



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

### **“FABRICACIÓN DE UN RETROVISOR PARA EL VEHÍCULO SUZUKI FORSA CON MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA DE POLIÉSTER Y REFUERZO NATURAL DE CABUYA”**

**LOZA CHÁVEZ ROMEL ALEJANDRO  
PILA ESPINOSA GERMÁN ANDRÉS**

## **TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previa a la obtención del Título de:

## **INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR  
2017**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**2016-10-20**

Yo recomiendo que el Proyecto de Titulación preparada por:

**LOZA CHÁVEZ ROMEL ALEJANDRO  
PILA ESPINOSA GERMÁN ANDRÉS**

---

Titulada:

**“FABRICACIÓN DE UN RETROVISOR PARA EL VEHÍCULO SUZUKI  
FORSA CON MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA DE  
POLIÉSTER Y REFUERZO NATURAL DE CABUYA”**

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

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño.  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Víctor David Bravo Morocho  
**DIRECTOR**

---

Ing. Edison Marcelo Castillo Cárdenas  
**ASESOR**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** LOZA CHÁVEZ ROMEL ALEJANDRO

**TÍTULO DE LA TESIS:** “FABRICACIÓN DE UN RETROVISOR PARA EL VEHÍCULO SUZUKI FORSA CON MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA DE POLIÉSTER Y REFUERZO NATURAL DE CABUYA”

**Fecha de Examinación:** 2017-02-01

### **RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. José Francisco Pérez Fiallos. <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Víctor David Bravo Morocho <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Edison Marcelo Castillo Cárdenas <b>ASESOR DE TESIS</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. José Francisco Pérez Fiallos.  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

## **EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** PILA ESPINOSA GERMÁN ANDRÉS

**TÍTULO DE LA TESIS: “FABRICACIÓN DE UN RETROVISOR PARA EL VEHÍCULO SUZUKI FORSA CON MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA DE POLIÉSTER Y REFUERZO NATURAL DE CABUYA”**

**Fecha de Examinación:** 2017-02-01

### **RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. José Francisco Pérez Fiallos. <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Víctor David Bravo Morocho <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Edison Marcelo Castillo Cárdenas <b>ASESOR DE TESIS</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. José Francisco Pérez Fiallos.  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de titulación que presentamos, es original y basado en proyecto técnico establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-técnicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Romel Alejandro Loza Chávez

---

Germán Andrés Pila Espinosa

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Romel Alejandro Loza Chávez y Germán Andrés Pila Espinosa, declaramos que el presente trabajo de grado es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

Romel Alejandro Loza Chávez  
Cédula de Identidad: 060414110-1

---

Germán Andrés Pila Espinosa  
Cédula de Identidad: 171859346-8

## **DEDICATORIA**

A mis padres y hermanos, por su gran ejemplo de superación y apoyo en todo momento desde el inicio de mis estudios universitarios.

A mi compañero de proyecto Germán Pila Espinosa y a mis amigos quienes fueron un gran apoyo emocional y por su colaboración desinteresada durante el tiempo en que escribía este proyecto.

A mi director de tesis el Ing. David Bravo Morocho por su tutoría siempre dispuesta y su orientación para el desarrollo de la presente.

Para ellos es esta dedicatoria, pues es a ellos a quienes se las debo por su apoyo incondicional.

**Romel Loza Chávez**

A Dios por haberme dado la fuerza para seguir adelante. A mi padre por ser un pilar fundamental en mi formación personal y profesional, por su apoyo constante e incondicional y no haberme abandonado en los momentos duros de mi vida; esta ingeniería es dedicada especialmente para ti porque la luchamos y la vivimos juntos.

A Roció, mi madre que ha sabido criarme, formarme, darme valores y su apoyo incondicional en la cual no sabría dónde estaría; no va haber manera de devolverte tantas cosas que me has ofrecido. A mis hermanas por estar junto a mí y brindarme apoyo y compartir momentos de alegría, tristeza y demostrarme que siempre puedo contar con ellas.

**Germán Pila Espinosa**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento se dirige a quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el sendero correcto, a Dios, el que en todo momento está conmigo ayudándome a aprender de mis errores y a no cometerlos otra vez. Eres quien guía el destino de mi vida.

La universidad me dio la bienvenida al mundo como tal, las oportunidades que me ha brindado son incomparables, y antes de todo esto ni pensaba que fuera posible que algún día si quiera me encontrara con una de ellas.

Agradezco mucho por la ayuda de mis maestros, mis compañeros y a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por formarme como persona y profesional, en general por todo lo anterior en conjunto con todos los copiosos conocimientos que me han otorgado.

**Romel Loza Chávez**

A mi director y asesor de tesis por sus conocimientos, su orientación, su buena manera de trabajar, así como a Romel Loza y su familia por formar parte de la realización de este proyecto de titulación tanto moralmente como económicamente.

A mi familia, amigos y a esa persona especial por su apoyo, poder contar con ustedes en los momentos difíciles y alentarme a superarme como profesional.

**Germán Pila Espinosa**

## CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Justificación y Actualidad .....	1
1.2 Problema.....	1
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 <i>Objetivo General</i> .....	2
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	2
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Análisis de retrovisores en vehículos de cuatro ruedas.....	3
2.1.1 <i>Principales funciones del retrovisor</i> .....	3
2.2 Materiales compuestos .....	5
2.3 Importancia de los materiales compuestos.....	5
2.4 Categorización de los materiales compuestos.....	6
2.4.1 <i>Compuestos reforzados con fibras</i> .....	7
2.5 Constitución del material compuesto .....	7
2.6 Matriz .....	8
2.6.1 <i>Propiedades de las matrices</i> .....	8
2.7 Tipos de matriz.....	9
2.8 Refuerzo .....	9
2.8.1 <i>Refuerzo por fibras</i> .....	9
2.8.2 <i>Cantidad y orientación de la fibra (refuerzo)</i> .....	10
2.8.3 <i>Regla de mezclas en los compuestos reforzados por fibras</i> .....	11
2.9 Materiales compuestos con matriz polimérica y refuerzos naturales.....	12
2.10 Categorización de las fibras naturales .....	12
2.10.1 <i>Propiedades mecánicas de las fibras naturales</i> .....	13
2.10.2 <i>Avances tecnológicos de los materiales compuestos reforzados con fibras naturales</i> .....	14
2.10.3 <i>Fibras naturales en Ecuador</i> .....	15
2.10.3.1 <i>Cabuya</i> .....	15
2.10.3.2 <i>Abacá</i> .....	16
2.10.3.3 <i>Curauá</i> .....	16
2.10.3.4 <i>Yute</i> .....	17
2.10.3.5 <i>Coco</i> .....	17
2.10.4 <i>Tipos de tejidos</i> .....	18
2.11 Interfaz .....	20
2.12 Resinas .....	21
2.12.1 <i>Resinas Poliéster</i> .....	21
<b>3. MODELACIÓN DE LAS TRES GEOMETRÍAS DE RETROVISORES EN SOLIWORKS DISEÑO 3D</b>	
3.1 Modelado de retrovisores mediante CAD.....	22
3.2 Modelado primera geometría (MOD_0) .....	22
3.3 Modelado segunda geometría.....	23
3.4 Modelado tercera geometría.....	24

<b>4.</b>	<b>SIMULACIÓN DE LAS GEOMETRÍAS DE RETROVISORES MEDIANTE EL MÉTODO DE VOLÚMENES FINITOS</b>	
4.1	Análisis de geometrías de los retrovisores .....	26
4.2	Proceso de análisis aerodinámico DFC .....	26
4.2.1	<i>Creación de túnel de viento virtual</i> .....	26
4.2.2	<i>Creación de malla</i> .....	26
4.2.3	<i>Validación de Malla</i> .....	27
4.2.4	<i>Definición de parámetros del túnel de viento</i> .....	29
4.2.5	<i>Solución</i> .....	30
4.2.6	<i>Resultados aerodinámicos</i> .....	30
4.3	Análisis estático.....	35
4.3.1	<i>Pre proceso</i> .....	35
4.3.1.1	<i>Definir material</i> .....	35
4.3.1.2	<i>Densidad para el material compuesto</i> .....	35
4.3.1.3	<i>El módulo de Young para el material compuesto</i> .....	36
4.3.1.4	<i>El coeficiente de Poisson para materiales compuestos</i> .....	36
4.3.1.5	<i>Definir mallado</i> .....	38
4.3.1.6	<i>Definir restricciones y cargas</i> .....	40
4.3.2	<i>Proceso</i> .....	41
4.3.3	<i>Post proceso</i> .....	41
4.4	Determinación de modelo óptimo .....	43
<b>5.</b>	<b>FABRICACIÓN DEL RETROVISOR MEDIANTE MATERIAL COMPUESTO Y REFUERZO NATURAL</b>	
5.1	Procesos de fabricación del material compuesto.....	45
5.1.1	<i>Estratificación manual</i> .....	45
5.1.2	<i>Curado de la resina poliéster</i> .....	46
5.2	Materiales a utilizar en la construcción del material compuesto .....	47
5.2.1	<i>Materiales</i> .....	47
5.2.1.1	<i>Resina poliéster</i> .....	47
5.2.1.2	<i>Estireno</i> .....	47
5.2.1.3	<i>Meck</i> .....	47
5.2.1.4	<i>Octoato de Cobalto</i> .....	47
5.2.1.5	<i>Cera desmoldante</i> .....	47
5.2.1.6	<i>Cabuya</i> .....	48
5.3	Obtención del retrovisor a partir de matriz polimérica y refuerzo de cabuya	48
5.3.1	<i>Construcción del prototipo</i> .....	49
<b>6</b>	<b>ANÁLISIS COMPARATIVOS MEDIANTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS CON EL RETROVISOR EXISTENTE EN EL MERCADO</b>	
6.1	Ensayos destructivos .....	54
6.1.1	<i>Ensayo de Tracción</i> .....	54
6.1.2	<i>Ensayo de Flexión</i> .....	55
6.1.3	<i>Ensayo de impacto</i> .....	56
6.1.4	<i>Ensayo de Dureza</i> .....	57
6.2	Ensayos no destructivos .....	57
6.2.1	<i>Ensayo aerodinámico en el túnel de viento</i> .....	57
6.2.2	<i>Ensayo con tintas penetrantes</i> .....	57
6.3	Características mecánicas del material real del retrovisor Suzuki forsa .....	58

6.4	Análisis comparativo del retrovisor fabricado con el retrovisor existente en el mercado .....	62
6.4.1	<i>Definición de los indicadores</i> .....	63
6.4.2	<i>Criterio de Evaluación</i> .....	64
6.4.2.1	<i>Valoración cualitativa y cuantitativa</i> .....	64
6.4.2.2	<i>Escala de valoración cualitativa y cuantitativa para los parámetros</i> .....	64
6.4.3	<i>Análisis de los parámetros de comparación</i> .....	65
6.4.3.1	<i>Masa</i> .....	65
6.4.3.2	<i>Materia Prima</i> .....	67
6.4.3.3	<i>Propiedades de dureza</i> .....	69
6.4.3.4	<i>Propiedades de impacto</i> .....	71
6.4.3.5	<i>Tiempo</i> .....	73
6.4.4	<i>Puntajes Alcanzados</i> .....	75
6.4.5	<i>Resultados generales por parámetros</i> .....	76
6.5	Análisis de precios .....	78
6.5.1	<i>Precios directos</i> .....	78
6.5.2	<i>Precios indirectos</i> .....	80
6.5.3	<i>Precios genereales</i> .....	80
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
7.1	Conclusiones .....	81
7.2	Recomendaciones .....	82

## **BIBLIOGRAFIA**

## **ANEXOS**

## **PLANOS**

## LISTAS DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1	Categorización de los materiales compuestos ..... 6
2	Categorización de las fibras y localización en la planta..... 13
3	Caracterización de las fibras naturales comparadas con fibras reforzadas..... 14
4	Propiedades mecánicas de la cabuya ..... 16
5	Valores malla skewness y orthogonal quality de MOD_0 ..... 28
6	Valores malla skewness y orthogonal quality de MOD_1 ..... 28
7	Valores malla skewness y orthogonal quality de MOD_2 ..... 29
8	Parámetros iniciales ..... 30
9	Resultados aerodinámicos de MOD_0 ..... 32
10	Resultados aerodinámicos de MOD_1 ..... 33
11	Resultados aerodinámicos de MOD_2 ..... 34
12	Resultado de módulo de elasticidad ..... 36
13	Calidad de malla element quality MOD_0 ..... 39
14	Calidad de malla element quality MOD_1 ..... 39
15	Calidad de malla element quality MOD_2 ..... 40
16	Resultados de análisis estático MOD_0 ..... 42
17	Resultados de análisis estático MOD_1 ..... 42
18	Resultados de análisis estático MOD_2 ..... 43
19	Resultados de análisis estático a 120 Km/h..... 43
20	Resultados de análisis estático a 200 Km/h..... 44
21	Propiedades mecánicas del polipropileno..... 58
22	Propiedades mecánicas del polipropileno a tracción ..... 59
23	Propiedades mecánicas del polipropileno a flexión ..... 59
24	Propiedades mecánicas del polipropileno al impacto..... 59
25	Propiedades mecánicas del polipropileno a dureza ..... 59
26	Propiedades aerodinámicas del polipropileno ..... 60
27	Resultados de la caracterización..... 60
28	Criterios y parámetros de valoración para cada retrovisor ..... 62
29	Masa..... 63
30	Materia prima ..... 63
31	Propiedades mecánicas dureza ..... 63
32	Propiedades mecánicas impacto ..... 63
33	Tiempo..... 63
34	Valoración ..... 64
35	Escala de depreciación..... 64
36	Comparación de masa..... 65
37	Resultados del criterio de masa. .... 65
38	Precios del retrovisor. .... 67
39	Resultados del criterio de materia prima. .... 67
40	Equivalencia de valores ..... 69
41	Resultados del criterio de dureza..... 69
42	Equivalencia de valores ..... 71
43	Resultados del criterio de impacto..... 71
44	Equivalencia de valores ..... 73
45	Resultados del criterio de tiempo ..... 73
46	Resultados obtenidos en el análisis ..... 76

47	Resultados generales por parámetro .....	77
48	Materia prima del molde de retrovisor.....	79
49	Materiales y precios construcción modelo de retrovisor .....	79
50	Precios indirectos.....	80
51	Precios totales .....	80

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1 Progreso de los materiales de compuestos .....	5
2 Constitución de un material compuesto.....	7
3 Componentes de los materiales compuestos .....	8
4 Categorización de los refuerzos por fibras .....	10
5 Representaciones esquemáticas de compuestos reforzados con fibras.....	11
6 Planta de cabuya .....	15
7 Planta de abacá .....	16
8 Planta de curauá.....	17
9 Planta de yute.....	17
10 Fibra de coco .....	18
11 Esquema de un tejido.....	18
12 Distribución del tejido plano .....	19
13 Tipos de tejido diagonal .....	19
14 Distribución tejido tipo satén.....	20
15 Vistas de retrovisor MOD_0.....	22
16 Vistas en corte de retrovisor MOD_0.....	23
17 Vistas de retrovisor MOD_1.....	23
18 Vistas en corte de retrovisor MOD_1 .....	24
19 Vistas de retrovisor MOD_2.....	24
20 Vistas en corte de retrovisor MOD_2.....	25
21 Dimensiones del túnel aerodinámico.....	26
22 Malla de MOD_0.....	27
23 Criterio de malla Skewness y Orthogonal Quality .....	27
24 Parámetros de túnel de viento.....	29
25 Contorno de presión del análisis y simulación aerodinámica MOD_0 .....	31
26 Contorno de velocidad del análisis y simulación aerodinámica MOD_0 .....	31
27 Trayectoria de velocidad del análisis y simulación aerodinámica MOD_0 .....	31
28 Contorno de presión del análisis y simulación aerodinámica MOD_1 .....	32
29 Contorno de velocidad del análisis y simulación aerodinámica MOD_1 .....	32
30 Trayectoria de velocidad del análisis y simulación aerodinámica MOD_1 .....	33
31 Contorno de presión del análisis y simulación aerodinámica MOD_2 .....	33
32 Contorno de velocidad del análisis y simulación aerodinámica MOD_2 .....	34
33 Trayectoria de velocidad del análisis y simulación aerodinámica MOD_2 .....	34
34 Propiedades de las resinas epoxi y poliéster en los materiales compuestos.....	37
35 Propiedades del material compuesto de fibra de cabuya.....	38
36 Malla en Static Structural .....	38
37 Criterio de calidad de malla Element Quality .....	39
38 Restricciones y cargas en MOD_0 .....	40
39 Restricciones y cargas en MOD_1 .....	41
40 Restricciones y cargas en MOD_2 .....	41
41 Proceso de curado de la resina poliéster .....	46
42 Resina poliéster.....	47
43 Cera desmoldante .....	48
44 Retrovisor con cera desmoldante.....	50
45 Molde base del retrovisor lateral .....	50
46 Molde de fibra de vidrio .....	51

47	Gel coat para moldes .....	51
48	Fibra de cabuya cortada .....	52
49	Desmolde del prototipo .....	52
50	Acabado superficial del retrovisor .....	53
51	Retrovisor fondeado .....	53
52	Retrovisor Terminado .....	53
53	Dimensiones de la probeta de tracción .....	54
54	Dimensiones de la probeta de flexión.....	55
55	Dimensiones de la probeta de impacto .....	56
56	Resultados de masa del retrovisor .....	66
57	Resultados de materia prima del retrovisor .....	68
58	Resultados de propiedad de dureza del retrovisor .....	70
59	Resultados de propiedad de impacto del retrovisor.....	72
60	Resultados de durabilidad de los materiales del retrovisor .....	74
61	Resultados generales por Parámetros .....	77
62	Resultados generales de los resultados finales .....	78

