



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: DISEÑO, CARACTERIZACIÓN Y APLICACIÓN DE UN  
MATERIAL COMPUESTO CON BASE DE RESINA EPOXI Y  
REFUERZO DE FIBRAS ORGÁNICAS PARA LA APLICACIÓN  
EN UN PROTOTIPO DE CAPOT DE LA CAMIONETA MAZDA  
BT50 2010**

**AUTOR: VICTOR PATRICIO PACHACAMA NASIMBA**

**DIRECTOR: ING. FÉLIX MANJARRÉS**

**CODIRECTOR: ING ERNESTO SANTILLAN**

**LATACUNGA**

**2015**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA  
ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ  
CERTIFICACIÓN

*Félix Javier Manjarrés y Ernesto Santillán*

**CERTIFICAN**

Que el trabajo titulado “DISEÑO, CARACTERIZACIÓN Y APLICACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE DE RESINA EPOXI Y REFUERZO DE FIBRAS ORGÁNICAS PARA LA APLICACIÓN EN UN PROTOTIPO DE CAPOT DE LA CAMIONETA MAZDA BT50 2010” realizado en su totalidad por *Víctor Patricio Pachacama Nasimba*, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que contribuirá a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, se recomienda su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a Víctor Patricio Pachacama Nasimba que lo entregue al Ing. Danilo Zambrano, en su calidad de Director de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

Latacunga, 21 de Agosto del 2015

---

Ing. Félix Manjarrés

DIRECTOR

---

Ing. Ernesto Santillán

CO-DIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA  
ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

*Yo, Víctor Patricio Pachacama Nasimba*

**DECLARO QUE:**

El proyecto de grado titulado “**DISEÑO, CARACTERIZACIÓN Y APLICACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE DE RESINA EPOXI Y REFUERZO DE FIBRAS ORGÁNICAS PARA LA APLICACIÓN EN UN PROTOTIPO DE CAPOT DE LA CAMIONETA MAZDA BT50 2010**” ha sido desarrollada con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan en las fuentes que se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, 21 de Agosto del 2015

---

*Víctor Patricio Pachacama Nasimba*

C.C. 0104685284

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA  
ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**AUTORIZACIÓN**

YO, Pachacama Nasimba Victor Patricio

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución el trabajo: DISEÑO, CARACTERIZACIÓN Y APLICACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE DE RESINA EPOXI Y REFUERZO DE FIBRAS ORGÁNICAS PARA LA APLICACIÓN EN UN PROTOTIPO DE CAPOT DE LA CAMIONETA MAZDA BT50 2010, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, 21 de Agosto del 2015

---

*Victor Patricio Pachacama Nasimba*

C.C. 0104685284

## DEDICATORIA

*Para todas las personas que creyeron en mí y que comparten mis buenos y malos momentos de mi vida.*

*A mí familia, quienes son el pilar fundamental en mi vida, a mis padres: María Inés Nasimba y Alfredo Roberto Pachacama, quienes han sido mi ejemplo de superación y lucha, y quienes me han motivado a alcanzar mis ideales de una manera honesta y transparente.*

*A mis hermanos Jaime, Daniel y Marilú por estar siempre junto a mí brindándome su tiempo y su apoyo incondicional.*

*A mis compañeros con quienes hemos compartido experiencias a lo largo de nuestra vida estudiantil, quienes me han sabido demostrar lealtad.*

A handwritten signature in black ink, reading "Victor". The signature is written in a cursive, flowing style with a prominent initial "V" and a long, sweeping underline.

## AGRADECIMIENTOS

*A los Ing. Félix Manjarrés e Ing. Ernesto Santillan por su acertada dirección en el presente proyecto de tesis.*

*En especial al Ing. Félix Manjarrés, quien supo ver en mí todo el talento que se necesitaba para esta carrera; el eterno agradecimiento por su ayuda constante; gracias por ser más que un maestro un amigo, y eso es lo más valioso en este mundo. Sus enseñanzas han llegado hondo en mí y por ello siempre le voy a estar agradecido.*

*A las personas que trabajan en los laboratorios de Nuevos Materiales y Análisis de Esfuerzos, en especial al Ph. D. Victor Hugo Guerrero, por la colaboración que me brindo en el desarrollo de este proyecto.*

*A mí querida universidad por ser la fuente de mis conocimientos*

*A mis amigos quienes al compartir tantas alegrías, triunfos, tristezas y derrotas, se van convirtiendo en una familia; en especial a Freddy, Luis, Stalin, María. A mis tíos Pedro, Clara y Néstor Nasimba. A Rosa y Gustavo Guallichico, Belisario Nasimba; quienes me ayudaron cuando más necesité en la ejecución de la parte experimental del proyecto.*

*Detrás de un gran profesionalista hay un gran maestro*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CARÁTULA</b>	
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>II</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>III</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XV</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XVI</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>1 GENERALIDADES DE MATERIALES COMPUESTOS</b> .....	<b>1</b>
1.1. Materiales compuestos. ....	1
1.2. Compuestos lignocelulósicos .....	2
1.3. Materiales compuestos en la industria automotriz. ....	4
1.4. Ventajas y desventajas de los materiales compuestos en la industria automotriz. ....	10
1.5. Métodos y técnicas de conformación de materiales compuestos. ....	11
1.4.1 Estratificación manual.....	11
1.4.2 Estratificación de preimpregnados .....	14
1.4.3 Moldeo por aspersion.....	15
1.4.4 Moldeo por compresión .....	18
1.4.5 Extrusión .....	21
1.4.6 Inyección .....	23
1.6. Normas que rigen el diseño, construcción y caracterización de materiales compuestos. ....	26

<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>28</b>
<b>2 MATERIALES COMPUESTOS EN EL MERCADO ECUATORIANO Y EXTRANJERO</b> .....	<b>28</b>
2.1 Materiales compuestos fabricados en el país. ....	28
2.2 Materiales compuestos disponibles internacionalmente .....	29
2.3 Materiales compuestos aplicables en la industria automotriz del Ecuador.	30
2.3.1 Materiales compuestos de abacá-poliéster .....	32
2.3.2 Materiales compuestos cabuya-poliéster.....	34
2.3.3 Materiales híbridos abacá-vidrio-poliéster.....	35
2.3.4 Materiales híbridos coco-vidrio-poliéster .....	36
2.3.5 Materiales híbridos abacá-vidrio-polipropileno. ....	37
2.3.6 Materiales compuestos biodegradables abacá-pla. ....	38
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>40</b>
<b>3 DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL COMPUESTO PARA LA APLICACIÓN DE UN PROTOTIPO DE CAPOT.</b> .....	<b>40</b>
3.1. Consideraciones para la determinación de las especificaciones. ....	40
3.2. La casa de la calidad. ....	40
3.2.1. Voz del usuario. ....	40
3.2.2. Voz del ingeniero. ....	41
3.2.3. Prioridades del diseño .....	43
3.2.4. Conclusiones de la casa de la calidad. ....	43
3.3. Especificaciones técnicas. ....	44
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>46</b>
<b>4 DEFINICIÓN Y DISEÑO CONCEPTUAL DEL MATERIAL COMPUESTO PARA LA APLICACIÓN EN EL PROTOTIPO DE CAPOT.</b> .....	<b>46</b>
4.1 Análisis Funcional.....	46
4.2 Análisis Funcional Del Prototipo De Capot.....	46

4.2.1	Definición Del Análisis Funcional.....	46
4.2.2	Solución A Módulos.....	47
4.3	Ecodiseño.....	49
4.4	Selección Del Material De Refuerzo.....	51
4.4.1	Longitud Y Diámetro De Las Fibras.....	51
4.4.2	Influencia de la longitud de la fibra en compuestos reforzados con fibras discontinuas alineadas .....	52
4.4.3	Cantidad De Las Fibras.....	55
4.4.4	Influencia De La Orientación De Las Fibras Y La Concentración.....	55
4.5	Selección De La Matriz.....	57
4.5.1	Resinas Epóxicas.....	59
	A) Características.....	59
	B) Clases De Resinas Epoxi.....	61
	C) Propiedades De Las Resinas Epoxi.....	63
	D) Aplicaciones De Resinas Epóxicas.....	63
	E) Características Generales De Las Diferentes Resinas.....	63
4.6	Diseño Asistido Por Computador Del Material Compuesto.....	64
4.7	Cumplimiento De Estándares De Prototipado.....	67
4.8	Diseño Asistido Por Computador Del Prototipo De Capot.....	68
4.9	Caracterización Del Material Compuesto.....	69
4.9.1	Ensayos Destructivos.....	70
	A) Ensayo De Tracción.....	72
	B) Ensayo De Flexión.....	76
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>79</b>
<b>5 INGENIERÍA ASISTIDA DEL PROTOTIPO DEL CAPOT.....</b>		<b>79</b>
5.1	Consideraciones Para Los Estudios Por Elementos Finitos.....	79
5.1.2	Convergencia.....	80
5.1.3	Mallado.....	80
5.1.4	Métrica De La Malla.....	81
5.1.5	Criterio De Aceptación Del Estudio.....	82
5.2	Condiciones De Contorno.....	83

		x
5.2.1	Escenario De Simulación. ....	83
5.2.2	Distribución De Cargas. ....	83
5.2.3	Condiciones Aerodinámicas.....	85
5.3	Simulación.....	89
5.4	Análisis De Resultados. ....	89
 <b>CAPÍTULO VI.....</b>		 <b>92</b>
<b>6 PROCESO DE MANUFACTURA DEL PROTOTIPO DEL CAPOT. ....</b>		<b>92</b>
6.1	Definición Y Selección Del Proceso De Manufactura.....	92
6.2	Características Del Proceso De Manufactura.....	92
 <b>CAPÍTULO VII.....</b>		 <b>97</b>
<b>7 COSTOS DEL PROTOTIPADO. ....</b>		<b>97</b>
7.1	Costos De Producción. ....	97
7.1.1	Materiales. ....	97
7.1.2	Mano De Obra.....	97
7.1.3	Costos De Diseño. ....	98
7.2	Costos Indirectos. ....	99
7.3	Costo Total Del Proyecto. ....	99
 <b>CAPÍTULO VIII.....</b>		 <b>101</b>
<b>8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>101</b>
8.1	Conclusiones. ....	101
8.2	Recomendaciones.....	102
 <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		 <b>104</b>
 <b>LINKGRAFIA.....</b>		 <b>107</b>

<b>ANEXOS.....</b>	<b>109</b>
Anexo I.	Normas ASTM
Anexo II.	Ficha técnica CES Selector - Cabuya
Anexo III.	Ficha técnica de la resina epoxi
Anexo IV.	Cotización de un repuesto de capot original
Anexo V.	Informe técnico de laboratorio EPN
Anexo VI.	Paper científico
Anexo VII.	Plano del capot Mazda BT50 2010

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Propiedades mecánicas de compuestos de matriz poliéster reforzados con varios tipos de fibras lignocelulósicas.....	3
Tabla 1.2.	Propiedades mecánicas de distintos tipos de fibras naturales y de la fibra de vidrio.....	3
Tabla 1.3.	Ventajas y desventajas de los materiales orgánicos compuestos.....	11
Tabla 2.1.	Características mecánicas de la fibra de cabuya.....	37
Tabla 3.1.	Especificaciones técnicas para el diseño y construcción.....	45
Tabla 4.1.	Matriz de selección del mecanismo de cierre y apertura.....	49
Tabla 4.2.	Matriz de selección del material de protección de la intemperie.....	49
Tabla 4.3.	Matriz de selección del material de soporte de cargas aerodinámicas..	50
Tabla 4.4.	Propiedades mecánicas de un material compuesto de matriz poliestireno reforzado con fibra de yute con y sin tratamiento superficial.....	58
Tabla 4.5.	Características generales de las diferentes resinas.....	64
Tabla 4.6.	Tolerancia para diferentes valores de espesor de Materiales Compuestos.....	68
Tabla 4.7.	Recolección de datos a tracción de un material compuesto.....	74
Tabla 4.8.	Recolección de datos a flexión de un material compuesto.....	77
Tabla 7.1.	Costos de los materiales de fabricación y conformación.....	96
Tabla 7.2.	Costos por mano de obra directa .....	97
Tabla 7.3.	Costos generados por diseño de prototipo.....	97
Tabla 7.4.	Costos indirectos.....	98
Tabla 7.5.	Costo total del proyecto.....	98

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Microestructura de un material compuesto de matriz metálica.....	1
Figura 1.2	Estructura completamente de carbono (Axon de 500Kg).....	4
Figura 1.3	Soporte del panel de instrumentos para la serie BMW7, hecho con un 20% de LFT-G PP (polipropileno termoplástico de fibra larga en grano).....	5
Figura 1.4	Tanque de combustible de polietileno de alta densidad (HDPE).....	5
Figura 1.5	Laminado de GMT.....	6
Figura 1.6	Laminado gmtex.....	7
Figura 1.7	Laminado symalite®.....	8
Figura 1.8	Asiento con base de fibra de coco.....	9
Figura 1.9	Partes del interior del Mercedes A-200 hechas por Natural Mat termoplástico.....	10
Figura 1.10	Capot fabricado por estratificación manual.....	13
Figura 1.11	Fibra de carbono pre impregnado de matriz de resina epóxica reforzada con fibra de vidrio.....	15
Figura 1.12	Brazo robótico de aspersion.....	18
Figura 1.13	Molde para moldeado por compresión.....	20
Figura 1.14	Esquema de una extrusora de tornillo.....	23
Figura 1.15	Esquema básico del proceso de inyección.....	26
Figura 2.1	Fibra de abacá.....	33
Figura 2.2	Planta de cabuya.....	34
Figura2.3	Tipos de tejido de cabuya: (a) grueso, (b) normal y (c) fino.....	35
Figura 3.1	Casa de la calidad del prototipo de capot con fibras orgánicas.....	42
Figura 4.1	Función global.....	47
Figura4.2	La rueda de lid.....	51
Figura 4.3	Deformación generada en la matriz alrededor de una fibra sometida a una carga de tensión.....	53
Figura4.4	Efecto de la longitud en la resistencia de la fibra.....	54
Figura 4.5	Morfologías de compuestos reforzados con fibras. A) fibras continuas unidireccionales.	

	B) fibras discontinuas orientadas al azar.	
	C) fibras ortogonales o tejidos.	
	D) fibras en capas múltiples. ....	55
Figura 4.6	Efecto de la orientación de la fibra vs resistencia a la tensión de compuestos epóxicos reforzadas con fibra de vidrio.....	56
Figura4.7	Estructura química general de las resinas epoxi.....	60
Figura4.8	Estructura química de resinas epoxi a base de bisfenol A.....	61
Figura4.9	Estructura química de resinas epoxi a base de bisfenol F y/o novolac.....	62
Figura4.10	Estructura química de resinas epoxi bromadas.....	62
Figura4.11	Estructura química de resinas epoxi flexibles.....	62
Figura4.12	Procesamiento de flujo de trabajo.....	65
Figura4.13	Modelado capot inventor profesional 2015.....	67
Figura4.14	Diagrama de caracterización del material compuesto.....	71
Figura 4.15	(a) Máquina universal de ensayos Tinius Olsen “H25KS”, (b) mordazas para ensayo de tracción.....	71
Figura 4.16	(a) Máquina universal de ensayos Tinius Olsen modelo súper L. (b) mordazas cuneiformes. (c) set de flexión a tres puntos.....	72
Figura 4.17	(a) Configuración de carga a flexión en tres puntos utilizada (ASTM D7264/D7264M–07).....	75
Figura5.1	Criterio de convergencia de la malla.....	79
Figura5.2	Control y método de mallado para el prototipo de capot.....	80
Figura5.3	Mallado tetraédrico del prototipo de capot.....	81
Figura5.4	Calidad del mallado de capot.....	81
Figura5.5	Representación de la aerodinámica del automóvil.....	82
Figura5.6	Distribución de fuerzas.....	83
Figura5.7	Coeficientes $c_x$ para algunos sólidos y varios automóviles.....	86
Figura5.8	Presión generada sobre el capot en un túnel de viento a 100km/k.....	88
Figura5.9	Flujo de aire sobre el capot en un túnel de viento a 100km/h.....	88
Figura5.10	Gradiente de presión generado a100km/h sobre el capot.....	90
Figura6.1	Diagrama sistemático del proceso de manufactura.....	93
Figura6.2	Esquema de procesamiento del prototipo.....	95

## **RESUMEN**

El presente proyecto; “diseño, caracterización y aplicación de un material compuesto con base de resina epoxi y refuerzo de fibras orgánicas para la aplicación en un prototipo de capot de la camioneta Mazda BT50 2010” se lo realizó en base a la investigación, estudio teórico y experimental de los materiales compuestos orgánicos. Proponiendo una alternativa eficiente con un diseño simulado y la obtención final de un prototipo que minimice la contaminación ambiental. La geometría del elemento de carrocería “capot” se lo realizó mediante un software de diseño y simulación especializado que permitió anticipar conceptos de ingeniería sobre los materiales seleccionados y si estos eran aplicables y funcionales en escenarios reales para posteriormente pasar al proceso de manufactura del capot y someterlo a un protocolo de pruebas en el que se documentó la selección de las fibras orgánicas que mayor prestaciones mecánicas proporcionaron y los resultados de someter el elemento a esfuerzos mecánicos.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **CAMIONETA MAZDA BT50**
- **INDUSTRIA AUTOMOTRIZ**
- **CAMIONETA**
- **CAPOT**
- **CAPOT COMPUESTO ORGÁNICO**

## ABSTRACT

The present project "Design, characterization and application of a composite material with epoxy resin and reinforcement of organic fibers for use in a prototype hood of the truck Mazda BT50 2010" was made based on the research, theoretical and experimental study of the organic composites. Proposing an efficient alternative to a simulated design and obtaining a final prototype to minimize environmental pollution. The geometry of the bodywork element "hood" is what made using a specialized software design and simulation that allowed anticipate engineering concepts on the selected materials and whether they were applicable and functional in real scenarios then move to the manufacturing process and the hood subjecting it to a test protocol in which the selection of organic fibers provided higher mechanical properties and the results of subjecting the element to mechanical stress was documented.

### KEYWORDS:

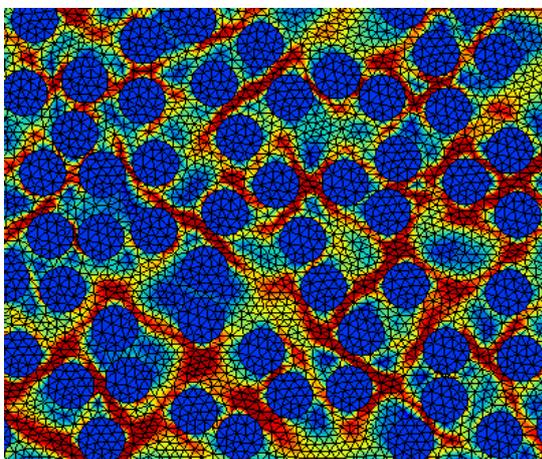
- **VAN MAZDA BT50**
- **AUTOMOTIVE INDUSTRY**
- **PICKUP TRUCK**
- **CAPOT**
- **CAPOT ORGANIC COMPOUND**

## CAPÍTULO I

### 1 GENERALIDADES DE MATERIALES COMPUESTOS

#### 1.1. Materiales compuestos.

Un material compuesto es aquel que ha sido producto de una combinación macroscópica de dos o más materiales distintos conocidos como sustancias componentes, constituyentes o fases, que se diferencian en función, forma o composición. Los componentes mantienen sus identidades, es decir, no se disuelven o se mezclan completamente.



**Figura 1.1** Microestructura de un material compuesto de matriz metálica.

**Fuente:** (Numerical Microscope for Composites, s.f.)

Normalmente los componentes pueden ser distinguidos físicamente y es posible identificar la interface entre una y la otra. Para la obtención de este material se usa un componente de refuerzo conocido por fibra o partícula y es soportado por la otra fase que actúa como material aglutinante llamado matriz. La combinación de diferentes matrices (polímeros o metales ligeros) con distintos materiales o disposiciones de fibra (fibra de vidrio, de carbono, orgánicas o de polímeros, entre otras) permite conseguir materiales con propiedades mecánicas muy especiales que se adaptan a los distintos aspectos que requiere un determinado diseño. (Maguyo, 2003).

En la actualidad los materiales compuestos tienen por objetivo general lograr un optimizado equilibrio de las propiedades estructurales que den como resultado un material superior a cualquiera de sus materiales constituyentes.

## **1.2. Compuestos lignocelulósicos**

Se conocen como compuestos lignocelulósicos a aquellos compuestos con matriz termoplástica o termoestable reforzada con fibras o partículas naturales de origen vegetal. Las fibras naturales vegetales son aquellas que se pueden extraer de las plantas. Estas fibras están constituidas principalmente por celulosa y lignina; es por eso que reciben el nombre de fibras lignocelulósicas. Los porcentajes de cada uno de los constituyentes de las fibras influyen directamente en sus propiedades mecánicas. (Barghoorn, 1998).

Las fibras vegetales son un material compuesto natural. La celulosa provee a las fibras de resistencia y estabilidad estructural, mientras que la lignina es un pegamento natural que agrupa a las fibras de celulosa. Es decir que la celulosa es el refuerzo y la lignina actúa como matriz. (Oksman, 2008; Mohanty, 2005).

El uso de las fibras naturales de origen vegetal, en particular de la madera, se presenta como resultado de la necesidad de desarrollar materiales con tecnologías que permitan obtener propiedades adecuadas con un mínimo impacto ambiental. Esto ha desembocado en un aumento de la demanda mundial de recursos naturales en lo que respecta a las fibras naturales. En 1997, aproximadamente 25 millones de toneladas métricas de fibras artificiales y cerca de 20 millones de toneladas métricas de fibras naturales fueron producidas a nivel mundial. (Barghoorn, 1998).

En la siguiente tabla se presentan las propiedades mecánicas de compuestos de matriz poliéster reforzados con varios tipos de fibras lignocelulósicas.

**Tabla 1.1**

**Propiedades mecánicas de compuestos de matriz poliéster reforzados con varios tipos de fibras lignocelulósicas.**

Fibra de refuerzo	Fracción volumétrica	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)
Coco	0,09	18,61	4045	38,51
Banano	0,09	25,85	1360	52,38
	0,14	30,96	2030	61,24
Piña	0,30	43,38	-	85,81
Sisal	0,30	68,33	-	107,8

**Fuente: (Mohanty, Misra & Drzal, 2005)**

En la tabla 1.2 se muestra las propiedades mecánicas de distintos tipos de fibras naturales, así como también las de la fibra de vidrio.

**Tabla 1.2.**

**Propiedades mecánicas de distintos tipos de fibras naturales y de la fibra de vidrio.**

Fibra	Esfuerzo máximo (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)
Cáñamo	490	3000-5000
Lino	640	2400-4000
Sisal	169	3860
Abacá	980	7200
Fibra de vidrio tipo S	4590	86000
Fibra de vidrio tipo E	3400	72500

**Fuente: (Chand, 2008; Mohanty, 2005; Lewin, 2007; Miravete, 2007)**

La diferencia de las propiedades mecánicas entre las fibras sintéticas y las naturales es muy grande. En cuanto al esfuerzo máximo, la fibra de vidrio tipo E es aproximadamente 7, 5, 20 y 3 veces superior a las fibras de cáñamo, lino, sisal y abacá, respectivamente. En cuanto al módulo de elasticidad, la fibra de vidrio tipo E es superior en alrededor de 14, 18, 18 y 10 en relación a las fibras de cáñamo, lino, sisal y abacá, respectivamente. La diferencia tan marcada entre las propiedades mecánicas

de las fibras naturales y de vidrio, se debe a que estas últimas se obtienen mediante un proceso de fabricación y tienen una menor probabilidad de contener defectos.

En cambio, las fibras naturales están constituidas de lignina y celulosa cuyas unidades por ejemplo no siempre siguen una orientación preferencial, ni han sufrido un estiramiento que pueda alinear sus cadenas y las haga más resistentes. Además, las bajas propiedades mecánicas de las fibras lignocelulósicas se deben a que dependen de factores como la humedad, tiempo de cosecha (madurez), variedad de la planta, que de hecho ya están comprometiendo el comportamiento mecánico y presentando una aleatoriedad en propiedades de una fibra a otra (fibras de diferentes plantas de una misma plantación no siempre tienen propiedades repetitivas, eso no ocurre con las fibras sintéticas). (Lewin, 2007).

### **1.3. Materiales compuestos en la industria automotriz.**

Desde los 70's, década en la que se produjo una de las peores crisis de energéticos en el mundo, las tendencias de la industria automotriz se modificaron. Cambios drásticos en el diseño y manufactura de los vehículos automotores condujeron a una mejoría en los procesos de combustión y a una reducción en el peso de los vehículos, lo cual a su vez condujo a una notoria disminución en el uso de combustible.



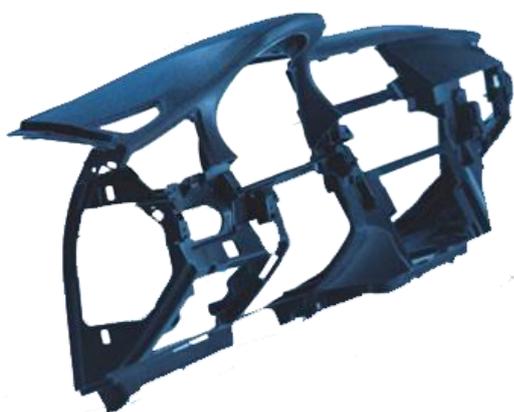
**Figura 1.2 Estructura completamente de carbono (Axon de 500Kg)**

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

La disminución en el peso se dio de dos maneras, por un lado las dimensiones se redujeron y por el otro se sustituyó el acero por materiales de menor densidad, aluminio y plástico, básicamente. Desde hace años, se ha estado desarrollando y

produciendo materiales termoplásticos reforzados con fibra de vidrio para la producción de automóviles. Los accesorios del interior del vehículo incluyen muchos componentes diferentes hechos de compuestos termoplásticos reforzados con fibra.

Entre los materiales plásticos más utilizados está el polipropileno alrededor del 2.6% en peso del total de plásticos en el automóvil el cual se utiliza entre otras cosas, para formar el panel de instrumentos (figura 1.3), o el ensamble de una sola pieza (que reemplaza a 5 piezas metálicas) formado por la tapa del abanico del radiador, el recipiente para el refrigerante, y para el líquido de los limpiadores (delantero y trasero) y el túnel de llenado de estos últimos contenedores. (Alemon, 2003)



**Figura 1.3 Soporte del panel de instrumentos para la serie BMW7, hecho con un 20% de LFT-G PP (polipropileno termoplástico de fibra larga en grano)**

**Fuente: (Borealis AG, s.f.)**



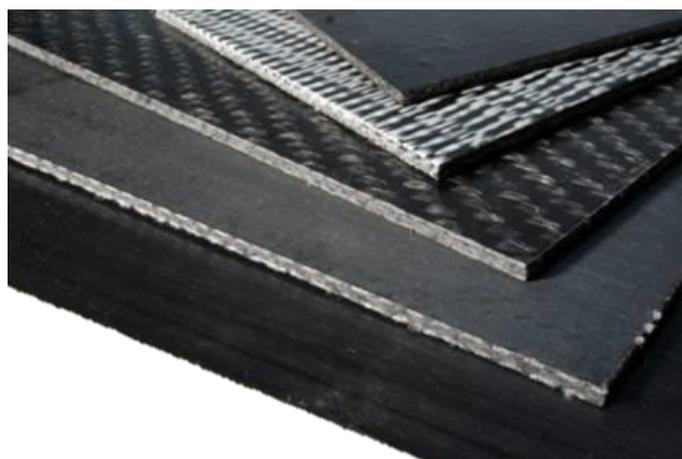
**Figura 1.4 Tanque de combustible de polietileno de alta densidad (HDPE)**

**Fuente: (Evalevoh, s.f.)**

El polietileno de alta densidad ocupa un 0.7% en peso del total de plásticos en el automóvil y se encuentran formando los tanques de una sola pieza para almacenar la gasolina (Figura 1.4). Otros materiales plásticos como los acrílicos, los policarbonatos, PVC y materiales compuestos, tienen aplicaciones importantes en esta industria.

