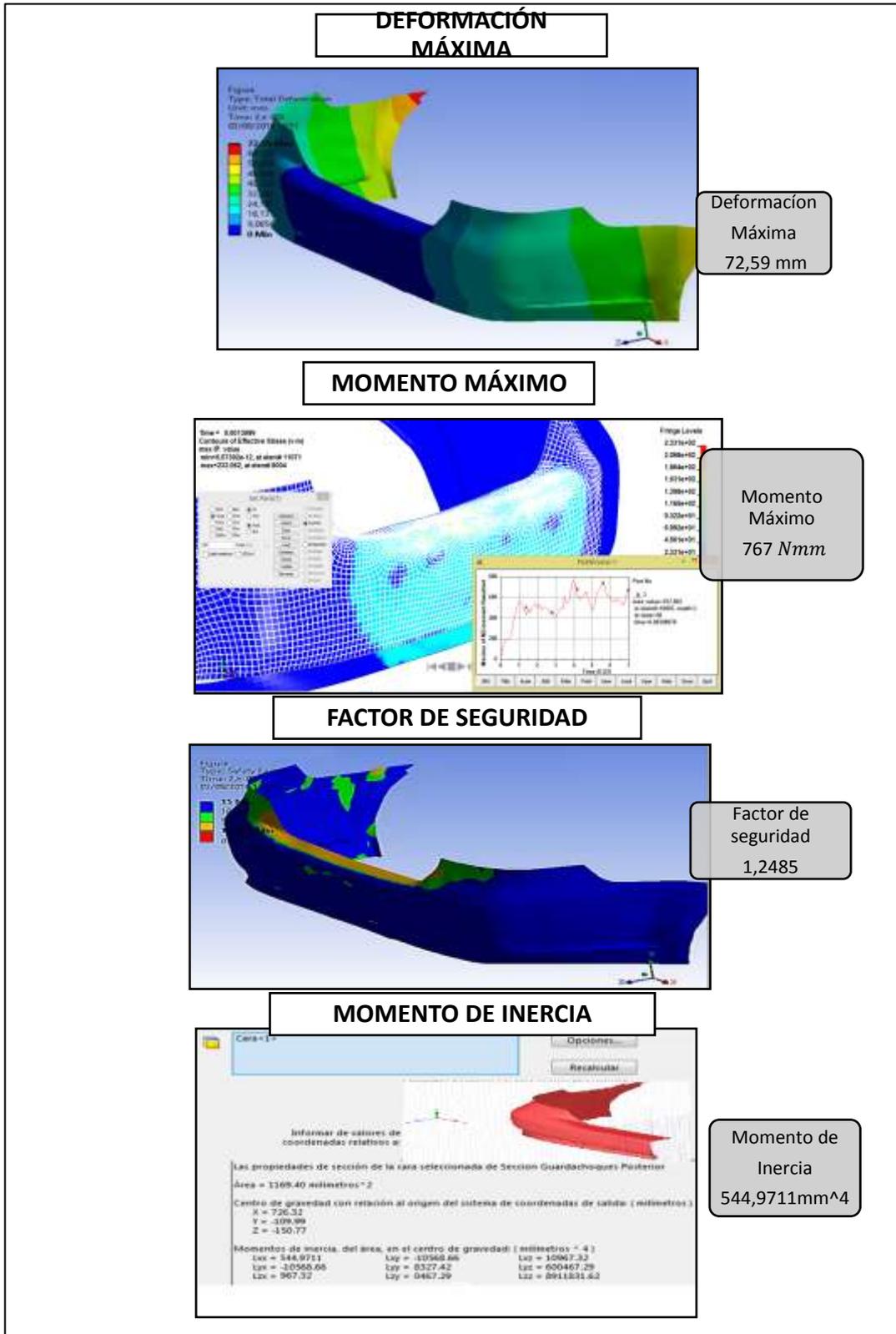
$$53,192 \text{ mm} \leq \frac{2540 \text{ mm}}{240}$$

$$53,192 \text{ mm} \leq 10,58 \text{ mm}$$

#### 4.4.4 Simulación del parachoque posterior a $10 \frac{Km}{h}$ de compuesto de fibra de abacá – resina epoxi

En la figura 91 se obtiene la simulación de deformación máxima, momento máximo, el factor de seguridad y momento de inercia, a una

velocidad de 10 km/h especificado por la norma RCAR, del parachoque posterior de compuesto de fibra de abacá – resina epoxi.



**Figura 91** Resultados basados en la simulación del parachoque posterior a  $10 \frac{Km}{h}$  de compuesto de fibra de abacá – resina epoxi.

### A. Cálculo de la fuerza de impacto del parachoque posterior compuesto resina epoxi- abacá

$$E_C = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Donde:

$E_C =$  Energía cinética

$m =$  Masa kg

$v =$  Velocidad  $\frac{m}{s}$

Datos:

$m = 1245$  kg (Peso del vehículo.)

$v = 2,778$   $\frac{m}{s}$  (Test configuración RCAR parachoque delantero capítulo 2.)

$c = 2,45$ mm

$M = 767N$  mm (Resultado obtenido de la simulación software ANSYS figura 91.)

Remplazando:

$$E_C = \frac{1}{2} \cdot (1245kg) \cdot (2,778 \frac{m}{s})^2$$

$$E_C = 4803,24 N \cdot m$$

$$F = \frac{E_C}{d} \text{ (Pérez D. I., 2009, pág. 20)}$$

Donde:

$F =$  Fuerza de impacto.

$E_C =$  Energía cinética.

$d =$  Deformación máxima.

Datos:

$$E_C = 4803,24 \text{ N. m}$$

$$d = 72,59 \text{ mm} = 0,07259 \text{ m} \quad (\text{Resultado obtenido de la simulación software ANSYS figura 91.})$$

Remplazando la ecuación:

$$F = \frac{4803,24 \text{ N. m}}{0,07259 \text{ m}}$$

$$F = 66169 \text{ N}$$

$$I_X = 544,9711 \text{ mm}^4 \quad (\text{Resultado obtenido de la simulación software ANSYS figura 91.})$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{(767 \text{ Nmm})(2,45 \text{ mm})}{544,9711 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{max} = \frac{1879,15 \text{ Nmm}^2}{544,9711 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{max} = 3,44 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = \frac{S_u}{15}$$

$$\sigma_d = \frac{68,58 \text{ MPa}}{15}$$

$$\sigma_d = 4,572 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d \geq \sigma$$

$$\mathbf{4,572 \text{ MPa} \geq 3,44 \text{ MPa}}$$

## B. Deflexión en parachoque posterior compuesto resina epoxi – abacá

$y_{max}=28,019$  mm (Resultado obtenido de la simulación software ANSYS figura 91.)