## SIMBOLOGÍA

$C_d$	Coefficiente de arrastre
$C_l$	Coefficiente de sustentación
$C_m$	Coefficiente lateral
$\sigma_{\max}$	Esfuerzo máximo
$\rho_c$	Densidad del material compuesto.
$\rho_m$	Densidad de la matriz
$\rho_f$	Densidad de la fibra
$f_m$	Fracción Volumétrica de la matriz
$f_f$	Fracción volumétrica de la fibra
$\mu$	Coefficiente de Poisson
$V$	Fracción volumétrica

## LISTA DE ABREVIACIONES

ASTM	Sociedad Estadounidense para pruebas y materiales
DFC	Dinámica de fluidos computacional
MEF	Método de elementos finitos
CAM	Manufactura asistida por computadora
CAD	Dibujo asistido por computadora
F.C.L	Fibra de cabuya larga
T.C.N	Tejido de cabuya normal
ANOVA	Análisis de varianza
MECK	Peróxido de metil etil cetona
M.O.D_0	Modelo de retrovisor original
M.O.D_1	Modelo de retrovisor 1
M.O.D_2	Modelo de retrovisor 2

## LISTA DE ANEXOS

A	Norma ASTM – E10-15 (Dureza Brinell)
B	Norma ASTM – E165/E165M-12 (Líquidos penetrantes)
C	Norma ASTM – D7264/D726M-07 (Flexión)
D	Norma ASTM – D3039/D3039M-00 (Tracción)
E	Norma ASTM – D6110-04 (Impacto)
F	Análisis de probetas a tracción F. L. C. 30 %
G	Análisis de probetas a flexión F. L. C. 30 %
H	Análisis de probetas a impacto F. L. C. 30 %
I	Análisis de dureza F. L. C. 30 %
J	Análisis aerodinámico F. L. C. 30 %
K	Análisis de tintas penetrantes F. L. C. 30 %

## **LISTA DE PLANOS**

- A Molde de retrovisor
- B Retrovisor modelo 0
- C Retrovisor modelo 1
- D Retrovisor modelo 2

## RESUMEN

El presente proyecto pretende fabricar un retrovisor para el vehículo Suzuki Forsa con material compuesto de matriz polimérica poliéster y refuerzo natural de cabuya. El modelado de los retrovisores se realizó en un software CAD, en el cual se bosquejó tres tipos de modelos para así determinar el modelo óptimo considerado para la fabricación con material compuesto al 30% de fibra de cabuya y 70% de resina poliéster. Mediante dinámica de fluidos computacional DFC se determinó que el modelo MOD\_0 cumple con todas las características necesarias, puesto que presenta un coeficiente de arrastre inferior a los otros dos dando un valor de 0.53 siendo el más aerodinámico; de igual manera el valor del esfuerzo máximo es inferior de 0.982 MPa, su deformación total es mínima en comparación a los otros modelos de 0.099 mm y finalmente su factor de seguridad mínimo es de 15 siendo el modelo que se utilizó para la fabricación. Seguidamente se procede a la construcción del modelo de retrovisor mediante estratificación manual. Para comprobar que el nuevo modelo de retrovisor fabricado de material compuesto es el óptimo, se realizó los ensayos de tipo destructivo y no destructivo en él que se tabularon los datos de peso, costo, dureza, resistencia al impacto y durabilidad siendo estos 0.455g, 10 USD, 25.53HB, 5.2 J y 50 años respectivamente los resultados obtenidos en el laboratorio de resistencia de materiales servirán para realizar el análisis comparativo con el retrovisor que se encuentra actualmente en el mercado. Representando una competencia directa ya que significa una nueva tecnología con menor costo, mejor calidad, excelentes propiedades de impacto y dureza y sobre todo amigable con el medio ambiente por su tiempo de biodegradación.

PALABRAS CLAVE: < DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADOR (CAD) >, < DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (DFC) >, < CABUYA (AGAVE) >, < RETROVISOR >, < MATRIZ POLIMÉRICA >, <SUZUKI FORSA (MARCA) >, < AERODINÁMICO >, < BIODEGRADACIÓN>.

## ABSTRACT

The present project aims to produce a rear-view mirror for vehicle Suzuki Forsa with composite material of polymeric matrix polyester. The modeling of the rear-view mirrors was realized in a software CAD, in which outline three types of models to determine the model optimal considered for the manufacture with composite material to 30% fiber of agave and 70% of polyester resin. Using computational fluid dynamics DFC, was determined that the MOD\_0 model complies with all the necessary features, since presents a drag coefficient lower to the other two giving a value of 0.53 being the most aerodynamic; in the same way the value of the lower maximum effort of 0.982 MPa, total deformation is minimal in comparison to the other models of 0.099 mm and finally its minimal factor of safety of 15 being the model that was used for the manufacture. Then proceed to the construction of the model of the rear-view mirror by manual stratification, it was realized the essays of destructive and not destructive type in which data were tabulated of weight, cost, hardness, impact resistance to impact and durability, being these 0.455g, 10 USD, 25.53HB, 5.2 J and 50 years respectively, the results obtained in the laboratory of strength of materials will serve to carry out the comparative analyses with the rear-view mirror that is currently on the market. Representing a direct competition since it means a new technology with lower cost, better quality, excellent properties of impact and hardness and especially friendly with the environment by their time of biodegradation.

KEY WORDS: < COMPUTER AIDED DESIGN (CAD) >, < COMPUTER FLUID DYNAMICS >, < AGAVE >, < REAR-VIEW MIRROR >, < POLYMERIC MATRIX >, < SUZUKI FORSA (BRAND) >, < AERODYNAMIC >, < BIODEGRADATION >.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Justificación y Actualidad

Las Partes y piezas del automóvil son en la actualidad compuestos de materiales que ayudan a mejorar sus elementos, tanto como su calidad, peso y robustez. Como refuerzo en los materiales compuestos se pretende obtener un material con mejores propiedades mecánicas para la obtención del retrovisor. (Mohanty A. et al., 2009).

El presente proyecto de titulación busca dar continuación a la tesis de grado titulada: “APLICACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS PARA LA FORMACIÓN DE GUARDABARROS Y TAPAS LATERALES DE UNA MOTO DE 125 CC, 4 TIEMPOS. Presentada por: Joffre Marcelo Tixe Subina y Jonathan David Vistin Bastidas. 2015, en la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH.

El objetivo principal es proporcionar a la Escuela de Ingeniería Automotriz de información e investigación sobre el uso de materiales compuestos en autopartes de automóviles teniendo en cuenta potenciar su propia inserción en la ejecución de las empresas especulativas a través de la expansión del segmento nacional innovador en la generación de estas partes.

Este proyecto de titulación se extiende a todos los deseos de aprendizaje y compromiso para los estudiantes de la profesión de Ingeniería Automotriz de la Escuela Politécnica Superior de Chimborazo, y a lo largo de estas líneas de investigación se marcan las pautas y la ruta hacia excelencia del Ingeniero Automotriz de la ESPOCH

### 1.2 Problema

Como se sabe, no existe ningún tipo de refuerzo natural en los retrovisores de vehículos comerciales y esto se debe a la escasa investigación para obtener nuevos elementos que creen mejoras, con menor costo y mejor calidad. Afortunadamente en la localidad existen materiales que se pueden utilizar para dicha fabricación.

Mediante la utilización de una matriz polimérica y refuerzo natural de cabuya se pretende obtener retrovisores que cumplan con las condiciones de trabajo como: Cambios Climáticos, Intemperie, Fuerzas aerodinámicas etc. Reduciendo el impacto ambiental, bajo los conocimientos de ingeniería.

### **1.3       Objetivos**

#### *1.3.1       Objetivo General*

Fabricar un retrovisor para el vehículo Suzuki Forsa con material compuesto de matriz polimérica poliéster y refuerzo natural de cabuya.

#### *1.3.2       Objetivos Específicos*

- ◆ Dirigir una investigación hipotética sobre materiales compuestos con fortificación natural empleados en fabricación de retrovisores mediante revisión bibliográfica.
- ◆ Diseñar tres geometrías del retrovisor con un software CAD, para su posterior simulación.
- ◆ Simular las geometrías de los retrovisores con el método de volúmenes finitos en un software CAM y seleccionar el de mejor comportamiento aerodinámico, para su posterior manufactura.
- ◆ Fabricar el retrovisor con material compuesto y refuerzo natural utilizando el método de estratificación manual para su posterior estudio.
- ◆ Realizar un análisis comparativo de peso, costo, dureza, y durabilidad con el retrovisor existente en el mercado mediante ensayos destructivos y no destructivos.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Análisis de retrovisores en vehículos de cuatro ruedas

Los retrovisores son mucho más complejos de lo que pueda parecer. Un retrovisor original pasa por cientos de test diferentes de funcionamiento y ambientales. (MOPAR, 2013)

Las innovaciones diseñadas para mejorar la seguridad van acompañadas por investigación en soluciones accesorias muy sofisticadas, incluyendo sensores de temperatura, calentamiento del cristal, abatibles eléctricamente, indicador de dirección integrado y memoria de posición (MOPAR, 2013).

Los espejos retrovisores son un tipo funcional de espejos que poseen todo automóvil, tanto al lado derecho como izquierdo del mismo y uno en el interior del vehículo.

Estos elementos están diseñados para ayudar al conductor a ver el área o espacio que se encuentra atrás del vehículo y lo más importante ayuda al conductor a ver el tráfico a la derecha e izquierda del vehículo. Los espejos retrovisores internos y el espejo lateral del lado del conductor son específicamente requeridos por la legislación que no sean provistos de magnificación y por lo tanto son convexos (MOPAR, 2013).

El conductor se encuentra ubicado tan próximo a estos espejos como para con un desplazamiento de su cabeza poder expandir en forma apropiada su campo de visión. En cambio el espejo lateral del lado del acompañante se encuentra ubicado lo suficientemente lejos como para que el campo visual sea fijo, por más que el conductor mueva su cabeza y por lo tanto un espejo convexo es deseable para expandir el campo visual. (STANDARD NO 111 MIRRORS REARVIEW, 1993)

##### 2.1.1 *Principales funciones del retrovisor*

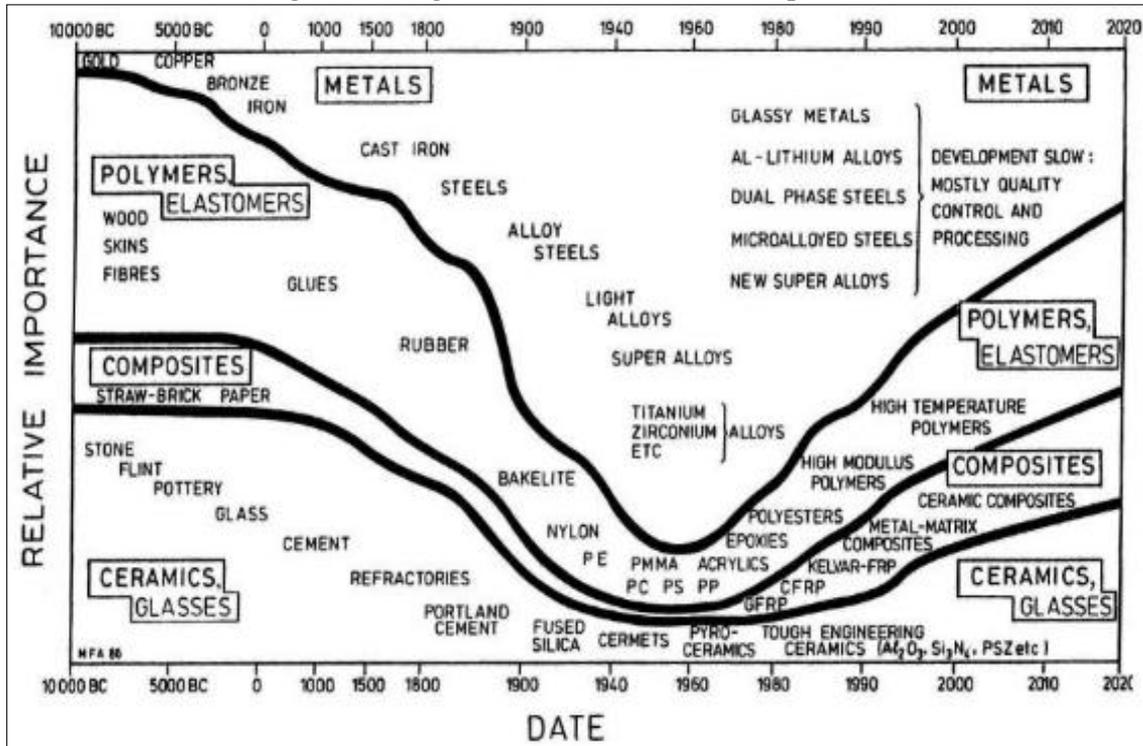
El retrovisor tiene diversas funciones como las que se muestran a continuación:

- **Visión:** Tu visión está garantizada por la superficie reflectante, hecha de vidrio convexo, para ampliar el campo de visión. Una pieza de cristal con dos radios de curvatura minimiza los ángulos muertos. En el pasado, los espejos incrementaban el ancho y alto del vehículo reflejado; hoy, todos los vehículos cuentan con retrovisores a ambos lados (MOPAR, 2013).
- **Ajuste:** El ajuste es lo que haces cuando entras en el vehículo, para optimizar tu visión y minimizar las obstrucciones a los lados del vehículo. A lo largo del tiempo, el ajuste ha evolucionado de manual a mecánico, controlando el retrovisor mediante un regulador interior y a través de cables mecánicos conectados a sus componentes. Hoy en día el ajuste es principalmente eléctrico, a través de un mando para controlar un pequeño motor eléctrico que ajusta sólo la superficie reflectante, no la carcasa (MOPAR, 2013).
- **Abatible:** Esta función permite abatir los retrovisores para cerrarlos y evitar daños en personas o cosas o para completar maniobras en sitios estrechos. Los retrovisores pueden abatirse manual o eléctricamente, utilizando el mismo mando de ajuste del espejo, que también controla el plegado (MOPAR, 2013).
- **Estructura:** Los retrovisores originales están diseñados utilizando materiales estructurales, incluyendo tanto plástico como metal. Esto protege de las vibraciones, asegura la estabilidad de la imagen reflejada y mejora la seguridad y confort. La solidez estructural está asegurada por los minuciosos cálculos realizados durante la fase de diseño (MOPAR, 2013).
- **Estilo:** El estilo de los retrovisores se ajusta al vehículo. Para conservar las cualidades estéticas en el tiempo, los materiales usados para los recambios originales cumplen todos los requisitos para resistir la luz solar, lluvia y variaciones de temperatura. Para minimizar el ruido del viento, se utilizan guarniciones alrededor del área del espejo que se une a la puerta; estas guarniciones también tienen su valor estético (MOPAR, 2013).
- **Iluminación:** Los retrovisores también pueden incorporar los indicadores de dirección con bombillas o LED (MOPAR, 2013).

## 2.2 Materiales compuestos

Un material compuesto es la combinación o formación de dos o más materiales para obtener como resultado otro material con diferentes propiedades y características que se diferencian en su forma y composición original, sin que exista reacción química entre ellos. (NEWELL, 2011 pág. 226)

Figura 1. Progreso de los materiales compuestos



Fuente: (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015 pág. 9)

Los materiales compuestos son una gran elección para diversas aplicaciones en la ingeniería, por lo que se busca nuevos materiales que brinden mejores características, con menos costos que ayude a la economía, brindando a las empresas con alta capacidad de producción en serie. (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015)

## 2.3 Importancia de los materiales compuestos

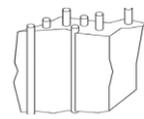
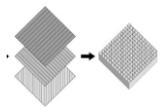
En los últimos 50 años los plásticos y los cerámicos han sido los materiales predominantes dentro del mercado; últimamente los composites han tenido un gran volumen de producción por lo que se han ido abriendo paso en nuevas industrias y mercados.

Existen varias razones para que los materiales compuestos estén ganando terreno a nivel global, y esto se debe fundamentalmente a que son muy resistentes y más livianos a comparación de otros materiales; ya que pueden ser un gran reemplazo de materiales ampliamente usados como son el acero y el aluminio y en muchas ocasiones has con mejor rendimiento. Por otro lado, la importancia económica de la utilización de los materiales compuestos viene ligada a empresas de alto volumen de mercado. Un claro ejemplo es la industria automotriz, la misma que emplea grandes cantidades de compuestos, los cuales se generan principalmente con matrices poliméricas reforzadas con fibras (GUERRERO V.H. et al. , 2011).

## 2.4 Categorización de los materiales compuestos

La gran variedad de tecnologías modernas necesitan de materiales con una combinación no habitual de propiedades por sus grandes requerimientos, imposible de conseguir con los metales, los cerámicos y los polímeros convencionales. (CALLISTER, 2014 pág. 532).