Las mezclas de Policarbonatos son uno de los materiales plásticos que tienen mayor resistencia al impacto, conocido por sus siglas PC. Es un polímero que combina transparencia y alto desempeño para diversas aplicaciones, dentro de las mezclas de este material con propiedades e importancia comercial sobresalientes se encuentran el PC/ASA PC (policarbonato acrilato-estireno-acrilonitrilo) /PBT (tereftalato de polibutadieno).

En la actualidad con el desarrollo de nuevas tecnologías en la ciencia de los materiales se produce el GMT que es un termoplástico clásico reforzado con malla de fibra de vidrio. Este producto semi acabado en forma de panel se desarrolló principalmente como un sustituto de los metales (acero, aluminio, etc.) y sus principales usos son en la industria automotriz. Es aquí donde se prensa frecuentemente a escala industrial en componentes estructurales complejos 3D, aunque también se utiliza como paneles.



**Figura 1.5 Laminado de GMT**

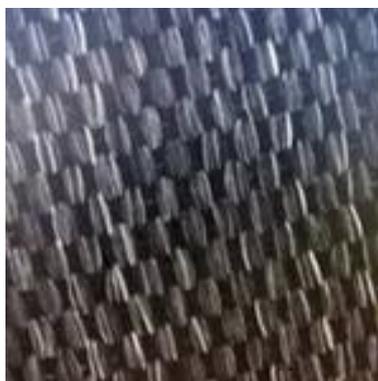
**Fuente: (QUADRANT, s.f.)**

Los materiales clásicos GMT están hechos de mallas de fibra de vidrio fabricadas para sus patentes e impregnados con polipropileno en una segunda etapa del proceso.

Los resultados son materiales compuestos ligeros con excelente resistencia al impacto pero comportamiento benigno al choque. Su relativa baja densidad, excelente dureza y rigidez, incluso a bajas temperaturas, resistencia a la humedad y químicos, durabilidad y facilidad de reciclaje.

Los materiales utilizados en la fabricación del GMT son a base de polipropileno (PP), poliamida (PA) y poliéster termoplástico (TPP). El refuerzo es proporcionado por tecnología de largas fibras y/o mallas ilimitadas de vidrio. Los termoplásticos no reforzados y reforzados con fibra corta se vuelven frágiles a bajas temperaturas y peligrosamente rompibles en choques. Su tecnología especial de fibra larga asegura una alta absorción de energía antes de la fractura y después un comportamiento benigno a la falla sin líneas de fractura definidas.

**GMTex®** compuesto se ha seguido desarrollando para aplicaciones que demandan alta resistencia al impacto, resistencia y durabilidad. En la producción de estos compuestos termoplásticos de alto rendimiento, los materiales básicos de polipropileno (PP), poliamida (PA) y poliéster termoplástico (TPP) están reforzados con fibras tejidas y colocadas aleatoriamente. (Tecnología de capas múltiples de fibra de vidrio). El resultado son compuestos innovadores que, a pesar de su baja absorbencia de energía, muestran secciones transversales con excelentes propiedades mecánicas tales como rigidez. GMTex es moldeable y sirve como un sustituto del acero, aluminio, magnesio, etc., o se emplea para el refuerzo adicional de los materiales GMT. (QUADRANT, s.f.).



**Figura 1.6 Laminado GMTex**

**Fuente: (QUADRANT, GMTEX-R, s.f.)**

Mientras los materiales compuestos clásicos GMT en la industria automotriz se utilizan principalmente en componentes semi estructurales (paneles de instrumentos, puertas traseras, asientos, etc.), los compuestos GMTex reforzados con fibras textiles y en capas también están conquistando los componentes estructurales de los vehículos, hasta ahora de dominio exclusivo de los metales (ejemplo partes frontales y soportes de parachoques).

En cuanto a compuestos ligeros, se producen materiales termoplásticos reforzados de bajo peso (LWRT), con el nombre de Symalite. Este material es una mezcla de fibra de vidrio con fibra de polímero y se suministra en rollos o placas. El moldeador calienta el material y produce los componentes en tres dimensiones, los cuales, son moldeados a una baja presión.



**Figura 1.7 Laminado SymaLITE®**

**Fuente: (QUADRANT, SYMALITE-R, s.f.)**

Los materiales compuestos a base de fibras orgánicas destacan el impulso que ha dado la multinacional Daimler Benz en conjunto con la UNICEF, a través del programa Poverty and Environment in Amazonia desarrollado en Brasil promoviendo la aplicación de bio-compuestos en la elaboración de sus vehículos Clase E y camiones Clase A (Figura 1.9). Lo más destacable de este esfuerzo es que se comprobó la factibilidad de la utilización de los recursos naturales para fines no tradicionales o artesanales. Todo esto se desarrolló en perfecta armonía con el medio ambiente y sin dejar de lado la calidad requerida para los productos Mercedes Benz. Mercedes Benz

ha utilizado yute y algodón en la parte interior de sus vehículos y en la actualidad se encuentran en el desarrollo de investigaciones para reducir la utilización de fibras sintéticas en sus vehículos. (Cadena Productiva Sostenible de la Fibra de Coco, s.f.).

También se han desarrollado compuestos con características técnicas, utilizándolos en los paneles de las puertas, en los pilares estructurales de la cabina, como parte de los asientos, parachoques, apoyacabeza, entre otras aplicaciones. Así como también han aprovechado sus características como aislante acústico y la virtud de no astillarse en caso de impacto directo en el interior de sus vehículos. (Kessler, Kohler, Nebel & Tubach, 2000).



**Figura 1.8 Asiento con base de fibra de coco**

**Fuente: (FIBRAZtech, s.f.)**

La más exitosa tecnología usada para estos fines ha sido el moldeo por compresión con fibras como lino, sisal, algodón y una mezcla de lino / algodón; utilizando diversas matrices como polipropileno (termoplástico), epóxico, poliuretano y resinas fenólicas (termofijas), dependiendo de la aplicación. (Gómez, Gálvez & De la Osa. 1997).

Por otro lado, hace algunos años se han utilizado los residuos de diversas industrias en la elaboración de tableros aglomerados entre ellos el bagazo de caña, hojuelas de kenaf, cáñamo, tallos de yute, sisal, ramio, kenaf, palma africana, nueces y cascarilla de arroz. Estos son aplicados también en tableros retardantes de fuego, MDF, tableros aislantes, entre otros.



**Figura 1.9 Partes del interior del Mercedes A-200 hechas por Natural Mat termoplástico**

**Fuente: (FAO, FAO, s.f.)**

#### **1.4. Ventajas y desventajas de los materiales compuestos en la industria automotriz.**

En realidad los materiales compuestos tienen más ventajas que desventajas en su uso industrial puesto que los materiales han sido la columna vertebral de la industria automotriz y por la legislación de emisiones de CO<sub>2</sub> se ha ido perfeccionando su procesamiento y aplicación.

**Tabla 1.3**

#### **Ventajas y desventajas de los materiales orgánicos compuestos**

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Recursos renovables	Baja estabilidad dimensional
Resistentes	Baja resistencia a microorganismos
Bajo peso específico	Termoplásticos de baja temperatura de fusión
Biodegradables	Susceptible a daños por ácidos minerales y orgánicos
Económicas	Demanda y ciclos de suministro variables
Bajo costo manufactura	Baja resiliencia

La ventaja más clara que estos materiales pueden aportar es una reducción del 10% en el peso del vehículo, que 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), hecho que ha disminuido las sanciones por exceso de emisiones de los vehículos. (eJournal USA, 2006).

## **1.5. Métodos y técnicas de conformación de materiales compuestos.**

La selección del proceso para la fabricación de materiales compuestos es de gran importancia porque permite satisfacer los requerimientos de un producto para una aplicación determinada. Además, dado que el costo de fabricación de un material compuesto representa entre un 50 y 60% del costo total del producto, es necesario escoger el método de procesamiento más adecuado para obtener el mejor resultado al menor costo. Esta selección depende de ciertos parámetros, tales como: el tipo de matriz, el tipo y geometría del refuerzo, aplicaciones del producto terminado, entre otros. (Levy & Pardini, 2006).

También es necesario conocer las condiciones del proceso, así como las ventajas y limitaciones de cada técnica de procesamiento. Por tal motivo revisaremos los procesos más utilizados para la obtención de materiales compuestos termoplásticos y termoestables, tales como: estratificación manual, moldeo por aspersión, extrusión, inyección y moldeo por compresión.

### **1.4.1 Estratificación manual**

La estratificación manual, 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. (Sanjay, 2002).

La resina a ser utilizada debe contener en su estructura 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. La resina poliéster, frecuentemente usada por su bajo costo, tiene un contenido de estireno monómero entre 30 y 50% en peso. Como iniciador se utiliza generalmente octoato de cobalto

y como catalizador peróxido de metiletil cetona (MEKP, por sus siglas en inglés). (Goodman, 1998).

El material de refuerzo puede presentarse en forma de fibra corta, fibra continua, tejido o mat (no tejido) y es adicionado en un porcentaje en volumen máximo del 40%. Se han observado porcentajes de espacios vacíos (burbujas de aire atrapadas) de hasta un 15%. (Levy & Pardini, 2006).

La fibra más utilizada como refuerzo es la fibra de vidrio debido a su bajo costo, sobre todo en forma de mat por la facilidad de acoplarse a distintas formas de la pieza. Usualmente, para conseguir un acabado superficial en piezas de poliéster reforzadas con fibra de vidrio moldeadas por estratificación manual, se utiliza una resina llamada gelcoat. Sus principales funciones son proteger al material compuesto de los efectos de la intemperie y la humedad, así como permite obtener un acabado liso y brillante de la superficie de la pieza. El gelcoat también puede servir como base para pinturas acrílicas por la capacidad que tiene de brindar protección a los rayos ultravioleta. El espesor máximo que debe tener la capa de gelcoat es de 0,5 mm. (Bendezú, 2002).

Las etapas del proceso de estratificación manual se muestran a continuación:

- a) En primer lugar se adiciona al molde un agente de desmoldeo para poder retirar con facilidad la pieza final.
- b) Posteriormente el gelcoat es aplicado con una pistola de aspersión o de forma manual con el empleo de un rodillo o brocha.
- c) Cuando el gelcoat ha curado parcialmente, se colocan capas del material de refuerzo y se deposita la resina catalizada sobre cada capa de refuerzo. Se pasa un rodillo para permitir que el refuerzo se impregne del polímero y con el objetivo de eliminar el aire atrapado en el laminado.
- d) Se deja curar la pieza a temperatura ambiente. El tiempo de curado depende del sistema catalítico empleado y de la cantidad de iniciador y catalizador utilizada. Finalmente se retira la pieza del molde.



**Figura 1.10 Capot fabricado por estratificación manual**

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. (Pickering, 2008).

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. Actualmente están surgiendo nuevas tecnologías para producir piezas similares utilizando moldes cerrados que eviten este daño ambiental. (Hoa, 2009).

Puesto que el proceso de estratificación manual es sencillo, es posible fabricar piezas grandes como piscinas, cascos de embarcaciones, yates, automóviles, paredes laterales de buses y componentes aeroespaciales como fuselaje de los aviones. También se elaboran piezas para fines estructurales.

### 1.4.2 Estratificación de pre impregnados.

Un pre impregnado es una mezcla de fibras de refuerzo dispuestas unidireccionalmente o en forma de tejido, las mismas que son impregnadas con un polímero que puede ser termoplástico o termoestable. Este es un producto intermedio que se presenta en forma de láminas que son almacenadas para su uso posterior en procesos de moldeo de materiales compuestos como: estratificación manual, moldeo por compresión, entre otros. La técnica para la obtención de pre impregnados permite tener un control preciso de la fracción volumétrica y la dispersión homogénea del polímero en la fibra. El porcentaje máximo de refuerzo que se alcanza en esta técnica es de 60% y los espesores van de 25,4 mm (1 pulgada) a 305 mm (12 pulgadas).

Algunas ventajas de estos materiales son: buena resistencia mecánica y química. En el caso de pre impregnados termoplásticos, estos son reciclables y flexibles; sin embargo, las altas temperaturas y presiones que requiere su procesamiento limitan sus aplicaciones a la industria aeronáutica y aeroespacial, donde el costo no es un factor tan determinante como en la industria automotriz. El ciclo del proceso es mucho más rápido que el de compuestos termoestables y es del orden de los minutos.

Hay algunos métodos para la obtención de pre impregnados termoplásticos, así por ejemplo se tiene:

- a) **Recubrimiento por fusión en caliente**, que es una técnica en la que ambas, fibra y resina, son extruidas simultáneamente en forma de lámina.
- b) **Apilamiento de láminas**, donde láminas de matriz se intercalan con fibras de refuerzo y se consolidan bajo presión y temperatura, de tal manera que exista una adecuada impregnación de la fibra.
- c) **Deposición electrostática**, en la cual el polímero debe estar en forma de polvo. Este polvo es fluidizado y forma una nube a través de la cual pasa la fibra de refuerzo que se recubre debido a la carga electrostática. Después de la impregnación, las fibras recubiertas son sometidas a una fuente de calor que funde el plástico, formando una lámina continua del material reforzado.

Los pre impregnados de matriz termoestable más comunes son los de resina epóxica con refuerzos sintéticos como: fibra de vidrio, carbono, aramidas, etc. y se pueden obtener por varios métodos, tales como:

**Impregnación de solvente**, que consiste en disminuir la viscosidad de la resina por adición de un solvente y sumergir las fibras en este líquido. El problema de esta técnica es la posterior eliminación del solvente.

**Fusión en caliente**, en la cual la resina se aplica sobre las fibras en un estado viscoso. En este método existe la dificultad de mojar las fibras.

En los dos casos, la fibra se impregna en un baño de resina y posteriormente se calienta la combinación fibra/matriz hasta un estado de cura parcial (aproximadamente un porcentaje de reticulación de 30%). El ciclo del proceso de reticulación dura entre 1 y 8 horas debido a la baja velocidad de la reacción.



**Figura 1.11 Fibra de carbono pre impregnado de matriz de resina epóxica reforzada con fibra de vidrio.**

**Fuente: (Puzzlecarbono, s.f.)**

### **1.4.3 Moldeo por aspersion**

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 aspersion que deposita fibra corta y resina simultáneamente sobre la

superficie del molde. No requiere aplicación de calor ni presión. El material polimérico más utilizado en esta técnica es la resina poliéster. El porcentaje en peso de refuerzo es del 20 al 40%, siendo el refuerzo más común la fibra de vidrio en forma de hilo continuo.

También se emplea fibra de carbono y kevlar (aramida). Otras materias primas empleadas son: gelcoat para dar un mejor acabado a las piezas, rellenos (carbonato de calcio en un porcentaje de 5 al 25% en peso) para abaratar costos, aditivos (ceras) para reducir la emisión de estireno durante el laminado. El proceso se detalla a continuación:

- a) Se deposita en el molde un agente desmoldante para retirar con facilidad la pieza acabada.
- b) Se aplica una capa de gelcoat y se la deja curar a temperatura ambiente o en un horno.
- c) Se deposita la resina y el refuerzo con ayuda de una pistola de aspersion. La pistola corta la fibra de refuerzo a un tamaño predeterminado (10 a 40 mm) y la expulsa a través de un atomizador de resina catalizada hacia el molde. La pistola se mueve a lo largo del molde siguiendo un patrón que permita crear un espesor uniforme del laminado.
- d) El laminado se compacta por medio de un rodillo manual para permitir que el refuerzo se impregne del polímero, al mismo tiempo que contribuye a uniformizar el espesor de la pieza y a remover las burbujas de aire atrapadas en el laminado.
- e) Usualmente se intercala el material atomizado con capas de tejido de refuerzo u otros materiales en determinadas áreas de la pieza para conseguir mayor resistencia.
- f) Una vez obtenido el espesor deseado de la pieza (determinado por la cantidad de material atomizado y el número de capas de refuerzo añadidas), se deja curar el material. El curado se realiza a temperatura ambiente y dura entre 2 y 4 horas, dependiendo de la formulación de la resina.
- g) Finalmente, la pieza es retirada del molde.

Para ciertas aplicaciones se utiliza acrílico en lugar de gelcoat, con el objetivo de proporcionar un acabado liso a la pieza. En este caso se deposita sobre un molde hembra una lámina de acrílico que es calentada y formada al vacío. Esta lámina endurecida se desmolda y a su vez sirve como molde para aplicar el material compuesto con la pistola de aspersión. En cuanto a los equipos utilizados en esta técnica, existen varios sistemas de pistolas de aspersión:

**Pistola de mezcla interna**, que posee dos canales separados, uno para el catalizador y otro para la resina. Dichos canales se intersecan y mezclan en una boquilla. Este sistema de aspersión trabaja sin aire y usa baja presión, lo cual permite que el área a tratarse no se sature de material atomizado.

**Pistola de mezcla externa**, que también usa canales separados, para la resina y el catalizador, pero éstos no se intersecan dentro de una boquilla. Por el contrario, las partículas más pequeñas de la resina y el catalizador se disparan desde distintas boquillas y se mezclan afuera con un canal adicional para el aire. Se usa aire presurizado. Debido a que la mezcla se produce externamente, las boquillas deben estar en un ángulo apropiado para lograr la combinación correcta de materiales. Las pistolas de aspersión permiten depositar de 1000 a 1800 lb/h de material.

El moldeo por aspersión exhibe varias ventajas. La aplicación del material es más rápida que en la estratificación manual y la fibra de vidrio que se utiliza (hilo continuo) es más barato que la utilizada en otros métodos de procesamiento. Entre las limitaciones de esta técnica se tiene que es difícil controlar la fracción volumétrica del refuerzo y el espesor de la pieza, ya que dependen de la destreza del operador.

Por otra parte, no se puede utilizar este proceso de fabricación para piezas con requerimientos estructurales altos y se obtiene únicamente un producto con buen acabado superficial. La emisión de estireno también constituye un problema. Esta técnica requiere acabados adicionales como desbaste de las piezas y otros.

El moldeo por aspersión se utiliza para la fabricación de piezas en las cuales la resistencia del material no es crucial. Como ejemplos de productos elaborados con esta técnica se pueden mencionar a tinas de baño, piscinas, toboganes, cascos de barcos, tanques de almacenamiento, ductos y equipos de tratamiento de aire, partes de muebles, recubrimientos, piezas para lugares de recreación, entre otros. Permite obtener de bajos a medianos volúmenes de producción.



**Figura 1.12 Brazo robótico de aspersión.**

**Fuente: (Matrasur composites, s.f.)**

#### **1.4.4 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. 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.

Esta técnica de moldeo es utilizada tanto para materiales termoplásticos como para termoestables y consiste en intercalar láminas de matriz y refuerzo en forma de pre impregnados en un molde que es posteriormente prensado.

En los materiales termoestables, las láminas son premezclas de matriz-refuerzo debidamente formuladas y la consolidación puede o no requerir de la aplicación de calor, dependiendo de la resina utilizada. El contenido máximo de fibra que se

puede alcanzar es de 30%. El proceso para las matrices termoestables consiste en cortar las láminas de pre impregnado en la forma deseada y colocarlas en la mitad inferior del molde (hembra). Los moldes se precalientan (120 -170°C) según lo requiera la formulación de la resina. La mitad superior del molde (macho) se cierra rápidamente.

Finalmente se cura el material, se libera la presión y la pieza es expulsada. El moldeo por compresión para materiales termoplásticos, también llamado moldeo de prensa caliente, se puede efectuar de dos maneras. La primera es partiendo de preformas de material reforzado (generalmente con fibras unidireccionales) y la segunda es realizando un arreglo de la matriz y el refuerzo en el molde y posteriormente estos materiales son consolidados con la aplicación de calor y presión.

Se utilizan pre impregnados de material termoplástico reforzados con fibras unidireccionales, tales como sulfuro de polifenileno (PPS) reforzado con fibras de carbono, en los cuales se pueden alcanzar fracciones volumétricas de refuerzo mayores al 60%. Existen tres fases que hay que tomar en cuenta en el moldeo por compresión: precalentamiento, moldeo y enfriamiento. Durante estas fases los parámetros que se controlan son la temperatura, la presión y el tiempo. Los pasos del proceso se detallan a continuación:

- a) En la fase de precalentamiento se disponen alternadamente láminas de fibra de refuerzo y polímero termoplástico, con la adecuada orientación sobre un molde que ha sido anteriormente tratado con un agente desmoldante. La cantidad de material a utilizarse se calcula según el espesor deseado de la pieza.
- b) Se cierra el molde y se lo coloca en una prensa calefactora. Se aplica una presión baja o nula hasta que la temperatura del material alcance la temperatura de fusión de la resina.
- c) Una vez alcanzado el equilibrio térmico comienza la fase de moldeo, para lo cual se aplica una mayor presión llamada presión de moldeo, que consolida el material haciendo que el plástico, que se encuentra en estado fundido fluya a través de los intersticios formados por la disposición de las fibras y las moje<sup>12</sup>.

- d) Transcurrido el tiempo de moldeo se lleva a cabo la fase de enfriamiento en la cual el molde es enfriado en una prensa con sistema de refrigeración de tal manera que la presión se mantenga constante hasta que el material se haya solidificado por completo. De esta forma se evita una recuperación elástica del material.
- e) Finalmente, la pieza es retirada del molde.



**Figura 1.13 Molde para moldeo por compresión.**

**Fuente: (Constructor, 2007)**

Para una buena consolidación de la pieza es necesario el íntimo contacto entre las capas de matriz y refuerzo, para lo cual se debe evitar la presencia de aire atrapado, con un diseño adecuado del molde y suministrando el suficiente calor y tiempo para la autoadhesión en la interfaz. Se ha determinado que el tiempo adecuado para la consolidación del compuesto es de 5 a 30 minutos, incluido el tiempo que tarda el molde en alcanzar el equilibrio térmico. Los moldes están hechos de acero inoxidable o aluminio. Su diseño es simple, lo que facilita la aplicación de calor y el prensado para la buena consolidación. Este método se utiliza para la producción a gran escala de componentes con superficies lisas.

Ese es el caso de la industria automotriz, en la que se están produciendo piezas de polipropileno reforzado con fibra natural. Además, esta técnica permite la fabricación de compuestos híbridos tipo sánduche, lo que da como resultado piezas de bajo peso y de gran resistencia a la flexión. Otra ventaja del moldeo por

compresión es que constituye una herramienta útil para la investigación y desarrollo de materiales compuestos, puesto que se puede trabajar también a pequeña escala. Las piezas obtenidas son reciclables, dado que las matrices son termoplásticas.

Por otra parte, la principal limitación de este procedimiento es que únicamente se pueden elaborar piezas simples como placas planas de espesor constante y no es posible producir estructuras de espesores muy grandes ni diseños complejos. Además, las piezas obtenidas suelen necesitar de operaciones secundarias como el desbaste.

#### **1.4.5 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, en las que la expulsión del polímero se produce por la rotación de un tornillo sinfín. Dependiendo del material a ser procesado se utilizan extrusoras de tornillo simple o de tornillos múltiples, que pueden ser co-rotatorios o de rotación opuesta.

También existen extrusoras de pistón o émbolo, en las que el material es empujado por la acción de un pistón recíproco. Estas tienen buenas características de transporte, sin embargo, su uso es menos frecuente debido a su baja capacidad de fusión.

Dado que las extrusoras de tornillo son las más utilizadas, se explica a continuación la técnica de extrusión tomando en cuenta este tipo de equipos. Los pasos son los siguientes:

- a) El material plástico en forma de gránulos o pellets es alimentado a la extrusora a través de la tolva de alimentación. En este depósito, el plástico se

puede alimentar de manera constante y puede mezclarse con aditivos y colorantes.

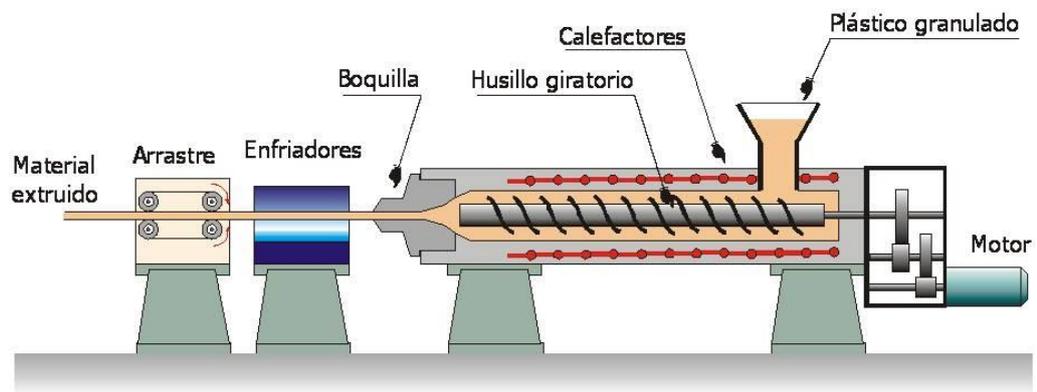
- b) Se ajustan los parámetros de procesamiento en la máquina de extrusión. Los más importantes son la presión y la temperatura, que deben ser monitoreados y controlados durante el proceso.
- c) El plástico pasa por la garganta de alimentación hacia el barril, donde es fundido por acción de un sistema de calentamiento constituido de bandas eléctricas localizadas a lo largo de la extrusora. Dentro del barril se encuentra un tornillo sinfín, que determina el transporte, fusión y mezcla del polímero.
- d) Una vez fundido el material, éste fluye a través de una boquilla, que le confiere la forma a la sección transversal de la pieza extruida. Posteriormente el plástico es expulsado de la boquilla hacia una cama de agua, donde la pieza es enfriada.

En la industria de materiales compuestos se utiliza la extrusión para dos fines: la producción de granulados y la obtención de piezas semi-elaboradas de sección transversal constante. Para la obtención de granulados de material compuesto se emplean extrusoras de doble tornillo debido a su alta capacidad de mezcla. Las fibras naturales de refuerzo se alimentan en forma de fibra corta o en polvo, conjuntamente con los gránulos de plástico, lo que permite una distribución homogénea y un adecuado mojado de las fibras en el plástico fundido. Las fibras y el polímero se orientan a medida que atraviesan la boquilla de extrusión y de esta orientación dependerán las propiedades mecánicas del material obtenido.

Por otra parte, las extrusoras de doble tornillo de rotación opuesta se usan para procesar plásticos reforzados con fibra de madera, también llamados madera plástica. De esta forma se logra una buena compactación. Asimismo, las extrusoras utilizadas para la producción de compuestos reforzados con fibras naturales tienen válvulas que permiten la desgasificación, es decir, la salida de los compuestos volátiles, y la humedad contenida en las fibras, la misma que es liberada al elevarse la temperatura.