$L= 2580$  (Dato obtenido del parachoque construido.)

$$\delta_{max} \leq \frac{L}{240}$$

$$72,59 \text{ mm} \leq \frac{2580 \text{ mm}}{240}$$

$$72,59 \text{ mm} \leq 10,75 \text{ mm}$$

### 4.4.5 Resultados de la simulación parachoques delanteros

**Tabla 26**

**Tabla comparativa de los parachoques delanteros.**

Simulación	Parachoque delantero de compuesto fibra de abacá – resina epoxi	Parachoque delantero original Optra 2008
Deformación máxima	67,174 mm	55,734 mm
Factor de seguridad	1,0098	1,5993
Esfuerzo máximo	2,34 MPa	0,56 MPa

### 4.4.6 Resultados de la simulación parachoques posterior

**Tabla 27**

**Tabla comparativa de los parachoques posteriores.**

Simulación	Parachoque posterior de compuesto fibra de abacá – resina epoxi	Parachoque posterior original Optra 2008
Deformación máxima	72,59 mm	53,192 mm
Factor de seguridad	1,2485	1,9276
Esfuerzo máximo	3,44 MPa	1,46 MPa

Al realizar una comparación entre los resultados de los parachoques originales y

los realizados en base de fibra de abacá , en lo referente a los parachoques delanteros se observa un incremento de cuatro veces mayor en el esfuerzo máximo, así como en el posterior de dos veces mayor en comparación a los parachoques originales, otorgándole al material compuesto una alta tenacidad, además de un aumento en la deformación máxima del 17,03% en los parachoques delantero del compuesto así como un 26,72% en los parachoques posterior teniendo en cuenta que esta deformación máxima se da de un área pequeña de los parachoques siendo los extremos de estos a diferencia de la deformación máxima, que presenta los parachoques originales con una mayor área de disipación de energía siendo la característica de este tipo de materiales como son los polímeros.

Consecuentemente el aspecto importante que se puede observar, al realizar una comparación es el factor de seguridad, que otorga la garantía de factibilidad en los parachoques, los cuales el delantero y posterior muestran un porcentaje de diferencia entre ellos del 37,10% y el 35,23% respectivamente.

Por lo cual al haber realizado una comparación entre resultados de los parachoques originales tanto delantero como posterior así como los realizados con el compuesto de resina epoxi - fibra de abacá, se determina la factibilidad del nuevo material en la aplicación de autopartes como lo son los guardachoques del Chevrolet año 2008 .

## CAPÍTULO V

### PROCESO DE MANUFACTURA

#### 5.1 Definición y selección del proceso de manufactura.

Mediante el laminado manual en términos de aplicaciones comerciales, más del 75% de todos los compuestos se fabrican con matrices termoestables. Sus usos predominan en los sectores aeroespaciales, automotrices, náuticos, artículos deportivos y los mercados de consumo. Mientras tanto que para procesos utilizados para construir piezas en mayor número se usan moldes de diversas maneras, en función de la forma de la pieza que se quiere obtener, por lo general son moldes partidos, si la pieza es de revolución y simétrica, lo más común es que sea de macho (núcleo) y de hembra (matriz), de lo contrario tendrá múltiples partes que se ensamblarán para el cierre y llenado del molde y se abren para el desmolde de la pieza. (Toaza, 2013, pág. 57)

Dependiendo de la cantidad de piezas a producir, los moldes pueden ser de accionamiento manual, si se trata de pequeñas series, para series mayores se utilizan moldes semiautomáticos, accionados por prensas y para grandes series de piezas los moldes automáticos en los cuales no participan prácticamente la mano humana. Son muchos los puntos que deben de ser tomados en cuenta para la construcción de un molde: los materiales para su construcción, los métodos de elaboración del molde, diseño y características del molde y pieza a fabricar entre otros. (Toaza, 2013, pág. 57)

Para el desarrollo de los parachoque delantero y posterior Optra 2008, se utilizará la estratificación manual como proceso de manufactura.

## **5.2 Características del proceso de manufactura.**

En la fabricación de elementos hechos de compuestos existen cuatro pasos básicos: mojado/impregnación, estratificación, consolidación y solidificación.

### **5.2.1 Impregnación**

En este paso, las fibras y resinas son mezcladas para formar una lámina. El objetivo de este paso es asegurar que la resina fluya a través de todas las fibras. Los principales parámetros que afectan el proceso de impregnación son la viscosidad, la tensión superficial y la capilaridad. (Asimbaya, 2006, pág. 18)

### **5.2.2 Estratificación**

En este paso, los compuestos laminados son formados mediante la colocación de preimpregnados (o mezclas de fibras y resina) formando los ángulos deseados y en los lugares donde se necesitan.

El espesor deseado se logra colocando varias capas de la mezcla de fibras y resina. El objetivo de este paso es conseguir una arquitectura o distribución deseada de las fibras de acuerdo al diseño.

El desempeño de la estructura de un compuesto depende de la orientación de las fibras y la secuencia de estratificación de las capas. (Asimbaya, 2006, pág. 18)

### **5.2.3 Consolidación**

Este paso implica la creación de un contacto íntimo entre cada lámina o capa de preimpregnado, y asegura que todo el aire atrapado entre capas sea removido durante el proceso. La consolidación es importante en la obtención de partes de buena calidad pues si no se la logra existirán porosidades. La consolidación de los compuestos de fibras continuas implica dos procesos importantes: flujo de resina a través del medio poroso y la deformación elástica de las fibras. (Asimbaya, 2006, pág. 18)

Durante el proceso de consolidación, la presión aplicada es compartida tanto por la resina como por la estructura de fibras. En un inicio, sin embargo, la presión aplicada es soportada únicamente por la resina. Las fibras experimentan una deformación plástica cuando la presión se incrementa y la resina fluye hacia las fronteras. (Asimbaya, 2006, pág. 18)

#### **5.2.4 Solidificación**

El paso final es la solidificación, la cual puede tomar menos de un minuto para los termoplásticos, o más de 120 minutos para los termoestables.

El vacío o la presión se mantienen durante este período. En compuestos termoestables, la tasa de solidificación depende de la formulación de la resina y la cinética del curado. (Asimbaya, 2006, pág. 18)

Durante el curado se suministra calor para acelerar la tasa de curado de la resina. En resinas termoestables, usualmente mientras mayor es la temperatura de curado más rápido es el proceso de entrecruzamiento. En los termoplásticos en cambio no existe un cambio químico durante la solidificación y por lo tanto se requiere de menor tiempo. (Asimbaya, 2006, pág. 18)