Tabla 1. Categorización de los materiales compuestos

Categoría de compuesto	Definición	Representación	Ejemplo
<b>Reforzados con fibras</b>	Compuestos en el que un material se forma de la matriz externa y transfiere cualquier carga aplicada a las fibras		Compuesto Epóxico Kevlar
<b>De partículas</b>	Compuestos que contienen grandes números de partículas gruesas para reforzar la matriz		Concreto
<b>Laminares</b>	Compuestos que se hace al alternar juntas con un adhesivo capas de distintos materiales		Madera contrachapada

Fuente: (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015)

Para Callister la clasificación de los materiales compuestos está dada en función del tipo de matriz y el tipo de refuerzo este se clasifica en tres partes principales, compuestos reforzados con partículas, compuestos reforzados con fibras y compuestos estructurales, en los que existen dos subdivisiones para cada una de ellas (CALLISTER, 2014 pág. 534).

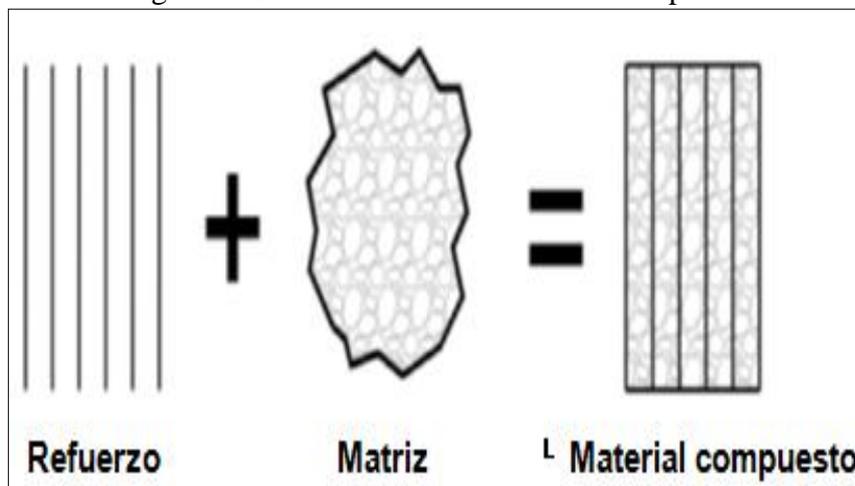
2.4.1 *Compuestos reforzados con fibras.* Desde un punto de vista los compuestos más importantes son aquellos que están formados por fibras ya que la mayoría de ellos alcanza una mejor resistencia a la fatiga, rigidez y relación resistencia peso. (GUERRERO V.H. et al. , 2011)

Los compuestos reforzados con fibras consiste de dos fases: la fibra y la matriz. El rol de la fibra es soportar cargas relevantes de tracción en la dirección longitudinal, la matriz rodea las fibras las orienta para optimizar su desempeño colectivo, protege los ataques ambientales y les trasfiere la carga (NEWELL, 2011 pág. 227).

## 2.5 Constitución del material compuesto

Los materiales compuestos están constituidos por dos o más fases por lo que se le denomina multifásico proporcionando propiedades y características diferentes a las de sus constituyentes. Estos compuestos se utilizan para lograr las combinaciones de propiedades como lo son: disminuir el peso, rendimiento a alta temperatura, alta resistencia (GUERRERO V.H. et al. , 2011 págs. 49-50).

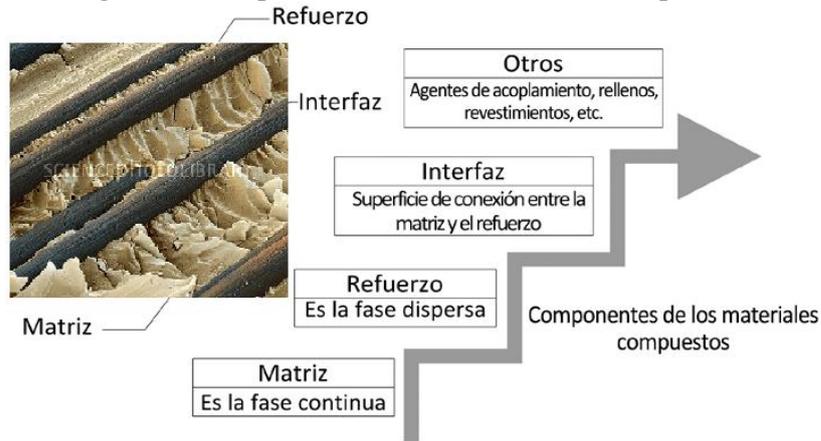
Figura 2. Constitución de un material compuesto



Fuente: (Mazumdar, 2002)

Se obtienen mediante la selección de componentes, de acuerdo a la proporción, distribución, morfología de los mismos, así como por su estructura y composición de la interfaz. (GUERRERO V.H. et al. , 2011 págs. 50-51); (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015)

Figura 3. Componentes de los materiales compuestos



Fuente: <http://www.sciencephoto.com/image/10002/530wm>

## 2.6 Matriz

La matriz o denominada fase continua la cual comprende y sostiene los elementos de refuerzo, brindándole consistencia y continuidad al material; distribuye los esfuerzos entre las fibras y las mantiene unidas (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015).

Las funciones de la matriz son:

- Transferir las tensiones al refuerzo
- Preservar y brindar cohesión
- Resguarda al refuerzo contra la humedad

2.6.1 *Propiedades de las matrices.* En un material compuesto la matriz debe presentar propiedades tales que brinden al elemento mejores características para su construcción. Estas propiedades son:

- Mantiene a las fibras en una posición correcta protegiéndolas de sufrir daños durante su construcción (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015).
- No permite la formación de grieta en las fibras del compuesto (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015).
- ◆ Es responsable de controlar propiedades eléctricas, el comportamiento químico y temperaturas elevadas del compuesto (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015).

## 2.7 Tipos de matriz

Para la fabricación de materiales compuestos existen diferentes tipos de matrices a continuación se presentan los más importantes:

- Metálica
- Cerámica
- Polimérica

## 2.8 Refuerzo

Es la fase dispersa que se agrega a la matriz para proporcionar a la matriz características y propiedades que no posee. Los refuerzos con fibras son más resistentes, rígidas y de poco peso. Si el compuesto es utilizado a elevadas temperaturas también la fibra deberá tener una temperatura alta de fusión, por lo que el módulo y resistencia específica son características importantes de la fibra (STUPENENGO, 2011 pág. 9).

Los refuerzos se los puede encontrar en tres diferentes tipos detallados a continuación:

- Particulados
- Elementos estructurales
- Fibras

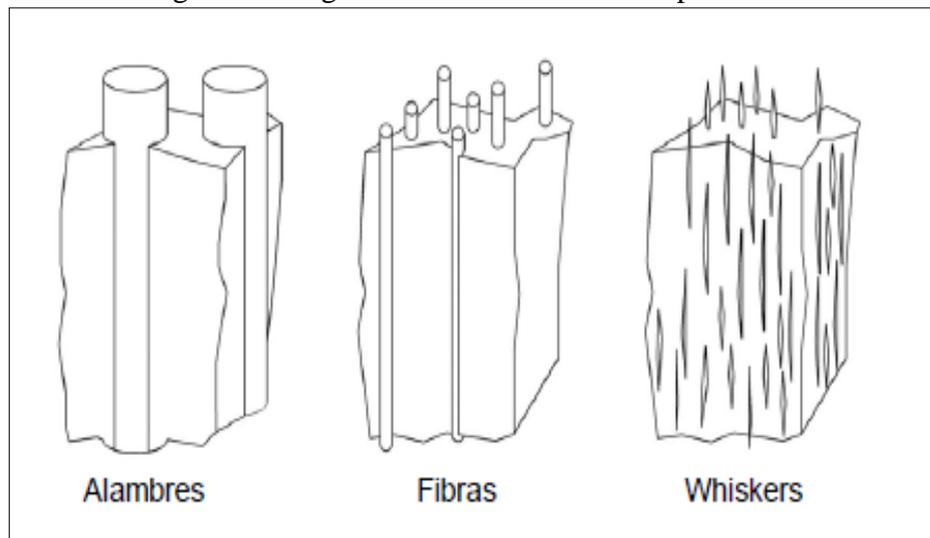
2.8.1 *Refuerzo por fibras.* Es un refuerzo de los más utilizados, ya que por su abundancia y la utilización que ha tenido desde hace mucho tiempo lo hace tan apetecible en las industrias para refuerzos en materiales compuestos por su resistencia y ayuda al medio ambiente. (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015)

Son los más importantes ya que la mayoría de estos materiales se utilizan como refuerzo, alcanzan una mejor resistencia a la rigidez, fatiga y relación resistencia- peso. (ASKELAND, 1998)

La fibra soporta la mayor parte de la fuerza aplicada transmitida por el material de la matriz. (ASKELAND, 1998 pág. 517)

Los refuerzos por fibras se catalogan en:

Figura 4. Categorización de los refuerzos por fibras



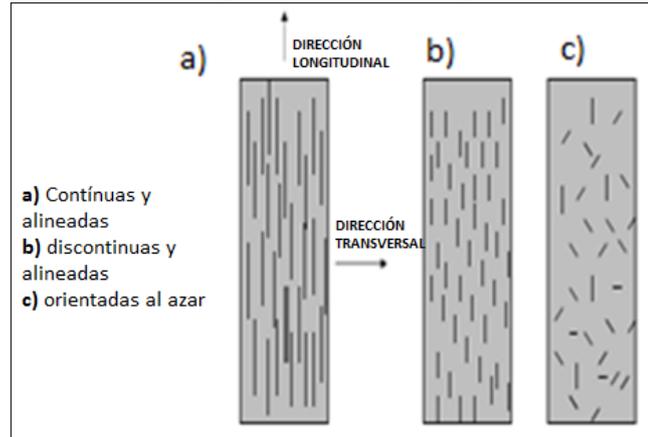
Fuente: (GUERRERO V.H. et al. , 2011)

Las fibras son materiales policristalinos o amorfos con diámetros pequeños y gran longitud, son generalmente polímeros y cerámicos. (GUERRERO V.H. et al. , 2011 págs. 56-57)

2.8.2 *Cantidad y orientación de la fibra (refuerzo).* De acuerdo a la fracción volumétrica de la fibra el desempeño del compuesto varía ya que las fibras son las encargadas de soportar la carga aplicada. “Según Askeland la fracción máxima de volumen de la fibra es alrededor del 80%, y si excede esta cantidad el material de la matriz no rodea en su totalidad a la fibra” (ASKELAND, 1998 pág. 522); (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015)

La orientación de las fibras juega un papel importante en el desempeño del compuesto ya que se puede introducir en la matriz en diversas orientaciones. La orientación con fibras cortas son aleatorias y proporcionan las mismas propiedades en todas las direcciones ya que tiene propiedades isotrópicas; por parte de los arreglos con fibras largas unidireccionales tienen más capacidad de reforzamiento en dirección longitudinal ya que las fibras están alineadas en la dirección de la fuerza aplicada, por lo poseen propiedades anisotrópicas. (ASKELAND, 1998 pág. 522); (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015)

Figura 5. Representaciones esquemáticas de compuestos reforzados con fibras



Fuente: (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015)

2.8.3 *Regla de mezclas en los compuestos reforzados por fibras.* La regla de mezclas o también conocida como la ley de mezclas es uno de los métodos más utilizados para la obtención del porcentaje de fibras que existe en material compuesto; con esta ley obtenemos la densidad de los compuestos reforzados con fibra.

- Densidad del material compuesto. La siguiente ecuación deduce la relación existente entre masa y volumen del compuesto.

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad (1)$$

Dónde:

$\rho_c$  = Densidad del material compuesto.

$\rho_m$  = Densidad de la matriz

$\rho_f$  = Densidad de la fibra

$f_m$  = Fracción Volumétrica de la matriz

$f_f$  = Fracción volumétrica de la fibra

Se considera que:

$$f_m = 1 - f_f \quad (2)$$

## **2.9 Materiales compuestos con matriz polimérica y refuerzos naturales**

En la actualidad el planeta tierra está cada vez más afectado por la contaminación ambiental existente; por lo que se ha visto necesario promover el uso de tecnologías limpias sin dejar de lado el análisis de los efectos colaterales que implica la producción y el diseño de un nuevo material, por lo que es necesario que el nuevo producto a desarrollarse tenga un estudio previo.

Además, el aspecto económico juega un papel importante ya que con la tecnología adecuada es posible utilizar al reciclaje como una fuente de ingresos. En el proceso de reciclaje intervienen una serie de factores. Principalmente, la facilidad de separación de los materiales descartados, la conservación de las cualidades intrínsecas del producto de origen, los posibles usos del material reciclado y la tecnología necesaria. En este sentido, la utilización de fibras vegetales es de suma importancia, ya que son de origen natural, lo cual imprime ciertas propiedades ecológicas a los materiales compuestos de los que forman parte. (GUERRERO V.H. et al. , 2011)

El Ecuador es uno de los productores de mayores fibras naturales y el uso de los materiales compuestos recién está en sus inicios; pero todo puede cambiar por su gran biodiversidad de la flora y la fauna. Como fibras naturales se tiene la cabuya, el yute, el coco, el abacá, entre otros.

## **2.10 Categorización de las fibras naturales**

Las fibras naturales son filamentos lignocelulósicos compuestos por células largas y delgadas, formando parte de las plantas y animales que cumplen funciones específicas dentro de ellas. (MACIAS, 2006)

- Fibras blandas: Localizados en los tallos de las plantas (lino, yute, cáñamo).
- Fibras duras: Localizadas en las hojas (cabuya, abacá).
- Fibras de superficie: Corresponden a los pelos de las semillas (algodón). (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015)

Tabla 2. Categorización de las fibras y localización en la planta

<b>F. Blandas</b>	<b>F. Duras</b>	<b>F. Superficie</b>	<b>Otras</b>	
Tallo	Hojas	Semilla	Fruto	Caña
Cáñamo	Abacá	Algodón	Palma aceitera	Esparto
Ramio	Sisal	Kapok	Coco	Bejuco
Lino	Cuaruá	Algodoncillo		Bambú
Kenaf	Formio			Bagazo
Yute				

Fuente: (Mohanty A. et al., 2009)

2.10.1 *Propiedades mecánicas de las fibras naturales.* Todas las fibras poseen características diferentes debido a su naturaleza determinando así su utilidad y el momento de aplicar en materiales compuestos. Todas las características mecánicas de las fibras depende de la matriz del material específicamente resistencias a esfuerzos de tracción, flexión e impacto.

Ventajas del material compuesto con fibra natural:

- Sostenibilidad
- Generan un bajo consumo de CO<sub>2</sub>
- Son biodegradables
- Requieren un bajo consumo de energía
- No quedan residuos toxicas al quemarlas
- Su densidad es baja
- Poseen buenas propiedades mecánicas
- No son toxicas ni abrasivas
- Tienen bajo costo (GUERRERO V.H. et al. , 2011 pág. 85)

Desventajas del material compuesto con fibra natural:

- Baja resistencia ala agua
- Alta absorción de agua
- Baja estabilidad dimensional
- Pobre interfaz
- Dureza
- Dificultad en su procesamiento

- Calidad heterogénea
- Demanda y ciclos de suministro variables
- Presentan alta flamabilidad (GUERRERO V.H. et al. , 2011 pág. 85)

Tabla 3. Caracterización de las fibras naturales y fibras reforzadas

<b>FIBRA</b>	<b>DENSIDAD (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Diámetro (μm)</b>	<b>Elongación (%)</b>	<b>Esfuerzo de tensión (Mpa)</b>	<b>Módulo de Young (GPa)</b>
Algodón	1,5-1,6	-	7,8-8,0	287-800	5,5-12,6
Jute	1,3-1,45	25-200	1,16-1,8	393-773	13-26,5
Lino	1,5	-	2,7-3,2	345-1100	27,6
Sisal (Cabuya)	1,45-1,5	50-200	3,0-7,0	468-635	9,4-22
Coco	1,15-1,2	100-450	15-40	131-175	4,0-6,0
Fibra de vidrio-E	2,5	-	2,5	2000-3500	70
Fibra de vidrio-S	2,5	-	2,8	4570	86
Aramidos (normal)	1,4	-	3,3-3,7	3000-3150	63-67
Carbón (estándar)	1,4-1,7	-	1,4-1,8	4000	230-240

Fuente: (PÁEZ MOSCOSO, 2007)

Aunque la fibra de vidrio es más resistente que las fibras naturales, cabe destacar las naturales son un 50% más livianas; lo que se traduce en un aumento de eficiencia del material por lo que para la industria automotriz y aeronáutica es utilizada por la razón que se requiere eficiencia y que sean livianos.

2.10.2 *Avances tecnológicos de los materiales compuestos reforzados con fibras naturales.* El uso de los materiales compuestos reforzados con fibras naturales ha tenido un crecimiento notable a nivel mundial en los últimos 10 años, por lo que se hace apetecible para diferentes industrias y sobre todo en la industria automotriz, donde se busca producir partes y autopartes de vehículos que sean amigables con el medio ambiente y sobre todo que sea rentable para las empresas tanto en producción como en diseño.

Nishino desarrollaron un material de ácido L-Poliláctico (PLLA) reforzado con fibras de kenaf mediante un proceso de pre-impregnación y posterior moldeo por inyección.