Esta deshumidificación es necesaria porque el vapor de agua afectaría al proceso y la calidad del producto final, sin embargo, es importante notar también

que las fibras pueden volverse frágiles al perder humedad, lo que influiría negativamente en las propiedades mecánicas del material. Es por esta razón que se debe trabajar a temperaturas no tan altas, de tal manera que el refuerzo, que es un material orgánico, no se degrade. Los materiales compuestos extruidos son utilizados en la industria automotriz para la fabricación de piezas. Además, se emplean en la elaboración de láminas para recubrimientos de paredes y pisos, artículos ornamentales, entre otros.



**Figura 1.14** Esquema de una extrusora de tornillo

**Fuente:** (Constructor, 2007)

#### 1.4.6 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. Es empleado para el procesamiento de polímeros termoplásticos y materiales compuestos de matriz termoplástica. Un 25% de resinas termoplásticas se procesan mediante inyección. Para la obtención de materiales compuestos existen dos formas de incorporar las fibras de refuerzo. La primera es adicionar las fibras al polímero mediante pultrusión para obtener pellets de aproximadamente 10 milímetros de longitud, los cuales son alimentados al equipo de inyección.

En este caso las piezas finales obtenidas tienen longitudes de fibra entre 0,2 y 6 mm, debido al rompimiento de las fibras a su paso a través de la inyectora. La otra forma de incorporar el refuerzo es acondicionando una preforma del refuerzo dentro del molde y posteriormente inyectar el polímero. Las resinas termoplásticas

más empleadas como matrices para esta técnica son polipropileno, polietileno, nylon, PET, etc, mientras que el refuerzo más utilizado es la fibra de vidrio y en menor cantidad las fibras de carbono y kevlar. Recientemente ha crecido el interés por reemplazar las fibras sintéticas con fibras naturales, sin embargo, se debe ajustar los parámetros de procesamiento para evitar que exista reducción del tamaño de fibra, degradación y segregación. Además, es necesario incorporar agentes de nucleación para cristalización y compatibilizantes que permiten una mejor adhesión entre las fibras y la matriz.

La maquinaria es similar a la utilizada en extrusión, con la diferencia de que tiene acoplado un molde de acero donde se inyecta el plástico fundido. Las etapas del proceso se enumeran a continuación:

- a) Los pellets de material compuesto son secados en un a. horno de convección previo a su alimentación al equipo de inyección, para evitar la acumulación de humedad y consiguientes problemas en el funcionamiento del equipo.
- b) Se alimentan los pellets a una tolva en forma de embudo, donde son mezclados con aditivos y colorantes y se fijan los parámetros de temperatura, presión y velocidad del tornillo.
- c) Los pellets plásticos son transportados por el movimiento de un tornillo sinfín y son calentados hasta la temperatura de fusión del material, permitiendo que el plástico en estado líquido fluya a través de la boquilla. El polímero fundido que atraviesa la boquilla se presuriza debido al mecanismo del tornillo y es inyectado en las cavidades del molde con una presión de 100 a 200 MPa.
- d) Al fluir por las cavidades, el fundido desplaza al aire por salidas instaladas en el equipo y el molde cerrado se mantiene una presión de 50 a 100 MPa. Esta presión es denominada presión de empaque. Una válvula check evita el retorno del flujo de plástico fundido.
- e) El molde se enfría a una temperatura menor a la de fusión del material, generalmente entre 50 y 100°C permitiendo la solidificación del plástico. Esta temperatura debe ser controlada para evitar distorsión de la forma de las piezas.
- f) Después del enfriamiento los moldes se abren, las piezas son expulsadas y el molde se vuelve a cerrar y se prepara para el siguiente ciclo de inyección.

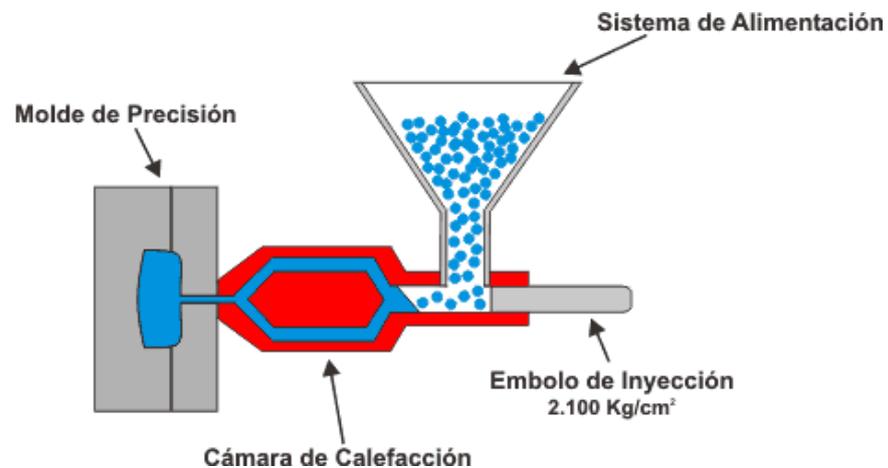
Los ciclos del proceso duran entre 20 y 60s, de los cuales aproximadamente un 50% del tiempo corresponde a la etapa de enfriamiento de las piezas, que está directamente relacionado a la forma y el tamaño de las piezas inyectadas. La calidad de las piezas obtenidas depende de los parámetros de procesamiento tales como: presión de inyección, presión de empaque, temperatura de llenado, temperatura de moldeo y tiempo de llenado.

El diseño del molde también es un factor importante, generalmente se utilizan moldes de cavidades múltiples para incrementar su vida útil. Una de las ventajas que presenta este método es que permite grandes volúmenes de producción y puede ser completamente automatizado con cortos ciclos de producción, lo cual se traduce en bajos costos de producción.

Además se pueden obtener piezas de formas complejas en un amplio rango de tamaños, entre 5 gramos y 85 kilogramos, en las cuales la repetibilidad es muy alta, y el control dimensional es bastante bueno, de aproximadamente  $\pm 0,002$  pulgadas. Otra ventaja es el buen acabado de las piezas y en muchos casos la eliminación de operaciones de acabado como el desbaste.

Dado que los materiales inyectados son polímeros termoplásticos los desechos se pueden reciclar y los desperdicios son mínimos. La mayor desventaja de esta técnica es la alta inversión de capital, que involucra el costo del equipo, la puesta en marcha y el mantenimiento del mismo. Estos costos son altos en especial por la falta de experiencia en el diseño del producto lo cual representa una inversión de tiempo en el diseño y simulación del proceso.

Los moldes tienen costos elevados, lo que no permite un cambio en el diseño con frecuencia. Otra limitación del moldeo por inyección es que no es adecuado para bajos volúmenes de producción por lo que no es posible la obtención de prototipos mediante este método. Dado que este proceso permite grandes volúmenes de producción es altamente empleado en la industria automotriz y en la elaboración de bienes de consumo, partes de computadores, artículos deportivos, entre otros.



**Figura 1.15 Esquema básico del proceso de inyección**

**Fuente: (Científicos, s.f.)**

### **1.6. Normas que rigen el diseño, construcción y caracterización de materiales compuestos.**

Hasta la fecha, los materiales compuestos han sido evaluados mediante diferentes normas dependiendo del material del que esté compuesto o del tipo de producto y propiedades requeridas.

La evaluación de las propiedades mecánicas para la caracterización de los materiales, en la que se incluyen los materiales compuestos, se hace fundamentalmente utilizando ensayos destructivos. El proceso de ensayo de materiales consiste en tomar determinada cantidad de muestras de un material y realizar cierto número de pruebas para caracterizar el comportamiento del mismo.

Los ensayos mecánicos se realizan ante circunstancias simuladas y con equipo adecuado, de tal forma que los resultados tengan validez. Asimismo, existen normas para los procedimientos de caracterización mecánica. A nivel mundial, la normativa disponible es extensa.

Es así que institutos normalizadores como ASTM, ASME, ISO, UNE, ICONTEC, INEN, entre otros, han generado gran cantidad de normas para diferentes propósitos, entre los que se incluye la caracterización mecánica.

La Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, ASTM por sus siglas en inglés, ha desarrollado normas para ensayo de materiales entre las cuales se pueden encontrar las normas de caracterización de composites, tales como: ASTM D3039/D3039M-08, ASTM D 7264/ D 7264M-07, ASTM D256-10, ASTM D5420-04 y ASTM D5628-10 para ensayos de tracción, flexión e impacto respectivamente. (Anexo I)

## CAPÍTULO II

### 2 MATERIALES COMPUESTOS EN EL MERCADO ECUATORIANO Y EXTRANJERO

#### 2.1 Materiales compuestos fabricados en el país.

La industria ecuatoriana genera materiales termoplásticos conformados por procesos de fácil manufacturación sin embargo esta situación está cambiando por la diversidad de clima y ecosistemas presentes en nuestro país. Una gran diversidad de estas fibras tecnológicas podrían ser producidas en gran escala en Ecuador reactivando el agro y a esto se suma la aplicación de tecnologías existentes y promoviendo avances en la investigación de nuevos bio-compuestos que promoverían nuevas industrias competitivas.

Sin embargo, 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.

Si bien en algunos casos esta extracción se ha industrializado, las fibras obtenidas han sido empleadas en productos de escaso valor agregado (como en el caso de las fibras de abacá y cabuya), mientras que en otros, se ha aprovechado tan sólo el recurso alimenticio de las plantas sin considerar siquiera la posible utilización de la parte fibrosa de las mismas, como sucede con el coco, cuya cáscara (que corresponde al 80% del fruto y donde se encuentra la fibra) es considerada un desecho sólido. Así, con la ejecución del proyecto PIC-08-493 “Desarrollo de nuevos materiales para aplicaciones estructurales e industriales” se pretendió incorporar fibras vegetales como refuerzo de materiales compuestos de matriz polimérica biodegradable como paso previo a la obtención de productos con un valor agregado significativo.

FAO. (2009) “El año internacional de las fibras naturales 2009”, en su reporte anual destaca la producción de fibras naturales en nuestro país ubicándolo como el segundo

productor mundial de abacá después de Filipinas con aproximadamente 10.000 toneladas anuales. El primer encuentro nacional de productores y artesanos de fibras naturales realizada en Maldonado en el año 2000, identifica la zona ecuatoriana de cultivo de abacá y lo ubicada dentro de un polígono, cuyos vértices más notables son: Quinindé, Santo Domingo de los Tsáchilas, Quevedo y La Maná.

El artículo: “La industria pone a prueba la resistencia de la cabuya,” de la revista Líderes, menciona que la producción de cabuya, en el año 2008 produjo cerca de 5.400 toneladas que generaron aproximadamente USD 2,7 millones, según el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). En el país hay 2.348 hectáreas del cultivo: en Imbabura (51%), Carchi (47%) y otras provincias de la Sierra (2%).

El coco se cultiva en las provincias de Esmeraldas, Manabí, Guayas, El Oro, Napo, Orellana y Galápagos, aunque no se tienen datos actuales, en el 2.006 la producción anual aproximada sumó 51.000 TM. De acuerdo a la última investigación realizada por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) en su “Balance de Alimentos”, 2006, Esmeraldas es la provincia con mayor producción de coco.

## **2.2 Materiales compuestos disponibles internacionalmente**

En Europa se han desarrollado proyectos de investigación para la elaboración de biocompuestos basados en ácido poliláctico (PLA) en combinación con fibras vegetales, como la fibra de lino, para la manufactura de productos prototipo a un nivel pre-competitivo, teniendo a la industria automotriz como principal mercado potencial. Paneles para interiores de automóviles, techos, gabinetes cerrados o abiertos y portavasos, son algunas de las aplicaciones que se darían a estos nuevos materiales. (Mohanty, Misra & Drzal, 2009).

La filial de Toyota en Japón construyó una planta piloto para la producción de PLA (1.000 toneladas anuales) para su empleo en componentes del interior de vehículos. Con esta iniciativa Toyota también pretende ampliar el uso de estos productos ecológicos a la vida cotidiana. (Wolff, 2008); (Motor, 2003).

El programa comunitario POEMAR propuso a Mercedes Benz la investigación de fibras naturales como sustituto de fibras sintéticas tradicionales. Luego de tres años de investigación se empezó un plan piloto con la fabricación de apoyacabezas a base de coco y pronto recibió incentivos tecnológicos por parte de Daimler Benz para aumentar la producción de estos y por consiguiente se aseguró la producción de las zonas agrícolas de la Amazonía involucradas en el proyecto. (Juliana Menucci, 2002).

Mercedes Benz ha utilizado yute y algodón desde hace 15 años en la parte interior de sus vehículos. En la actualidad se encuentran en el desarrollo de investigaciones para reducir la utilización de fibras sintéticas en sus vehículos. También se han desarrollado compuestos con características técnicas, utilizándolos en los paneles de las puertas, en los pilares estructurales de la cabina, como parte de los asientos, parachoques, apoyacabeza, entre otras aplicaciones. (Kessler, Kohler, Nebel & Tubach, 2000).

Así como también han aprovechado sus características como aislante acústico y la virtud de no astillarse en caso de impacto directo en el interior de sus vehículos.

### **2.3 Materiales compuestos aplicables en la industria automotriz del Ecuador**

En el Ecuador, la utilización de fibras naturales se ha limitado en su mayor parte a la extracción y uso artesanal; sin embargo, existen diversos proyectos de investigación en el campo de los materiales, los cuales se centran en el desarrollo y estudio de aplicaciones de materiales compuestos reforzados con dichas fibras. Para esto, es necesario recordar que Ecuador posee cerca de 25 mil especies de plantas vasculares, lo que lo convierte en la nación con el mayor número de plantas (o unidad vegetal) por unidad de área en América Latina. (Acosta. 1971).

Entre las plantas más utilizadas para la extracción de fibra están 25 especies. Se trata de fibras extraídas de plantas como la cabuya, totora, abacá, coco, palmas, paja toquilla, algodón, lufa, seda, bambú, bejucos, pitigua, balsa, matapalo, caucho, rampira, anona, batea, achiote, majagua, higuerón, ortiga, mimbre y bejuco real. (Guerrero, 2011)

Con la fibra de abacá se han obtenido y caracterizado diferentes materiales compuestos y no tejidos; siendo el caso de los materiales compuestos elaborados con abacá utilizando matrices poliméricas, las cuales se han reforzado con fibra corta distribuida de manera aleatoria, fibra continua con distribución unidireccional, fibra tejida y fibra encolada las más usadas. De igual manera, se han elaborado materiales híbridos en combinación con otras fibras vegetales o con fibras sintéticas como la fibra de vidrio. Además, existen varios estudios de la influencia del abacá como refuerzo en aglomerados de fibro - cemento y hormigón reforzado con abacá y cabuya.

De manera general, se ha logrado incrementar la resistencia a la tracción, a la flexión y al impacto, sin embargo, se debe considerar que para cada caso estudiado se establecieron los porcentajes de fibra que mejoran las propiedades, ya que si se excede cierta cantidad de fibra, el refuerzo afectaría las propiedades del material compuesto en lugar de mejorarlas. (Pontón, 2009; Mariño & Torres, 1988; Villacis, 2011; Jijón & Gabela, 1986).

Por otro lado, la relativamente elevada disponibilidad de la fibra de coco también ha motivado diversos estudios preliminares para la obtención de diferentes tipos de composiciones. El uso de este tipo de fibra es limitado, la mayoría de aplicaciones son a nivel artesanal y gran parte de la fibra es desechada o utilizada como fuente de energía de la biomasa. Entre los principales estudios realizados con la fibra de coco está la obtención de no tejidos, específicamente para la elaboración de material de relleno de asientos, también son relevantes los desarrollos de compuestos de matriz elastomérica y matriz polimérica.

Asimismo, dentro del proyecto PIC-08-493 Desarrollo de Nuevos Materiales para Aplicaciones Estructurales e Industriales, además de estos estudios se han analizado y obtenido materiales híbridos de matriz polimérica reforzados con coco y fibra de vidrio.

En otros estudios realizados en instituciones de educación superior del Ecuador como la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), también se han utilizado refuerzos de fibras obtenidas del bagazo de caña y la cascarilla del arroz conjuntamente con matrices poliméricas de polietileno de alta densidad. (Cevallos. 2008).

En dicha investigación se detalla la obtención de estos materiales utilizando una extrusora de tornillo. En otros sectores, como en la provincia de Imbabura, las fibras naturales son diversas. Por esta razón, en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra, específicamente en el Centro Nacional de Fibras Naturales “CENFIN”, se han efectuado varios estudios y análisis, entre los que se encuentra el desarrollo de materiales compuestos.

Para la elaboración de materiales compuestos en el CENFIN son muy usadas las fibras de abacá y cabuya. Asimismo, se busca reciclar residuos agrícolas para que formen parte del refuerzo de materiales compuestos.

En este Centro se han elaborado materiales con matrices poliméricas y diferentes tipos de fibra vegetal, entre los cuales se destaca la elaboración de tableros compuestos a partir de resinas úrea-formaldehído (UF), reforzados con residuos agrícolas de café y cabuya. De esta forma, la utilización de materiales lignocelulósicos como cabuya y café, en la elaboración de tableros, contribuyen a mejorar las propiedades mecánicas como resistencia a la tracción, elongación a la ruptura, permeabilidad y adhesión. (Pabón & Simbaña, 2006).

Los materiales compuestos reforzados con fibras naturales ecuatorianas representan una alternativa ecológica para reemplazar a las fibras sintéticas. De esta forma se pueden aprovechar los recursos naturales, los mismos que en ciertos casos son considerados como desechos agrícolas.

Asimismo, dentro de las principales aplicaciones de los compuestos con fibras naturales, se planea elaborar materiales con propiedades mecánicas superiores a la madera, de tal forma que esta pueda ser sustituida en algunas aplicaciones, reduciendo así el impacto ambiental generado por la deforestación.

### **2.3.1 Materiales compuestos de abacá-poliéster**

Una de las fibras naturales que muestra un futuro promisorio es la fibra de abacá, denominada también «cáñamo de Manila» o «Manila Hemp». (FAO, El año internacional de las fibras naturales 2009; ¿Por qué naturales?, 2009).

De acuerdo a estudios realizados por la FAO, “el abacá promete sustituir a la fibra de vidrio, economizando energía”. De esta forma, surge la necesidad de elaborar materiales compuestos reforzados con abacá, con el principal objetivo de mejorar sus características mecánicas. La fibra de refuerzo utilizada en el proyecto PIC-08-493 es de la variedad Tangongón Rojo, de grado de calidad 3, producida en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas. Esta fibra es producida por la Corporación de Abacaleros del Ecuador (CAE).

Por otra parte, la matriz del material compuesto empleada es resina poliéster insaturada, fabricada por SUIN S.A., la misma que es diluida con estireno monómero. Como iniciador del proceso de curado de la resina, se utiliza octoato de cobalto al 12%p/p y como catalizador peróxido de metil-etil-cetona (MEKP).

Además, durante el proceso de moldeo es necesario utilizar un agente desmoldante para facilitar la extracción de los materiales compuestos. En este caso, y para el desarrollo de otros materiales en el marco del proyecto PIC-08-493, se utiliza cera desmoldante marca SIMONIZ y moldes fabricados de acuerdo con las normas ASTM D3039-08, ASTM D7264M-07 y ASTM D5628-10, para ensayos de tracción, flexión e impacto respectivamente.



**Figura 2.1 Fibra de abacá.**

**Fuente: (ABACA, 2010)**

### 2.3.2 Materiales compuestos cabuya-poliéster

Esta fibra es extraída de la hoja de la cabuya (*Furcraea Andina*), la misma que es una planta que crece en forma silvestre o cultivada en los valles y laderas de los andes y pertenece a la familia de las agaváceas.



**Figura 2.2. Planta de cabuya.**

La cabuya es ampliamente distribuida en la sierra del Ecuador, esta se cultiva en los valles y en las estribaciones de la cordillera para la obtención de su fibra. Se trata de una planta arrosetada que alcanza hasta 1,5 metros de altura en su parte vegetativa y si se incluye la estructura reproductora, puede alcanzar hasta los 15 metros.

La cabuya es una fibra resistente, durable y áspera, sus propiedades mecánicas se muestran en la Tabla 2.1:

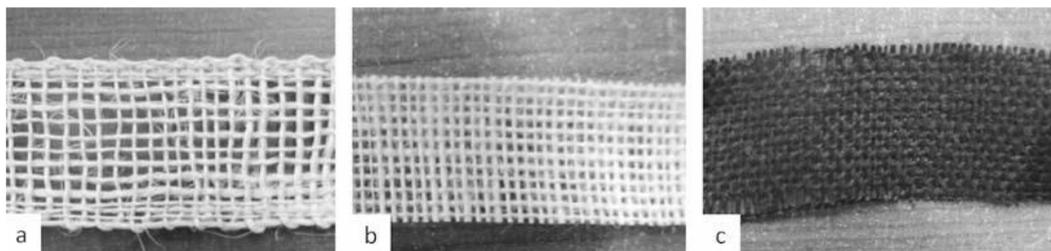
**Tabla 2.1**

#### **Características mecánicas de la fibra de cabuya.**

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

**Fuente: (Neto & Pardini, 2006)**

Tomando en cuenta que la resistencia a la tracción de la resina poliéster oscila entre 40 y 90 MPa, la fibra de cabuya constituye una buena opción para la elaboración de materiales compuestos. Además, en nuestro país se encuentran disponibles diferentes tipos de fibras y tejidos elaborados con fibra de cabuya, los cuales son utilizados principalmente en aplicaciones artesanales y podrían usarse en la elaboración de materiales compuestos. Básicamente existen dos tipos de hilos de cabuya, el hilo fino y el hilo grueso. Los diámetros aproximados de estos hilos son 0,9 mm y 1,5 mm.



**Figura 2.3. Tipos de tejido de cabuya: (a) grueso, (b) normal y (c) fino.**

**Fuente: (Guerrero. 2011)**

### **2.3.3 Materiales híbridos abacá-vidrio-poliéster**

En el desarrollo de materiales compuestos reforzados con fibras también existe la posibilidad de utilizar más de un tipo de refuerzo. A este tipo de materiales se los denomina híbridos. Los materiales compuestos híbridos pueden formarse utilizando varios tipos fibras sintéticas o una combinación entre fibras sintéticas y fibras naturales. Este es el caso de los compuestos híbridos reforzados con fibra de abacá y fibra de vidrio.

El interés actual en utilizar fibras naturales en compuestos híbridos se debe a la creciente preocupación por la preservación del medio ambiente y el uso de materias primas renovables.

Además, existe un gran interés en la búsqueda de fibras naturales que puedan reemplazar adecuadamente a las fibras sintéticas, como la fibra de vidrio o combinarlas con estas para la obtención de materiales compuestos altamente competitivos y con menores costos.



**Figura 2.4. Prototipo de patineta de materiales híbridos abacá-vidrio-poliéster.**

**Fuente: (Villacís, 2011)**

#### **2.3.4 Materiales híbridos coco-vidrio-poliéster**

En nuestro país la utilización de la fibra de coco para la elaboración de materiales es escasa, se podría decir que casi nula. La mayoría de aplicaciones que se realizan con los residuos del coco son del tipo artesanal y gran parte se usa para generar energía en calderos o como abono, sin tomar en cuenta que grandes cantidades se desechan.

Por otro lado, los materiales compuestos con fibra de coco son muy utilizados en países industrializados. Este tipo de materiales ha ganado territorio en aplicaciones de la industria automotriz, principalmente para la elaboración de paneles y tableros internos.

El coco proporciona una apariencia con finos acabados, por esto es muy usado para reforzar autopartes de automóviles de lujo. De esta forma, si se toma en cuenta la capacidad agrícola de nuestro país, existe la posibilidad de desarrollar este tipo de materiales.

Por ello se han planteado el desarrollo y caracterización mecánica de materiales híbridos de matriz de resina poliéster reforzado con fibras de coco y vidrio.



**Figura 2.5. Bancos con fibra de coco-vidrio-poliéster.**

**Fuente: (La Resina, s.f.)**

Para la fabricación de este tipo de materiales se empleó el método de estratificación manual, dos fracciones volumétricas de refuerzo y distintas configuraciones del mismo. El material compuesto de 15% en volumen de refuerzo y una configuración 50/50% vidrio/coco, presentó buenas propiedades mecánicas en los ensayos de tracción con valores superiores en modulo elástico y esfuerzo máximo con relación a la matriz en 236 y 40% respectivamente, y de 103 y 50% para los ensayos de flexión. La energía de impacto absorbida alcanzó un valor de 361% por encima de la matriz sin refuerzo. (Guerrero. 2011)

### **2.3.5 Materiales híbridos abacá-vidrio-polipropileno.**

Dentro de la fabricación de materiales híbridos en el marco del proyecto PIC-08-493, también se estudió la posibilidad de trabajar con matrices termoplásticas. Este es el caso de los compuestos híbridos de matriz polipropileno, reforzados con fibras de abacá y de vidrio.

Como se describe en los anteriores materiales (elaborados con una matriz termoestable), el proceso de fabricación se realizó aplicando presión, aspecto que es un tanto diferente para la elaboración de materiales de matriz termoplástica. Para estos materiales el proceso a utilizar es el de moldeo por compresión, en el que además de aplicar presión a un molde, también se requiere la aplicación de calor.

De esta manera, se estudió la influencia de la cantidad de refuerzo y la configuración del mismo dentro de la matriz. Como matriz del compuesto híbrido se utilizó polipropileno PH1310 de Petroquim.

El refuerzo híbrido estuvo constituido por mats de fibra de vidrio marca Du Tranpro y fibra de abacá de la variedad Tangongón Rojo, procedente de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. El mat de fibra de vidrio tiene un espesor de 0,56 mm y la longitud de las fibras que lo conforman oscilan entre 40 y 52 mm, con un diámetro nominal de 0,02 mm. Las láminas del compuesto híbrido se obtuvieron por moldeo por compresión en una configuración tipo sánduche, con ayuda de un molde tipo macho-hembra construido en acero A-36.



**Figura 2.6. Preparación del material compuesto híbrido tipo sánduche.**

**Fuente: (Guerrero. 2011)**

### **2.3.6 Materiales compuestos biodegradables abacá-PLA.**

La utilización de materiales biodegradables y fibras vegetales en la elaboración de materiales compuestos constituye un factor importante para la conservación del medio ambiente.

Los refuerzos vegetales agregan cierto grado de biodegradabilidad a un material compuesto, además, si la matriz es biodegradable, el material obtenido es un material completamente biodegradable. La característica de biodegradabilidad tiene gran aceptación por parte de la población y como se mencionó en capítulos anteriores, diversas normativas ambientales promueven la utilización materiales amigables con el ambiente. En nuestro país y al igual que en muchas otras partes del mundo, la utilización de materiales biodegradables está en sus inicios, siendo las principales aplicaciones las de empaquetamiento. De esta forma, y para ampliar

las aplicaciones de los materiales biodegradables, se planteó el desarrollo de un material compuesto completamente biodegradable de matriz de ácido poliláctico (PLA), reforzado con fibra de abacá, siendo el principal objetivo mejorar las propiedades mecánicas de la matriz. El ácido poliláctico (PLA) es un biopolímero termoplástico cuya molécula precursora es el ácido láctico. (Guerrero. 2011)



**Figura 2.7. Láminas de material compuesto de matriz de PLA reforzada con fibra natural de abacá.**

**Fuente: (REVISTA EPN, 2014)**

Debido a su biodegradabilidad, propiedades de barrera y biocompatibilidad, este biopolímero ha encontrado numerosas aplicaciones ya que presenta un amplio rango de propiedades. La elaboración del material compuesto consistió en colocar una lámina de matriz de PLA en la hembra del molde y sobre esta la fibra de abacá, la cual fue cubierta con una segunda lámina de matriz de PLA con el fin de obtener la configuración tipo sánduche.