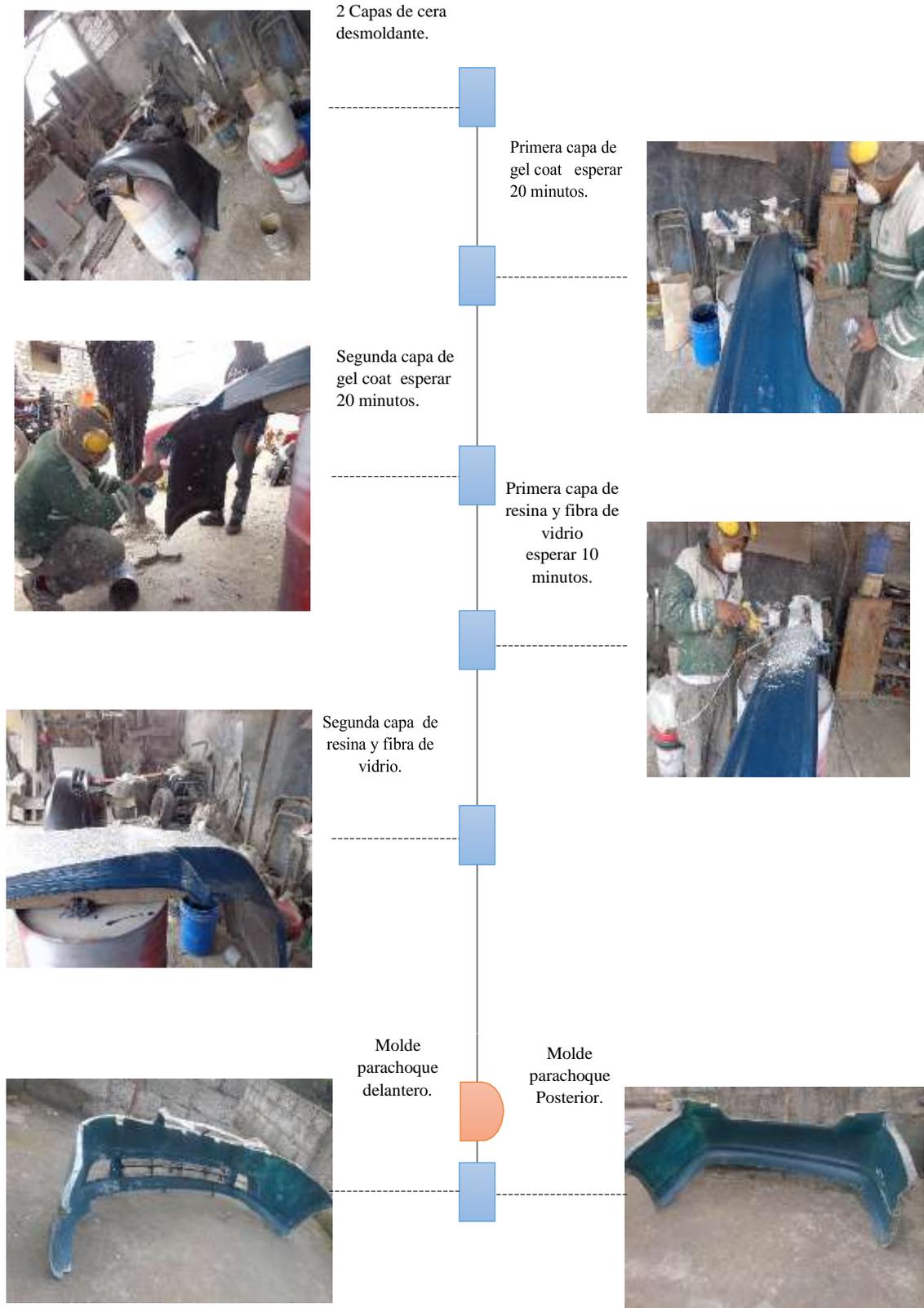
### 5.3 Construcción de moldes

Para el desarrollo de los parachoques delantero y posterior, es necesaria la construcción de moldes, el proceso para el parachoques delantero y posterior es idéntico.

Para ello es necesario contar con los parachoques delantero y posterior, estos deben estar en perfecto estado sin modificaciones, al ser utilizados como negativos para realización de los moldes.

A continuación se detalla los pasos correspondientes para la construcción de los moldes para los parachoques delantero y posterior.

- Se procede a pasar sobre los parachoques cera desmoldante, esperar su secado y realizar una 2 veces más para facilitar el desmolde.
- Dejar colocado el gel coat en toda la superficie de los parachoques el cual sirve para proporcionar un acabado brillante a la superficie de la pieza.
- Una vez seco el gel coat proceder a la impregnación de la resina junto con la fibra de vidrio, a continuación se presenta esquemáticamente la construcción de los moldes de los parachoques delantero y posterior como se puede ver en la figura 92.

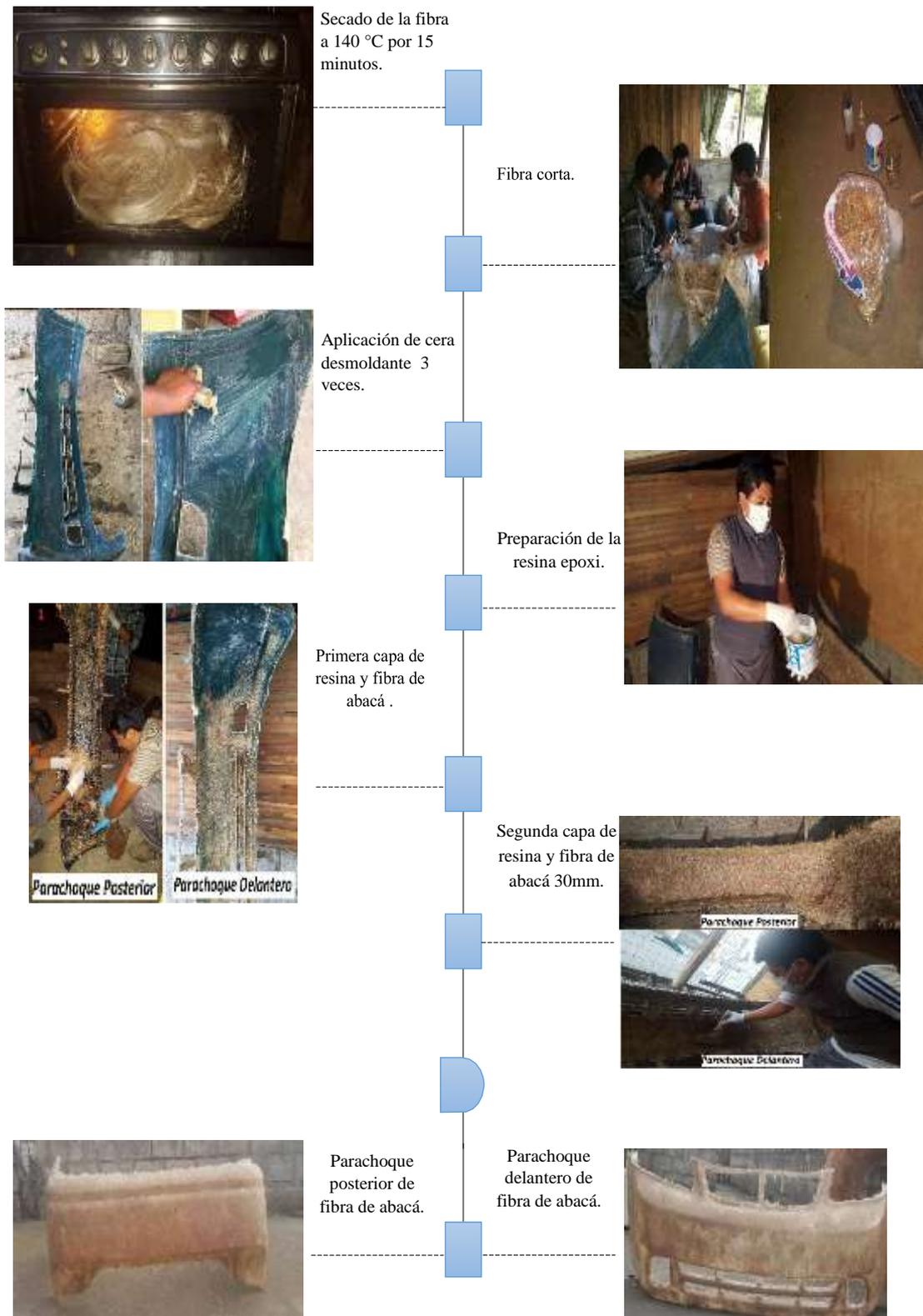


**Figura 92 Esquema de procesamiento de construcción de moldes.**

#### **4.1. Construcción de parachoques delantero y posterior con base y matriz.**

El proceso de fabricación del parachoques delantero y posterior:

- Preparar los moldes aplicando cera desmoldante, una vez seco la cera se repite este proceso 3 veces para garantizar el desmolde de los parachoques.
- Posterior, preparar la solución de resina epoxi y catalizador con las mismas concentraciones en volumen usadas en la elaboración de las probetas.
- Consecutivamente colocar capas de refuerzo con la misma configuración usada en la elaboración de las probetas y se adiciono la resina epoxi, impregnándole al refuerzo con una brocha esporádicamente logrado así que el refuerzo absorba la resina.
- Dejar transcurrir 2 horas, y realizar el similar proceso con la segunda capa de refuerzo y la resina. Esquemáticamente este proceso se presenta en la figura 93.



**Figura 93 Esquema de procesamiento de construcción de parachoques con base y matriz.**

## 5.4 Acabados superficiales

Para finalizar el proceso de construcción de los parachoques se realizaron los acabados superficiales, para ello se detalla a continuación el siguiente procedimiento:

- Debido a que los parachoques delantero y posterior tienen un acabado liso tipo espejo, y al impregnar la masilla para corregir algunos desperfectos, la masilla no se adhiere al parachoques; para solucionar este problema, es necesario pulir con lija número 80, con ello la masilla puede adherirse correctamente. (Boumadian, 2015)
- Alisar las superficies preparadas con la masilla utilizando una lija número 180, a continuación pulir con lija 360.
- Limpiar las superficies de los parachoques con diluyente de pintura, para retirar el polvo, producido por el proceso de pulido.
- Fondear los parachoques con la finalidad de proteger y sellar la reparación, y nivelar los pequeños defectos de la masilla; dejar en reposo por 15 minutos para el proceso de secado.
- Pulir los parachoques con lija de agua número 800 para nivelar cualquier defecto leve de la reparación.
- Realizar una limpieza previa antes del pintado.
- Preparar la pintura según las especificaciones del fabricante; asegurarse de que la pintura esté completamente diluida para que su aplicación y proceso de pintado sea óptimo.
- Dejar que la pintura se seque completamente, por 24 horas.
- Pulir con lija de agua número 1500 para eliminar pequeñas imperfecciones, suciedad y otras imperfecciones menores.
- Usar un compuesto de goma para pulir la pintura con la finalidad que las superficies tenga un acabado lúcido. (Boumadian, 2015)

Esquemáticamente este proceso se presenta en la figura 94.

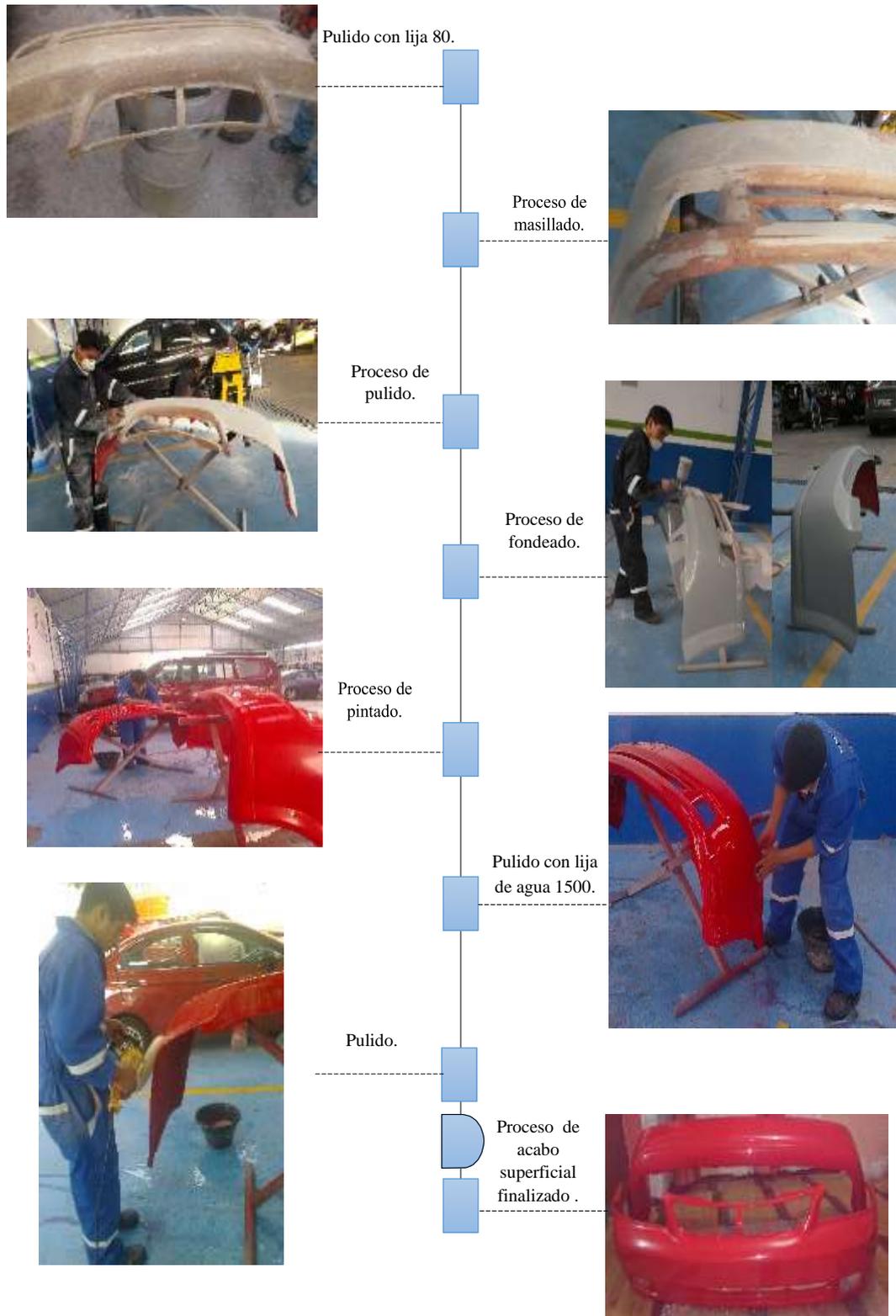


Figura 94 Esquema de procesamiento de acabados superficiales.

## **CAPÍTULO VI**

### **MARCO ADMINISTRATIVO**

#### **6.1 Recursos**

Dentro de las principales características del proyecto, se tienen como finalidad la estructuración y optimización de cada uno de los recursos los cuales permitieron llevar un trabajo explícito y planificado, dado que tanto como el talento humano, los recursos tecnológicos y como materiales fueron de hincapié para la realización y culminación del tema propuesta.

#### **6.2 Talento humano**

En cada proceso realizado dentro de proyecto se determina que la participación activa del talento humano de los señores David Zambrano y Darwin Moreano, fue fundamental para la obtención de bibliografía veraz y contundente, así como establecer los métodos de investigación siendo diseñadores y constructores del proyecto.