La incorporación de fibras de kenaf permitió incrementar significativamente las propiedades mecánicas del PLLA. (GUERRERO V.H. et al. , 2011)

Empresas como Volkswagen, Audi, BMW, Ford, Opel, Mercedes-Benz, entre otras, han incorporado fibras naturales a sus autos, especialmente en los paneles de las puertas y los tableros de instrumentos. Es así que Audi sacó en el 2000 el A2 con cuerpo de aluminio cuyos paneles de las puertas estaban hechos de poliuretano reforzado con un material de lino y sisal. Mercedes-Benz incorporó fibra de coco y de yute a sus vehículos. (GUERRERO V.H. et al. , 2011)

2.10.3 *Fibras naturales en Ecuador.* La demanda que tienen las fibras naturales es muy alta gracias a la conciencia que se ha tomado respecto a la utilización de las fibras sintéticas que tardan más o menos 500 años en degradarse.

Ecuador tiene en este campo, ya que en su territorio se han registrado cerca de 25 mil especies de plantas vasculares, de las cuales, tan solo son 25 las especies producidas y utilizadas comercialmente. Entre ellas se cuentan a la cabuya, totora, abacá, paja toquilla, algodón, lufa, seda, bambú, y mimbre. (GUERRERO V.H. et al. , 2011)

2.10.3.1 *Cabuya.* En el Ecuador esta planta crece a lo largo del callejón interandino, es aprovechada en el país para la obtención de fibras textiles por su alta resistencia y durabilidad por lo que se lo considera una fibra de gran potencial para la utilización en refuerzos de materiales compuestos. (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015)

Figura 6. Planta de Cabuya



Fuente. Autores

La cabuya posee buena resistencia mecánica, son livianas por lo que son muy utilizadas para la aplicación en distintas industrias por lo que ahorra energía. La cabuya está dentro de la familia de las fibras duras por lo que se utiliza en general en cordelería, sogas, tapetes, papel, filtros, colchones, tapicería y para refuerzo en materiales compuestos con matriz plástica como en partes, autopartes de automóviles. Las propiedades se muestran a continuación (MACIAS, 2006).

Tabla 4. Propiedades mecánicas de la cabuya

<b>Fibra</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistencia a la tracción (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidad (GPa)</b>	<b>Elongación a la fractura (%)</b>	<b>Absorción de la humedad (%)</b>
<b>Cabuya</b>	1,3	305,15	7,5	4,96	---

Fuente: (MOHANTY Amar K. et al, 2009)

2.10.3.2 *Abacá*. Propia de las zonas tropicales húmedas de color habano claro y brillante, se lo utiliza para la fabricación de sogas, filtros de cigarros bolsas de té y papel moneda entre otras aplicaciones. Filipinas el mayor productor de esta planta seguida de Ecuador produciendo 10000 toneladas por año.

El abacá también puede ser utilizado como fibra natural en la fabricación de tejidos.

Figura 7. Planta de abacá



Fuente. Autores

2.10.3.3 *Curauá*. Pertenece a la familia de la piña, son de color amarillo y miden aproximadamente 1,5 metros. La producción de esta fibra está enfocada más a la industria automotriz; autos como Fox y Polo de Volkswagen llevan este material en su

techo y en otras partes de los mismos y también han sido utilizadas para la fabricación de artículos deportivos como son los cascos para ciclistas.

Figura 8. Planta de curauá



Fuente. (MACIAS, 2006)

2.10.3.4 *Yute*. Crece en climas cálidos y húmedos pueden llegar a medir aproximadamente hasta 4 metros, tiene un color dorado y un aspecto suave y brillante.

En Brasil, el Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) ha desarrollado el primer carro de fibra de yute del mundo, el cual mostró un ahorro del 15% en consumo de combustible gracias a la disminución del peso con relación al metal con el que este auto es regularmente construido. (GUERRERO V.H. et al. , 2011)

Figura 9. Planta de yute



Fuente. Autores

2.10.3.5 *Coco*. Crece en la orilla del mar por su clima cálido y húmedo la fibra se obtiene de la corteza de su fruto, es de color café tiene una longitud de 10 a 30 cm ligeras fuertes y duraderas.

Sus usos varían desde productos artesanales, cuerdas y cordeles, hasta productos no tejidos con los que es posible fabricar colchones, asientos de autos, aislantes, alfombras,

etc. También se obtienen materiales compuestos con diferentes matrices poliméricas (GUERRERO V.H. et al. , 2011).

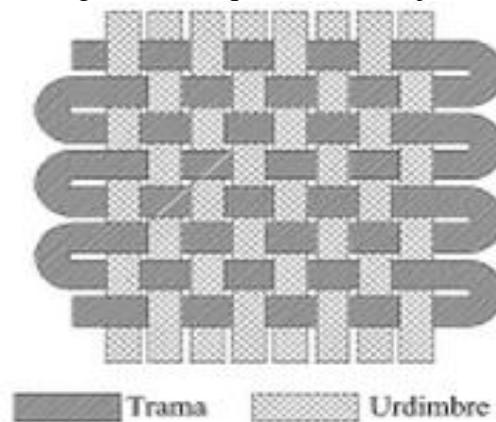
Figura 10. Fibra de coco



Fuente. Autores

2.10.4 *Tipos de tejidos.* El principio de los tejidos es enlazar los filamentos, tipos longitudinales (urdimbre) con los filamentos horizontales (trama) pasan de manera regular por encima de la urdimbre. (BESEDNJAK, 2005)

Figura 11. Esquema de un tejido



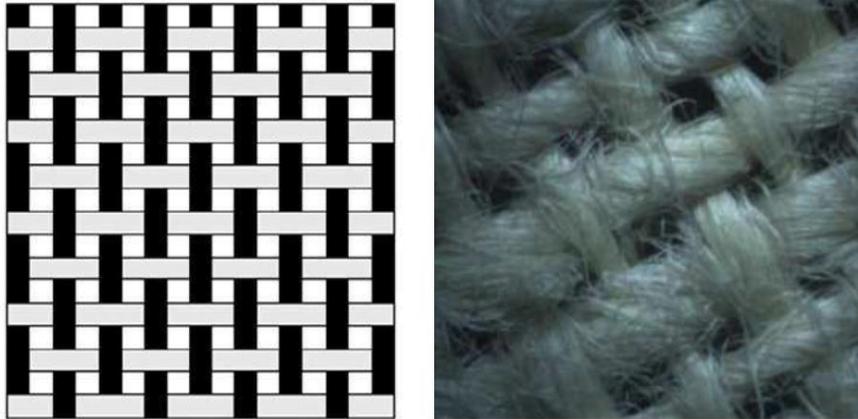
Fuente: (BESEDNJAK, 2005 pág. 48)

Existen tres tipos de tejidos cada uno de ellos poseen propiedades modificando las propiedades mecánicas.

- Tejido plano
- Tejido sarga
- Tejido satén

El tejido plano es el más sencillo formado por filamentos intercalados, simple y más utilizado. Cada hilo de la urdimbre se enlaza con una pasada de la trama alternativamente como se indica en la Figura. 12. (GUERRERO V.H. et al. , 2011 pág. 96)

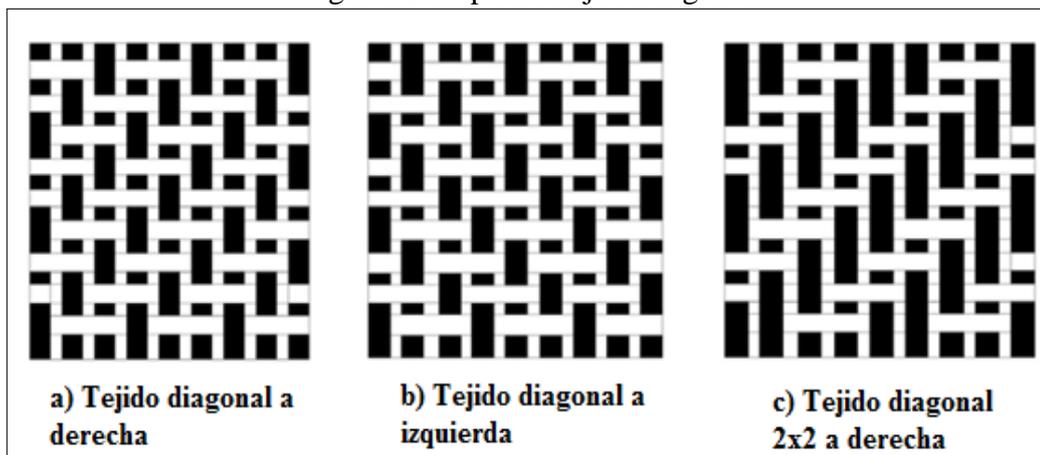
Figura 12. Distribución del tejido plano



Fuente: (Tamayo, 2012 pág. 10)

El tejido tipo sarga o también llamado tejido diagonal, posee una estructura compacta y frecuentemente presenta buena resistencia al desgaste y la abrasión como se indica en la Figura. 13 (GUERRERO V.H. et al. , 2011 pág. 97).

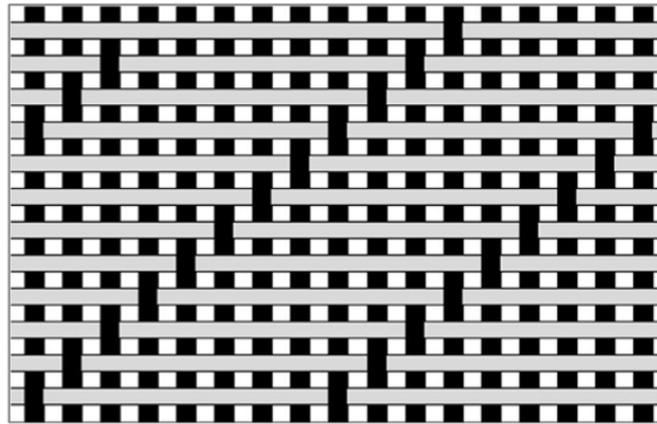
Figura 13. Tipos de tejido diagonal



Fuente: (Levy, 2006)

El tejido satén o también denominado raso, teniendo la urdimbre pocos enlaces con la trama la superficie del tejido parece brillante como se indica en la Figura. 14 (Levy, 2006).

Figura 14. Distribución tejido tipo satén



Fuente: (Levy, 2006)

## 2.11 Interfaz

La interfaz es la región de contacto entre las superficies de la matriz y el refuerzo. En los materiales compuestos es muy importante que posea una buena unión, si la interfaz es débil la carga de la matriz a la fibra no será eficiente y será la matriz la que termine soportando las cargas por lo que fallara y no resiste lo suficiente, produciendo agujeros entre la matriz y las fibras. (STUPENENGO, 2011 pág. 12)

Los esfuerzos que actúan sobre la matriz se transmiten a las fibras por medio de la interfaz. Cuando un material está reforzado con fibras la interfaz juega un papel importante, ya que de la unión de los constituyentes depende las propiedades mecánicas del compuesto. (Derek, 2003)

Para que la matriz pueda impregnarse de una mejor manera sobre el refuerzo es muy importante que se encuentre en estado líquido así extendiéndose sobre una superficie sólida siendo este el refuerzo, la interfaz genera las propiedades del material dependiendo de la capacidad de mojado de su matriz. (GUERRERO V.H. et al. , 2011 pág. 52)

La unión entre los constituyentes de un material compuesto puede ser de cuatro tipos: (GUERRERO V.H. et al. , 2011 pág. 52)

- Unión mecánica.
- Unión electrostática.

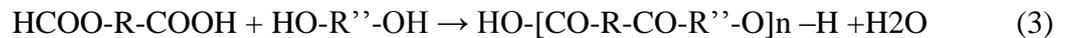
- Unión química.
- Unión mediante inter difusión.

## 2.12 Resinas

Existen cuatro tipos de resinas más comunes según Besednjak: (BESEDNJAK, 2005 pág. 3)

- Resinas Poliéster
- Resinas Viniléster
- Resinas Epoxi
- Resinas Fenólicas

2.12.1 *Resinas Poliéster.* Esta resina ocupa el 75% en el mercado que se utiliza en materiales compuestos de matriz termoestable, se encuentra en el método de matriz más económico. Se produce a partir de dos reacciones de policondensación entre dos monómeros, diol más ácido dicarboxílico. (BESEDNJAK, 2005 pág. 3)



Al añadir estireno a la resina esta disminuye su viscosidad para que exista una buena fluidez en el material del refuerzo, se debe añadir un sistema catalítico iniciador y un acelerador (octoato de cobalto), que se elige en función del iniciador o catalizador (peróxidos). El tipo iniciador determina el tiempo de la gelificación y endurecimiento de la matriz una vez catalizada. (BESEDNJAK, 2005 pág. 4)

## CAPÍTULO III

### 3. MODELACIÓN DE LAS TRES GEOMETRÍAS DE RETROVISORES EN SOLIWORKS DISEÑO 3D

#### 3.1 Modelado de retrovisores mediante CAD

En el presente capítulo se proponen tres modelos de geometrías de retrovisores mediante la utilización de Solidworks ya que este software incluye muchas mejoras y optimizaciones, principalmente en respuesta directa a las solicitudes de los clientes. (Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, 2015 pág. 14)

#### 3.2 Modelado primera geometría (MOD\_0)

Se realizó un bosquejo digital del primer modelo del retrovisor que tiene las siguientes dimensiones generales (247.39 x 121.55 x 69.28) mm que hacen referencia altura, base y ancho respectivamente; que se representan en sus vistas, denominado por MOD\_0. Los planos se detallan en la lista de planos B.

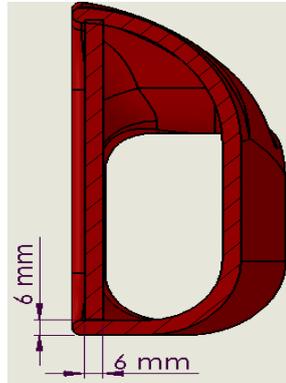
Figura 15. Vistas de retrovisor MOD\_0



Fuente: Autores

Una de las dimensiones importantes para la simulación es el espesor de cada retrovisor para poder evaluar sus valores reales, el espesor de este retrovisor (MOD\_0) es de 6 mm.

Figura 16. Vistas en corte de retrovisor MOD\_0

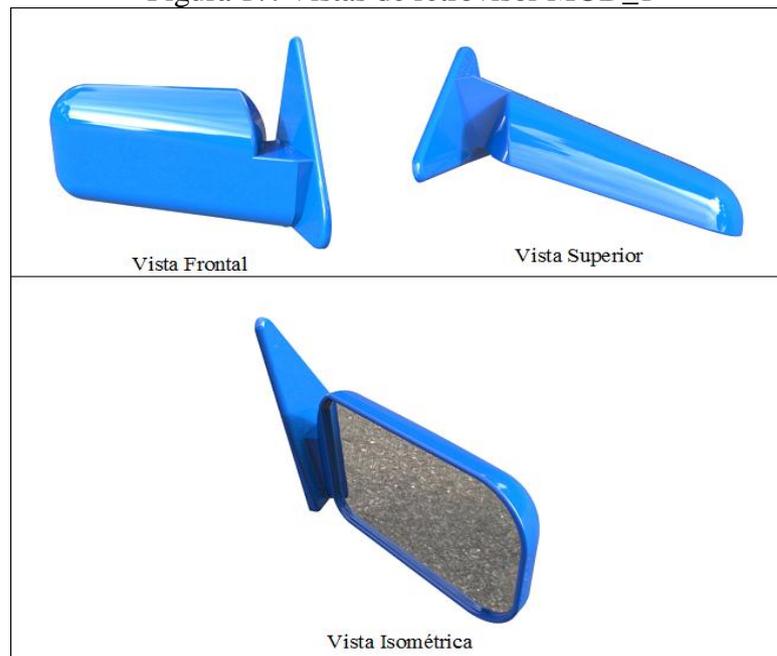


Fuente: Autores

### 3.3 Modelado segunda geometría

Se realiza un bosquejo digital del segundo modelo del retrovisor que tienen las siguientes dimensiones generales (289.69 x 137.35 x 69.28) mm que hacen referencia altura, base y ancho respectivamente; que se representan en sus vistas, denominado por MOD\_1. Los planos se detallan en la lista de planos C.

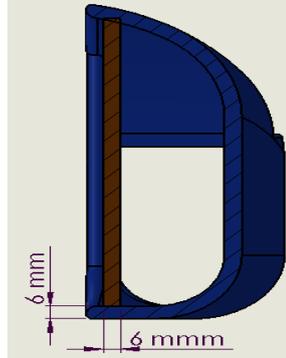
Figura 17. Vistas de retrovisor MOD\_1



Fuente: Autores

Las dimensiones de espesor son iguales tanto en su contorno como en su parte vertical, siendo este de 6 mm.