Posteriormente se colocó el macho del molde, sobre el cual se posicionó una placa de aluminio, de tal forma que la transferencia de calor y de presión hacia el material compuesto sea adecuada. Después de la fabricación de láminas de material compuesto, se caracterizaron mecánicamente las diferentes configuraciones del material.

## CAPÍTULO III

### 3 DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL COMPUESTO PARA LA APLICACIÓN DE UN PROTOTIPO DE CAPOT.

#### 3.1. Consideraciones para la determinación de las especificaciones.

El capot o cofre, es la cubierta con bisagras que cubre el motor de un automóvil y permite el acceso al compartimento del motor para realizar mantenimiento y reparaciones.

Los materiales utilizados en general para su fabricación son el acero y el aluminio, sin dejar de lado de fibra de vidrio o fibra de carbono, que son más ligeros.

El capot es también considerado un elemento fundamental del automóvil para la protección contra accidentes y ruidos a partir de la aprobación de una normativa comunitaria que obliga a los automóviles modernos a tener capots mucho más ligeros y que cuenten con una estructura que absorba los impactos.

Por otro lado, el capó también sirve para proteger contra el ruido. En la parte interna se instalan dispositivos especiales que no permiten que los molestos ruidos y las vibraciones salgan al exterior. De esta forma los automóviles son mucho más silenciosos.

#### 3.2. La casa de la calidad.

Dr. Gonzales define:” Una metodología que traduce la Voz del Cliente en parámetros de diseño para que estos puedan desplegarse, de forma horizontal, dentro de los departamentos de planeación, ingeniería, manufactura, ensamblaje y servicio.” (Gonzales, 2001, p.17)

##### 3.2.1. Voz del usuario.

De acuerdo a las consideraciones con el usuario, el capot debe contar con las siguientes características:

- Bajo peso.
- Bajo costo.
- Resistente a ambiente.
- Estética.
- Fácil de arreglar en caso de daño
- No contamine.

### **3.2.2. Voz del ingeniero.**

Una vez establecido lo que requiere el usuario, la información se procesa para obtener especificaciones y características técnicas:

- Densidad del material compuesto.
- Materiales disponibles en el mercado.
- Procesos de manufactura.
- Caracterización del material compuesto
- Factor de seguridad.
- Flexibilidad.
- Acabado superficial
- Mantenibilidad

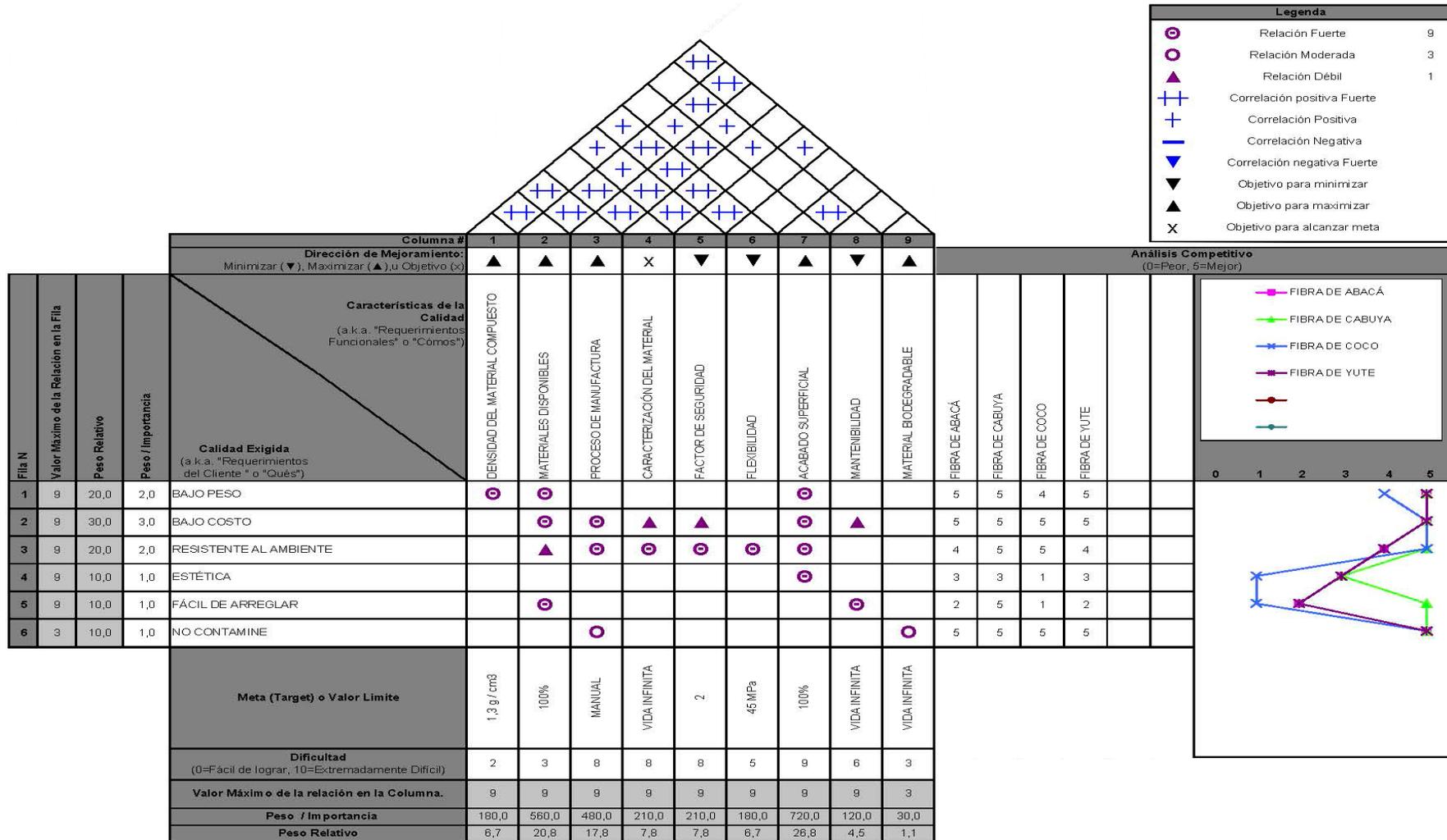


Figura 3.1. Casa de la calidad del prototipo de capot con fibras orgánicas.

### **3.2.3. Prioridades del diseño**

La casa de localidad nos permite dar prioridad a:

- Acabado superficial
- Materiales Disponibles
- Proceso de manufactura
- Caracterización del material
- Factor de seguridad
- Densidad del material
- Mantenibilidad
- Flexibilidad
- Material biodegradable

### **3.2.4. Conclusiones de la casa de la calidad.**

La casa de la calidad es una herramienta que suministra información vital acerca de los parámetros y características técnicas las cuales debe estar plasmadas en el diseño, de esta manera el cliente estará satisfecho.

Los parámetros de diseño son analizados bajo los siguientes factores:

- El proceso de fabricación empleado en la manufactura tiene por finalidad obtener un acabado superficial con las características adecuadas, la estética que tiene un gran impacto psicológico en el usuario respecto a la calidad del producto y adicionalmente lograr que el capot adopte las especificaciones dimensionales.
- Las fibras naturales están presentes en casi la totalidad del planeta en diversas formas y nuestro país “Ecuador” posee gran parte de estas fibras en los páramos, ciénegas o plantaciones agrícolas específicamente cultivadas para la industria y de forma natural en nuestros campos de la provincia de Cotopaxi como es el caso de la cabuya.
- La manufactura de materiales compuestos fibro-reforzados para aplicaciones estructurales, a base de matrices termoplásticas, tiene una renovada demanda que han evolucionado técnicas de procesamiento de bajo costo y accesibles a nuestro medio.

- La caracterización de las propiedades mecánicas del material compuesto se basa en ensayos destructivos de tracción, flexión e impacto para una determinada cantidad de muestras y realizar cierto número de pruebas para caracterizar el comportamiento del mismo ante circunstancias simuladas y con equipo adecuado.
- Los nuevos materiales compuestos se caracterizan por su ligereza y baja densidad lo cual aporta enormes ventajas tanto desde el punto de vista de economía, facilidad de transporte y facilidad de montaje sin olvidar la significativa reducción de cargas muertas.
- La durabilidad es a menudo difícil de valorar y requiere un juicio justo de aquello que constituye una duración suficiente y una ejecución adecuada que implica periodos de mantenimiento preventivo.

### 3.3. Especificaciones técnicas.

Las especificaciones técnicas determinan los parámetros esenciales del diseño, mediante un proceso sistemático se realiza la descripción de cada especificación detallada en la tabla 3.1 donde:

- ✓ Propone:
  - C = Cliente
  - I = Ingeniería
- ✓ R/D:
  - R = Requerimiento
  - MR = Modificación de requerimiento
  - NR = Nuevo requerimiento
  - D = Deseo

**Tabla 3.1**

#### **Especificaciones técnicas para el diseño y construcción**

<b>EMPRESA CLIENTE:</b>	<b>PRODUCTO:</b>	<b>FECHA DE</b>
	PROTOTIPO DE CAPOT CON	<b>INICIO:</b>
	FIBRAS ORGÁNICAS PARA	<b>30/05/2015</b>

**Continúa→**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA		CAMIONETA MAZDA BT50 2010		PÁGINA – 1
ESPECIFICACIONES				
CONCEPTO	PROPONE	R/D	DESCRIPCIÓN	
FUNCIÓN	C	R	Proteja el motor y sus accesorios	
	C	R	Resistente al ambiente	
	I	R	Mantenimiento Preventivo	
	I	R	Biodegradable	
DIMENSIÓN	C+I	R	El peso debe reducirse al máximo	
	I	R	Forma y geometría del capot deberá ser optimizado.	
	I	R	Densidad del capot debe ser mínima	
MOVIMIENTO	C	R	Debe ser autónomo de cada sistema.	
	I	R	Debe acoplarse a la carrocería	
ENSAMBLE	C	R	Acceso fácil a los sistemas o componentes que protege	
FUERZAS	I	R	Resista cargas	
	I	R	Distribución y orientación correcta de las fibras expuestas a fuerzas	
MATERIALES	I	R	Resistan las cargas máximas	
	I	R	Amigables con el ambiente	
SEGURIDAD	I	R	Proveer de protección del ambiente al motor y sus accesorios	
	I	R	Caracterización del material compuesto	
	I	R	Factor de seguridad	
VIDA ÚTIL	C+I	R	Plan de mantenimiento preventivo	
COSTES	C	D	Costos bajos de Fabricación	
ASP. LEGALES	C+I	R	Normativas ambientales	

## CAPÍTULO IV

### 4 DEFINICIÓN Y DISEÑO CONCEPTUAL DEL MATERIAL COMPUESTO PARA LA APLICACIÓN EN EL PROTOTIPO DE CAPOT

#### 4.1 Análisis funcional.

Riba, menciona: “Con el propósito de describir y resolver los problemas de diseño, es útil aplicar el concepto de función, que es cualquier transformación (en el sentido de realización de una tarea) entre unos flujos de entrada y de salida, tanto si se trata de funciones estáticas (invariables en el tiempo) como de funciones dinámicas (que cambian con el tiempo). La función es, pues, una formulación abstracta de una tarea, independientemente de la solución particular que la materializa.

La función global representa la tarea global que debe realizar el producto que se va a diseñar y se establece como una caja negra que relaciona los flujos de entrada y los de salida. Sin embargo, esta presentación es muy esquemática y, para obtener una representación más precisa, hay que dividir la función global en subfunciones (correspondientes a subtareas) y a la vez, establecer las relaciones de flujos entre estas subfunciones.

La representación del conjunto de subfunciones con las entradas y salidas así como las interrelaciones de flujos entre ellas se denomina análisis funcional”.

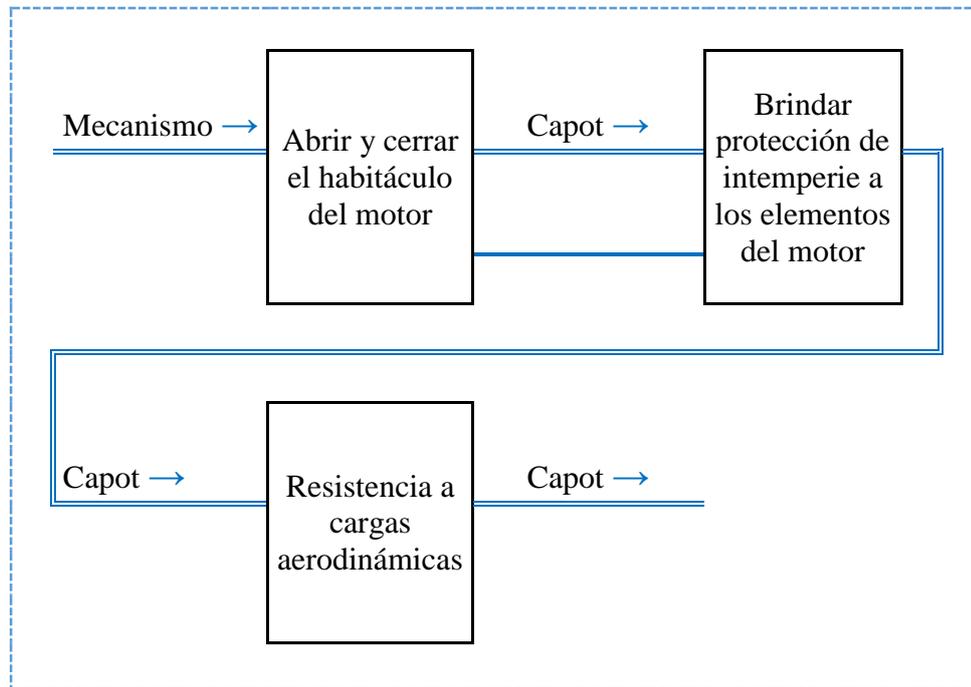
(Riba, 2002. P. 126)

#### 4.2 Análisis funcional del prototipo de capot

##### 4.2.1 Definición del análisis funcional.

El capot cumple como objetivo principal proteger del medio ambiente los elementos constitutivos del motor, además de mantenerlo seguro de la delincuencia y dar acceso para realizar mantenimiento del mismo. En condiciones de funcionamiento real soporta cargas aerodinámicas por efecto del desplazamiento del vehículo

La función integral del sistema se representa en la siguiente figura:



**Figura 4.1 Función Global**

#### 4.2.2 Solución a módulos.

Durante un proceso la toma de decisiones debe ser objetiva y lógica, adoptando la mejor alternativa que satisfaga las necesidades para el diseño e implementación de cualquier sistema, por lo que el planteamiento de varias alternativas permitirá analizar factores primordiales para establecer la opción idónea para cada subsistema que conforma el capot, de esta manera obtendremos el óptimo desempeño del mismo.

Las alternativas se deben evaluar y seleccionar de la mejor opción, proceso realizado mediante una matriz de selección lo cual evalúa los factores más importantes a través de un factor de ponderación (FP) igual a 1, valor dividido entre cada factor de selección acorde a la importancia del mismo. Se analiza cada factor de selección y se lo marca (X) la mejor opción y al final se suman los factores de ponderación, estableciendo con el mayor puntaje la alternativa para el sistema.

### a) MECANISMO DE CIERRE Y APERTURA

Mediante la matriz representada en la tabla 4.1 se determina el mecanismo de cierre y apertura.

**Tabla 4.1.**

**Matriz de selección del mecanismo de cierre y apertura**

Factores de selección	FP	Bisagra	Mecanismo 4 Barras	Mecanismo 6 Barras	Amortiguador	Anclaje
Costo	0.40	X	X	-	-	X
Seguridad	0.30	X	X	X	-	-
Fácil de instalar	0.15	-	-	-	X	X
Espacio disponible	0.15	X	-	-	-	-
	$\Sigma$	0.85	0.70	0.30	0.15	0.60

Al ponderar los factores en la matriz de selección, la alternativa óptima de este módulo, es un mecanismo de bisagras.

### b) PROTECCIÓN DE INTEMPERIE AL MOTOR

La siguiente tabla representa la matriz que selecciona el material que proporciona protección al motor.

**Tabla 4.2.**

**Matriz de selección del material de protección de la intemperie**

Factores de selección	FP	Chapa Metálica	Material compuesto	Plástico
Bajo Peso	0.30	-	X	X
Costo Reducido	0.25	-	X	X
Seguridad	0.30	X	X	-
Resistencia	0.15	X	X	-
	$\Sigma$	0.45	1	0.55

Al ponderar los factores en la matriz de selección, la alternativa óptima de este módulo, es un material compuesto.

### c) RESISTENCIA A CARGAS AERODINÁMICAS

A continuación se representa una matriz de selección para el material con mejores resistencia.

**Tabla 4.3.**

**Matriz de selección del material de soporte de cargas aerodinámicas**

Factores de selección	FP	M. C. Fibra abacá + R. Poliéster	M. C. Fibra Cabuya + R. Epoxi	M. C. Fibra de vidrio + R. Poliéster
Baja Densidad	0.15	X	X	X
Bajo Costo	0.25	X	-	X
Flexión	0.30	-	X	-
Tracción	0.30	-	X	-
	$\Sigma$	0.40	0.75	0.40

El material compuesto que presenta mayor resistencia a las cargas aerodinámicas es de resina epoxi con refuerzo de fibra de cabuya.

### 4.3 Ecodiseño.

El ecodiseño, que a su vez se encuentra estrechamente ligado al diseño sostenible, es el diseño que considera acciones orientadas a la mejora ambiental del producto o servicio en todas las etapas de su ciclo de vida, desde su creación en la etapa conceptual, hasta su tratamiento como residuo. (wikipedia, s.f.).

En la industria, el ecodiseño se utiliza como ventaja competitiva, marketing ambiental, diferenciación, valor añadido, reducción de costos, entre otras; pero sobre todo la reducción del impacto ambiental en todas las etapas del ciclo de vida del producto o servicio.

Los factores para la aplicación del ecodiseño en la fase de definición y diseño del producto pueden ser de diferente índole: (Ecodiseño, s.f.).

**a) Motivantes externos**

- Cumplir con la legislación actual y futura
- Dar respuesta al mercado y a la demanda de clientes
- Mejorar la imagen de la empresa
- Obtener una ventaja competitiva con la que adelantarse a la competencia

**b) Motivantes internos**

- Aumentar la calidad del producto
- Mejorar un proceso productivo
- Obtener una reducción de costes
- Incrementar el poder de innovación de la empresa

Una herramienta del ecodiseño es la Rueda de LiDS, que clasifica las diferentes estrategias en los siguientes grupos y se muestra en la figura 4.5:

Componentes de la rueda estratégica del ecodiseño

1. Selección de materiales de bajo impacto.
2. Reducción de la cantidad de material usado.
3. Selección de técnicas de producción ambientalmente eficientes.
4. Selección de técnicas de distribución ambientalmente eficientes.
5. Reducción del impacto ambiental en la fase de utilización.
6. Optimización del Ciclo de Vida.
7. Optimización del sistema de Fin de Vida.
8. Optimizar la función (nuevas ideas de producto).

## The Lids Wheel Van Hemel Rueda Estratégica del Ecodiseño



**Figura 4.2 La rueda de LIDS**

**Fuente: (Van Hemel, 1995)**

### 4.4 Selección del material de refuerzo.

La casa de la calidad y la rueda de LIDS nos permiten escoger a la fibra de cabuya como nuestro material de refuerzo debido a ser una fibra natural limpia, renovable, reciclable y que además ayuda en la reducción del peso por su baja densidad. Fibra que por nuestra ubicación geográfica se la encuentra fácilmente de forma natural sin procesar en los campos de la región andina y en especial en nuestra provincia de Cotopaxi y sus alrededores, siendo este un punto inclusivo en la selección del material de refuerzo. (Anexo II)

#### 4.4.1 Longitud y diámetro de las fibras

Las fibras pueden ser cortas, largas o incluso continuas. Para esto se ha definido la **relación forma  $l/d$** , donde  $l$  es la longitud de la fibra y  $d$  su diámetro. Las fibras comunes o típicas tienen diámetros que van desde 10 micrones ( $10 \times 10^{-4} \text{cm}$ ) hasta 150 micrones ( $150 \times 10^{-4} \text{cm}$ ). La resistencia del compuesto es mejor cuando se

obtiene una relación de forma grande, debido a que a menudo las fibras se fracturan debido a defectos en la superficie. Considerar un diámetro demasiadamente pequeño, le da a la fibra menos área superficial, en consecuencia, hay menos defectos que pueden propagarse durante el proceso o bajo carga. La preferencia de obtener o trabajar con fibras largas, posibilita a que los extremos de una fibra soporten menos carga que el resto; por lo tanto, a menos extremo, mayor capacidad de las fibras de soportar carga. Se ha encontrado relaciones de  $l/d$  de 1000 entre la longitud y el ancho. Tal es el caso del lino, cabuya, ramio, cáñamo, kenaf y yute.

Para cualquier diámetro de fibra  $d$ , se puede determinar una longitud crítica de fibra  $l_c$ .

$$l_c = \frac{\sigma_f \cdot d}{2 \cdot \tau_i}$$

Dónde:  $\sigma_f$  es la resistencia de la fibra y  $\tau_i$  está relacionado con la resistencia de la unión entre la fibra y la matriz o al esfuerzo al que la matriz se empieza a deformar. Si la longitud  $l$  de la fibra es menor que  $l_c$  se observa poco efecto reforzante; si  $l$  es mayor que aproximadamente  $15 l_c$ , la fibra se comporta como si fuera continua. La resistencia del compuesto se puede calcular como:

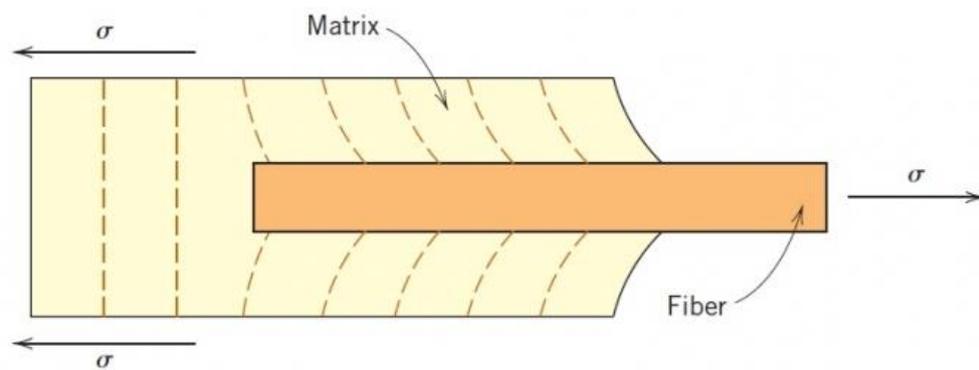
$$\sigma_c = f_f \cdot \sigma_f \left(1 - \frac{l_c}{2 \cdot l}\right) f_m \cdot \sigma_m$$

Dónde:  $\sigma_m$  es el esfuerzo en la matriz al romperse las fibras.

#### **4.4.2 Influencia de la longitud de la fibra en compuestos reforzados con fibras discontinuas alineadas**

Las características de un material compuesto no solo dependen de las propiedades de la fibra, sino también del grado en el cual una carga aplicada puede ser transmitida de la matriz a las fibras. Por ello, es muy importante asegurar la unión existente entre la fibra y la matriz, ya que la carga es transferida por un mecanismo de corte.

La deformación de la matriz es mayor a la de las fibras adyacentes. Si existe una perfecta unión entre fibra y matriz, la diferencia en la deformación crea un esfuerzo de corte en la sección transversal. En la Figura 4.3., se ilustra una deformación cortante generada debido a la transferencia de la carga.



**Figura 4.3 Deformación generada en la matriz alrededor de una fibra sometida a una carga de tensión**

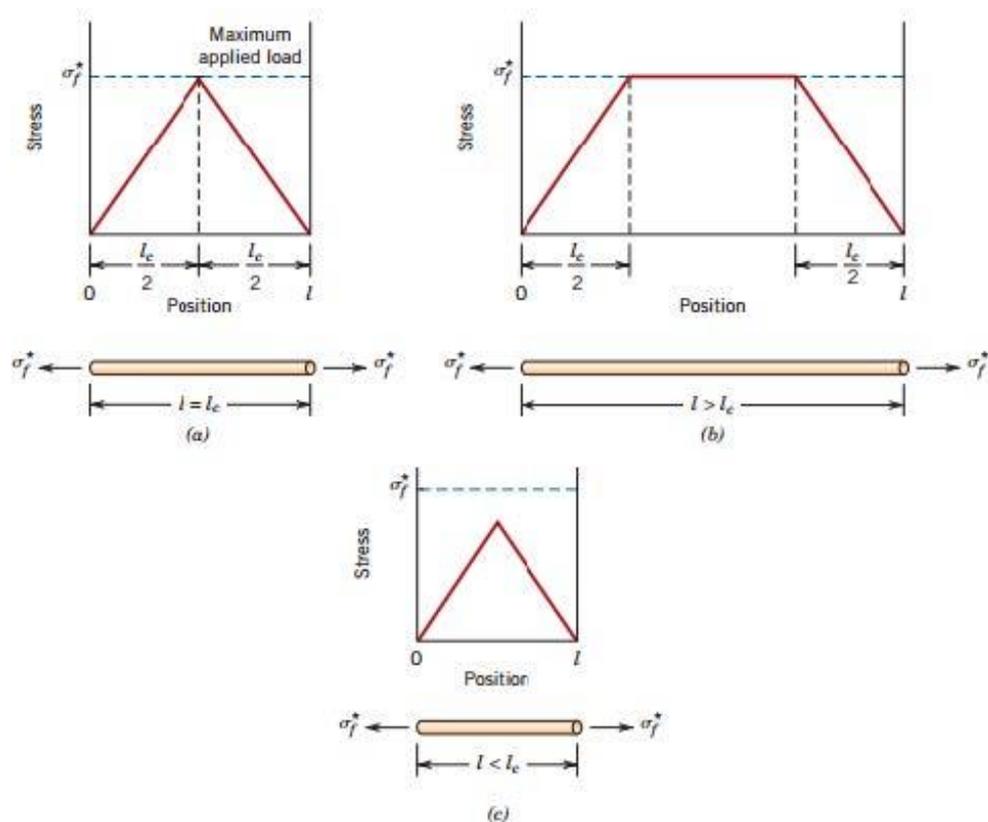
**Fuente: (Callister, 2007, p.585)**

En la gráfica se observa el efecto que tiene el extremo de la fibra en la matriz, es en este punto donde se termina la unión entre la fibra y matriz. Ignorando la transferencia de esfuerzo al final de la fibra y la interacción de las fibras vecinas. Tiene que existir una longitud mínima efectiva para la transmisión de la carga y esfuerzos para un diámetro de fibra dado. Esta longitud mínima o crítica  $l_c$  dependerá del diámetro de la fibra ( $d_f$ ), su resistencia a la tracción y del esfuerzo ( $\sigma_f$ ) de corte ( $\tau_i$ ) que existe entre la fibra y la matriz.

Para una longitud de fibra menor a la crítica, el esfuerzo inducido en la fibra es menor que el que es capaz de soportar, en este caso la intercara o la matriz pueden llegar a fallar antes de que la fibra alcance su esfuerzo potencial. Por otro lado, cuando la longitud de fibra es mayor que la crítica, la fibra puede alcanzar su valor máximo de esfuerzo.