#### **6.3 Recursos tecnológicos**

Los recursos tecnológicos son aquellos que determinadamente ayudan en el proceso de elaboración del proyecto, lo cual favorece ampliamente en la estructuración precisa del proyecto. (Figura 95).

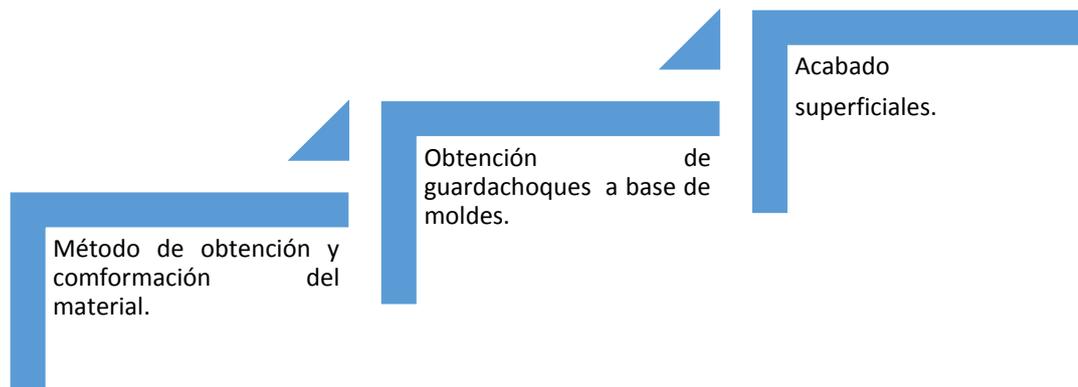


Figura 95 Esquema de procesamiento.

#### 6.4 Recursos materiales

Comprende todos los elementos tangibles que se requirieron para materializar el proyecto como son: resina, moldes para probetas, llaves, pernos, entre otros.

A continuación en la tabla 29 se detalla el recurso utilizado en los guardachoques delantero y posterior del compuesto resina –abacá.

**Tabla 28**  
**Recursos utilizados en los guardachoques compuestos resina –abacá.**

ORD.	DETALLE	CANTIDAD	Costo unitario USD	TOTAL USD.
1	Resina cretonbond	4 galones	85	340
2	Fibra orgánica	4 kilos	10	40
3	Cera	1 Litro	5	5

## 6.5 Financiamiento

El financiamiento del proyecto se lo realizó bajo parámetros establecidos en cuanto a la elaboración y estructuración del mismo en dicho proyecto por lo tanto el costo directo de manufacturación se lo sustento de la mano de obra directo de sus autores así como también el recurso económico.

## 6.6 Costos de mano de obra

El costo del diseño es moderado lo cual se verá representado en el valor final del proyecto. El motivo del presente capítulo establecerá un valor total frente al valor de mercado de los guardachoques y realizar una comparación muy objetiva con productos de similares características que existen en nuestro mercado local.

El costo de la mano de obra de los parachoques delantero y posterior de un vehículo Chevrolet Optra año 2008 a partir de fibra natural de la planta de abacá se estima en la siguiente tabla 30.

**Tabla 29**

**Mano de obra de los guardachoques delantero y posterior.**

<b>ORD.</b>	<b>DETALLE</b>	<b>Horas</b>	<b>Costo unitario USD</b>	<b>TOTAL USD.</b>
1	Mano de obra	168	0,60	100.80

## 6.7 Análisis del costo beneficio

Al realizar el balance entre el costo económico junto con los alcances del proyecto, se evidencia que el proyecto titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PARACHOQUES DELANTERO Y POSTERIOR DE UN VEHÍCULO CHEVROLET OPTRA AÑO 2008 A PARTIR DE FIBRA NATURAL DE LA PLANTA DE ABACÁ” ha cumplido con los objetivos ya que representa un beneficio para la comunidad como proyecto de aplicación dado un costo similar en la industria automotriz nacional la cual se detalla en la tabla 31.

**Tabla 30**  
**Análisis del costo beneficio.**

ORD.	DETALLE	CANTIDAD	TOTAL USD.
1	Guardachoque delantero compuesto resina-abacá	1	205
2	Guardachoque posterior compuesto resina-abacá	1	280
3	Guardachoque delantero original	1	223
4	Guardachoque posterior original	1	317

## 6.8 Análisis de costos del proyecto

En la ejecución del proyecto se debe considerar, el costo total del mismo conformado de la estructura, resina, fibra, etc. De acuerdo esto se determinará la rentabilidad de la ejecución del proyecto, si representará un proyecto competente frente a otros de sus mismas características técnicas. Además este análisis sirve como parámetro para determinar el costo final del proyecto el cual se observa en la tabla 32.

**Tabla 31**  
**Costo total del proyecto.**

<b>ORD.</b>	<b>DETALLE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>Costo unitario USD</b>	<b>TOTAL USD.</b>
1	Resina cretonbond	6 galones	85	510
2	Fibra orgánica	5 kilos	10	50
3	Cera	1 litro	5	5
4	Guardachoque delantero original	1	187	223
5	Guardachoque posterior original	1	234	317
6	Probetas del guardachoque original	5	10	50
7	Moldes de probetas	20	10	200
9	Diseño y modelación computadora	2	20	20
10	Moldes de guardachoques	2	90	90
11	Tejidos	0,50 metros	60	60
1	Mano de obra	168	0,60	100.8
12	Acabados superficiales			300
13	Movilización			100
14	Documentación ,impresiones y empastados finales			200
15	Recopilación de información libros pdf etc			250
<b>TOTAL INVERSIÓN</b>				<b>\$2475.8</b>

## CAPÍTULO VII

### VALIDACIÓN HIPÓTESIS

#### 8.1 Conceptualización ANOVA

El ANOVA es una metodología estadística que se utiliza para cuantificar el cual permite determinar las diferentes variaciones en poblaciones que se aplican en muestreos con datos cuantificables.

Es considerado un método muy flexible ya que permite construir modelos de datos experimentales debido a que el mismo valor ha sido empleado en diversas circunstancias.

##### 8.1.1 Hipótesis

- Hipótesis nula: la resistencia en los guardachoques de material compuesto en base a la fibra del abacá es igual al material de los guardachoques original.
- Hipótesis alternativa: la resistencia en los guardachoques de material compuesto en base a la fibra del abacá es mayor al material de los guardachoques original.

##### 8.1.2 Variables

Variable dependiente: Resistencia del material.

Variable independiente: guardachoques del material compuesto en base a la fibra del abacá y guardachoques del material original.

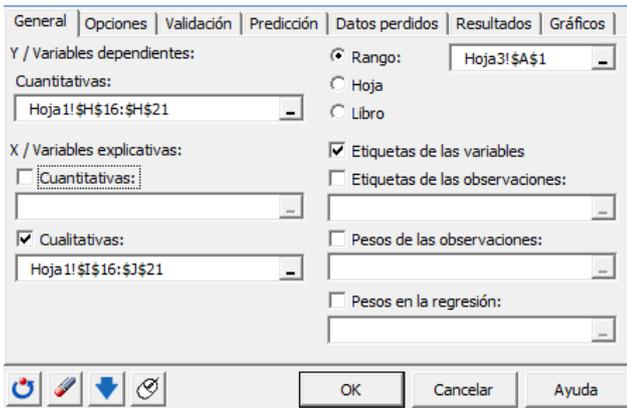
### 8.1.3 Aplicación XLSTAT

En la aplicación XLSTAT, se elige el comando XLSTAT/Modelizacion/ANOVA, el mismo que nos permitirá realizar la comprobación de la hipótesis.