Figura 18. Vistas en corte de retrovisor MOD\_1

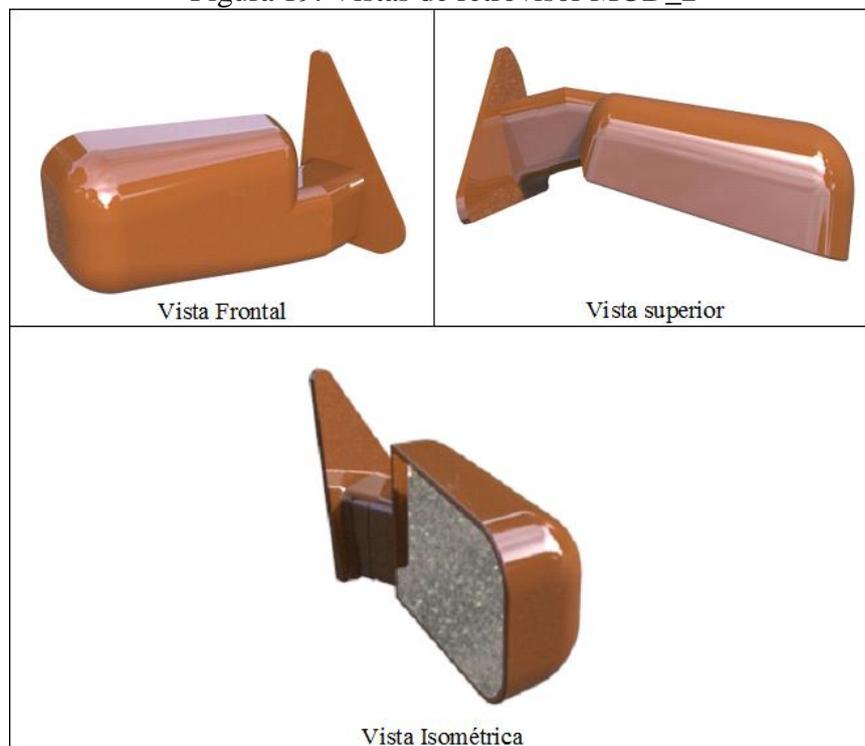


Fuente: Autores

### 3.4 Modelado tercera geometría

Se realiza un bosquejo digital del tercer modelo del retrovisor que tiene las siguientes dimensiones generales (286.27 x 159.20 x 92.35) mm que hacen referencia altura, base y ancho respectivamente; que se representan en sus vistas, denominado por MOD\_2. Los planos se detallan en la lista de planos D.

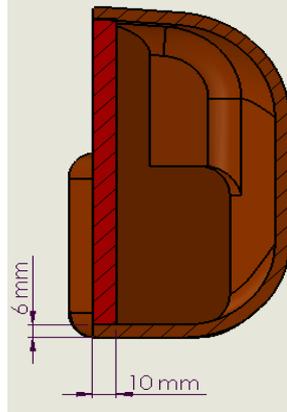
Figura 19. Vistas de retrovisor MOD\_2



Fuente: Autores

En este retrovisor se propone los siguientes espesores en el contorno de 6 mm y en la vertical de 10 mm.

Figura 20. Vistas en corte de retrovisor MOD\_2



Fuente: Autores

## CAPÍTULO IV

### 4. SIMULACIÓN DE LAS GEOMETRÍAS DE RETROVISORES MEDIANTE EL MÉTODO DE VOLÚMENES FINITOS.

#### 4.1 Análisis de geometrías de los retrovisores

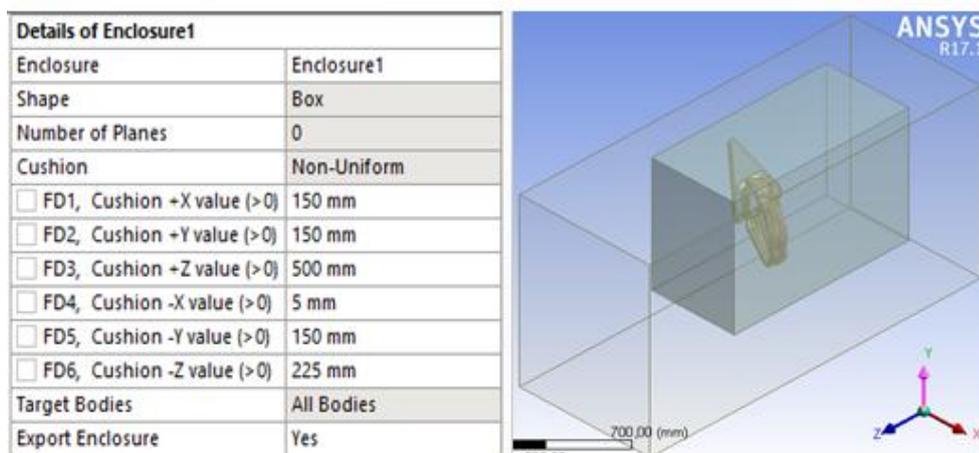
Una vez obtenidos los tres modelos procedemos a analizarlos aerodinámicamente para obtener el coeficiente de arrastre ( $C_d$ ), valor importante para identificar cuál de todos es más aerodinámico, de la misma manera obtener la presión ejercida sobre el frente del retrovisor, para ello se utiliza el módulo de Fluent de Ansys Workbench.

#### 4.2 Proceso de análisis aerodinámico DFC

##### 4.2.1 Creación de túnel de viento virtual

Una vez obtenido el modelo de cada uno de los prototipos se importa la geometría al módulo de Fluent Ansys Workbench en donde se genera el túnel de viento virtual para para cada modelo, las dimensiones del túnel se mantienen para cada caso.

Figura 21. Dimensiones de túnel aerodinámico



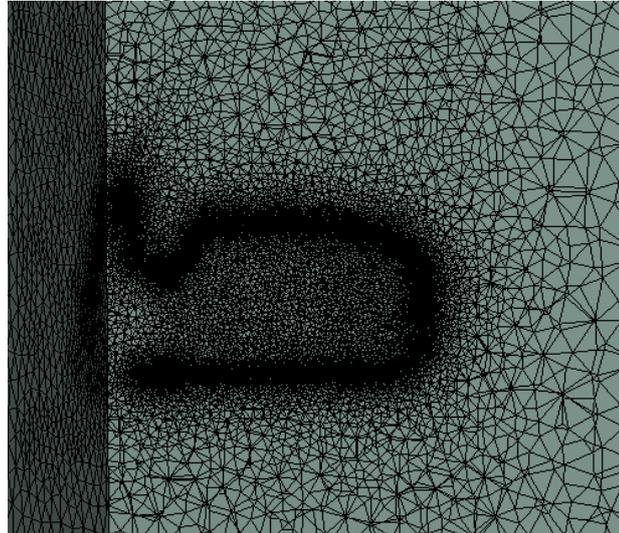
Fuente: Autores

##### 4.2.2 Creación de malla

Este procedimiento está relacionado directamente con la exactitud de resultados, para este caso se utilizara el método de tetraedro en la generación de malla,

así mismo para lograr una malla optima se realiza un refinado cerca de los modelos con un tamaño de 15mm y un refinamiento de 2mm para el cuerpo del retrovisor de mejor manera se aprecia en la figura 22 los diversos tamaños de malla estas consideraciones se utilizan para generar la malla de MOD\_1 Y MOD\_2.

Figura 22. Malla de MOD\_0

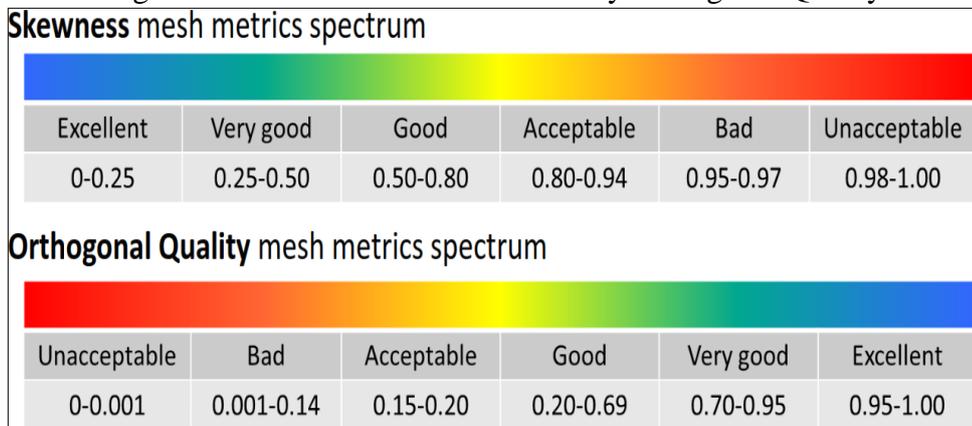


Fuente: Autores

#### 4.2.3 Validación de Malla

La calidad de malla en un análisis aerodinámico se valida con el criterio de Skewness donde valores menores a 0.95 indican que la malla es aceptable y también se utiliza el criterio de Orthogonal Quality en este caso deben ser mayores a 0.15, estos valores son interpretados en códigos de colores como se muestra en la figura 23.

Figura 23. Criterio de malla Skewness y Orthogonal Quality



Fuente: [http://www.academia.edu/16970000/MESH\\_QUALITY\\_AND\\_ADVANCED\\_TOPICS\\_ANSYS\\_WORKBENCH\\_16.0](http://www.academia.edu/16970000/MESH_QUALITY_AND_ADVANCED_TOPICS_ANSYS_WORKBENCH_16.0)

Para el caso de MOD\_0 se aprecia que el promedio de calidad de malla bajo el criterio de Skewness equivale a 0.23121 indicándonos que se trata de una malla excelente y con el criterio de Orthogonal Quality obtenemos un promedio de 0.85797 tratándose de una malla muy buena, ver tabla 5

Tabla 5. Valores malla Skewness y Orthogonal Quality de MOD\_0

<b>Skewness</b>	
<b>Nodos</b>	484769
<b>Elementos</b>	2600825
<b>Máximo</b>	1
<b>Mínimo</b>	3,35e-09
<b>Promedio</b>	0,23121
<b>Orthogonal Quality</b>	
<b>Máximo</b>	0,99639
<b>Mínimo</b>	1,51E-02
<b>Promedio</b>	0,85797

Fuente: Autores

Para MOD\_1 el promedio de Skewness tiene un valor de 0.22992 siendo una malla excelente y con Orthogonal Quality un promedio de 0.85906 considerada una muy buena, ver tabla 6.

Tabla 6. Valores malla Skewness y Orthogonal Quality de MOD\_1

<b>Skewness</b>	
<b>Nodos</b>	583134
<b>Elementos</b>	3145555
<b>Máximo</b>	1
<b>Mínimo</b>	1,7126e-008
<b>Promedio</b>	0,22992
<b>Orthogonal Quality</b>	
<b>Máximo</b>	0,99689
<b>Mínimo</b>	7,791e-003
<b>Promedio</b>	0,85906

Fuente: Autores

Finalmente MOD\_2 bajo el criterio de Skewness tiene un promedio de 0.22915 siendo una malla excelente y bajo Orthogonal Quality un promedio de 0.85954 indicando que se trata de una malla muy buena, ver tabla 7.

Tabla 7. Valores malla Skewness y Orthogonal Quality de MOD\_2

<b>Skewness</b>	
<b>Nodos</b>	434291
<b>Elementos</b>	2360904
<b>Máximo</b>	0,99913
<b>Mínimo</b>	1,0256e-006
<b>Promedio</b>	0,22915
<b>Orthogonal Quality</b>	
<b>Máximo</b>	0,99648
<b>Mínimo</b>	3,6155e-002
<b>Promedio</b>	0,85954

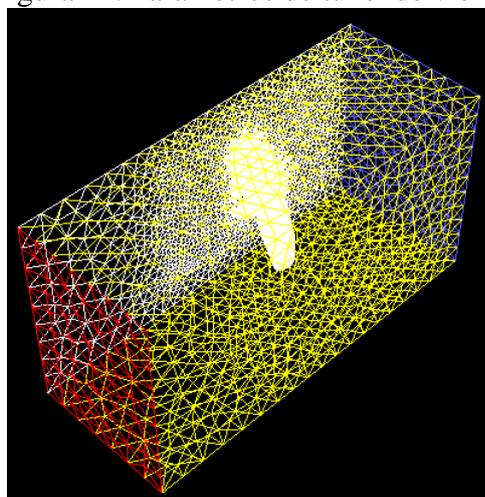
Fuente: Autores

La malla de cada prototipo se da por validado ya que son aceptables para seguir con el procedimiento de análisis.

#### 4.2.4 *Definición de parámetros del túnel de viento*

La superficie del túnel del viento virtual por donde ingresa el aire a una velocidad de 33.33 m/s es conocida como “inlet-velocity” (azul sombreado), el área de rendimiento “pressure-outlet” es la presión de rendimiento constante equivalente a la presión del aire (color rojo), la superficie cerca a la base del retrovisor “wall” (color blanco) y por último el resto de las superficies como “sym” mostrando que éstas son inexistentes, esto implica que el aire en el interior del túnel aerodinámico actúa igual que el aire existente fuera del mismo de (color amarillo) se realiza el mismo procedimiento para cada modelo para mejor apreciación ver figura 24.

Figura 24. Parámetros de túnel de viento



Fuente: Autores

#### 4.2.5 Solución

Los parámetros iniciales para este tipo de análisis son considerados de la tesis “Análisis y simulación aerodinámica de una motocicleta de carretera tipo custom de 125 centímetros cúbicos. Mediante dinámica de fluidos computacional (DFC) y propuesta de diseño de un carenado frontal” realizada por Albán Pucha Arnulfo Gustavo.

Durante 7 días y a diferentes horas se tomaron las lecturas de: temperatura, presión, y altura en la ciudad de Riobamba, en el laboratorio de aerodinámica, de la escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH, con un anemómetro digital cuya tolerancia es de  $\pm 3\%$ . Cuando la unidad está apagada, los datos no se acumulan entre 2 y 5 segundos, una vez obtenidos estos datos se promedió, la temperatura, presión, y altura respectivamente cuyos resultados son los nuevos parámetros de entrada, al software Ansys (ALBÁN ARNULFO, 2016 pág. 48).

En donde se toma como referencia la densidad, temperatura y viscosidad del fluido (aire) los demás datos varía acorde al modelo sea el caso MOD\_0, para MOD\_1 y para MOD\_2 ver en la tabla 8, para el método de solución de utiliza K-epsilon con 100 iteraciones.

Tabla 8. Parámetros iniciales

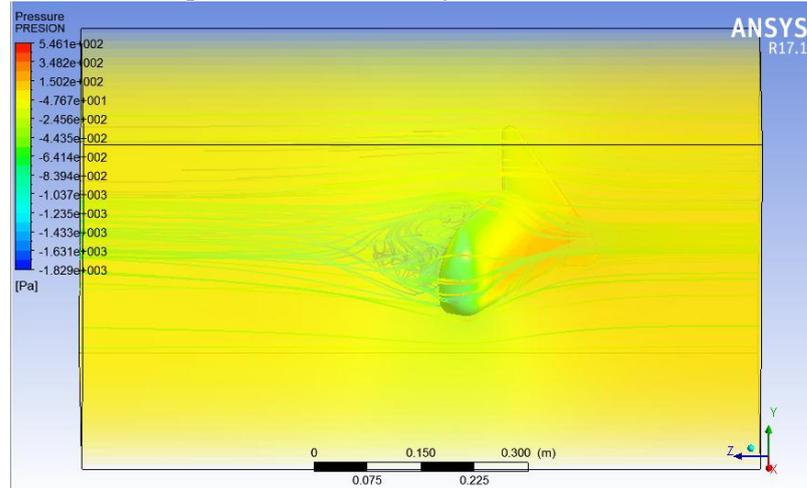
<b>ANÁLISIS AERODINÁMICO</b>				
	MOD_0	MOD_1	MOD_2	
<b>Parámetro</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
<b>Densidad</b>	0,875	0,875	0,875	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Viscosidad</b>	1,79E-01	1,79E-01	1,79E-01	Kg/(m.s)
<b>Temperatura</b>	290,986	290,986	290,986	K
<b>Velocidad</b>	33,33	33,33	33,33	m/s
<b>Área proyectada</b>	0.02528317	0.0341717	0.03890516	m <sup>2</sup>
<b>Longitud</b>	0.225	0.244	0.235	M

Fuente: Autores

#### 4.2.6 Resultados aerodinámicos

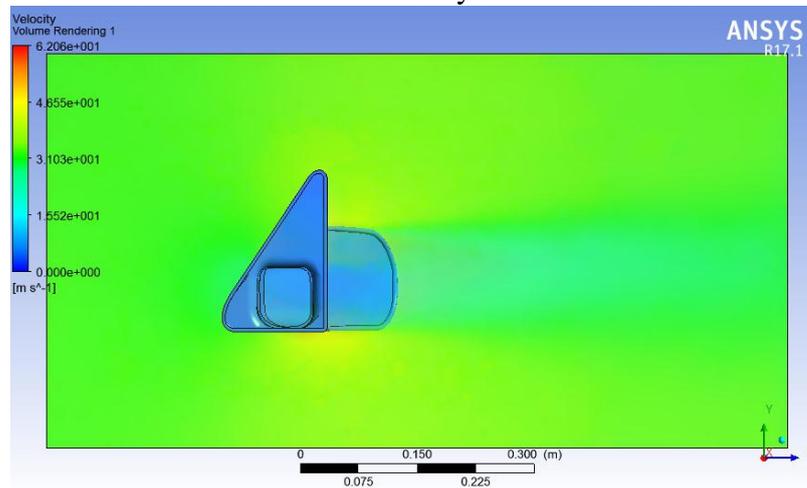
A continuación se muestran los contornos de presión, velocidad, y simulación aerodinámica de MOD\_0.