En una fibra de diámetro  $d_f$  y de longitud  $l_c$ , se obtendrá que el esfuerzo máximo es soportado en el punto medio de la fibra. Pero para distancias iguales a

$l_c/2$  de cada extremo de la fibra, esta puede resultar poco efectiva, por lo tanto, para tener un refuerzo efectivo se debe aumentar la longitud del refuerzo, mucho más allá del valor crítico. Además, se puede controlar y mejorar el esfuerzo de corte al instante de fabricar o unir las fibras a la matriz, de tal modo que se puede llegar a disminuir la longitud crítica necesaria. Todo esto se puede visualizar en la Figura 4.4.



**Figura 4.4 Efecto de la longitud en la resistencia de la fibra.**

**Fuente: (Callister, 2007)**

Cabe señalar que no solamente es deseable tener una gran relación entre la longitud de la fibra y su radio, sino además entre el módulo de corte en la interfaz y el módulo de elasticidad en las fibras discontinuas. Las fibras cortas o discontinuas proporcionan una menor resistencia. Debido a esto, son las que han tomado mayor fuerza en el mercado, como por ejemplo la fibra de vidrio.

Esto se debe a los costos de producción ya que estos son bajos y es fácil obtener piezas de distintas formas, que con fibra continua no son fabricables. Por este

motivo, el proceso de fabricación tiene que ser seleccionado en función del refuerzo con el que se vaya a trabajar pues de esto dependerá la facilidad o complejidad para fabricar un composite (Callister, 2007, pp.585-586).

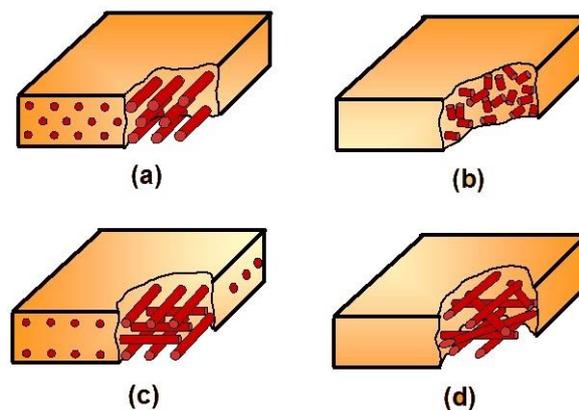
#### 4.4.3 Cantidad de las fibras.

Una fracción mayor de volumen de fibras incrementará la resistencia de rigidez del compuesto, como lo indica la regla de las mezclas. Sin embargo, la fracción máxima de volumen de fibras es aproximadamente 80%, más allá de esta cantidad las fibras ya no quedan totalmente rodeados por la matriz.

#### 4.4.4 Influencia de la orientación de las fibras y la concentración.

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

De acuerdo a la alineación de la fibra, básicamente existen dos posibilidades: (i) Alineación en dirección paralela al eje longitudinal de las fibras (fibras continuas y discontinuas) y (ii) alineación totalmente al azar.

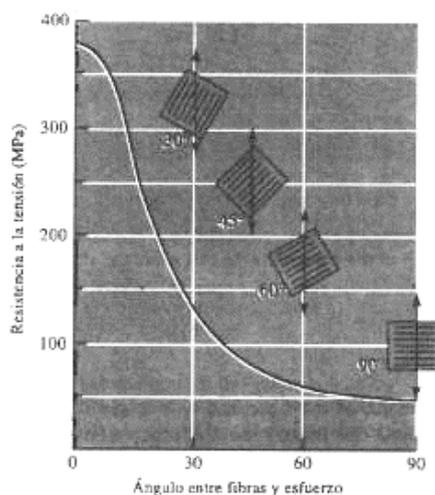


**Figura 4.5 Morfologías de compuestos reforzados con fibras. a) Fibras continuas unidireccionales. b) Fibras discontinuas orientadas al azar. c) Fibras ortogonales o tejidos. d) Fibras en capas múltiples.**

Fuente: (Materiales, s.f.)

En la Figura 4.5, se muestran las alineaciones posibles de un material compuesto reforzado con fibra. Sin embargo, existen distintas posibilidades en cuanto se refiere a la arquitectura de este tipo de refuerzos, pues pueden existir tejidos y no tejidos con diferente organización (Callister, 2007, pp.586-587).

La orientación de la fibra es muy importante para las propiedades finales del material compuesto. Cuando se trabaja con fibra continua y alineada, las propiedades mecánicas dependerán principalmente del ángulo formado entre la dirección de aplicación de la carga y la dirección de la fibra. (Anisotropía) De esta manera, en la Figura 4.6 se muestra la influencia del ángulo (0 y 90°) sobre las constantes elásticas de un material compuesto. (Morales. 2008).



**Figura 4.6 Efecto de la orientación de la fibra vs resistencia a la tensión de compuestos epóxicos reforzadas con fibra de vidrio.**

**Fuente: (Askenland, Pág. 523)**

#### 4.4.5 TRATAMIENTO DE LAS FIBRAS

Es posible modificar la superficie de las fibras, por medio de métodos físicos o químicos; estos tratamientos permiten mejorar las propiedades mecánicas de los compuestos.

Entre los métodos físicos comúnmente usados están el tratamiento corona, el tratamiento plasma, mercerización y el tratamiento térmico. Los métodos

químicos usualmente usados son el método basado en esterificación y la inclusión de agentes de acoplamiento de silano. Debido a que se ha demostrado que la mejoría en las propiedades mecánicas de materiales compuestos reforzados con fibras naturales.

En el trabajo “Influencia de la modificación de las fibras sobre las características a fractura de un poliestireno reforzado con fibras de yute”, realizado por Llop, López, Vilaseca y Mutjé en la Universidad de Girona, el tratamiento dado a la fibra fue el de mercerización con hidróxido sódico al 0.5% durante cuatro horas. En la Tabla 4.4 se resumen los resultados obtenidos del material compuesto reforzado con una fracción volumétrica del 0,3 con fibra de yute con y sin tratamiento, además de muestras de poliestireno.

**Tabla 4.4.**

**Propiedades mecánicas de un material compuesto de matriz poliestireno reforzado con fibra de yute con y sin tratamiento superficial.**

Muestra	Tenacidad a la fractura [MPa.m <sup>1/2</sup> ]	Porcentaje de diferencia
Poliestireno	1,23	-
Poliestireno/Yute	2,35	91
Poliestireno/Yute Tratado	2,89	135

**Fuente: (Villacis, 2011)**

De acuerdo a los resultados, se considera que los tratamientos de mercerización y silanización resultan eficientes para incrementar la compatibilidad a través de la interfaz fibra y matriz epoxi. (Villacis, 2011).

#### **4.5 Selección de la matriz.**

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:

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

El material utilizado como matriz influye en las propiedades físicas, químicas, eléctricas y mecánicas del compuesto, por ejemplo: en el caso de las propiedades mecánicas, la resistencia a la tracción, la ductilidad, la resistencia al impacto, entre otras, dependerán del tipo de matriz y a su vez del tipo de refuerzo y la configuración utilizada.

El modo de falla del compuesto está afectado en gran medida por el tipo de matriz y por su compatibilidad con el refuerzo. Por otro lado, en el caso de las propiedades eléctricas, la matriz puede dotar al material de una capacidad aislante o conductora. En lo referente a las propiedades químicas, estas son determinantes en la resistencia de un compuesto expuesto a la acción del medio ambiente.

Para nuestro estudio usaremos resina epoxi CRETONBON 52YN que es una matriz polimérica termoplástica que tiene como características: baja densidad, excelentes propiedades a temperatura ambiente, facilidad de conformado y costos relativamente bajos. (Anexo III).

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. (Goodman. 1998).

#### 4.5.1 Resinas epóxicas

Las resinas epóxicas son una familia de materiales poliméricos termofijos, ya que estos no generan productos de reacción cuando son endurecidos (enlace cruzado) y, por tanto, poseen baja contracción al curar.

Este tipo de resinas también tienen una buena adhesión a otros materiales, buena resistencia química y al medio ambiente, buenas propiedades como aislantes eléctricos y buenas propiedades mecánicas (Smith, 2004, p.525).

##### a) Características.

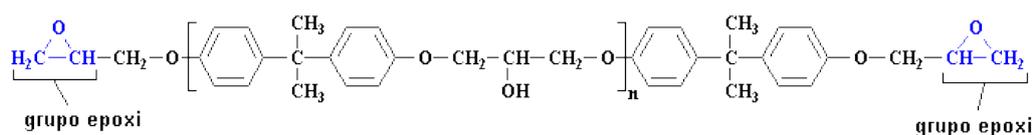
Los compuestos epoxi son un grupo de éteres cíclicos u óxidos de alqueno (alquileo) que tienen un átomo de oxígeno unido a dos átomos de carbono adyacentes (estructura oxirano). Estos éteres reaccionan con los grupos amino, oxhidrilo y carboxilo (endurecedores), así como también con los ácidos inorgánicos, para dar compuestos relativamente estables. Actualmente con el elevado número de variedades de resinas básicas y el avance conseguido en los sistemas de aplicación, es difícil imaginar un área tecnológica en donde las resinas epoxi no estén siendo usadas. Un endurecedor o agente de curado es un producto que cuando se añade a una dicha sustancia macromolecular determinada en cantidades superiores a las catalíticas, reacciona con ésta y la convierte en un polímero irreversible que constara de una serie de características perfectamente definidas, de las que anteriormente carecía.

Entre los varios sistemas de importancia industrial que utilizan endurecedores se encuentran los sistemas de resinas epoxídicas. La tensión del enlace del anillo oxirano es muy elevada, siendo por esto de una alta reactividad tanto química como bioquímica, por lo que es fácilmente atacado por la mayoría de compuestos de adición. Según el origen de los grupos oxiranos, la familia de las resinas epóxicas se dividen en cinco grupos principales:

- Éteres glicéricos
- Ésteres glicéricos
- Aminas glicéricos

- Alifáticas lineales
- Ciclo alifáticas

Comercialmente los éteres son más importantes, ya que el 95% de las resinas utilizadas son glicidil-éteres obtenidos por reacción de la epiclorhidrina con el bisfenol A (2-2- bis(p-hidroxifenil)propano) con formación de una molécula de diglicidil éter de bisfenol. La razón del uso de estas materias primas es por una parte la alta reactividad de la epiclorhidrina que permite su combinación con cualquier molécula portadora de hidrógenos activos, así como su fácil obtención por petroquímica. El bisfenol A es comparativamente barato al serlo los productos de partida para su síntesis: acetona y fenol. Variando las reacciones estequiométricas entre la epiclorhidrina y el bisfenol A, se obtiene una molécula del siguiente tipo:



**Figura 4.7 Estructura química general de las resinas epoxi.**

**Fuente: (Mariano, 2011)**

Siendo  $n$  el grado de polimerización y que puede llegar a variar desde  $n=1$  hasta  $n=12$ , según la proporción de los reaccionantes, se conforman mezclas variables de resinas de alto y bajo peso molecular. La parte repetida de la molécula tiene un peso molecular de 284. Los pesos de las moléculas sucesivas serán:  $n = 0$ ;  $P.M. = 340$ ,  $n = 1$ ;  $P.M. = 624$ ,  $n = 2$ ;  $P.M. = 908$ , etc., lo que confiere a cada una de las resinas distintas características. Cuando el peso molecular es superior a los 908, son sólidas, mientras que resinas con menor peso molecular son líquidas o semisólidas.

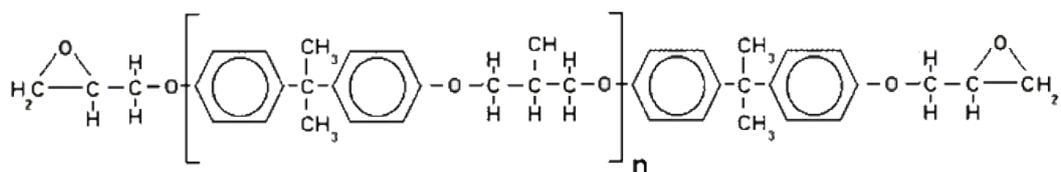
Las resinas comerciales son mezclas de distintos pesos, de manera que suele conocerse el peso molecular promedio pero no la distribución de los oligómeros en la muestra. Además del peso molecular, existen otros parámetros que caracterizan las resinas epoxi:

- **Equivalente epoxi:** Es el peso de resina que contiene un equivalente gramo de epoxi. Se considera como la mitad del peso molecular medio.
- **Índice de hidroxilo:** Es el peso de la resina que contiene un equivalente gramo de hidroxilo.
- **Contenido de cloro reactivo:** Es el cloro presente en forma de cloruro hidrolizable, como producto de la presencia de trazas clorhídricas en el proceso de síntesis.
- **Color de la resina:** Es el producto de los grupos fenólicos libres y que por oxidación forman quinonas coloreadas.
- **Punto de fusión:** Que al ser de una mezcla no se presenta en un intervalo muy estrecho, adoptándose la temperatura a la cual la resina le da un grado de fluidez arbitrario.
- **Viscosidad y contenido en volátiles.**

#### b) Clases de resinas epoxi.

##### Resinas epoxi a base de bisfenol A.

Son las más usadas por ser versátiles y baratas, proviene de la reacción de epiclorhidrina y bisfenol A, pueden ser estas líquidas, semisólidas o sólidas dependiendo del peso molecular.

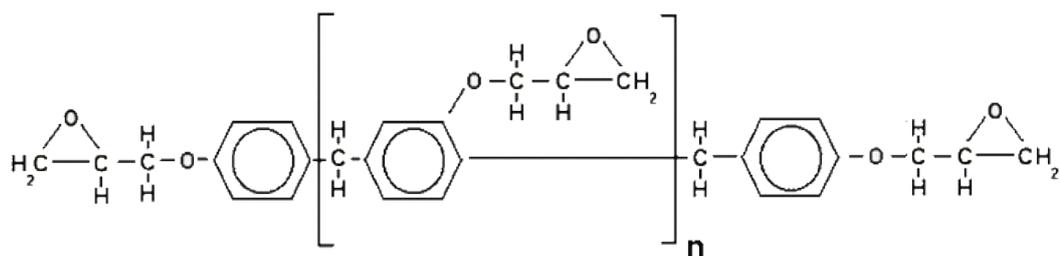


**Figura 4.8 Estructura química de Resinas epoxi a base de bisfenol A**

**Fuente: (Mariano, 2011)**

##### Resinas epoxi a base de bisfenol F y/o novolac.

El remplazo de bisfenol A por bisfenol F proporciona a las resinas epoxi mayor entrecruzamiento y mejor comportamiento mecánico, térmico y químico, sobre todo si es curado con aminas aromáticos o anhídridos.

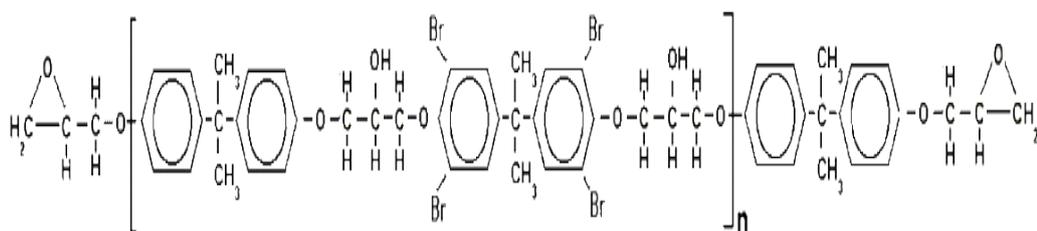


**Figura 4.9 Estructura química de Resinas epoxi a base de bisfenol F y/o novolac**

**Fuente: (Mariano, 2011)**

### Resinas epoxi bromadas.

Estas son resinas a base de epíclorhidrina y tetrabromobisfenol A, las cuatro moléculas adicionales de bromo proporciona a las resinas la característica de auto extinción.

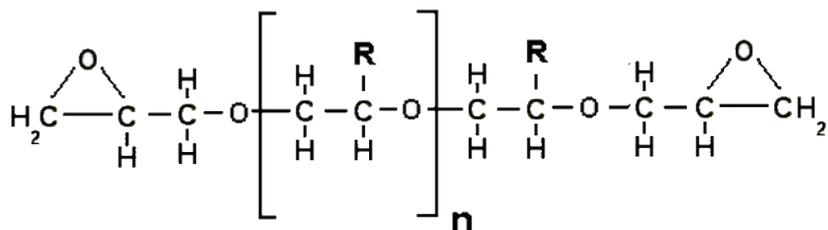


**Figura 4.10 Estructura química de Resinas epoxi bromadas**

**Fuente: (Mariano, 2011)**

### Resinas epoxi flexibles.

Estas resinas poseen largas cadenas lineales sustituyendo los bisfenoles por poliglicoles poco ramificados, estas resinas poseen baja reactividad que normalmente son utilizadas como flexibilizantes reactivos en otras resinas, mejorando la resistencia al impacto.



**Figura 4.11 Estructura química de Resinas epoxi flexibles**

**Fuente: (Mariano, 2011)**

**c) Propiedades de las resinas epoxi.**

El elevado número de resinas epoxi y endurecedores generan una amplia gama de propiedades en los distintos productos existentes. No obstante, se puede llegar a lograr ampliar esta gama con la incorporación de los modificadores, que van a potenciar la versatilidad y utilidad de las resinas epoxi (Mariano, 2011).

**d) Aplicaciones de resinas epóxicas.**

Las resinas epóxicas se utilizan en una amplia variedad de recubrimientos protectores y decorativos gracias a su buena adhesión y su buena resistencia mecánica y química.

Este tipo de resinas se usan principalmente en revestimientos de latas y tambores, recubrimientos para pintura de automóviles y artefactos, y recubrimientos de cables.

Dentro de la industria eléctrica y electrónica, las resinas epóxicas se usan debido a su resistencia dieléctrica, baja contracción durante el curado, buena adhesión y su capacidad de conservar sus propiedades bajo distintas condiciones ambientales, como sitios mojados y con una alta humedad. Las aplicaciones típicas de este tipo de resinas incluyen aislantes de alto voltaje, conmutadores y encapsulados de transistores.

Las resinas epóxicas se utilizan también para la fabricación de laminados y materiales de matriz de fibra reforzada. Este tipo de resinas son el material matriz predominante en la mayoría de los componentes de alto desempeño, como en los fabricados con fibras de módulos altos (Smith, 2004, p.527).

**e) Características generales de las diferentes resinas.**

A continuación se detallan varias características que presentan los diferentes tipos de resinas.

**Tabla 4.5.****Características generales de las diferentes resinas.**

Propiedad	Matriz				
	Poliéster insaturado UP	Resma Epoxi	Resina Fenólica	Resina Vinilester	Resina Poliimida
Densidad(gr/cm <sup>3</sup> )	1.17-1.26	1.17-1.25	1.25-1.3	1.17-1.25	1.27-1.42
Alargamiento a la rotura (%)	<3	6-8	<3	3.5-7	6-10
Fluencia	Muy baja				
Temperatura de moldeo (°C)	Temperatura ambiente hasta 180	Temperatura ambiente hasta 170	150-190	Temperatura ambiente hasta 175	350
Temperatura de reblandecimiento	80-160	80-130	100-150	100-150	260 en periodos cortos hasta 500
Propiedades Teológicas	Muy Buenas				Depende del fabricante
Calor de reacción	Reacción exotérmica dependiente de la geometría pieza				
Contracción del fraguado (%)	6-10 lineal entre 1.8 y 2.4	1-3	0.5-1.5	0.1-1	0.5-0.7
Contracción posterior (%)	Hasta 3	Prácticamente ninguna	Hasta 0.4	Hasta 1	Prácticamente ninguna
Tiempo de almacenamiento	Temp. Amb. 6 meses	Bajas Temp. 6 meses	Temp. Amb. 6 meses	Temp. Amb. 6 meses	Temp. Amb. 6 meses

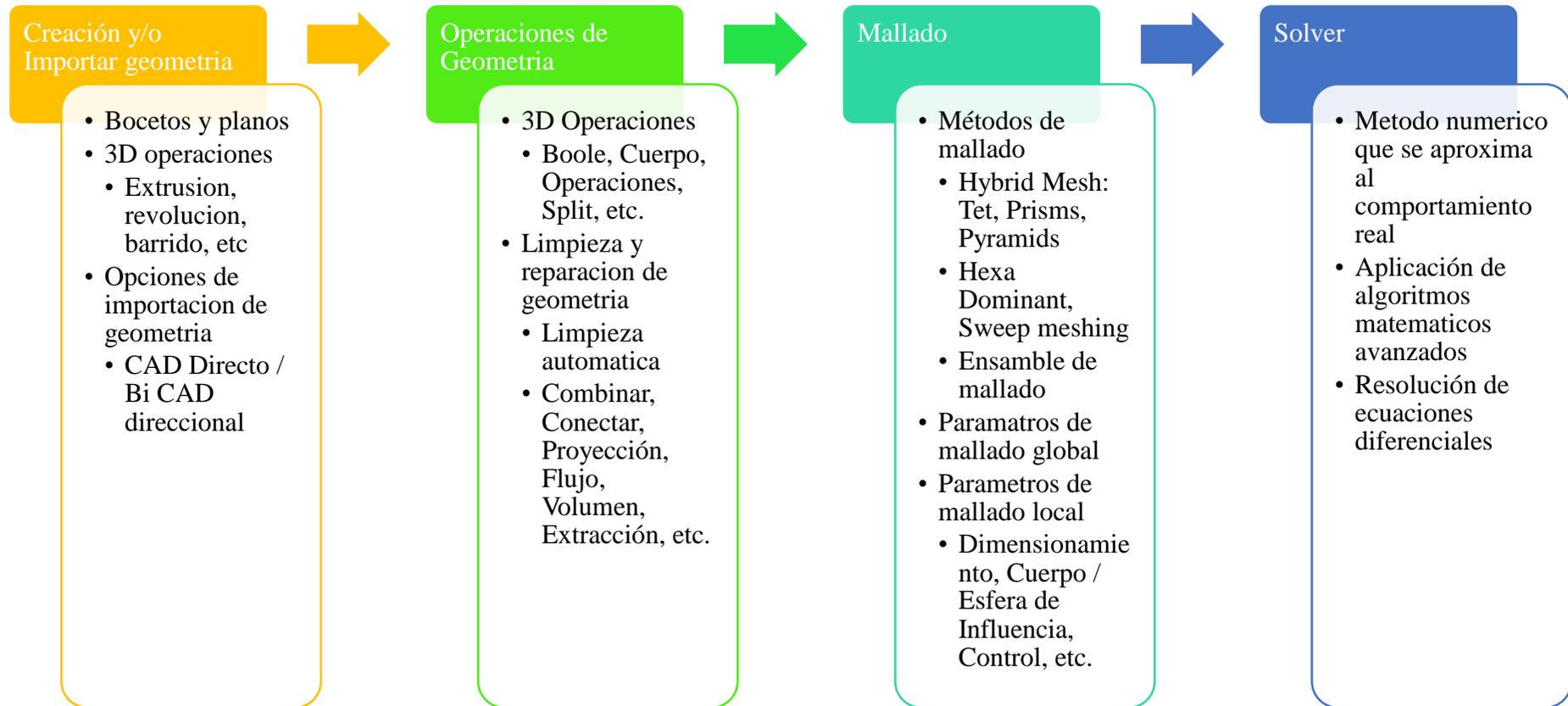
**Fuente: (Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales, 2013)**

#### **4.6 Diseño asistido por computador del material compuesto.**

El diseño en ingeniería es el proceso de concebir ideas en el desarrollo de la solución de un problema tecnológico, para lo cual usa conocimientos, recursos y productos existentes para satisfacer una necesidad o resolver un problema. El diseño

puede dividirse en dos grandes categorías: diseño de productos y diseño de sistemas o procesos. A medida que se desarrolla el diseño de un producto o proceso, el equipo de diseño aplica principios de ingeniería, toma en cuenta las restricciones de presupuesto, funcionalidad, legales, psicológicos y sociales para lo cual requiere información de áreas como las necesidades del cliente, materiales, capital, energía, requerimientos de tiempo, habilidades humanas, etc.

El CAD es una técnica de análisis, una manera de crear un modelo del comportamiento de un producto aun antes de que se haya construido y sigue el siguiente flujo de trabajo que se expresa en la figura 4.12.



**Figura 4.12 Procesamiento de flujo de trabajo**

#### 4.7 Cumplimiento de estándares de prototipado.

Una vez establecido el diseño de materialización de un componente, de un subgrupo o de una máquina completa, hay que realizar un prototipo funcional y los correspondientes ensayos de durabilidad que se relacionan con el deterioro que sufre el producto y sus componentes a lo largo de su funcionamiento.

La fiabilidad es la aptitud de un sistema o componente para funcionar correctamente durante un tiempo predeterminado.

Asegurar la fiabilidad es uno de los requisitos más importantes del diseño para la calidad y es fruto de la aplicación de tecnologías de ensayo bien establecidas.

Algunos de los ensayos de durabilidad más usuales son:

- a) **Ensayos de fatiga.** Se aplican ciclos repetidos de cargas de trabajo sobre determinados componentes o sobre el producto y se comprueba que resisten a la fatiga durante un tiempo suficiente (avance de la fisura o rotura).
- b) **Ensayos de desgaste.** Se aplican ciclos repetidos de movimientos o de circulaciones de fluidos sobre determinados componentes o sobre el producto y se comprueba que el desgaste de los diferentes elementos (especialmente los contactos en los enlaces o las conducciones) sean aceptables.
- c) **Ensayos de corrosión.** Se someten determinados componentes o el producto entero a ambientes corrosivos (humedad, atmósferas oxidantes u otras atmósferas) y se analizan los efectos de la corrosión con el tiempo.
- d) **Ensayos de maniobras.** Se establecen secuencias repetidas de maniobras sobre determinados componentes (especialmente sobre los dispositivos electrónicos) o sobre el producto y se comprueba que mantengan el correcto funcionamiento durante el número de ciclos previsto.

Para nuestro prototipo de capot con fibras orgánicas se caracterizará el material compuesto a fatiga bajo el cumplimiento de las normas ASTM y con la ayuda de CES selector para definir las propiedades de la fibra de cabuya.

#### 4.8 Diseño asistido por computador del prototipo de capot.

El capot esta expuestos a cargas críticas debido al comportamiento dinámico del vehículo, por lo que se deben determinar los esfuerzos máximos, la deformación total y el factor de seguridad, proceso desarrollado mediante la ayuda de un software CAE.

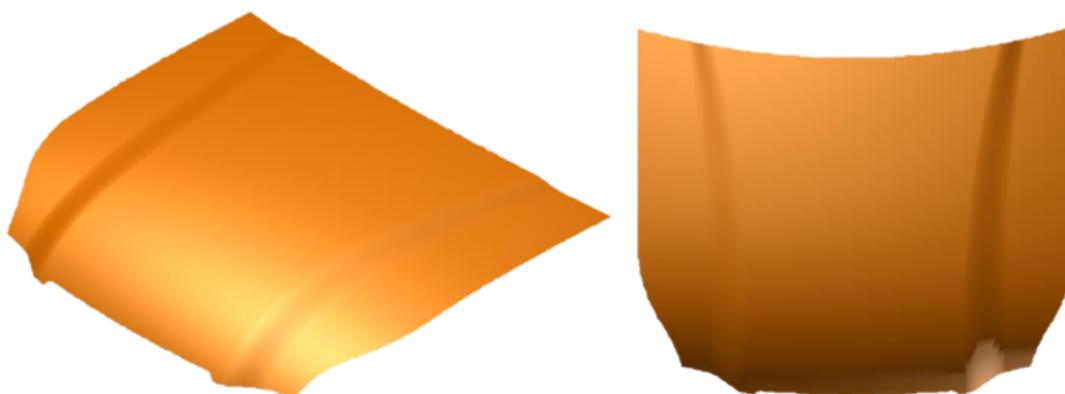
El capot representado en la figura 4.16, fue constituido por un ensamble de chapa metálica. Las tolerancias para el espesor de un material compuesto están dadas en la tabla 4.6. Sus propiedades mecánicas se las obtuvo del software CES Selector Edupack 2013.