**Tabla 32**  
**Datos cuantitativos de la resistencia**

Resistencia		
No	Abaca	Original
1	24,71	10,44
2	24,64	11,04
3	25,65	10,67
4	27,54	10,98
5	25,69	11,01

Una vez dentro de la aplicación se procede a ingresar los valores de las variables para el cálculo correspondiente en el mismo que ingresamos o siguiente:



**Figura 96** Esquema de procesamiento.

Después de registrar los valores correspondientes y pulsar OK, procedemos a la

interpretación de la información ejecutada por el sistemas.

**Tabla 33**  
**Datos cuantitativos (Estadísticos Descriptivos)**

Variable	Observaciones	Obs. Con datos perdidos	Obs. Sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
No	5	0	5	1,000	5,000	3,000	1,581
Abacá	5	0	5	24,640	27,540	25,646	1,170
Original	5	0	5	10,440	11,040	10,828	0,2632

El número de datos de los que se va a realizar la observación son 5 los mismos que fueron obtenidos mediante pruebas, de la sumatoria de las mismas se determinarán; los valores máximos y mínimos, la media y desviación típica, estas serán fundamentales para cálculos futuros.

Procedemos con el cuadro del Análisis de la varianza el mismo que se puede definir como la medida de dispersión que determina una variable aleatoria respecto a su esperanza; es decir la presente nos permite saber o determinar que está dentro del rango de lo normal.

**Tabla 34**  
**Análisis de varianza**

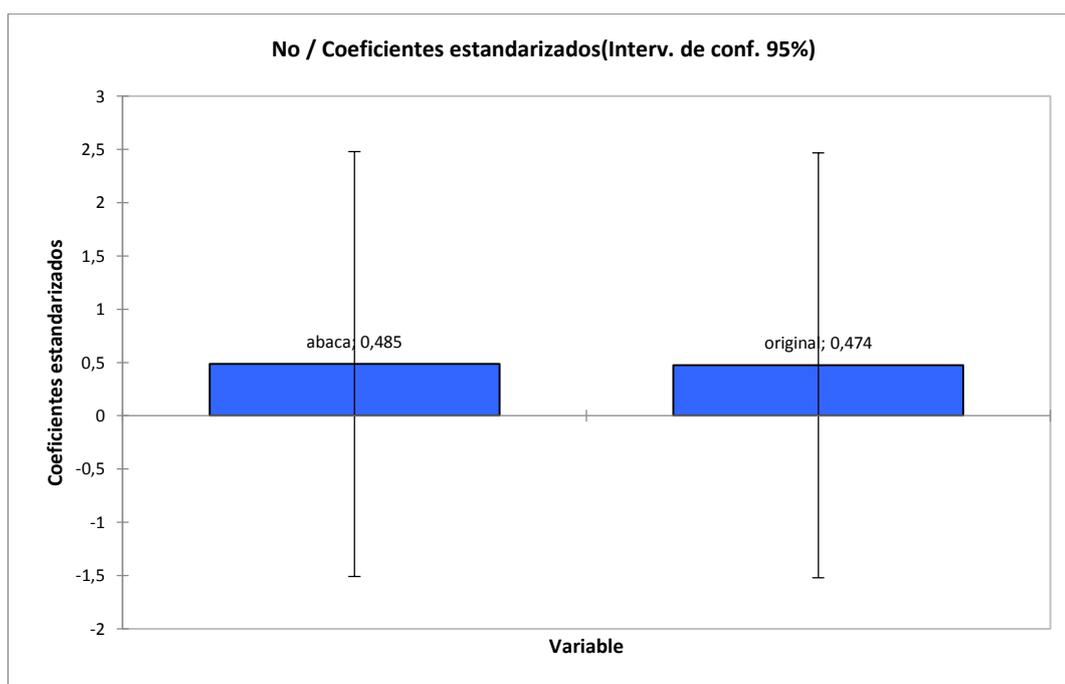
Fuente	GL	Suma de Cuadrados	de Cuadrados medios	F	Pr >F
Modelo	2	6,263	3,132	1,676	0,374
Error	2	3,737	1,868		
Total corregido	4	10,000			

En base a la tabla de Análisis de varianza llegamos a la conclusión que existe diferencia significativa entre los datos obtenidos entre las variables de la hipótesis nula y alternativa dada la probabilidad prueba del F de Fisher utilizada en ANOVA lo que implica que la variable entre estas otorga una información significativa para el modelo implementado .

**Tabla 35**  
**Coefficientes estandarizados**

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr>(t)	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Abacá	0,485	0,464	1,047	0,405	-1,509	2,480
Original	0,474	0,464	1,022	0,414	-1,521	2,469

Según podemos interpretar los datos en base a los coeficientes estandarizados del Abacá en relación al original es superior por 0,011, el mismo que se puede comprobar según la siguiente gráfica:



**Figura 97** Intervalo de confiabilidad del 95%.

Además mediante los residuos estandarizados se observa la presencia de valores fuera del rango  $\pm 1,96$  una importancia al aplicarse la ley normal  $N(0,1)$  de ANOVA que determina que las hipótesis vinculadas en estas, el 95% de los residuos deben estar en este intervalo otorgando la confiabilidad necesaria dejando un margen del 5 % de desfase. Figura 98.