Figura 25. Contorno de presión del análisis y simulación aerodinámica MOD\_0



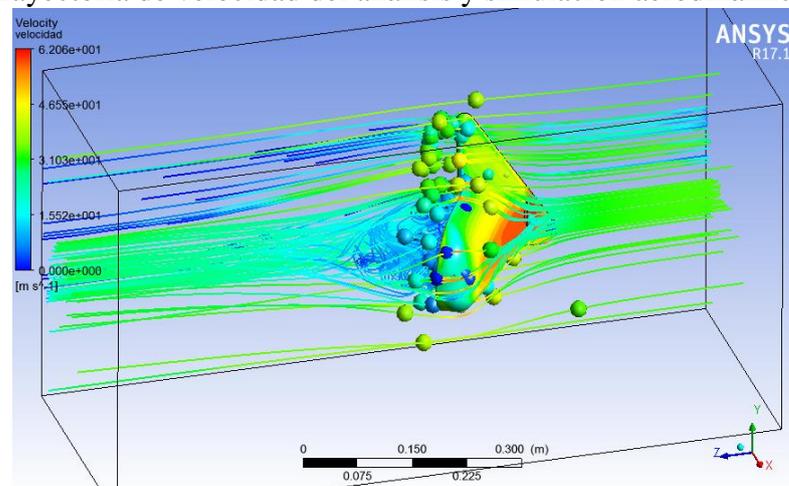
Fuente: Autores

Figura 26. Contorno de velocidad del análisis y simulación aerodinámica MOD\_0



Fuente: Autores

Figura 27. Trayectoria de velocidad del análisis y simulación aerodinámica MOD\_0



Fuente: Autores

En este análisis los únicos resultados que necesitamos son el Cd y la presión ejercida sobre el retrovisor MOD\_0 ver Tabla 9.

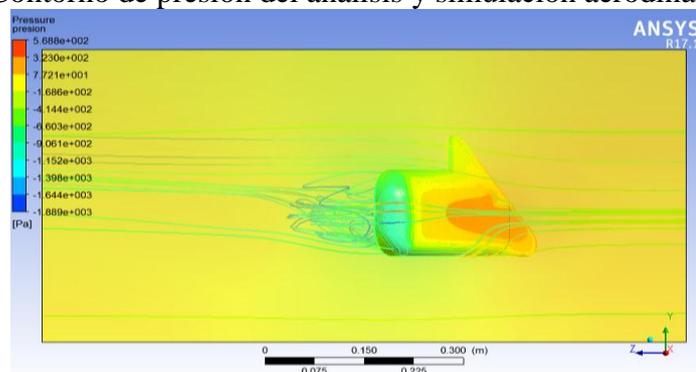
Tabla 9. Resultados aerodinámicos de MOD\_0

MOD_0		
Ilustración	Valores	
	<b>Cd</b>	0,53
	<b>Presión máxima</b>	546,09 Pa

Fuente: Autores

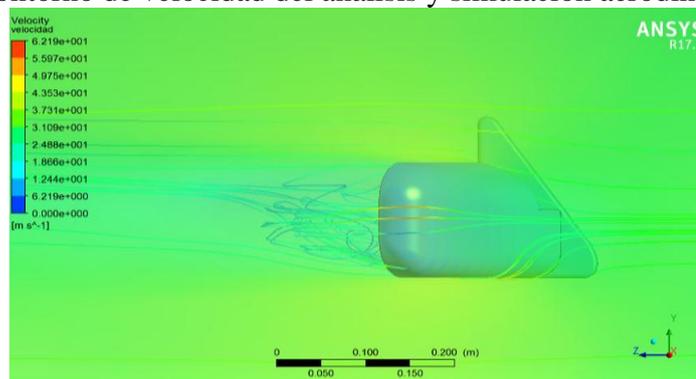
A continuación se muestran los contornos de presión, velocidad y simulación aerodinámica para el MOD\_1.

Figura 28. Contorno de presión del análisis y simulación aerodinámica MOD\_1



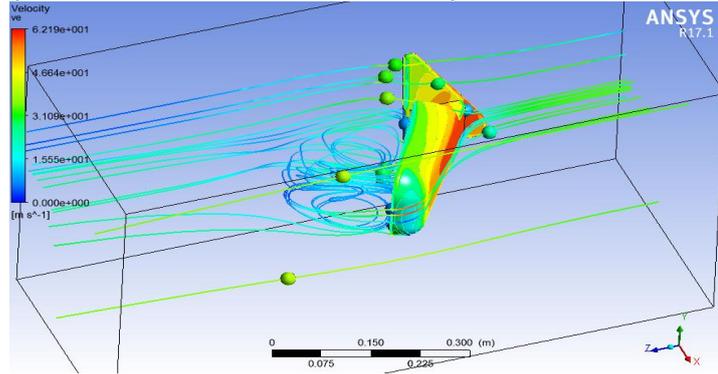
Fuente: Autores

Figura 29. Contorno de velocidad del análisis y simulación aerodinámica MOD\_1



Fuente: Autores

Figura 30. Trayectoria de velocidad del análisis y simulación aerodinámica MOD\_1



Fuente: Autores

En este análisis los únicos resultados que necesitamos son el Cd y la presión ejercida sobre el retrovisor MOD\_1.

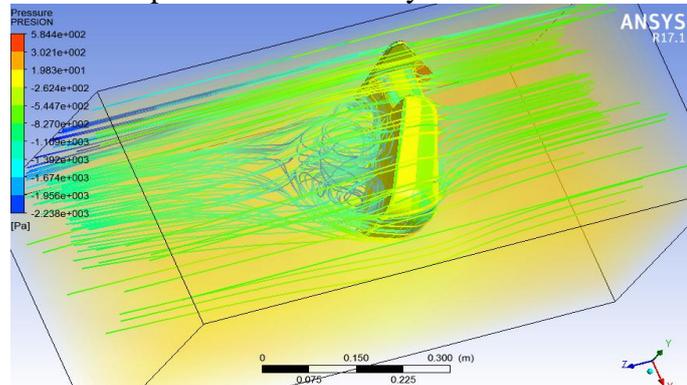
Tabla 10. Resultados aerodinámicos de MOD\_1

MOD_1		
Ilustración	Valores	
	<b>Cd</b>	0,61
	<b>Presión máxima</b>	568,848 Pa

Fuente: Autores

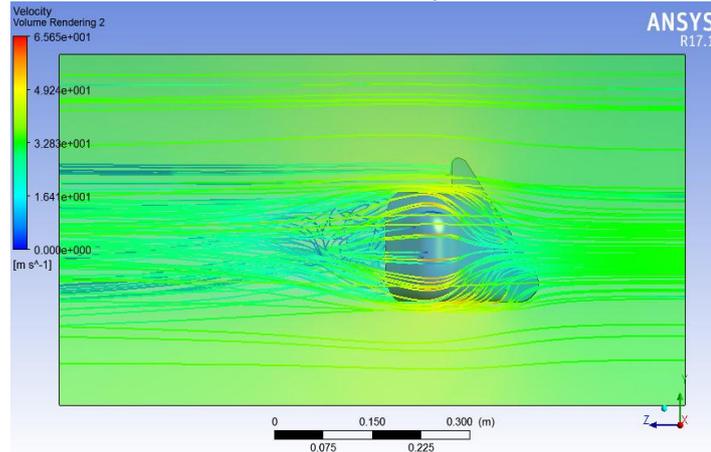
A continuación se muestran los contornos de presión, velocidad y simulación aerodinámica de MOD\_2.

Figura 31. Contorno de presión del análisis y simulación aerodinámica MOD\_2



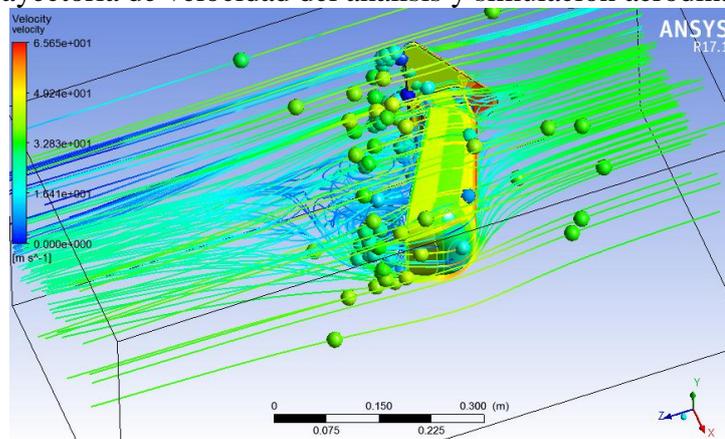
Fuente: Autores

Figura 32. Contorno de velocidad del análisis y simulación aerodinámica MOD\_2



Fuente: Autores

Figura 33. Trayectoria de velocidad del análisis y simulación aerodinámica MOD\_2



Fuente: Autores

En este análisis los únicos resultados que necesitamos son el Cd y la presión ejercida sobre el retrovisor MOD\_2.

Tabla 11. Resultados aerodinámicos de MOD\_2

MOD_2		
Ilustración	Valores	
	<b>Cd</b>	0,60
	<b>Presión máxima</b>	584,383 Pa

Fuente: Autores

### 4.3 Análisis estático

Una vez realizado el análisis aerodinámico se procede a utilizar la presión máxima ejercida sobre la superficie de cada uno de los retrovisores para luego analizar su esfuerzo máximo, deformación total y factor de seguridad con ayuda del módulo Static Structural de Ansys Workbench y siguiendo con el proceso de análisis estático (Pre proceso, Proceso y Pos proceso).

#### 4.3.1 *Pre proceso*

El modelo utilizado en el módulo de Fluent es compartido con el módulo Static Structural como inicio de este análisis.

##### 4.3.1.1 *Definir material*

Al tratarse de un material compuesto es necesario crearlo en Ansys workbench en el apartado de Engineering Data para ello tomamos como referencia las principales propiedades obtenidas en “Aplicación de materiales compuestos para la formación de guardabarros y tapas laterales de una moto de 125 centímetros cúbicos de 4 tiempos” realizada por Joffre Tixe Subina y Jonathan Vistín Bastidas cuyas propiedades hacen referencia a un material compuesto con un 30% de fibra de cabuya y 70% de resina poliéster las mismas se visualiza en la figura 35.

##### 4.3.1.2 *Densidad para el material compuesto*

La densidad del material compuesto se calculó mediante gravimetría que consiste en utilizar una probeta de 250 centímetros cúbicos, se deposita a temperatura ambiente agua una cantidad de 200 centímetros cúbicos posteriormente se deposita la probeta de flexión hasta que este sumergido por completo; se observó un cambio en el volumen original depositado en la probeta de 10.25 centímetros cúbicos y se determinó que la probeta poseía una masa 12.6 gr, mediante una balanza digital obteniendo una densidad de 1.229 gr/cc para el material compuesto reforzado con cabuya. (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015 pág. 37)

Dónde:

- Densidad del compuesto= 1.229 gr/cc
- Densidad de la matriz= 1.20 gr/cc
- Densidad del refuerzo= 1.30 gr/cc

#### 4.3.1.3 El módulo de Young para el material compuesto

El módulo de elasticidad o módulo de Young se obtuvo mediante la siguiente tabla:

Tabla 12. Resultado del módulo de Young

<b>Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>F.C.L.30%</b>	<b>Resina poliéster</b>
Media	4157	1876,4
Varianza	56063,6	22,8
Observaciones	7	5
Varianza agrupada	33647,28	--
Grados de libertad	10	--
Estadístico t	21,14	--
P (T≤t) una cola	5,96e-10	--
Valor critico de t (una cola)	1,81	--
P (T≤t) dos colas	1,19e-9	--
Valor critico de t (dos colas)	2,23	--

Fuente: (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015 pág. 67)

#### 4.3.1.4 El coeficiente de Poisson en los materiales compuestos

La fórmula de poisson se rige directamente a la ley de las mezclas:

$$\mu_x = \mu_f \cdot v_f + \mu_m \cdot v_m \quad (4)$$

Se considera:

$\mu$ = coeficiente de poisson

$v$ = porción volumétrica

Los subíndices  $x$ ,  $f$ ,  $m$  corresponden a compuesto, fibra, matriz correspondientemente.

(BAYAS Christian & ROSERO Diego , 2015 pág. 60)

Para el coeficiente de poisson de la fibra de cabuya nos basamos en la teoría la cual nos dice:

En materiales reales el coeficiente de poisson oscila entre 0.25 y 0.4 con un valor medio alrededor de 0.30 (Willian F. Smith & Javad Hashemi, 2006 pág. 216).

El coeficiente de poisson de la resina poliéster encontramos de la consecuente tabla:

Figura 34. Propiedades de las resinas epoxi y poliéster en los materiales compuestos

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

Fuente: (BAYAS Christian & ROSERO Diego , 2015 pág. 60)

Teniendo en cuenta un valor medio de 0,38 y con base a estos datos calculamos el coeficiente de poisson del material compuesto con un 30 % de refuerzo de cabuya.

Para este caso el coeficiente de poisson será:

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

$$\mu_x = (0.30) (0.30) + (0.38) (0.70)$$

$$\mu_x = 0,356$$

Figura 35. Propiedades del material compuesto de fibra de cabuya

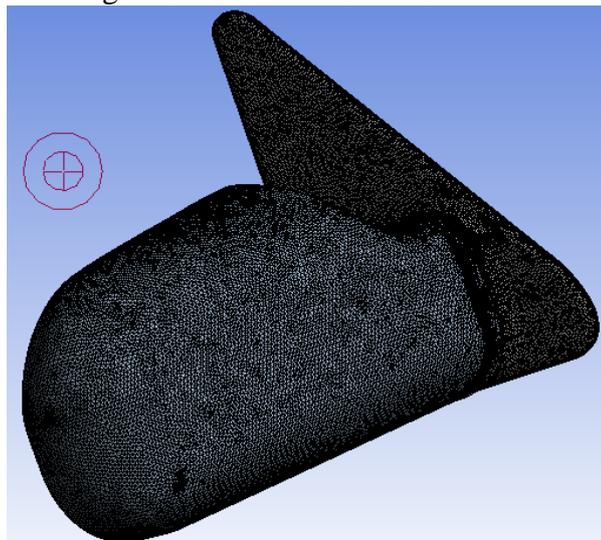
Properties of Outline Row 3: MATERIAL COMPUESTO FIBRA DE CABUYA				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Density	1,229	g cm <sup>-3</sup>	
3	Isotropic Elasticity			
4	Derive from	Young's Modulu...		
5	Young's Modulus	4157	MPa	
6	Poisson's Ratio	0,356		
7	Bulk Modulus	4,8113E+09	Pa	
8	Shear Modulus	1,5328E+09	Pa	
9	Tensile Yield Strength	51,45	MPa	
10	Compressive Yield Strength	51,45	MPa	
11	Tensile Ultimate Strength	58,8	MPa	

Fuente: Autores

#### 4.3.1.5 Definir mallado

Para este caso al tratarse de un análisis por medio de FEM (método de elementos finitos) se genera una nueva malla considerando un refinamiento de 1.5mm para la base y 2mm para el cuerpo del retrovisor como se muestra en la figura 36.

Figura 36. Malla en Static Structural



Fuente: Autores

Bajo el criterio de Element Quality se valida la malla con ayuda de la distribución de colores.

Figura 37. Criterio de calidad de malla Element Quality



Fuente: [http://www.academia.edu/16970000/MESH\\_QUALITY\\_AND\\_ADVANCED\\_TOPICS\\_ANSYS\\_WORKBENCH\\_16.0](http://www.academia.edu/16970000/MESH_QUALITY_AND_ADVANCED_TOPICS_ANSYS_WORKBENCH_16.0)

Acorde a este criterio se recomienda valores superiores a 2 en el caso de MOD\_0 se obtiene un valor mínimo de 1.15185 no es de gran importancia ya que se trata de una superficie insignificante como se visualiza en la tabla 13. Podemos ver que el modelo presenta un color azul en su mayoría indicando que la malla es óptima.

Tabla 13. Calidad de malla Element Quality MOD\_0

Ilustración	Element Quality	
	<b>Nodos</b>	993784
	<b>Elementos</b>	655140
	<b>Max</b>	1
	<b>Min</b>	0,15185
	<b>Prom.</b>	0,83134

Fuente: Autores

MOD\_1 obtenemos un valor mínimo de 0.13465 igual que el caso anterior es un valor que no afecta a los resultados del análisis ya que en su mayoría son valores que indican una malla óptima razón por la cual presenta un color azul.

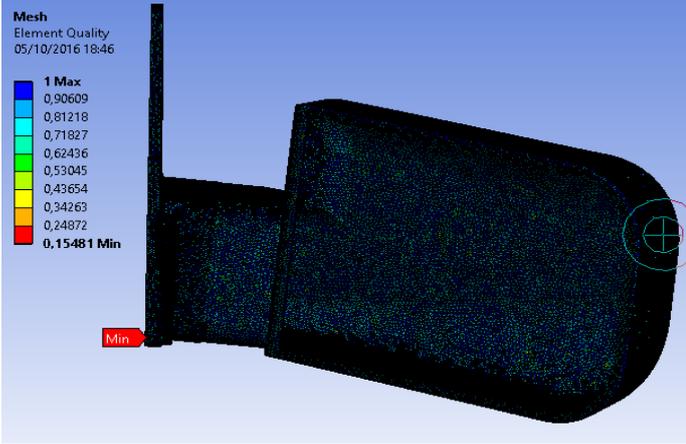
Tabla 14. Calidad de malla Element Quality MOD\_1

Ilustración	Element Quality	
	<b>Nodos</b>	1164721
	<b>Elementos</b>	768619
	<b>Max</b>	1
	<b>Min</b>	0,13465
	<b>Prom.</b>	0,83206

Fuente: Autores

MOD\_2 en este caso valor mínimo es de 0.15481 el cual está ubicado en la base del retrovisor no afectando a los resultados y al igual que los anteriores se ve claramente el dominio del color azul en todo el modelo considerando una malla óptima.