**Tabla 4.6**

**Tolerancia para diferentes valores de espesor de Materiales Compuestos**

Espesor nominal en mm	Molde abierto	Molde cerrado
$e < 1,5$	$\pm 0.25 + 0.50$	$\pm 0.20$
$1.5 < e < 3$	$\pm 0.75$	$\pm 0.30$
$3 < e < 6$	$\pm 1.1$	$\pm 0.50$
$6 < e < 12$	$\pm 1,5$	$\pm 0.75$
$12 < e < 25$	$\pm 2.0$	$\pm 1.4$
$e > 25$	$\pm 3.0$	$\pm 1.9$

**Fuente: Tabla 1 de la norma BS 4549, Parte 1**



**Figura 4.13 Modelado capot Inventor Profesional 2015**

#### **4.9 Caracterización del material compuesto.**

Para determinar las propiedades mecánicas en la caracterización de los materiales compuestos, se utilizan ensayos destructivos.

El proceso de ensayo comienza en tomar determinada cantidad de muestras del material y realizar cierto número de pruebas para caracterizar el comportamiento del mismo. Los ensayos mecánicos se realizan ante circunstancias simuladas y con equipo adecuado, para resultados satisfactorios (Guerrero. 2011).

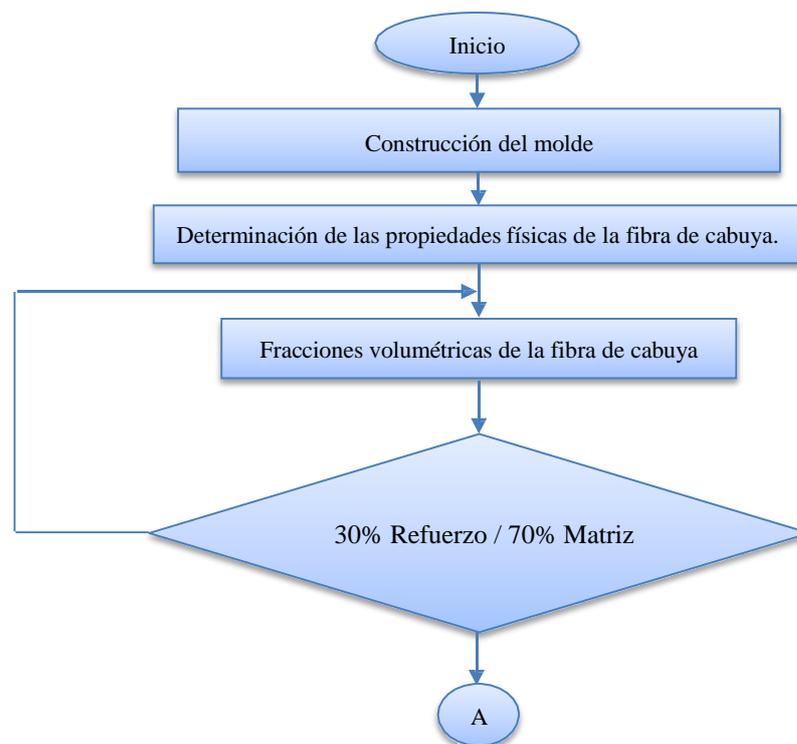
La Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, ASTM por sus siglas en inglés, ha desarrollado normas para ensayo de materiales entre las cuales se pueden encontrar las normas de caracterización de composites.

Para la realización de estos ensayos, se ha considerado el equipamiento del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones “LAEV” de la Escuela Politécnica Nacional, la cual cuenta con los siguientes equipos: (Guerrero. 2011).

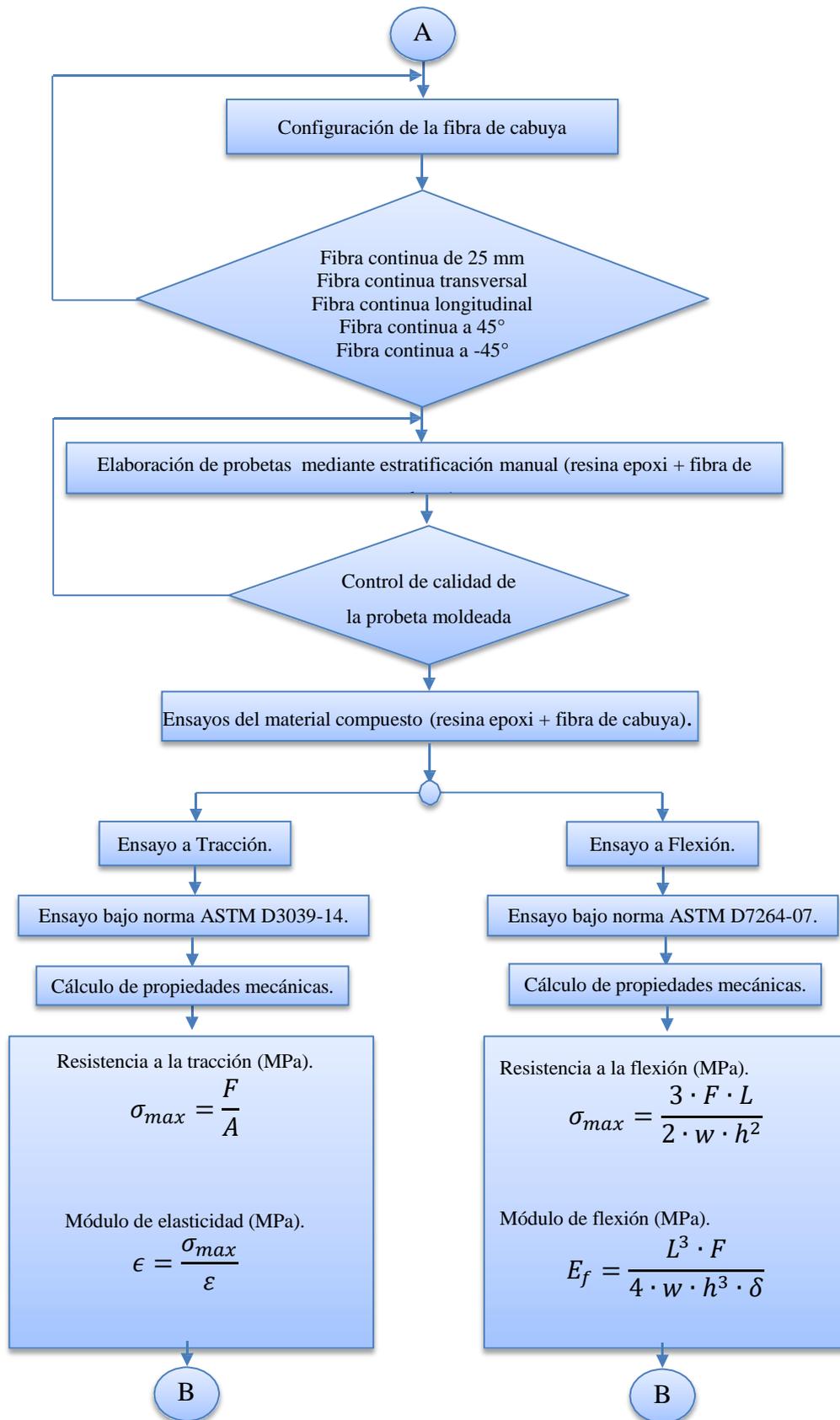
- Dos máquinas universales de ensayos Tinius Olsen modelo “Super L”, con capacidades de 132.000 lbf o (587.165 N) y 130.000 lbf o (578.269 N).
- Una máquina universal de ensayos Tinius Olsen modelo “H25KS”, con una capacidad de 5.620 lbf (25.000 N)

#### 4.9.1 Ensayos destructivos.

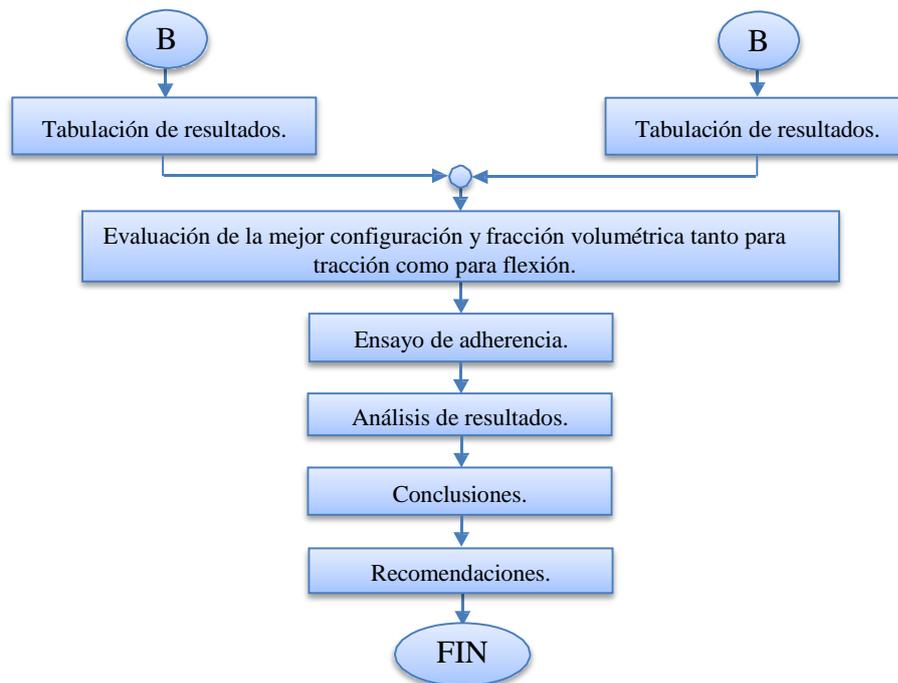
El nuevo material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de cabuya se lo realizará bajo varios parámetros y siguiendo un procedimiento preestablecido. A continuación se muestra un diagrama del procedimiento a seguir.



**Continúa→**



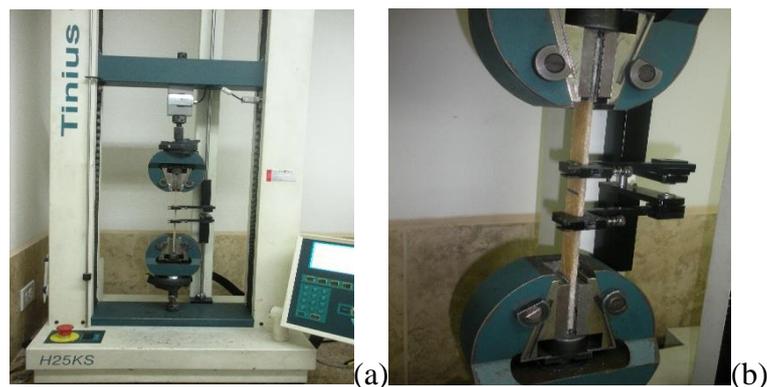
Continúa→



**Figura 4.14 Diagrama de caracterización del material compuesto**

**a) Ensayo de tracción**

Este ensayo es uno de los más comúnmente realizados. El material ensayado se deforma hasta la rotura de la probeta, mediante la aplicación de una fuerza uniaxial a lo largo del eje principal, y que aumenta de manera gradual.



**Figura 4.15 (a) Máquina universal de ensayos Tinius Olsen “H25KS”, (b) mordazas para ensayo de tracción**

En cuanto a materiales compuestos reforzados con fibras, el ensayo de tracción se lleva a cabo bajo las regulaciones de la norma D3039/D3039M-00 y se lo realiza utilizando una máquina universal de ensayos como la que se muestra en la Figura 4.15 (a). Como implemento para la realización del ensayo debe utilizarse algún elemento mecánico que garantice que la sujeción de la probeta sea adecuada, de tal forma que el deslizamiento sea mínimo. Para esto pueden usarse mordazas cuneiformes como las de la Figura 4.15 (b). Asimismo, puede o no utilizarse un extensómetro. Cabe indicar que el uso del extensómetro durante la realización del ensayo generará resultados con un menor margen de error.

Para probetas de mayores dimensiones se puede utilizar la máquina universal de ensayos que se muestra en la Figura 4.16. Las probetas a ensayar deben presentar dimensiones específicas indicadas en la norma mencionada anteriormente. Además, dichas probetas requieren mostrar superficies libres de defectos visibles, fisuras o imperfecciones. (Guerrero. 2011).



**Figura 4.16 (a) Máquina universal de ensayos Tinius Olsen modelo Súper L. (b) Mordazas Cuneiformes. (c) Set de flexión a tres puntos**

**Fuente: (Guerrero, 2011)**

**Esfuerzo máximo a tracción.**

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A}$$

Dónde:

$\sigma_{max}$  = Esfuerzo máximo (MPa).

$F$  = Carga máxima o fuerza necesaria para producir la fractura (N).

$A$  = Área de la sección transversal de la probeta (mm<sup>2</sup>).

### Porcentaje de deformación.

$$\varepsilon(\text{elongacion}) = \frac{l_f - l_i}{l_i}$$

$$\% \text{ de deformación} = \frac{l_f - l_i}{l_i} \cdot 100$$

Dónde:

$l_f$  = Longitud final (mm).

$l_i$  = Longitud inicial (mm).

### Módulo de elasticidad.

$$\epsilon = \frac{\sigma_{max}}{\varepsilon}$$

Dónde:

$\sigma_{max}$  = Esfuerzo máximo.

$\varepsilon$  = Elongación.

**Tabla 4.7**

### Recolección de datos a tracción de un material compuesto.

	<p>UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ</p>	<p>E. S. P. E.</p>  <p>INGENIERIA AUTOMOTRIZ</p>
<p>TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina epoxi + Fibra de cabuya)</p>		

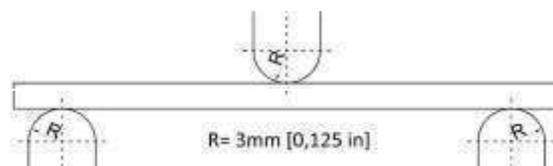
Continúa→

Laboratorio:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).			
Máquina:	Maquina Universal	Tipo o Modelo:	Tinius Olsen H25K-S (25KN).	
Material de matriz:	Resina Epoxi	Material de refuerzo:	Fibra de cabuya	
Compuesto:	Resina epoxi + 4 capas de fibra de cabuya (0,45, -45, 90° )			
Dimensión de probetas	Longitud: 250mm	Ancho: 25mm	Espesor promedio: 4.01mm	
Número de Probetas:	5 (se descartan 3)	Responsable:	Sr. Victor Pachacama	
<b>Datos del ensayo realizado bajo b Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a Tracción).</b>				
Muestra o probeta:	Deformación Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)
1	0.246	6639	69.74	28349.07
2	0.569	8834	85.92	15100.09
3	0.452	7212	71.91	15908.66
4	0.425	6498	64.93	15277.34
5	0.378	7201	70.72	18708.86
Promedio:	<b>0.414</b>	<b>7130.4</b>	<b>71.18</b>	<b>18165.20</b>
Desviación Estándar	0.12	777.55	6.22	5435.91
FOTOGRAFÍAS DE PROBETAS ENSAYADAS		GRAFICAS DE RESULTADOS		
				
<b>OBSERVACIONES</b>		<b>EVALUACIÓN</b>		
Se realiza el ensayo a 5 probetas Buena adherencia fibra – matriz. Las probetas presentaron ruptura en la zona inferior y media.		Espesor promedio: 4,01 mm. Esfuerzo máximo promedio: 71.18 (MPa). Módulo de elasticidad promedio: 18165.20 (MPa).		
Elaborado	Sr. Victor Pachacama	Aprobado	Ing. Félix Manjarrés	
Revisado	Ing. Félix Manjarrés	Validado	Ing. Félix Manjarrés	

**b) Ensayo de flexión.**

Este ensayo es realizado mediante la norma D7264/D7264M-07, como lo indica la Figura 4.19. Este método de ensayo determina la rigidez a la flexión y propiedades de resistencia de un compuesto de matriz polimérica. El procedimiento aplicado corresponde a un sistema de carga en tres puntos utilizando una carga central en una viga con apoyos simples. El equipo que es utilizado para este ensayo se indica en la Figura 4.18 (c). Las propiedades a flexión pueden variar dependiendo de la superficie de la probeta, pues ningún laminado es perfectamente simétrico.

Estas diferencias desviarán el eje neutral y los resultados se verán afectados incluso por la mínima asimetría presente en el laminado. Las propiedades a flexión también pueden variar de acuerdo al espesor de la probeta, ambientes condicionantes o de ensayo en el que se ejecutan las pruebas, velocidad de aplicación de esfuerzo. Cuando se evalúan distintos materiales, los parámetros deben ser equivalentes para la comparación de todos los datos obtenidos.



**Figura 4.17 (a) Configuración de carga a flexión en tres puntos utilizada  
(ASTM D7264/D7264M – 07)**

**Fuente: (Guerrero, 2011)**

Para realización de este ensayo, se requieren al menos 5 probetas por cada condición de ensayo, a menos que se puedan obtener resultados válidos mediante el ensayo de menos probetas, como en el caso de un diseño experimental. Las dimensiones de las probetas requeridas para los ensayos se encuentran indicadas en la norma ASTM D7264-07, y de igual manera, las respectivas ecuaciones que permiten calcular valores para las propiedades a flexión.

Al igual que en los ensayos de tracción y de impacto, las probetas deben respetar características solicitadas de aspecto superficial, como es la ausencia de fisuras o defectos que influyan erradamente en los resultados del ensayo. Al igual que en el ensayo de tracción, las marcas ocasionadas por operaciones de corte deben ser cuidadosamente eliminadas con una lima fina o un abrasivo. De esta manera se alcanza una pre-selección y preparación de probetas que serán aptas para la realización del ensayo.

### **Esfuerzo máximo a flexión.**

$$\sigma_{max} = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot w \cdot h^2}$$

Dónde:

$\sigma_{max}$  = Esfuerzo máximo producido en la superficie exterior (*MPa*).

$F$  = es la carga a la fractura (*N*).

$L$  = la distancia entre los dos puntos de apoyos (*mm*).

$w$  = es el ancho de la probeta ensayada (*mm*)

$h$  = espesor de la probeta (*mm*).

### **Módulo de flexión.**

$$E_f = \frac{L^3 \cdot F}{4 \cdot w \cdot h^3 \cdot \delta}$$

Dónde:

$E_f$  = Módulo de flexión.

$\delta$  = es la deflexión de la probeta al aplicarse una fuerza  $F$  (*mm*).

$L$  = longitud entre los apoyos (*mm*).

$F$  = fuerza aplicada (*N*).

$w$  = es el ancho de la probeta (*mm*).

$h$  = es el espesor de la probeta (*mm*).

Tabla 4.8

## Recolección de datos a flexión de un material compuesto.

		<b>UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ</b>		<b>E. S. P. E.</b>  <b>INGENIERIA AUTOMOTRIZ</b>	
<b>TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina epoxi + Fibra de cabuya)</b>					
Laboratorio:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).				
Máquina:	Maquina Universal	Tipo o Modelo:	Tinius Olsen H25K-S (25KN).		
Material de matriz:	Resina Epoxi	Material de refuerzo:	Fibra de cabuya		
Compuesto:	Resina epoxi + 4 capas de fibra de cabuya (0,45, -45, 90° )				
Dimensión de probetas	Longitud: 160mm	Ancho: 13 mm	Espesor promedio: 5.08 mm		
Número de Probetas:	5 (se reportan 2)	Responsable:	Sr. Victor Pachacama		
<b>Datos del ensayo realizado bajo Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a flexión).</b>					
Muestra o probeta:	Deformación Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	
1	0.79	60	18.02	2310	
2	0.41	26.67	9.42	2070	
Promedio:	<b>0.6</b>	<b>43.34</b>	<b>13.72</b>	<b>2190</b>	
Desviación Estándar	0.38	33.3	8.6	240	
FOTOGRAFÍAS DE PROBETAS ENSAYADAS			GRAFICAS DE RESULTADOS		
					
OBSERVACIONES			EVALUACIÓN		
<p>Se realiza el ensayo a 5 probetas de las cuales se descartan 3 y se reportan 2.</p> <p>Se produce la falla del material en medio de la probeta.</p>			<p>Espesor promedio: 5,08 mm. Esfuerzo máximo promedio: 13.72 (MPa). Módulo de elasticidad promedio: 2190 (MPa).</p>		
Elaborado	Sr. Victor Pachacama	Aprobado	Ing. Félix Manjarrés		
Revisado	Ing. Félix Manjarrés	Validado	Ing. Félix Manjarrés		

## CAPÍTULO V

### 5 INGENIERÍA ASISTIDA DEL PROTOTIPO DEL CAPOT

#### 5.1 Consideraciones para los estudios por elementos finitos.

*Rojas. O y L, Mencionan en: Diseño asistido por computador, que; “El concepto básico del análisis por elementos finitos para una estructura radica en sustituir la estructura continua real por una estructura idealizada equivalente compuesta por un número finito de partes discretas (puntos interconectados entre si llamados nodos y al conjunto se le conoce como malla) por medio de un enmallado (bidimensionales; cuadriláteros y triángulos; tridimensionales: hexaedros y tetraedros), al cual se aplican cargas en los nodos de los elementos límite del modelo, después del cual empleando teoremas de energía (relación entre fuerzas actuantes en los nodos y sus desplazamientos, ley de Hooke, módulo de Young, módulo de Poisson, etc.), se llega a derivar una matriz de rigidez (stiffness matriz, - las ecuaciones que rigen el comportamiento de la malla regirán también para la estructura). De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito”. (Ind. data 9(1), 2006, p. 12)*

##### 5.1.1 SOLUCIONADOR (SOLVER).

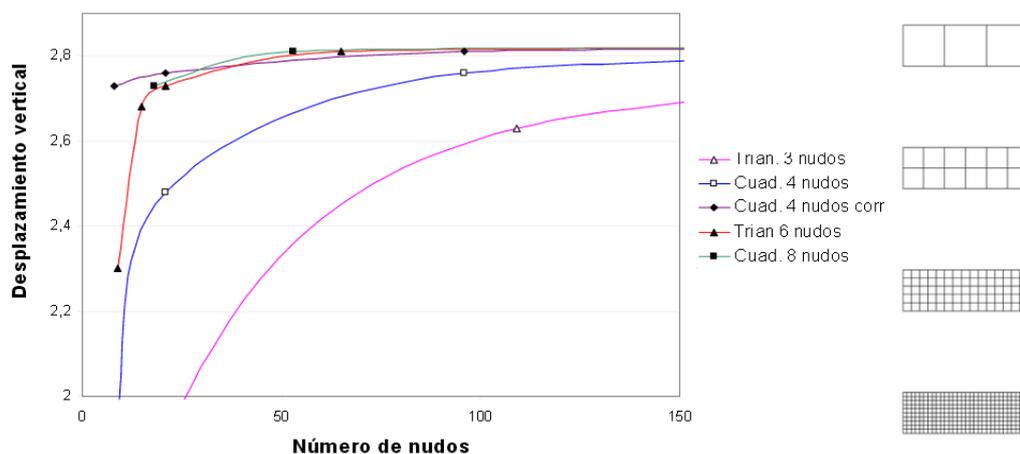
El análisis por elementos finitos (FEA) ha ayudado a disminuir la cantidad de prototipos necesarios, fijar ciertos valores referenciales de coeficientes de seguridad y analizar distintas opciones de diseño cambiando la geometría o el material en un tiempo reducido; permitiendo que los productos no lleguen tarde al mercado lo que implicaría una pérdida considerable de su ciclo de vida (tiempo en que es rentable su producción). El FEA está considerado como una de las herramientas más potentes y probadas para la solución de problemas de ingeniería y ciencia aplicada.

**ANSYS** ofrece una suite de software integral que abarca toda la gama de la física, que proporciona acceso a prácticamente cualquier campo de la simulación de ingeniería que requiere un proceso de diseño. Organizaciones de todo el mundo

confían en **ANSYS** para ofrecer el mejor valor por su inversión en software de simulación de ingeniería.

### 5.1.2 Convergencia.

El criterio de la convergencia en un análisis MEF nos ayuda a definir la malla correcta para realizar el análisis y definir la tendencia hacia una mejor solución mediante la relación entre el número de elementos y la deformación o el esfuerzo máximo, representado en la figura 5.1, la solución tiende a ser mucho más precisa con un mayor número de elementos debido a que esto reducen el error por una mayor cobertura de análisis.



**Figura 5.1 Criterio de convergencia de la malla.**

**Fuente: (Criterios de convergencia, s.f.)**

### 5.1.3 Mallado.

Después de la creación del modelo geométrico, se utiliza diversos procedimientos para definir y dividir el modelo en pequeñas secciones o elementos, mediante la unión de estos a través de sus nodos se forma una malla. Los nodos representan puntos sobre los cuales se proceden a realizar los cálculos.

Los paquetes de análisis MEF enumeran los nodos como una herramienta de identificación. Los elementos están determinados por conjuntos de nodos, y definen propiedades localizadas de superficies y rigidez. La gran ventaja de un análisis MEF es la generación semiautomática o automatizada de las mallas lo que

permite mallar las regiones de un modelo además refinarlas mediante la dimensión y forma de los elementos con lo que se establece un mallado correcto para mejorar la calidad de los resultados del análisis MEF.

#### 5.1.4 Métrica de la malla.

Los controles del mallado se guían en un proceso con parámetros de malla de entrada como el tamaño de elemento, la altura de la capa inicial de inflación y tasa de crecimiento, así como los parámetros de salida de malla número de elementos, el número de nodos y valores métricos que permite ver información de la malla y con ello evaluar la calidad de la misma de esta manera se obtendrá un análisis satisfactorio.