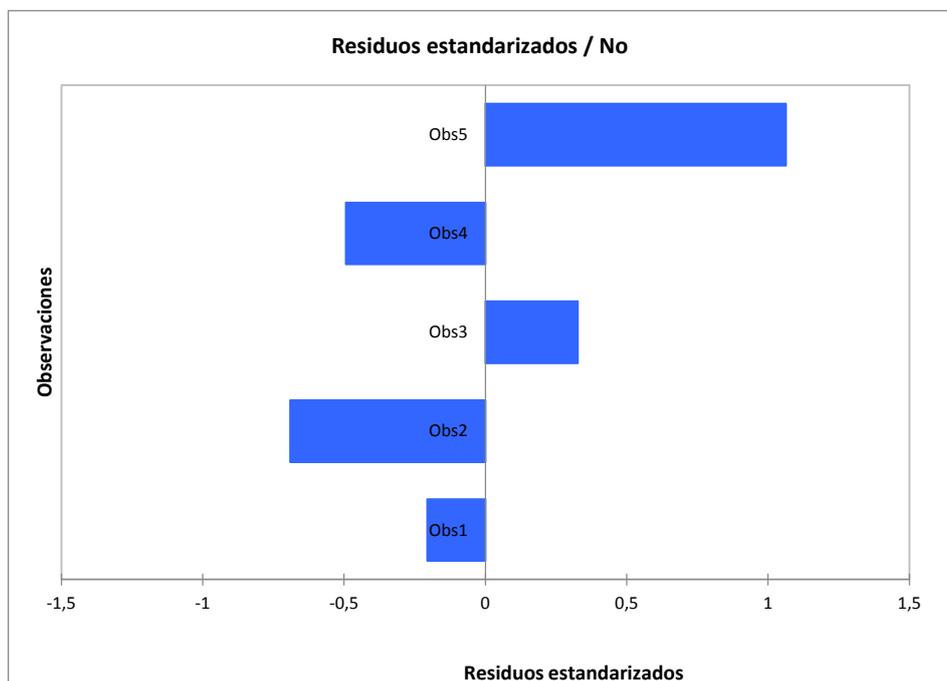


Figura 98 **Residuos estandarizados.**

En base al análisis realizado en el sistema XLSTAT, podemos determinar que se rechaza la hipótesis nula “la resistencia en los guardachoques de material compuesto en base a la fibra del abacá es igual al material de los guardachoques original” ya que solo si el valor hubiese sido 0,00 este es aprobado; por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa “la resistencia en los guardachoques de material compuesto en base a la fibra del abacá es mayor al material de los guardachoques original” ya que existe una diferencia significativa de 0,374 entre el Abacá y el material Original, según se establece las normas ASTM el número de muestreos de 5 para cada caso.

### CAPÍTULO V III

## 9.1 CONCLUSIONES

- Al recopilar la información necesaria, se observó investigaciones anteriores las cuales fueron una guía en el desarrollo del proyecto, así como las bases necesarias para la comprensión y análisis de la temática de resistencia de materiales que fue aplicada.
- Se determinó que en la caracterización del material, los moldes son la base primordial para la realización de las probetas teniendo en cuenta las medidas normalizadas que debe tener cada una de las muestras, influyendo directamente en los resultados finales del material y evitar falencias en datos concluyentes.
- La determinación de las propiedades del material compuesto de fibra natural así como el de los guardachoques originales mediante las pruebas de ensayo de tracción y flexión fueron la de resistencia máxima, modulo tangente, deformación en cada una de ellas las cuales fueron determinantes para la comparación de propiedades de cada material expuesto en el proyecto.
- Se observó la factibilidad del material aplicado en guardachoques delantero y posterior del vehículo Chevrolet Optra 2008, mediante la comparación de propiedades tales como la deformación máxima, esfuerzo máximo, factor de seguridad tanto en base de la fibra de abacá aplicada en los prototipos como, el de guardachoques originales.
- En la fabricación de los guardachoques se determinó que los mejores métodos de conformación fueron mediante la pultrusión y la transferencia de resina, siendo las primeras opciones no obstante el método que los sigue es el moldeo por colocación manual, siendo el óptimo en nuestro caso en economía presentando otras ventajas como su relativa sencillez y no requerir mano de obra especializada, ni inversiones elevadas.
- Al realizar los moldes de parachoques delantero y posterior del vehículo Chevrolet Optra año 2008 fue aplicado mediante los moldes negativos que otorgaban los guardachoques originales así obteniendo los positivos de los moldes(anexo 5 ,a)

- Al fabricar y dar acabados superficiales en los parachoques realizados con el nuevo material a base de la fibra natural de la planta de Abacá se aplicó un proceso minucioso para obtener acabados finos y así obtener ,prototipos finales con una estética similar a la de los guardachoques originales. (anexo 5 ,b)

## 9.2 RECOMENDACIONES

- Al realizar las investigaciones necesarias tener en cuenta los lugares de búsqueda adecuada como la página scielo la cual otorga investigaciones certificadas ISBN.
- Tener en cuenta el tipo de fibra a utilizar ya que la gran variedad de abacá otorga varias características en diferentes aplicabilidades que se le desee dar.
- En el desarrollo de los moldes para las probetas utilizar acero mínimo de ½ in, para evitar imperfecciones en el resultado final.
- Al realizar el análisis de los diferentes resultados tener un criterio de diseño así como los conceptos básicos e resistencia de materiales para poder determinar con factibilidad cuál es la mejor muestra y por ende el material más apto ya que el conocimiento en el área de resistencia de materiales y diseño otorgan la interpretación adecuada de resultados.
- En la fabricación de los guardachoques observar las curvaturas de este tipo de piezas ya que es necesario aplicar cera y al desmoldar evitando, en el momento de retirar los moldes que se quiebren.
- Desarrollar este tipo de investigaciones ,promoviendo el cambio de la materia prima en artículos innovadores desarrollando industrias que generen fuentes de empleo y desarrollen la tecnología vista en el país ,así como incentivos económicos y mayores laboratorios donde se pueda profundizar las diferentes aplicabilidades de la ingeniería automotriz.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antonio, O. (2012). Teñido de fibra de abacá (*Musa textilis* utilizando colorante extraído de la cochinilla). Loja: Univercidad Técnica Particular De Loja.
- Asimbaya, P. (2006). Diseño de una prensa calefactora para procesamiento de materiales compuestos. En P. D. Manuel Asimbaya, Diseño de una prensa calefactora para procesamiento de materiales compuestos. Quito: Quito /EPN/2006.
- Autoalliance. (Marzo de 2013). autoalliance. Obtenido de <http://www.autoalliance.org/index.cfm?objectid=624AFF00-AB7D-11E2-9CE9000C296BA163>
- Balseca, A. P. (2009). Obtención de compuestos de polietileno reforzado con fibra de abacá mediante moldeo por compresion. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Boumadian, Y. (viernes de Febrero de 2015). Aula Mecánica. Recuperado el 01 de Agosto de 2016, de Aula Mecánica: <http://yubairzorrito.blogspot.com/2015/02/preparacion-de-superficies.html>
- Brico, R. (s.f.). (viernes de Febrero de 2015)Bricoblog. Obtenido de Bricoblog: <https://www.bricoblog.eu/todo-sobre-las-resinas-epoxi-o-poliepoxido/>
- Carlos, R. (04 de 08 de 2014). Technical Courses. Recuperado el 28 de 02 de 2016, de Technical Courses: [http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog\\_entrada.php?entrada\\_id=89](http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog_entrada.php?entrada_id=89)
- Cimpa. (09 de 07 de 2013). Insumos Y tecnología para la industria alimentaria. Obtenido de Insumos Y tecnología para la industriaalimentaria: <http://www.cimpaltda.com/modulo/quimicos/ft%20resina%20poliester.pdf>
- Escobar, M. (17 de julio de 2015). nanotubo.com.ar. Recuperado el viernes de julio de 2015, de <http://www.nanotubo.com.ar/nota.php?id=10>
- GARCÍA GUERRA , C. (2014). Modelo de Gestión Financiera aplicada al área de Repuestos Automotrices. SALGOLQUI: ESPE.
- García Guerra, C. E. (2014). Modelo de Gestión Financiera aplicada al área de Repuestos Automotrices IMPORTADORA CERÓN S.A. SALGOLQUÍ: ESPE.
- Gil, A. (30 de 03 de 2012). Resinas de Poliéster. Obtenido de <http://www.eafit.edu.co/servicios/centrodelaboratorios/infraestructura/laboratorios/Documents/Guia%20de%20manejo%20de%20resinas.pdf>
- Guerrero, J. D. (2011). NUEVOS MATERIALES APLICACIONES ESTRUCTURALES E INDUSTRIALES. QUITO- ECUADOR: Víctor Hugo Guerrero, Ph.D.
- Hugo, C. (20 de Julio de 2015). El Productor. Recuperado el lunes de Julio de 2015, de El Productor: <http://elproductor.com/2012/10/26/el-abaca-un-cultivo-de-oportunidades-para-ecuador/>
- Jaramillo, J. P. (13 de abril de 2014). revista perspectiva. Recuperado el 11 de mayo de 2015, de <http://investiga.ide.edu.ec/index.php/revista-perspectiva/232-abril-2014/1016-perspectiva-economica-del-ecuador-la-matriz-productiva-2014>
- López, A. P. (2006). Estudio de la factibilidad para implemntar una empresa de exportación de fobra de abaá. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