Tabla 15. Calidad de malla Element Quality MOD\_2

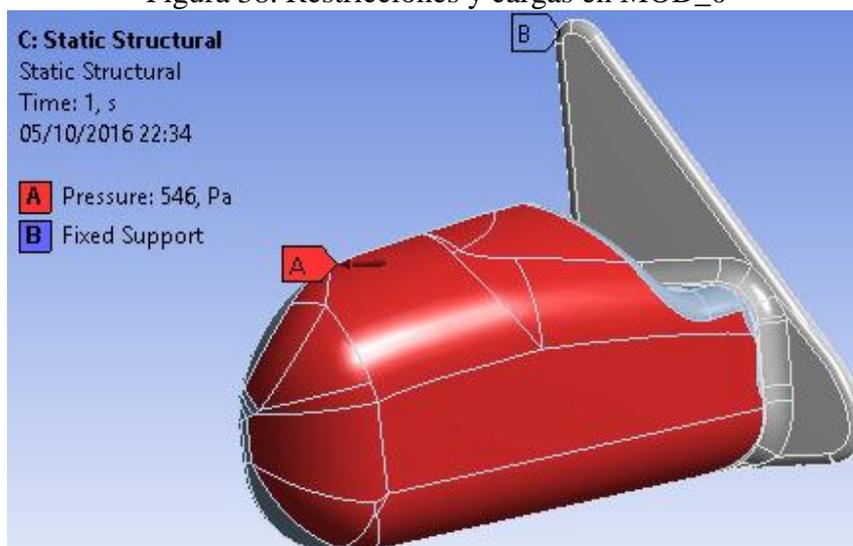
Ilustración	Element Quality	
		<b>Nodos</b>
<b>Elementos</b>		968483
<b>Max</b>		1
<b>Min</b>		0,15481
<b>Prom.</b>		0,83569

Fuente: Autores

#### 4.3.1.6 Definir restricciones y cargas

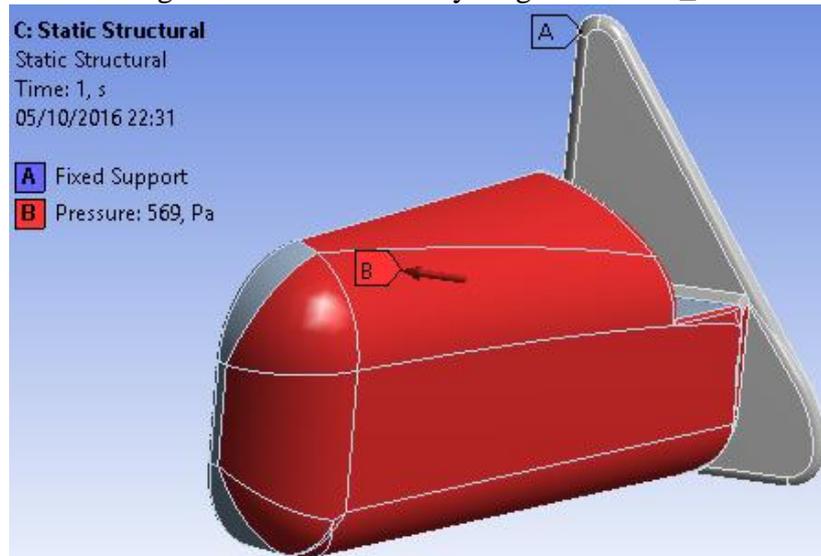
La única restricción fija en los retrovisores son las superficies que van ancladas a la carrocería y la única carga es la presión máxima que se ubica en la superficie de contacto con el aire.

Figura 38. Restricciones y cargas en MOD\_0



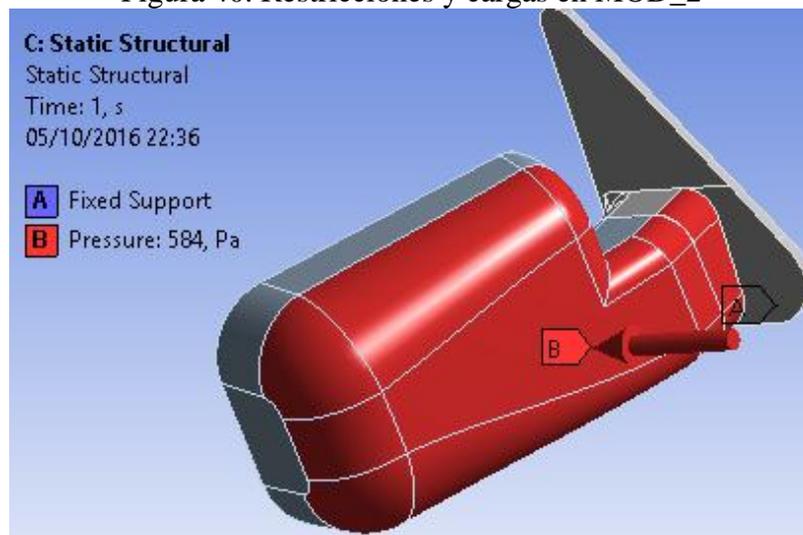
Fuente: Autores

Figura 39. Restricciones y cargas en MOD\_1



Fuente: Autores

Figura 40. Restricciones y cargas en MOD\_2



Fuente: Autores

#### 4.3.2 *Proceso*

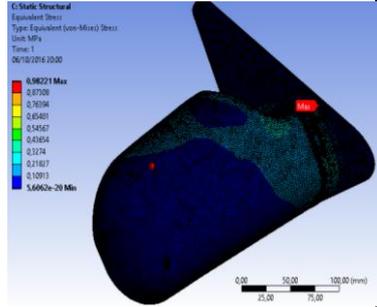
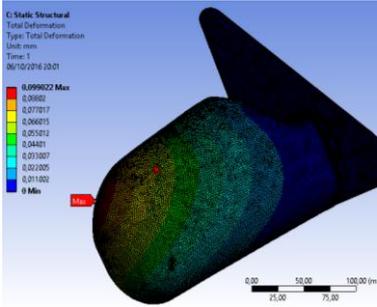
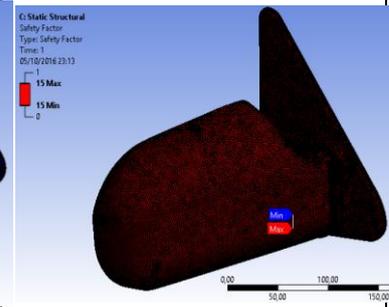
El software internamente procede con la solución del problema a través de matrices y ecuaciones tomando como referencia las restricciones físicas y cargas mencionadas anteriormente.

#### 4.3.3 *Post proceso*

Consiste en el análisis y evaluación de cada uno de los resultados obtenidos.

MOD\_0: se obtiene un esfuerzo máximo de 0.98221 Mpa un valor no muy considerable ubicado cerca de la base del retrovisor, una deformación de 0.099022 mm ubicada en el extremo del cuerpo y finalmente un factor de seguridad de Min y Max de 15 esto quiere decir que el modelo se encuentra sobredimensionado ya que la presión generada por el aire no es muy considerable.

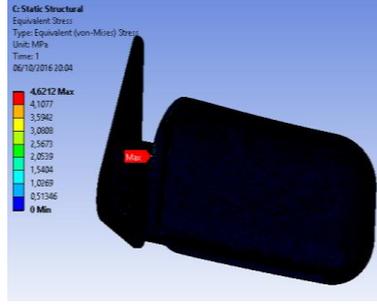
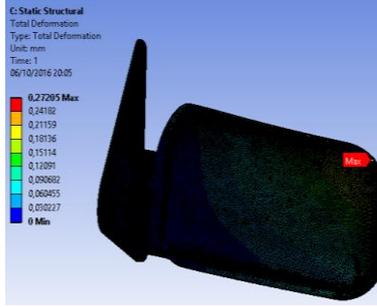
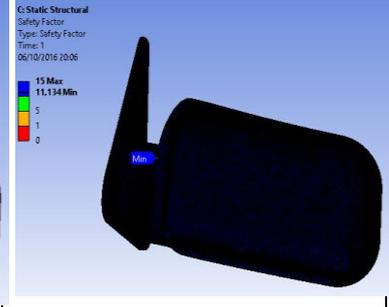
Tabla 16. Resultados de análisis estático MOD\_0

Resultados de análisis estático de MOD_0			
Esfuerzo máximo	Deformación Total	Factor de seguridad	
			
0.98221 Mpa	0.099022mm	Min=15	Max=15

Fuente: Autores

MOD\_1: se obtiene un esfuerzo máximo de 4,6212 Mpa siendo este valor superior a los demás no supera los 51.45 Mpa de límite de fluencia del material, con una deformación insignificante de 0.27205 mm y un factor mínimo de seguridad de 11.134 y máximo de 15 no presentando mayor inconveniente en el diseño.

Tabla 17. Resultados de análisis estático MOD\_1

Resultados de análisis estático de MOD_1			
Esfuerzo máximo	Deformación Total	Factor de seguridad	
			
4,6212 Mpa	0.27205mm	Min=11.13	Max=15

Fuente: Autores

MOD\_2: en el último caso obtenemos un esfuerzo máximo de 1.9921 Mpa ubicado en el extremo superior izquierdo del cuerpo del retrovisor igualmente es un valor

insignificante que afecta al modelo, una deformación de 0.342229 mm ubicado en la parte superior derecha y un factor de seguridad min=15 y max=15 indicando que se encuentra sobredimensionado.

Tabla 18. Resultados de análisis estático MOD\_2

Resultados de análisis estático de MOD_2			
Esfuerzo máximo	Deformación Total	Factor de seguridad	
1.9921 Mpa	0.342229 mm	Min=15	Max=15

Fuente: Autores

Acorde al análisis estático los esfuerzos máximos en los tres casos son valores no considerables, igualmente sus deformaciones son muy pequeñas razón por la cual sus factores de seguridad son muy elevados. En donde se deduce que las presiones producidas por el aire a 120 km/h no afectan directamente a ninguno de los prototipos de material compuesto.

#### 4.4 Determinación de modelo óptimo

Tabla 19. Resultados de análisis estático a 120 Km/h

Comparación de prototipos propuestos							
	Cd	Cl	Cm	Fineza	Esfuerzo Max (Mpa)	Deformación Total (mm)	Factor de seguridad (min)
MOD_0	0,53	-0,1887	0,13676	0,35607	0.98221	0,099022	15
MOD_1	0.61	-0.4376	0.42241	0.71737	4,6212	0,27205	11,134
MOD_2	0,60	-0,1203	0.02765	0.20065	1.9921	0.342229	15

Fuente: Autores

En la tabla 19 podemos observar los valores considerados para este estudio a condiciones normales de 120 Km/h pero sometiendo a criterio de diseño en fase crítica a 200 Km/h en la tabla 20 obtenemos los siguientes valores.

Tabla 20. Resultados de análisis estático a 200 Km/h

Comparación de prototipos propuestos							
	<b>Cd</b>	<b>Cl</b>	<b>Cm</b>	<b>Fineza</b>	<b>Esfuerzo Max (Mpa)</b>	<b>Deformación Total (mm)</b>	<b>Factor de seguridad (min)</b>
<b>MOD_0</b>	1,469	-0,512	0,341	0,349	1,6373	0,16507	15
<b>MOD_1</b>	1,691	-1,188	1,054	0,703	7,6949	0,453	6,6862
<b>MOD_2</b>	1,664	-0,327	0.069	0,196	3,3223	0,57086	9,33

Fuente: Autores

Los resultados obtenidos sometiendo el retrovisor a condiciones críticas de 200 km/h indican que el coeficiente de arrastre es inferior a los otros dos con un valor de 1,469 siendo el más aerodinámico de igual manera el valor de esfuerzo máximo es inferior a los demás modelos, su deformación total es mínima en comparación a los otros prototipos y finalmente su factor de seguridad de 15 por lo mismo determinamos que acorde a las tablas 19 y 20 el prototipo óptimo para la fabricación con material compuesto con 30% de fibra de cabuya y 70% de resina es el MOD\_0.

## CAPÍTULO V

### 5. FABRICACIÓN DEL RETROVISOR MEDIANTE MATERIAL COMPUESTO Y REFUERZO NATURAL

#### 5.1 Procesos de fabricación del material compuesto

Los procesos para la fabricaciones de material compuesto son muy diversos pero también muy costosos por la tecnología muy avanzada para este tipo de procesos entre los cuales se tiene: estratificación manual, moldeo por extrusión, moldeo por inyección, moldeo por aspersión, moldeo por compresión, moldeo por extrusión y moldeo por transferencia de resina. (GUERRERO V.H. et al. , 2011 pág. 101)

Unos de los procesos más utilizados es el de estratificación manual el mismo que ha sido seleccionada para la aplicación en este proyecto por el alcance y sus costes.

5.1.1 *Estratificación manual.* También llamada hand lay-up, es la técnica más simple y antigua para obtener materiales compuestos para matriz con resina termoestable ya que permite un fácil procesamiento y una buena impregnación de refuerzos en formas de fibras. El material de refuerzo puede presentarse en forma de fibra corta, fibra continua, tejido o no tejido y es adicionado en un porcentaje en volumen máximo del 40%. (GUERRERO V.H. et al. , 2011 pág. 102).

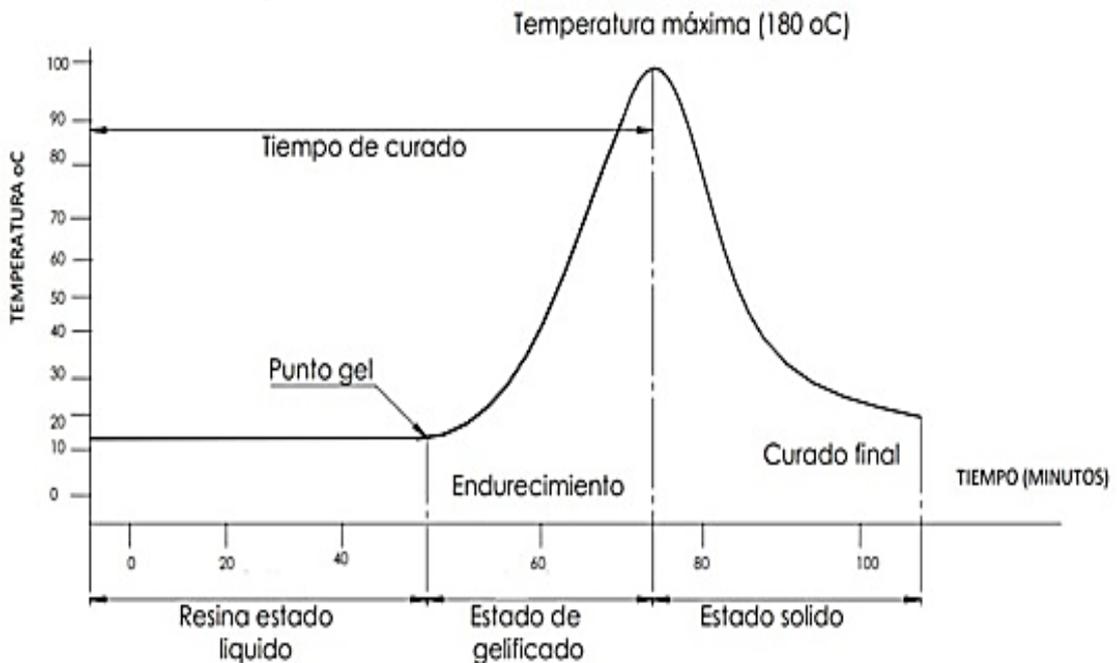
Algunas ventajas de este proceso son su simple operación por lo que permite elaborar piezas de diversos tamaños con alto contenido de refuerzo y baja inversión, por lo que no requiere aplicación de calor y sus reactivos son baratos y la dificultad de controlar el espesor de la pieza y un buen acabado en solo una de sus caras. (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015).

También existen algunas desventajas de este tipo de proceso como por ejemplo, la alta intensidad de la mano de obra, no se puede controlar el grosor de la pieza y no se puede utilizar para producir una gran cantidad de piezas. Puesto que el proceso de estratificación manual es sencillo, es posible fabricar piezas grandes como piscinas, cascos de embarcaciones, yates, paredes laterales de buses y componentes

aeroespaciales como fuselaje de los aviones. También se elaboran piezas para fines estructurales (GUERRERO V.H. et al. , 2011).

5.1.2 *Curado de la resina poliéster.* El curado de la resina poliéster se hace a través de la polimerización por medio de grupos insaturados en la cadena de poliéster y en el estireno, los radicales libres del peróxido al descomponerse empiezan a entrelazarse para determinar el tiempo de gelificación y curado. En el proceso se realiza una reacción exotérmica es decir que libera calor al ambiente por reacción de sus componentes, esta temperatura puede llegar hasta 150 °C en un corto tiempo. (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015)

Figura 41. Proceso de curado de la resina poliéster



Fuente: (BESEDNJAK, 2005 pág. 4)

El proceso de curado de la resina poliéster se realiza en tres fases, donde al alcanzar una temperatura de 10 a 20 °C la resina pasa de un estado líquido a un estado de gel blando a esto se lo llama gelificación. A continuación se presenta el periodo de endurecimiento cuando la resina alcanza una temperatura máxima de hasta 180 °C; si sobrepasara esta temperatura el material subiría cambios bruscos como fisuras. Por ultimo está el periodo de curado final donde la temperatura desciende totalmente y la resina adquiere todas sus propiedades.