Para nuestros propósitos se utiliza el método de mallado tetraédrico que usa un algoritmo de alta calidad iniciando el proceso desde las aristas, caras y luego el volumen; respetando todas las caras y sus límites (conformado). El calibrado se define por controles globales y / o locales (Patch Conforming)

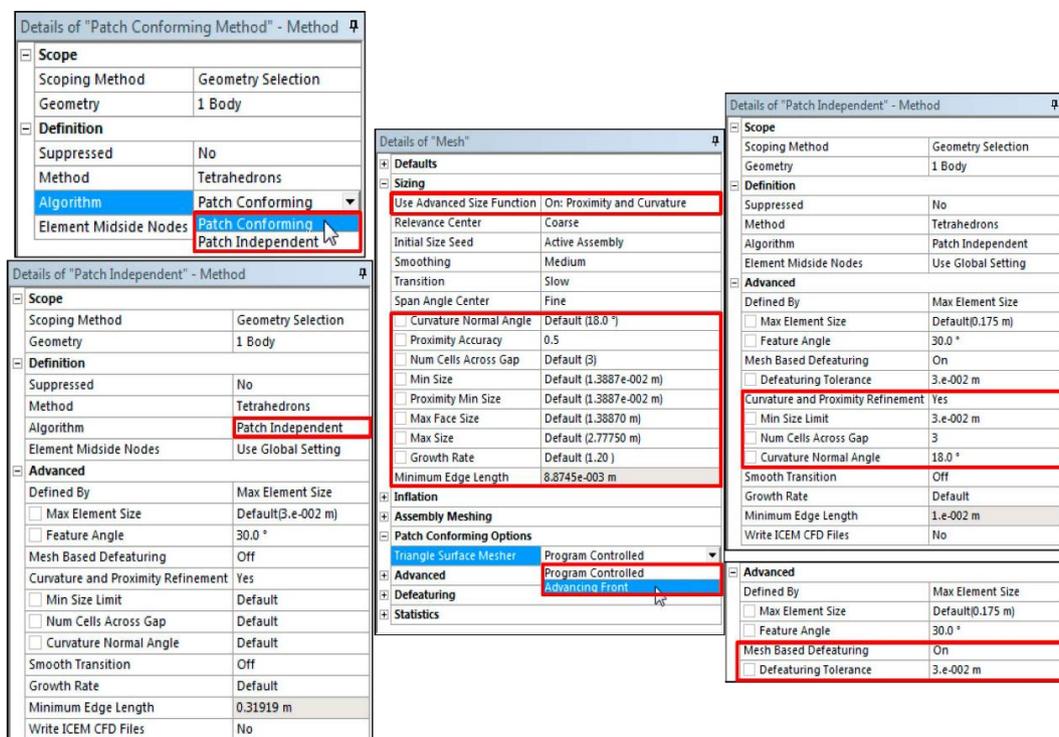
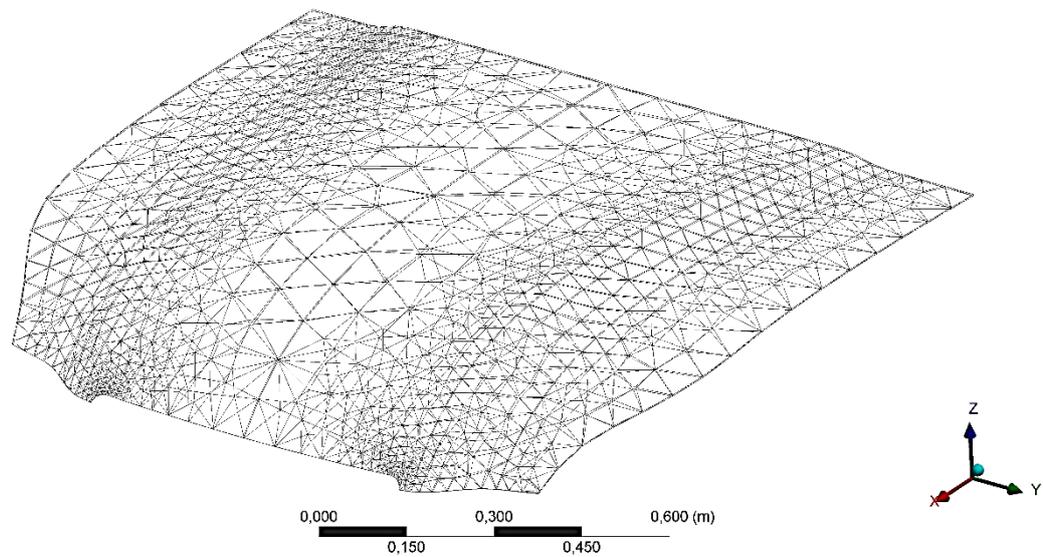


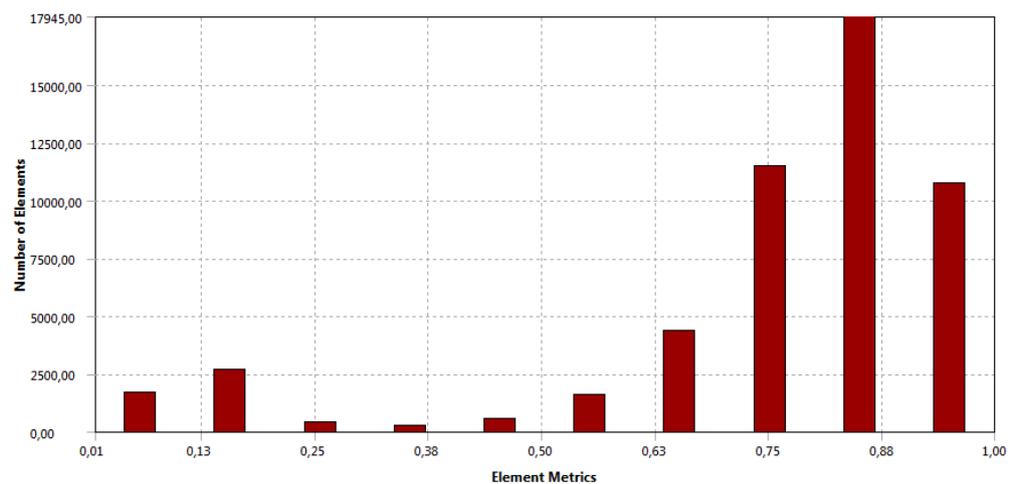
Figura 5.2 Control y método de mallado para el prototipo de capot.



**Figura 5.3** Mallado tetraédrico del prototipo de capot.

### 5.1.5 Criterio de aceptación del estudio.

La malla establecida para el capot consta de 11188 nodos, 51705 elementos y una calidad del elemento en promedio de 0.75, parámetros que establecen que el análisis tenga una aproximación lo más cercana a la realidad reduciendo los errores en las simulaciones.



**Figura 5.4** Calidad del mallado de capot.

## 5.2 Condiciones de contorno.

### 5.2.1 Escenario de simulación.

El Capot es un elemento del chasis que se encuentra al aire libre, en la parte frontal al vehículo y soporta las cargas aerodinámicas del medio ambiente. Cuando un vehículo se desplaza tiene que apartar un volumen importante de aire para poder avanzar y también facilitar que se rellene el vacío que generan tras de sí. A velocidades bajas, esta fuerza es relativamente pequeña, pero a velocidades altas se convierte en la principal resistencia que debe vencer la potencia del motor para conseguir ganar más velocidad.

La magnitud de las fuerzas aerodinámicas que se generan cuando un vehículo se desplaza por la carretera, va a depender de las características del aire (viscosidad y densidad) y del sólido. El sólido, en este caso un automóvil, ha de considerarse su forma, su rugosidad superficial, el área de contacto con el aire y, sobre todo, la velocidad relativa entre éste y el aire.



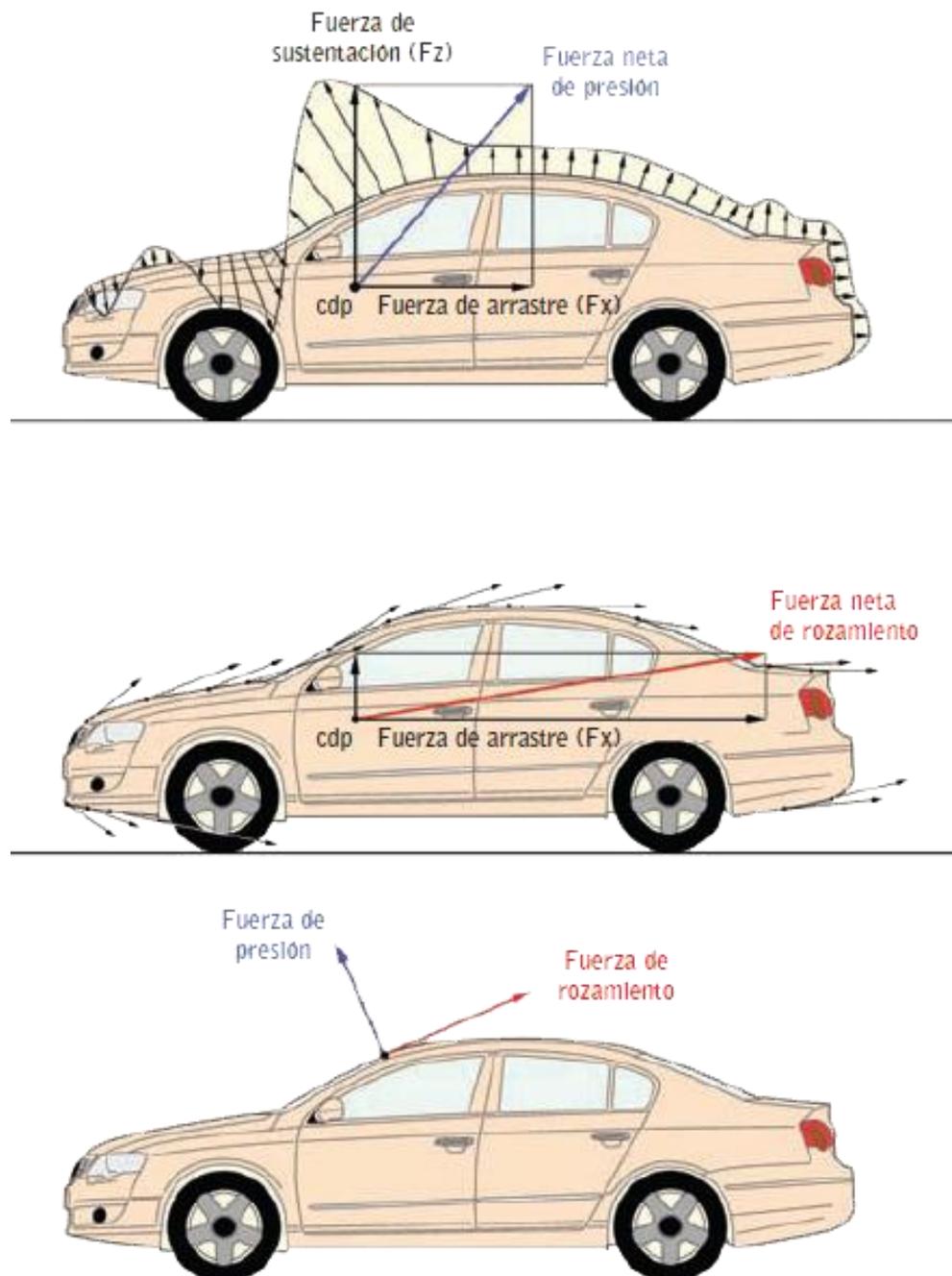
**Figura 5.5 Representación de la aerodinámica del automóvil.**

**Fuente: (technicalcourses, Estudio de la aerodinamica de un vehiculo, s.f.)**

### 5.2.2 Distribución de cargas.

Todo lo mencionado en el apartado anterior se traduce en que, sobre cada punto de la superficie del automóvil, estén presentes un par de fuerzas, una fuerza de presión, normal a la superficie del cuerpo, debido a la velocidad relativa entre

ambos, y una fuerza de rozamiento, tangente a la superficie del cuerpo, debida a la viscosidad del aire.



**Figura 5.6 Distribución de fuerzas.**

**Fuente: (technicalcourses, Cursos Tecnicos, s.f.)**

Si sumamos todas las fuerzas de presión que actúan sobre los diferentes elementos de superficie obtenemos, como resultante, una fuerza neta total, que

estará aplicada en un punto imaginario, denominado centro de presiones. Si establecemos la dirección de movimiento del fluido (o automóvil) y descomponemos esa fuerza neta en dos componentes, en la dirección de dicho movimiento y en su perpendicular, tenemos que la primera de esas componentes, llamada fuerza de arrastre (arrastre inducido) se opone al avance del vehículo y la segunda, llamada fuerza de adherencia o sustentación, hace que el vehículo se adhiera o tenga tendencia a separarse del suelo.

Si sumamos todas las fuerzas de rozamiento que actúan en los diferentes elementos de superficie obtenemos una resultante total, aplicada en dicho centro de presiones. Si la descomponemos en las dos direcciones anteriores, obtenemos en la dirección de movimiento del fluido una fuerza de arrastre que se opone al desplazamiento del vehículo.

### **5.2.3 Condiciones aerodinámicas.**

La aerodinámica es la parte de la mecánica de fluidos que se encarga de estudiar los fenómenos que se originan cuando existe movimiento relativo entre un sólido y el fluido gaseoso que lo rodea, determinando las presiones y fuerzas que se van a generar.

Dada la complejidad de los efectos del aire sobre el vehículo y con la finalidad de facilitar su estudio, se hace depender dichas relaciones de una única variable, los llamados coeficientes. Estos coeficientes permitirán predecir los efectos aerodinámicos sobre un cuerpo determinado (prototipo) a partir de las mediciones obtenidas sobre el modelo conocido.

Los coeficientes más utilizados en el caso de la aerodinámica de un vehículo, son el coeficiente de arrastre ( $C_x$ ) y el coeficiente de sustentación ( $C_z$ ), que se determinan por una simple división entre las fuerzas correspondientes, fuerza de arrastre ( $F_x$ ) o fuerza de sustentación ( $F_z$ ), y el producto de la presión dinámica por una superficie de referencia. Valores todos ellos conocidos en ese entorno controlado. Se llama coeficiente de penetración  $C_x$  porque la  $x$  indica una dirección en un eje de tres coordenadas; al coeficiente vertical o de elevación se le denomina

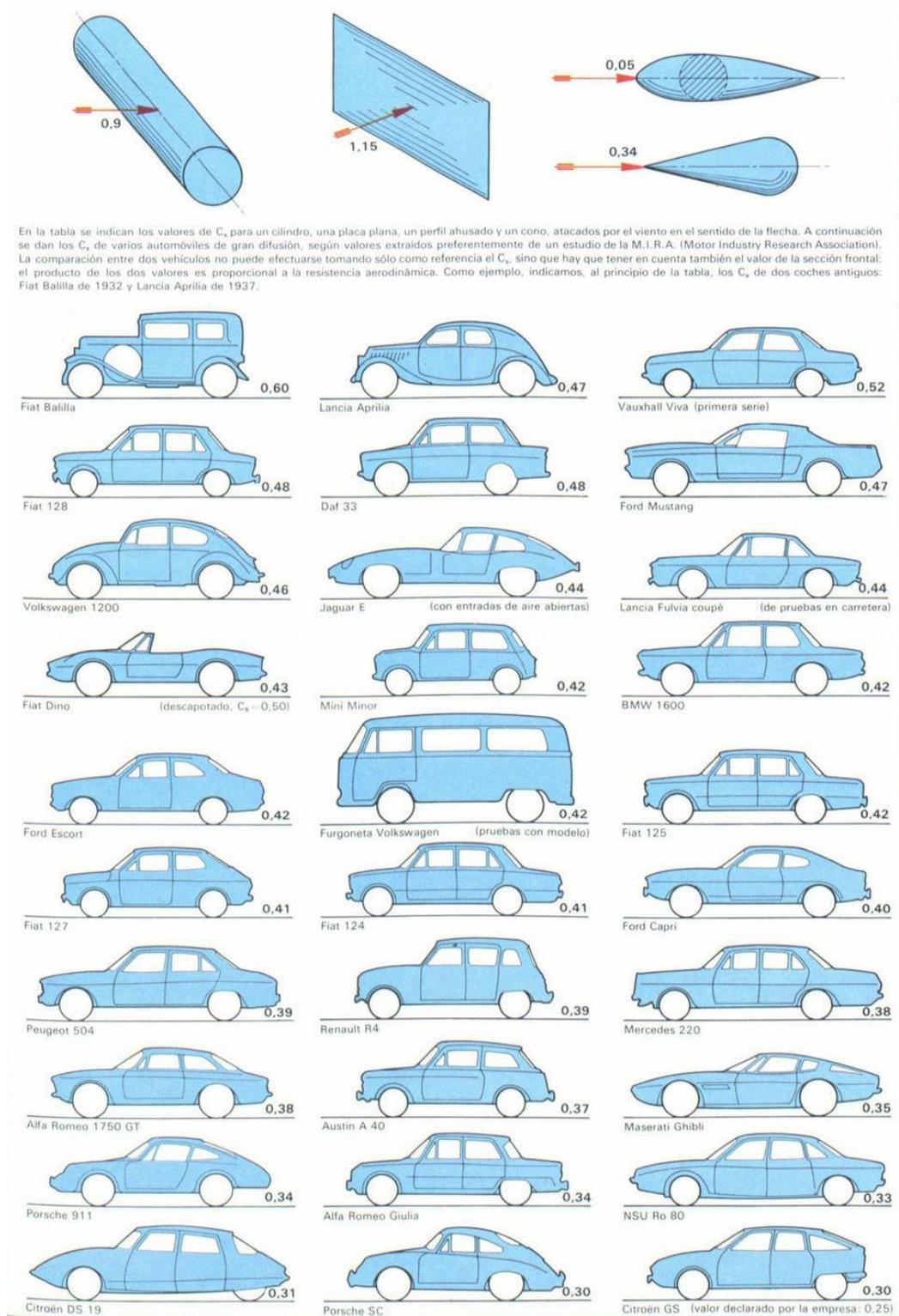
$C_z$  por la misma causa. Otra forma de referirse al coeficiente de penetración es  $C_d$ , donde la  $d$  es la inicial de la palabra inglesa «drag»; según esta nomenclatura, el coeficiente de elevación es  $C_l$ , por lift.

El coeficiente aerodinámico  $C_x$  es la expresión de la resistencia que ofrece un cuerpo a moverse dentro de un fluido por razón de su forma. Se toma como un coeficiente adimensional, a partir de la resistencia que hace una plancha cuadrada de metal, de 1 m de lado. Al coeficiente de la plancha se le atribuye el valor 1, y a otros cuerpos se les atribuye un valor como referencia a ese.

Hasta cierto punto, el  $C_x$  es independiente del tamaño del cuerpo y de la velocidad del fluido. A partir de cierto punto, puede haber variaciones en el  $C_x$  por cualquiera de las dos causas. Por esta razón, cuando se trabaja con modelos a escala para estudiar la aerodinámica de una forma, esta escala no suele ser menor de 1 a 5. El  $C_x$  en la mayoría de los automóviles de producción está entre 0,25 y 0,40; algunos coches experimentales o prototipos bajan de 0,20.

El  $C_x$  es uno de los datos necesarios para calcular la resistencia aerodinámica  $R_x$ . El otro dato es un área de referencia que, en coches de producción, es equivalente a la superficie frontal. La razón por la que se escoge la superficie frontal es que se supone que por detrás del plano de mayor área es donde se produce la separación del flujo aerodinámico de la carrocería; esta separación del flujo es la principal causa de resistencia aerodinámica en coche de producción.

Al multiplicar el coeficiente de penetración  $C_x$ , tomado como número adimensional, por la superficie frontal expresada en  $m^2$ , queda un valor de resistencia aerodinámica  $SC_x$ , expresado en también  $m^2$ . Por tanto la resistencia aerodinámica  $R_x$  depende fundamentalmente de cuatro factores: la densidad del aire, la velocidad al cuadrado, la superficie frontal y el coeficiente de resistencia aerodinámica del vehículo, todo ello multiplicándose y por tanto influyendo en la misma medida. Si dividimos el resultado de esa multiplicación entre dos, tenemos la fórmula completa, pero lo que importa aquí es lo que son y cómo actúan cada uno de esos factores.



**Figura 5.7** Coeficientes  $C_x$  para algunos sólidos y varios automóviles.

**Fuente:** (technicalcourses, Estudio de la aerodinámica de un vehículo, s.f.)

$$R_x = \frac{d \cdot V^2 \cdot A \cdot C_x}{2}$$

Donde:

$R_x$  = Resistencia aerodinámica (N)

$d$  = Densidad del aire ( $kg/m^3$ )

$V^2$  = velocidad al cuadrado ( $m/s$ )<sup>2</sup>

$A$  = Superficie frontal ( $m^2$ )

$C_x$  = Coeficiente de resistencia aerodinámica

Si realizamos el cálculo de la resistencia aerodinámica para nuestro capot obtendremos lo siguiente:

$d = 1.3 \text{ kg/m}^3$  Densidad del aire a temperatura ambiente ( $20^\circ\text{C}$ )

$V = 100\text{km/h} = 27.78 \text{ m/s}$

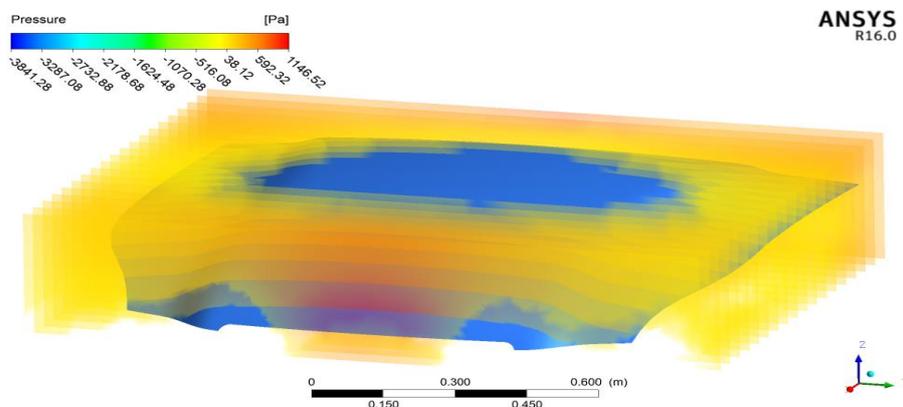
$A = 1.54 \text{ m}^2$

$C_x = 40$  Coeficiente de resistencia aerodinámica

$$R_x = \frac{1.3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(27.78 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 1.54 \text{ m}^2 \cdot 0.40}{2}$$

$$R_x = 311 \text{ N}$$

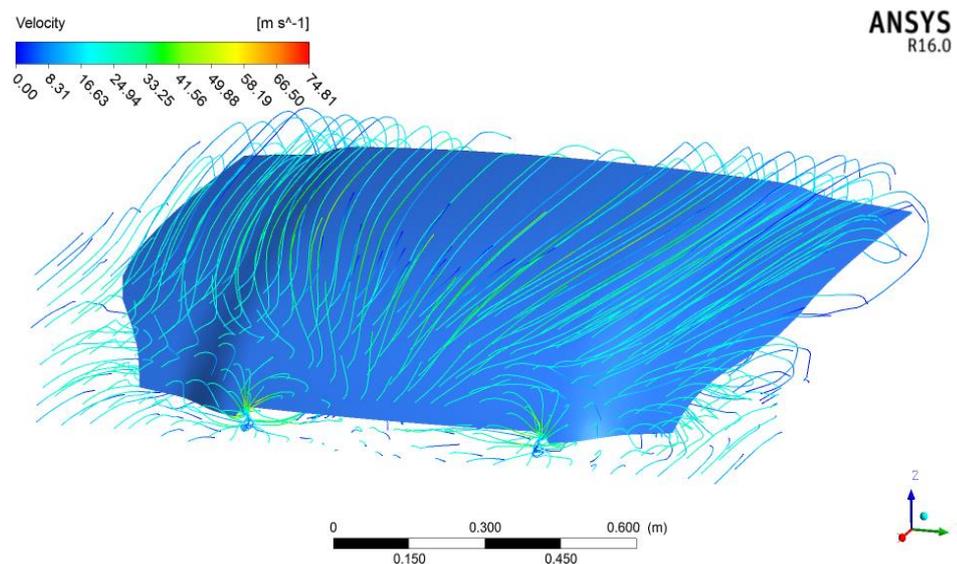
El resultado demuestra que el capot ofrece una resistencia aerodinámica de 311 N



**Figura 5.8 Presión generada sobre el capot en un túnel de viento a 100km/k.**

### 5.3 Simulación.

Para realizar los ensayos en el túnel de viento es necesario construir un prototipo del vehículo, lo cual es laborioso y muy costoso, sobre todo si se detectan defectos, los cuales es necesario corregir y da lugar a tener que modificar el prototipo. Por ello durante la fase de desarrollo se suelen utilizar mucho los cálculos numéricos con software CFD (Computational Fluid Dynamics), lo cual permite realizar cálculos y estudios muy rápidamente con costes muy bajos comparados con el túnel de viento.



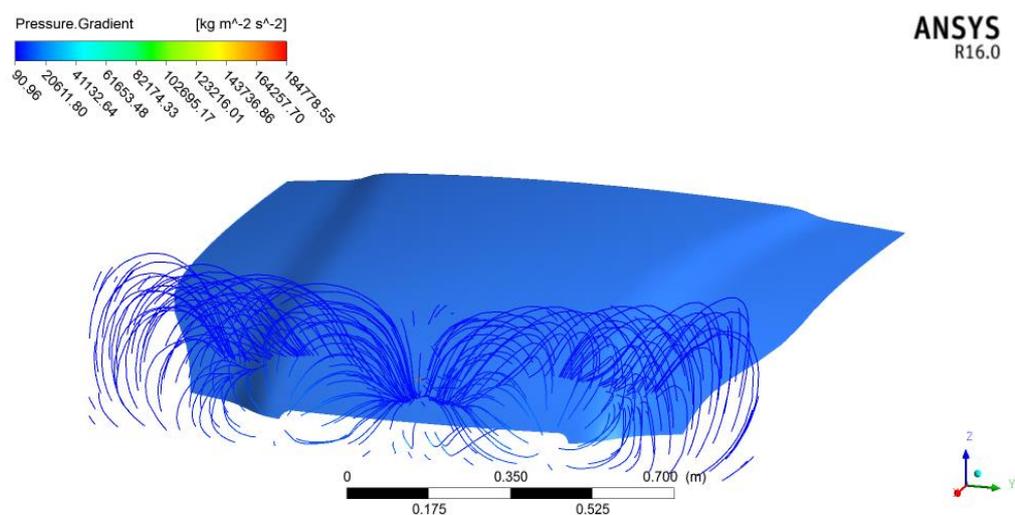
**Figura 5.9 Flujo de aire sobre el capot en un túnel de viento a 100km/h.**

### 5.4 Análisis de resultados.

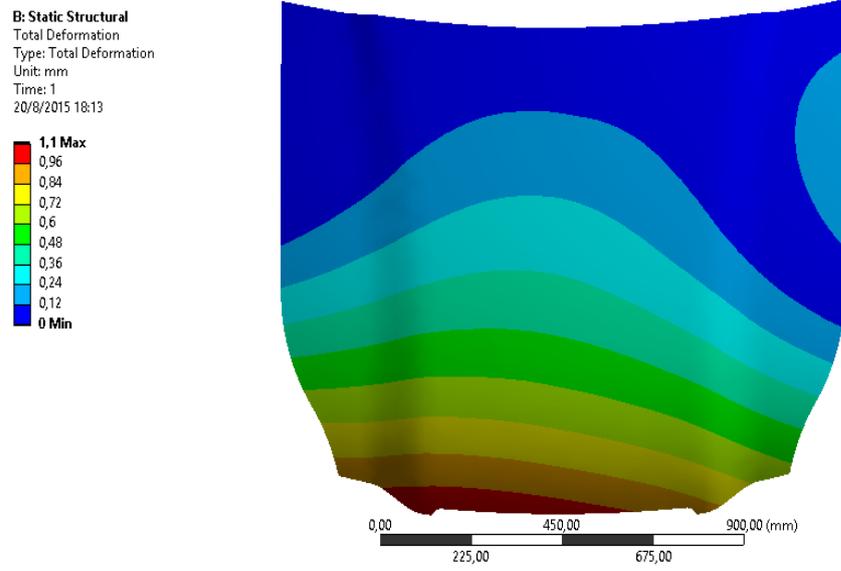
Se denomina resistencia aerodinámica, o simplemente resistencia, a la fuerza que sufre un cuerpo al moverse a través del aire, y en particular a la componente de esa fuerza en la dirección de la velocidad relativa del cuerpo respecto del medio. La resistencia es siempre de sentido opuesto al de dicha velocidad, por lo que habitualmente se dice de ella que, de forma análoga a la de fricción, es la fuerza que se opone al avance de un cuerpo a través del aire.