- Macias, C. (JUEVES de MARZO de 2012). EL AGRONOMO ORGANICO. Obtenido de EL AGRONOMO ORGANICO: <http://elagronomoorganico.blogspot.com/2012/06/abaca-generalidades-y-cultivo.html>
- Mariano. (5 de Agosto de 2011). Tecnología de los Plásticos. Recuperado el 01 de Agosto de 2016, de Tecnología de los Plásticos: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/08/resina-epoxi.html>
- Miquel, C., Xavier, R., Marta, G., Nura, F., & Elena, S. (s.f.). Selección del material compuesto y su tecnología de fabricación para perfiles estructurales de edificios industriales. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña (España).
- Miravete, A. (2000). Materiales Compuestos. España: Editorial Reverte (2000) ISBN-10: 8492134976.
- Monagas. (s.f.). Scribd. Recuperado el 01 de Agosto de 2016, de Scribd: <https://es.scribd.com/doc/235089431/Deflexiones-en-Vigas>
- Muñoz, D., & Zambrano, M. (2015). La organización logística para la exportación de fibra de abacá por la empresa furukawa plantaciones. En D. M. Muñoz, La organización logística para la exportación de fibra de abacá por la empresa furukawa plantaciones. Guayaquil: Univercidad de Guayaquil.
- Nasimba, V. P. (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 maioneta mazda BT50 2010. En 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 maioneta mazda BT50 2010. Latacunga: ESPEL.
- NCAP, E. (2015). Impacto frontal completo. Recuperado el 28 de 02 de 2016, de Impacto frontal completo: <http://www.euroncap.com/es/seguridad-en-los-veh%C3%ADculos/descripci%C3%B3n-de-las-valoraciones/protecci%C3%B3n-de-ocupantes-adultos/impacto-frontal-completo/>
- Norton, R. (s.f.). Resistencia de Materiales. En R. Norton, Resistencia de Materiales. México, D.F.: Person Educación
- Organica, Q. (s.f.). Univercidad de Valladolid. Obtenido de Univercidad de Valladolid: [http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/propiedades\\_y\\_caracteristicas.htm](http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/propiedades_y_caracteristicas.htm)
- Pérez, D. I. (2009). Simulación de un choque frontal de un vehículo automóvil contra diferentes tipos de barrera. Madrid: Universidad Carlos II de Madrid.
- Pérez, M. (2011). Aplicaciones avanzadas de los nuevos materiales. España: Monographs ISBN: 978-84-941872-9-2.
- Ponce, D. (2011). Obtención de materiales compuestos de matriz polimérica biodegradable reforzada con fibra natural. Quito.
- Pontón, P. (2010). Obtención de Materiales Compuestos de Matriz Poliéster reforzados con Fibra de Abacá mediante Estratificación manual.
- RCAR. (2010). RCAR Bumper Test. España.
- Ródenas, M. E. (s.f.). Asepuma. (Universidad Complutense de Madrid) Recuperado el 01 de Agosto de 2016, de Asepuma: <http://www.uv.es/asepuma/XIV/comunica/117.pdf>
- Rodríguez, J. T. (2000). Quiminet. Obtenido de Quiminet:

- <http://www.quiminet.com/articulos/ventajas-y-aplicaciones-del-poli-etileno-de-alta-densidad-hdpe-2577371.htm>
- Ruiz, G. G. (2009). Los Otros Crash Test. Recuperado el 26 de 04 de 2016, de [https://www.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/i18n/catalogo\\_imagenes/grupo.cmd?path=1046544](https://www.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1046544)
- Sabino, C. (1992). El proceso de Investigación. Caracas: Editorial Panapo.
- Sans, R. Á. (02 de abril de 2012). Materia Compuesto de Matriz Metálica. Recuperado el 07 de julio de 2015, de Materia Compuesto de Matriz Metálica: <https://ingenierosenapuros.files.wordpress.com/2012/04/materiales-compuestos-de-matriz-metc3a1lica.pdf>
- Solidworks. (23 de Febrero de 2015). Solidworks. Obtenido de Solidworks: [http://help.solidworks.com/2015/spanish/SolidWorks/cworks/c\\_Mesh\\_Quality\\_Checks.htm?id=9e86d9f1815a42f3a18610f13ef4261b](http://help.solidworks.com/2015/spanish/SolidWorks/cworks/c_Mesh_Quality_Checks.htm?id=9e86d9f1815a42f3a18610f13ef4261b)
- Stupenengo, F. (2011). Materiales y materias primas ,Materieles compuestos. Autonomia de buenos Aires: encuentro.
- Tajasagar Ambati, K. S. (2012). Simulation of vehicular frontal crash-test. 2.
- Toaza, V. E. (2013). Estudio del Comportamiento a Fatiga Mecánica de Polímeros, compuestos con Fibra Natural y su Incidencia en la Aplicación para la Fabricación de Accesorios de la Industria Carrocera. Ambato: Universidad Tecnica de Ambato.
- Touzet, H. (miercoles de Agosto de 2012). Plaen-Plasticos, Envasados y Afines. Recuperado el viernes de julio de 2015, de <http://plaen.blogspot.com/2012/08/la-industria-automotriz-busca.html>
- UTP. (s.f.). (Venegas) Recuperado el 01 de Agosto de 2016, de UTP: <http://www.utp.edu.co/~lvanegas/disI/Cap3.pdf>
- Venegas. (2009). UTP. (Venegas) Recuperado el 26 de 04 de 2016, de UTP: <http://www.utp.edu.co/~lvanegas/disI/Cap3.pdf>
- Villaprado, C. I. (martes de junio de 2012). EL AGRONOMO ORGÁNICO. Obtenido de <http://elagronomoorganico.blogspot.com/2012/06/abaca-generalidades-y-cultivo.html>
- Willian Callister. (Mayo,2012). Fundamentals of Materials Science and Engineering (4th Ed.). New york: John Wiley & Sons, Inc. ISBN-13: 978-1118123188.
- Yanza, C. E. (Octubre de 2014). Investigación socioeconómica de la parroquia monterrey,cantón la concordia, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas y alternativas para su desarrollo. Quito: Universidad Politécnica salesiana sede quito.

# ANEXOS



**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores:

**Darwin Javier Moreano Moreano ,David Antoño Zambrano Romero**

En la ciudad de Latacunga, a los **16 días del mes de agosto del 2016**

Ing. Miguel Carvajal

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

Aprobado por:

**DIRECTOR DE CARRERA**



**SECRETARIO ACADÉMICO**