- Se puede observar la resistencia del perfil por el aumento de las presiones en su borde de ataque.

- La resistencia aerodinámica que ofrece el capot a una velocidad de  $100\text{Km/h}$  es de  $311\text{N}$  lo que nos permite tener una idea más clara de las fuerzas que actúan sobre el mismo.
- El análisis realizado en un túnel de viento con una configuración de velocidad de aire a  $100\text{km/h}$ , temperatura ambiente de  $20^\circ\text{C}$  sobre el capot da como máxima presión a generarse a esa velocidad de  $1146.62\text{ Pa}$ , localizados visiblemente en la parte centro – frontal del capot.
- Los vectores de flujo del túnel de viento demuestran que la aerodinámica del capot dirige el aire sobre él hacia los costados del mismo. Su diseño aerodinámico evita que la presión generada en la parte centro – frontal se agudice dirigiéndolo hacia los lados.
- En ciencias de la atmósfera (la meteorología, la climatología y campos relacionados), el gradiente de presión (normalmente de aire, más en general de cualquier fluido) es una magnitud física que describe en qué dirección la presión cambia más rápidamente alrededor de un lugar determinado bajo cierta velocidad de ataque o acción. El gradiente de presión es una magnitud dimensional expresada en unidades de presión por unidad de longitud, o  $\text{Pa/m}$ .



**Figura 5.10** Gradiente de presión generado a  $100\text{km/h}$  sobre el capot.



**Figura 5.11 Deformación presentada al aplicar los 311N (Fuerza de arrastre).**

## CAPÍTULO VI

### 6 PROCESO DE MANUFACTURA DEL PROTOTIPO DEL CAPOT.

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

En términos de aplicaciones comerciales, más del 75% de todos los compuestos se fabrican con matrices termoestables. Sus usos predominan en el sector aeroespacial, automotriz, náutica, artículos deportivos y los mercados de consumo. Hay varios métodos de procesamiento de compuestos termoestables dominantes en el mercado, cada uno con ventajas y limitaciones. En este punto se describen los procesos utilizados en la experimentación del presente trabajo. (Manzumdar, 2002)

Los principales procesos utilizados con materiales termoestables reforzados con fibras incluyen laminado manual, aspersion, bobinado de filamentos y moldeo por transferencia de resina. Estos procesos tienen etapas y procesos comunes. Las etapas son: impregnación, laminado, consolidación y solidificación. En cuanto a los parámetros se tiene: presión, temperatura y tiempo. Para nuestro trabajo utilizaremos la estratificación manual como proceso de manufactura, sus características se encuentran detalladas en el capítulo 1.4.1

#### 6.2 Características del proceso de manufactura.

En todos los procesos de fabricación de compuestos intervienen cuatro etapas, a pesar de que estas se pueden llevar a cabo en diferente orden. Estas etapas comprenden: (Manzumdar, 2002)

##### **Impregnación**

En este paso, las fibras y la resina se mezclan para formar una lámina. El propósito de este procedimiento es asegurarse de que la resina fluya enteramente alrededor de todas las fibras. La viscosidad, tensión superficial y capilaridad de la resina son los aspectos principales que afectan el proceso de impregnación. En los compuestos termoestables las viscosidades que presentan las resinas facilitan el mojado de las fibras. Mientras que en los compuestos termoplásticos se requiere de una mayor presión de moldeo para alcanzar una buena impregnación, debido a la viscosidad elevada de las matrices.

## **Laminado**

Se colocan mezclas de fibra y resina o productos pre impregnados, en lugares donde más se los necesitan y en el ángulo deseado. El propósito de este paso es lograr la arquitectura de fibra deseada según lo dictado por el diseño. La realización de una estructura compuesta depende en gran medida en la orientación de la fibra y la secuencia del laminado. Consolidación La consolidación implica la creación de un contacto íntimo entre cada capa de material pre impregnado o lámina. Este paso asegura que todo el aire atrapado entre las capas se elimine durante el proceso.

La consolidación es muy importante en la obtención de un producto de buena calidad. Secciones mal consolidadas tienen vacíos y partes de fibra con pobre mojabilidad. En los compuestos reforzados con fibras orientadas longitudinalmente se presenta la deformación elástica de estas. Esto se debe a que durante la consolidación la presión aplicada se comparte entre la resina y los arreglos de fibra. Sin embargo, al inicio la presión aplicada es absorbida únicamente por la resina. Las fibras sufren deformación elástica cuando la presión aumenta por lo que la resina fluye por los bordes del molde.

## **Solidificación**

El paso final es la solidificación, que puede tardar menos de un minuto para termoplásticos o pueden tardar hasta 120 minutos para termoestables. Cuanto menor sea el tiempo de solidificación, mayor será la tasa de producción que se puede alcanzar. En compuestos termoestables, la tasa de solidificación depende de la formulación de la resina y la cinética de curado o reticulación.

En las resinas termoestables el calor se suministra durante el proceso para acelerar la tasa de curado. Por lo general, cuanto mayor es la temperatura de curado, más rápido será el proceso de reticulación. En los termoplásticos no hay cambio químico durante la solidificación y por lo tanto esta requiere de menor tiempo.

En cuanto a los parámetros, estos están íntimamente relacionados con las etapas anteriormente descritas. La presión es aplicada para eliminar espacios vacíos y asegurar la mojabilidad de la fibra. La temperatura, en el caso de los compuestos

termoestables se la aplica para acelerar el proceso de reticulación y aumentar la tasa de producción. En cuanto a los termoplásticos se la aplica para fundir el material de la matriz. Finalmente el tiempo se relaciona con la solidificación de los compuestos.

### 6.3 DIAGRAMA DEL PROCESO DE MANUFACTURA.

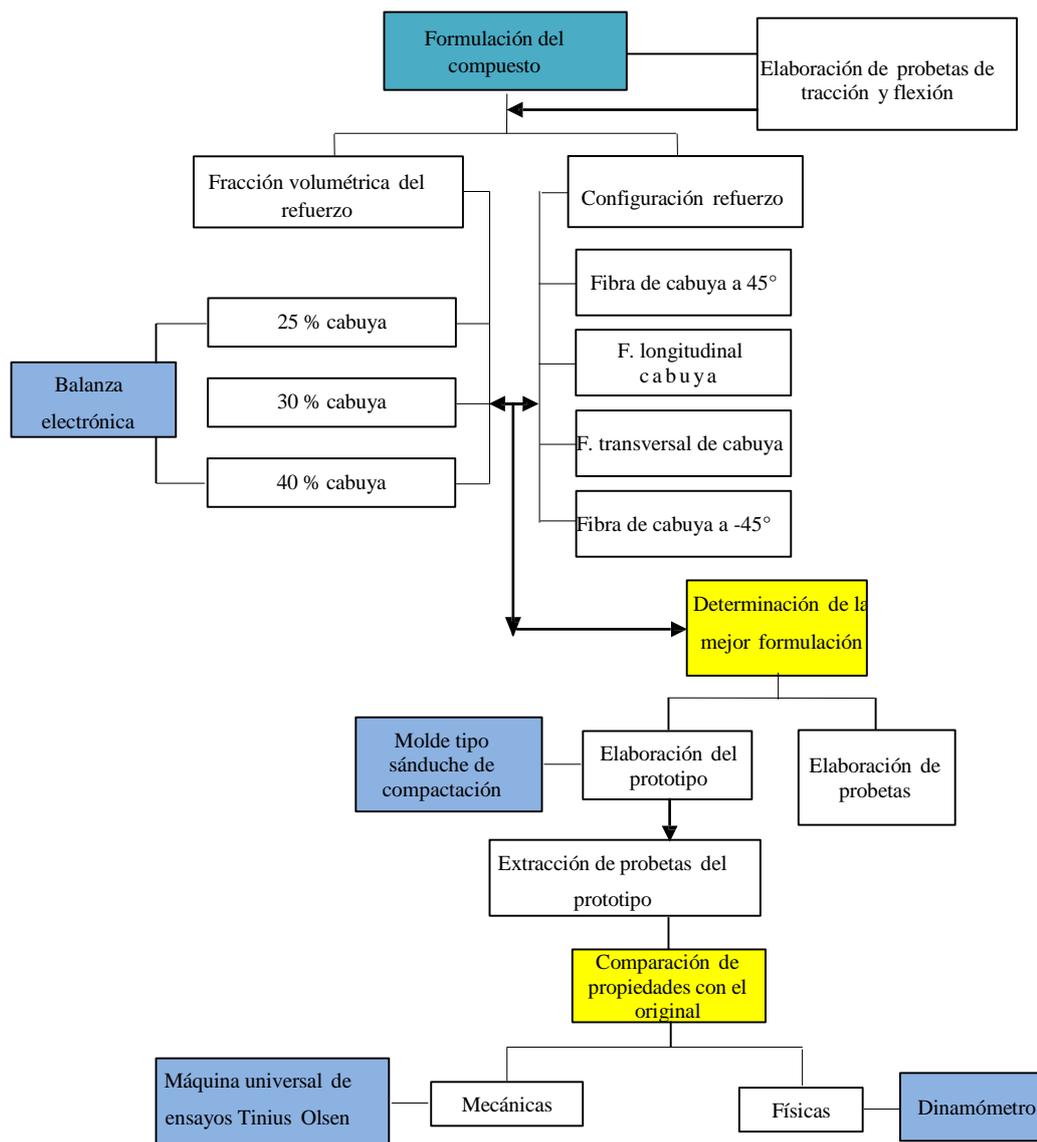


Figura 6.1 Diagrama sistemático del proceso de manufactura.

### 6.4 VALIDACIÓN DEL PROCESO DE MANUFACTURA.

El prototipo fue construido mediante un proceso relativamente sencillo. Las principales características fueron: se utilizó presión de moldeo, dicha presión se alcanzó colocando una estructura de concreto, además sobre este, tanques rellenos con

agua. El prototipo se desmoldó transcurridos 15 días destinados al proceso de curado. Como no se tuvo las mismas condiciones de procesamiento en el prototipo y las probetas, los resultados variaron como se analizará más adelante en la discusión de resultados.

El proceso de fabricación del prototipo fue: inicialmente se preparó el refuerzo (fibra de cabuya) mediante un mercerizado en hidróxido de sodio al 0.5% durante 4 horas. Luego, se preparó la solución de resina epoxi y catalizador con las mismas concentraciones en volumen usadas en la elaboración de las probetas. Por último se enceró y colocó el molde de metal sobre una base fija de soporte en tierra. Este proceso se realizó en alrededor de 30 minutos. Posteriormente se laminó el prototipo, es decir se colocaron las capas de refuerzo con la misma configuración usada en la elaboración de probetas y se adicionó la resina epoxi. Se aplicó la presión de moldeo para lo que se utilizó una estructura de concreto de 280kg además de tanques de 200 lt llenos con agua, el peso total usado fue de 817 kg aproximadamente.

El prototipo se desmoldó transcurridos 24 horas del proceso de curado aun cuando no estaba completamente sólido. Luego, se lo volvió a aplicar la misma presión de compresión sobre el molde para que adopte la forma del mismo. Posteriormente, se maquinó el prototipo para darle la forma final, lo que se realizó en alrededor de 2 horas. Las operaciones de maquinado realizadas fueron el corte y el taladrado.

Durante la fabricación del prototipo se presentaron ciertas complicaciones como: la distribución y alineación de las fibras de abacá en el molde de metal, debido a que el área del mismo es muy superior en comparación con los moldes de las probetas. No se tuvo un control eficaz del espesor. Esta es la razón por la que se adicionaron más cargas de presión sobre el elemento estructural de concreto.

El tiempo de desmolde fue un factor influyente, puesto que al desmoldar el prototipo prematuramente se rompía y resquebrajaba. Mientras que un retraso en este proceso impedía que adopte la forma del modelo original.

Esquemáticamente este proceso se presenta en la figura 6.2.



**Figura 6.2 Esquema de procesamiento del prototipo.**

## CAPÍTULO VII

### 7 COSTOS DEL PROTOTIPADO.

#### 7.1 Costos de producción.

##### 7.1.1 Materiales.

Se considera como materiales a los elementos constitutivos del prototipo fabricado, además de los moldes para su conformación. Los detalles se presentan a continuación:

**Tabla 7.1**

#### **Costos de los materiales de fabricación y conformación.**

Denominación	Cantidad	Unidad	Valor unitario	Valor total (usd)
Resina Epóxi	18	kilo	15,35	276.3
Desmoldante	1	kilo	15,70	15,70
Fibra de Cabuya	10	m <sup>2</sup>	1,75	17,50
Molde A	1	Pieza	140	140
Molde B	1	Estructura	100	100
Total				<b>\$ 549.50</b>

Cabe señalar que el precio de la resina epoxi viene incluido con su respectivo endurecedor (Catalizador), esta no necesita ningún tipo de tratamiento basta mezclar con el endurecedor y se podrá utilizar este tipo de resina.

##### 7.1.2 Mano de obra.

Se conoce como mano de obra al esfuerzo físico y mental que se pone al servicio de la fabricación de un bien. El concepto también se utiliza para nombrar al costo de este trabajo, es decir, el precio que se le paga.

La obra de mano puede clasificarse en directa o indirecta. La obra de mano directa es aquella involucrada de forma directa en la fabricación del producto

terminado. Se trata de un trabajo que puede asociarse fácilmente al bien en cuestión.

**Tabla 7.2**

**Costos por mano de obra directa.**

Denominación	Hora	Valor por hora (usd)	Valor total (usd)
Maestro	4	10	40
Ayudante	4	4	16
Total			<b>\$ 56</b>

El tiempo señalado de mano de obra se considera desde el tratamiento que se le da al molde hasta el proceso de desmolde, es de decir desde que se inicia el proceso de construcción hasta su finalización, el tiempo estimado del proceso de moldeo es de aproximadamente 3 horas con 40 minutos y su desmolde se lo realiza en un tiempo estimado de 20 minutos.

Los costos de mano de obra son los de conformación del prototipo ya que los de la elaboración de las probetas y moldes fueron realizados por el autor

**7.1.3 Costos de diseño.**

Se considera el apoyo a la construcción los diseños realizados por software del prototipo para evaluar su funcionamiento previo a la construcción física.

**Tabla 7.3**

**Costos generados por diseño de prototipo.**

Denominación	Hora	Valor por hora (usd)	Valor total (usd)
modelado	10	8	80
análisis	5	8	40
simulación	3	8	24
Total			<b>\$ 144</b>

## 7.2 Costos indirectos.

Son costos indirectos aquellos que se generan como parte del desarrollo del prototipo, su caracterización, desarrollo, documentación, investigación y transporte

**Tabla 7.4**  
**Costos indirectos**

Denominación	Cantidad	Valor (usd)	Valor total (usd)
Ensayos de probetas	10 U	5,32	53,20
Transporte	40 H	3	120
Documentación	2	20	40
Acabado superficial	1	160	160
Material de escritorio	1	140	140
Total			<b>\$ 513.2</b>

## 7.3 Costo total del proyecto.

El costo total del proyecto es la suma de todos los gastos generados en su desarrollo, caracterización y presentación final.

**Tabla 7.5**  
**Costo total del proyecto.**

Costos de materiales	549.5
Costo de mano de obra	56
Costo de diseño	144
Costos indirectos	513.20
<b>Total</b>	<b>\$ 1262.70</b>

Al costo de fabricación de los materiales del prototipo se sumó el 10% por concepto de pérdidas de material durante el moldeo. Además, el costo por mano de obra, considerando que este trabajo puede realizarlo una persona que ganará el salario mínimo vital.

Sumando de forma individual el valor que corresponde solo al prototipo, el valor del capot se encuentra en promedio alrededor de \$337 dólares americanos, que implica un ahorro de \$95.65 dólares americanos ya que un capot original de repuesto tiene un valor comercial de \$432.65 (Anexo IV)

## CAPÍTULO VIII

### 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 8.1 Conclusiones.

Mediante la revisión de la fundamentación teórica y el análisis de los datos recolectados, principalmente de la caracterización mecánica a tracción y flexión del material compuesto con los que se fabricó un prototipo de capot, se obtienen las siguientes conclusiones:

- La aplicación de las normas para materiales poliméricos ASTM D3039-00 y ASTM D7264-07 para caracterización a Tracción y Flexión respectivamente se pudieron aplicar también al material compuesto propuesto.
- La estratificación a compresión por ajuste normal de las probetas permitió establecer una buena compactación del refuerzo con la matriz, por el pobre poder de absorción de la cabuya, estableciendo además que siempre será necesario ubicar como aglutinante inicial una capa de resina epoxi.
- La mercerización de la fibra de cabuya con hidróxido de sodio al 0.5% de concentración durante 4 horas adiciono a la fibra una mejor contextura y adherencia con respecto a la matriz
- Para la elaboración del prototipo se utilizaron los mismos parámetros utilizados en la fabricación de los especímenes de ensayo, excepto en la cantidad de catalizador, el cual fue del 0,5%, que se disminuyó con la finalidad de retrasar el tiempo de curado y conseguir laminar el prototipo de dimensiones mucho más grandes que las probetas. Además se cambió la presión de moldeo por una superior con la finalidad de obtener una buena adherencia del refuerzo con la matriz.
- Se caracterizaron mecánicamente las probetas de materiales compuestos obtenidas a través de ensayos de tracción y flexión, las curvas esfuerzo

deformación de los compuestos presentaron un comportamiento lineal en tracción y en flexión mostraron un comportamiento no lineal. La mayoría de los datos recabados en los ensayos siguieron una distribución normal

En base a los ensayos mencionados se determinó la formulación con la mejor combinación de propiedades, la cual presentó los siguientes resultados.

### **Tracción**

- El compuesto reforzado con cabuya y matriz de resina epoxi presentó una resistencia a la tracción de aproximadamente 85.92 MPa, valor que es superior en un promedio del 44.84% con respecto a las referencias bibliográficas de compuestos de cabuya y resina poliéster (Guerrero, 2011)
- En cuanto al módulo de elasticidad, el compuesto mencionado presentó con relación a los compuestos de fibra de cabuya y poliéster un incremento en promedio de 8.66% con respecto a las referencias bibliográficas (Guerrero, 2011)

### **Flexión**

- El compuesto de fibra de cabuya y resina epoxi ensayado presentó un decremento en promedio de 26% respecto al compuesto de fibra de cabuya y resina poliéster. Dato que sirvió para poder corregir el tiempo de curado del compuesto.

## **8.2 Recomendaciones.**

Con la culminación de las pruebas realizadas en el presente estudio se ha considerado establecer las siguientes recomendaciones:

- Por proceso de manufactura es óptimo comenzar con una capa de resina epoxi para la aplicación de la configuración de las fibras que se decida aplicar para que sirva como aglutinante.

- Se debe tomar en cuenta que el espesor de los materiales de refuerzo en las configuraciones de mejor comportamiento ayudan a aproximar el espesor final del capot o pieza cualquiera; ya que la sumatoria de las capas de refuerzo multiplicado por dos será el espesor final que se obtenga.
- Ensayar por lo menos dos probetas más al número que establecen las NORMAS correspondientes, pues se dan este rango como ayuda para no tener datos incorrectos en la evaluación.
- Considerar siempre que la capa de inicio debe ser de resina, pues esto ayuda a la adherencia de las fibras además de presentar mejor mojabilidad y humectación, provocando una configuración regular de la superficie de servicio de la parte fabricada.
- La presión de compresión es la que ayuda a moldear el prototipo y obtener un modelo igual al original por lo que a mayor peso aplicado será óptimo el espesor y su forma.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Acosta, M. (1971). “Los Bosques del Ecuador y sus Productos”. Ecuador, Editorial Ecuador.

Alemon, B. (2003). Ensayo sobre reemplazo de componentes metálicos de automóvil por polímeros o materiales compuestos. Maestría en Sistemas de Manufactura, Universidad Autónoma de Guadalajara, Guadalajara.

Bendezú, J. (2002). “Los plásticos reforzados en fibra de vidrio, sus aplicaciones y desarrollo en la industria nacional”. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial.

Callister, W. (2007). *Materials Science and Engineering: An introduction*. Séptima edición. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.

Cevallos, J. (2008). “Estudio Comparativo de las Propiedades Mecánicas y Reológicas de Compuestos de Polietileno de Alta Densidad con Cascarilla de Arroz y Bagazo de Caña”. Guayaquil, Ecuador: Tesis ESPOL.

Chand, N., (2008). *Tribology of Natural Fiber Polymer Composites*, CRC Press.

Donald, R. & Askenland. (1998). *Ciencia e Ingeniería de Materiales*, Tercera Edición. International Thomson Editores.

eJournal (2006). Soluciones para tener energía limpia, “Materiales nuevos para los automóviles”, eJournal, USA.

Gomez, A., Gálvez, L., & De la Osa, O. (1997). *Sugar Cane Bagasse. Utilization for Production of Composites. The State of the Art in Cuba*, ICIDCA.

Goodman, (1998). “Handbook of thermoset plastics”, 2da ed. Estados Unidos: Noyes Publications.

Hoa, S. (2009). "Principles of the manufacturing of composite materials". Estados Unidos: DEStech Publications.

Jijón, S. & Gabela, E. (1986). "Estudio de plásticos reforzados con fibra vegetal nacional". Quito. Tesis EPN.

Kessler, R., Kohler, R., Nebel, K. & Tubach, M. (2000). Natural Fibers. Special Jubilee Edition 2000. Perspectives of Fibers In High Level Applications For The New Century. Publikacja dofinansowana przez Komitet Badán Naukowych.

Levy Neto, F. & Pardini, L. C. (2006). Compósitos estruturais: ciência e tecnologia. São Paulo: Edgard Blücher.

Lewin, M., (2007). Handbook of Fiber Chemistry Taylor & Francis Group. Third Edition.

Maguyo, J. (2003). Estudio constitutivo de materiales compuestos laminados sometidos a cargas cíclicas. Tesis Doctoral, Departamento de Resistencia de Materiales y Estructuras a Ingeniería, Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña.

Mariano, (2011). Tecnología de los plásticos. (Mariano, Editor) Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de Blog dedicado a los materiales plásticos, características, usos, fabricación, procesos de transformación y reciclado: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/08/resina-epoxi.html>

Mariño, P. & Torres, U. (1988). "Aglomerados de fibro-cemento: láminas con fibra recortada de ábaca como elemento reforzante". Quito. Tesis EPN.

Miravete, A., (2007). Materiales Compuestos. I. Reverte S.A.

Mohanty, A., Misra, M. & Drzal, L. (2005 - 2009). Natural Fibers, Biopolymers, and biocomposites. Estados Unidos: Taylor & Francis Group.

Morales, G. (2008). Tesis Doctoral Procesado Y Caracterización De Materiales Compuestos De Matriz Polimérica Reforzados Con Nanofibras De Carbono Para Aplicaciones Tecnológicas, Universidad Complutense De Madrid. Isbn: 978-84-692-2929-3.

Oksman, K. & Sain, M. (2008). Wood-polymer Composites. Woodhead Publishing Limited.

Pabón, A. & Simbaña, G. (2006). “Fibras Naturales de la Provincia de Imbabura”, 1ra. ed. Ibarra, Ecuador: AM Press.

Pickering, K. (2008). Properties and performance of natural-fibre composites. Estados Unidos: Woodhead Publishing Limited.

Pontón, P. (2009). “Estudio del efecto de encolado de fibra de abacá en el mejoramiento de su capacidad de tisaje”. Quito, Ecuador: Tesis EPN.

Sanjay, K. (2002). “Composites manufacturing, Materials, Product, and Process Engineering”. Estados Unidos: CRC Press,

Smith, W. (2004). Ciencia e Ingeniería de Materiales. McGraw-Hill. 3ra edición.

Villacís, H. (2011). “Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzados con fibra de vidrio y abacá mediante estratificación”. Quito, Ecuador: Tesis EPN.

## LINKGRAFÍA

- ABACA, V. (2010). *Abaca*. Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de [http://vidriosabaca.blogspot.com/2010/09/marco-teorico\\_07.html](http://vidriosabaca.blogspot.com/2010/09/marco-teorico_07.html)
- Borealis AG*. (s.f.). Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/55077-Los-compuestos-PP-de-fibra-larga-conducen-la-innovacion-en-el-sector-de-automovil.html>
- Cadena Productiva Sostenible de la Fibra de Coco*. (s.f.). Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de <http://fibraztech.com/es/aplicaciones/>
- Científicos, T. (s.f.). *Moldeado*. Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de <http://www.textoscientificos.com/polimeros/moldeado>
- Constructor. (2007). *Extrusion*. Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de <https://constructor.educarex.es/odes/otros/agora2007/PLASTICOSWEB/EXTENSION.html>
- Criterios de convergencia*. (s.f.). Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de <http://www1.ceit.es/asignaturas/estructuras2/criterios%20convergencia.pdf>
- Ecodiseño*. (s.f.). Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de <http://www.ecolaningenieria.com/ingenieria-ambiental/ecodisenio>
- Evalevoh*. (s.f.). Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de <http://www.evalevoh.com/es/applications/automotive/fuel-tanks.aspx>
- FAO. (2009). *El año internacional de las fibras naturales 2009; ¿Por qué naturales?* Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de Abaca: <http://www.naturalfibres2009.org/es/fibras/abaca.html>
- FAO. (s.f.). *FAO*. Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de <http://www.fao.org/docrep/004/y1873e/y1873e0a.htm>
- FIBRAZtech*. (s.f.). Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de <http://fibraztech.com/es/aplicaciones/>
- La Resina*. (s.f.). Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de <https://laresina.wordpress.com/category/accesorios/>
- Materiales*. (s.f.). Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de [http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/pfcm15\\_9\\_2.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/pfcm15_9_2.html)
- Matrasur composites*. (s.f.). Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de [http://www.matrasurcomposites.com/robots\\_projection.php](http://www.matrasurcomposites.com/robots_projection.php)

- Motor, E. M. (2003). *Toyota empleará caña de azúcar para fabricar componentes*. Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de [www.toyota.com](http://www.toyota.com)
- Numerical Microscope for Composites*. (s.f.). Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de <http://www.onera.fr/en/actualites/image-du-mois/zebulon-numerical-microscope-composites>
- Puzzlecarbono*. (s.f.). Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de [http://www.puzzlecarbono.com/plancha-de-carbono-200mm-x-400mm-2mm-de-espesor\\_1776.html](http://www.puzzlecarbono.com/plancha-de-carbono-200mm-x-400mm-2mm-de-espesor_1776.html)
- QUADRANT*. (s.f.). Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de <http://www.quadrantplastics.com/na-es/productos/materiales-compuestos/gmt.html>
- QUADRANT*. (s.f.). Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de <http://www.quadrantplastics.com/na-es/productos/materiales-compuestos/gmt.html>
- QUADRANT*. (s.f.). *GMTEX-R*. Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de <http://www.quadrantplastics.com/na-es/productos/materiales-compuestos/gmtex-R.html>
- QUADRANT*. (s.f.). *SYMALITE-R*. Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de <http://www.quadrantplastics.com/na-es/productos/materiales-compuestos/symalite-R.html>
- technicalcourses. (s.f.). *Cursos Tecnicos*. Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de <http://www.technicalcourses.net/>
- technicalcourses. (s.f.). *Estudio de la aerodinamica de un vehiculo*. Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de [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)
- wikipedia. (s.f.). *Ecodiseño*. Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Ecodise%C3%B1o>
- Wolff, A. (2008). *ABC de los materiales sostenibles*. Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de <http://www.elempaque.com>

# ANEXOS