## 5.2 Materiales a utilizar en la construcción del material compuesto

Los materiales que se utilizó en la construcción del material compuesto se detallan uno a no a continuación tomado en cuenta normas vigentes para dicho proceso como son las normas ASTM.

5.2.1 *Materiales.* En la obtención del material compuesto se utilizó resina poliéster con sus respectivos elementos de reacción para el mismo.

5.2.1.1 *Resina poliéster.* Es un líquido cristalino, glutinoso y el más popular para su aplicación en productos plásticos fortificados con fibras por sus buenas características y propiedades.

Figura 42. Resina poliéster



Fuente. Autores

5.2.1.2 *Estireno.* Líquido cristalino que fortalece a la matriz y a la disolución viscosa de la resina poliéster.

5.2.1.3 *Meck.* Líquido semi glutinoso, incoloro, inmiscible pero de buena combinación con la resina poliéster.

5.2.1.4 *Octoato de Cobalto.* Líquido de color morado que se utiliza como catalizador de la matriz polimérica que sirve para conformar la matriz.

5.2.1.5 *Cera desmoldante.* Es la que produce una fina cutícula entre las áreas de unión del molde del retrovisor y del material compuesto permitiendo una protección máxima y un perfecto acabado.

La cera desmoldante se puede ver en la Fig.43

Figura 43. Cera desmoldante



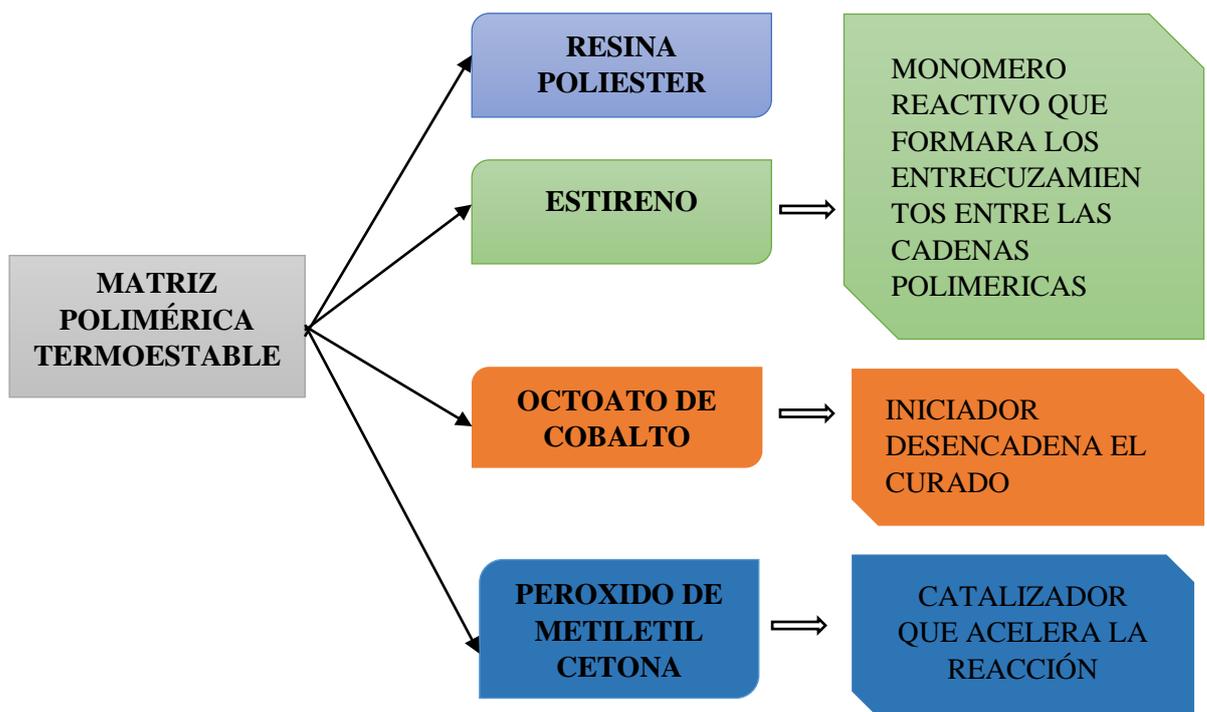
Fuente. Autores

5.2.1.6 *Cabuya*.- Parte importante del material compuesto ya que se utilizó como refuerzo de la matriz poliéster. Todas sus características se detalló anteriormente.

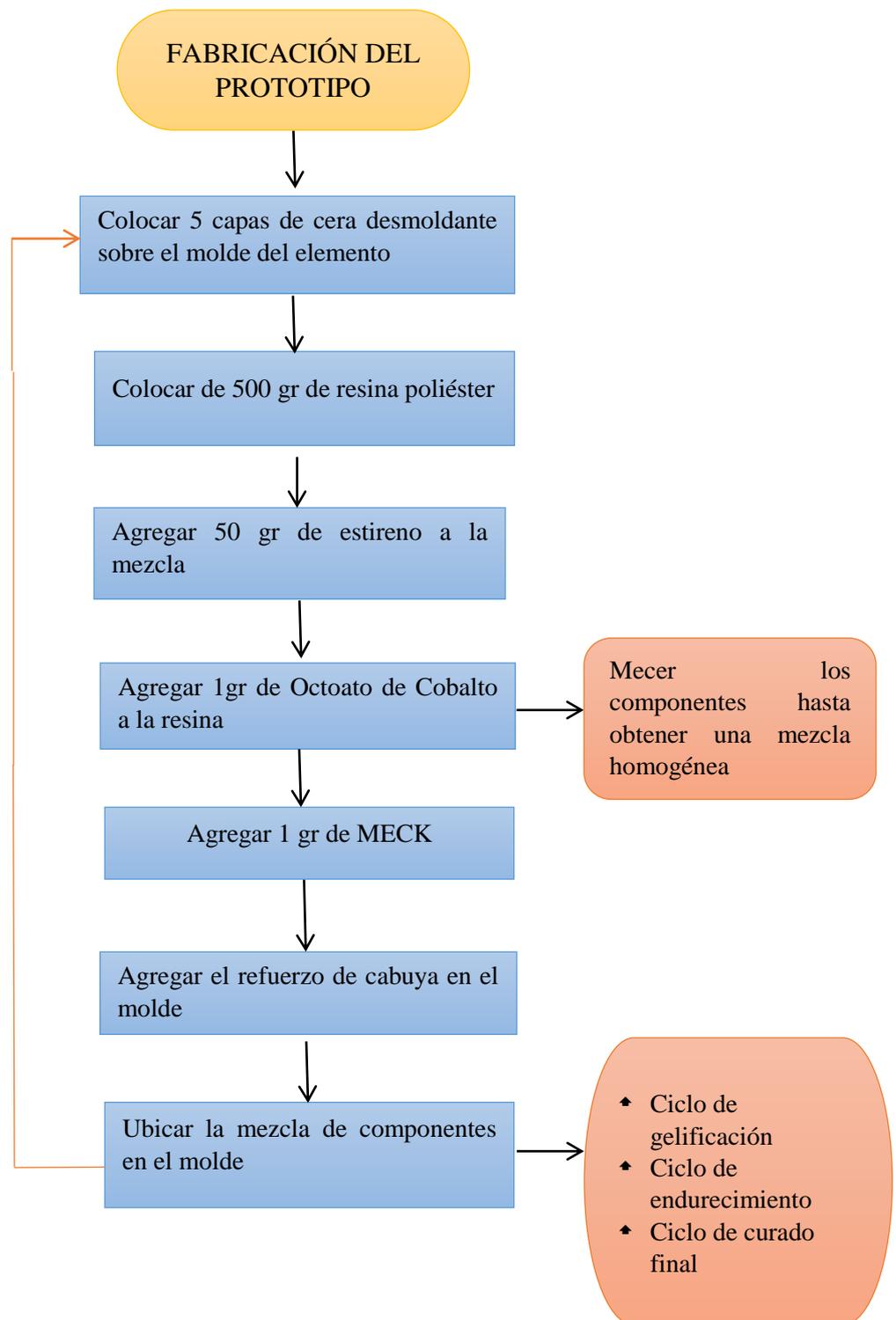
### 5.3 Obtención del retrovisor a partir de matriz polimérica y refuerzo de cabuya

Para la elaboración del “Retrovisor lateral” se lo realizó a partir del elemento original; el proceso utilizado en la construcción del prototipo fue mediante estratificación manual, se consideró un método práctico y de sencilla aplicación para la formación de piezas con materiales compuestos de matriz polimérica y refuerzo natural.

El Proceso de estratificación manual permite obtener una buena interfaz.



Para el proceso de fabricación del prototipo se sigue la siguiente secuencia:



5.3.1 *Construcción del prototipo.* El diseño original no fue alterado, se trabajó con las medidas y diseño original del elemento para la formación de su prototipo.

En su elaboración se toma en cuenta los siguientes procedimientos:

- Limpiamos el retrovisor y se ponen unas cuantas capas de cera de desmoldante con un paño para conseguir brillo y tener una capa de desmoldante sobre el elemento, esto se hace de tal manera que la superficie a realizar no se aferre al molde cuando está totalmente seca y lista para su despliegue sin problemas.

Figura 44. Retrovisor con cera desmoldante



Fuente. Autores

- En la formación del molde base se utilizó yeso.

Figura 45. Molde base del retrovisor lateral



Fuente. Autores

- El molde del prototipo del retrovisor se elaboró con la utilización de matriz polimérica con refuerzo de fibra de vidrio para evitar contracciones térmicas debido a que las cadenas poliméricas generan una reacción exotérmica en el transcurso del endurecimiento de la resina.

Figura 46. Molde de fibra de vidrio



Fuente. Autores

- Una vez formado el molde se adquiere la pieza con el material contemplado a partir de la matriz polimérica y refuerzo de cabuya.
- El molde se limpia y se ponen múltiples capas de cera desmoldante con un paño limpio para adquirir brillo, estableciendo una cutícula desmoldante evitando que se adhiera el molde con el prototipo.
- Se coloca gel coat de moldes en el molde dejando secar para crear la capa de desmolde adecuada.

Figura 47. Gel coat para moldes



Fuente. Autores

- Se corta la fibra cabuya con las dimensiones que sobrepasen el molde para que posteriormente ayude con el desmolde.

Figura 48. Fibra de cabuya cortada



Fuente. Autores

- Mediante la utilización de una escobilla se aplica resina poliéster para luego colocar la fibra de cabuya aplicando el proceso de estratificación manual para evitar formaciones de burbujas de aire, el proceso se realiza en partes primero el centro del molde luego las partes laterales del mismo para evitar excesos de material y poder controlar el moldeo del elemento prototipo, luego de producirse la reacción química del elemento de material compuesto se procede a secar por un lapso de 20 minutos para realizar el desmolde.

Figura 49. Desmolde del prototipo



Fuente. Autores

- Se procede a realizar correcciones que existan en el elemento utilizando masilla para vehículos y distintas lijas para obtener un acabado superficial adecuado.

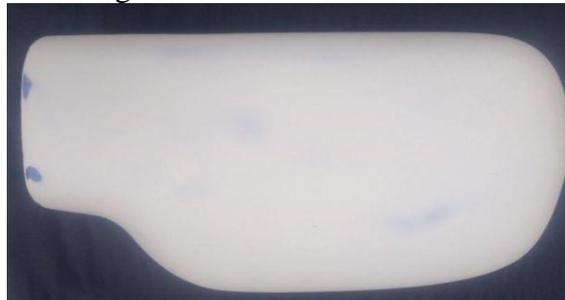
Figura 50. Acabado superficial del retrovisor



Fuente. Autores

- Una vez que se obtiene un acabado superficial correcto del elemento se procede a la fase de pintado del mismo donde se realiza el fondeo de la parte y pieza.

Figura 51. Retrovisor fondeado



Fuente. Autores

- Posterior a la fase de fondeo se procede al acabado final el mismo en el cual se realiza el pintado de retrovisor.

Figura 52. Retrovisor Terminado



Fuente. Autores

## CAPÍTULO VI

### 6 ANÁLISIS COMPARATIVOS MEDIANTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS CON EL RETROVISOR EXISTENTE EN EL MERCADO

#### 6.1 Ensayos destructivos

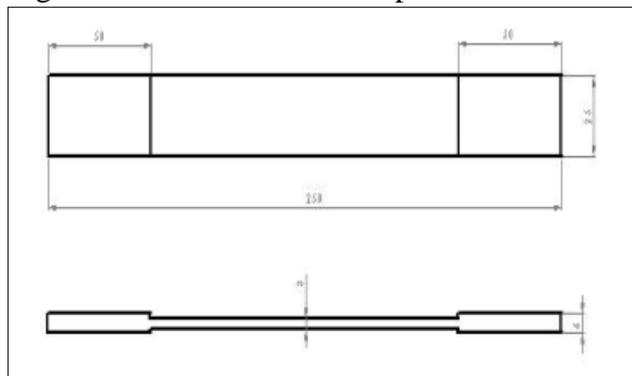
Para los ensayos de tracción, flexión e impacto se tomaron en consideración los ensayos realizados en “aplicación de materiales compuestos para la formación de guardabarros y tapas laterales de una moto de 125 centímetros cúbicos, 4 tiempos” en los cuales se caracterizaron las probetas con 30% de fibra de cabuya y 70% de resina poliéster. Para cada fracción volumétrica y configuración se fabricó 10 probetas y al momento de tabular resultados se utilizó los datos de 7 probetas. (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015 pág. 43)

##### 6.1.1 *Ensayo de Tracción*

Es el ensayo comúnmente más realizado donde el material se deforma hasta su rotura mediante la aplicación de una fuerza uniaxial a lo largo del eje principal (GUERRERO V.H. et al. , 2011 pág. 68).

La elaboración de probetas se realizó para pruebas de tracción descritas en la norma ASTM – D 3039 para materiales compuestos de matriz polimérica, con las medidas que se indica. (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015 pág. 39).

Figura 53. Dimensiones de la probeta de tracción



Fuente: (ASTM D3039 / D3039M, 2002 pág. 9)

El análisis de probetas a tracción con refuerzo de cabuya 30 % se puede observar en el anexo F. (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015 pág. 39)

Una vez realizada la tabulación de datos se valida con el método estadístico ANOVA el que analiza las diferencias de medias entre las muestras de las propiedades mecánicas con un nivel de confianza del 95%. (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015 pág. 48).

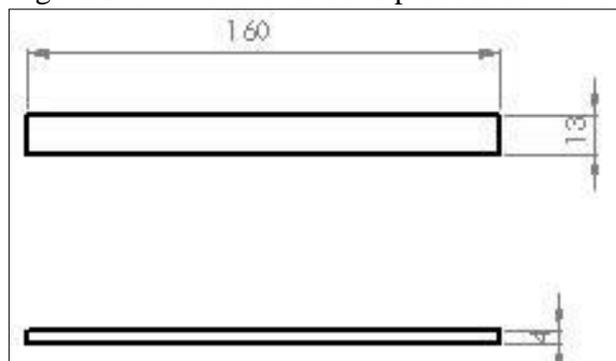
La configuración del material compuesto F.C.L. 30% tuvo un mejor comportamiento de propiedades mecánicas dentro de los parámetros de comparación de acuerdo al nivel de confianza del 95%. (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015 pág. 49).

### 6.1.2 *Ensayo de Flexión*

Este método de ensayo determina la rigidez a la flexión y propiedades de resistencia de un compuesto de matriz polimérica (GUERRERO V.H. et al. , 2011 pág. 69).

Las probetas de flexión fueron realizadas según la norma ASTM - D 7264. Las dimensiones de las probetas se muestran en la Figura 54. (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015 pág. 41).

Figura 54. Dimensiones de la probeta de flexión



Fuente: (ASTM D7264 / D7264M, 2006 pág. 5)

El análisis de probetas a flexión con refuerzo de cabuya 30 % se pueden observar en el anexo G. (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015 pág. 41)

Una vez realizada la comparación de resultados se procede a verificar los parámetros de aceptación o rechazo de la configuración de las probetas de flexión con las

configuraciones correspondientes, con el estadístico ANOVA de comparación de medias el cual nos permite diferenciar claramente el tipo de configuración que presta mejores características mecánicas. (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015 pág. 58)

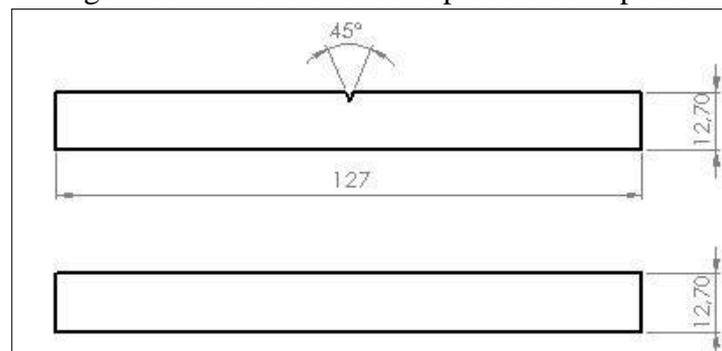
Mientras la configuración del material compuesto F.C.L. 30% tuvo mejor comportamiento de propiedades mecánicas a flexión, a pesar de tener un módulo de flexión bajo están dentro de los parámetros esperados de confianza (95%) pero el F.C.L. 30% posee un mayor esfuerzo máximo y un mejor comportamiento lo que hace estimar que es un buen prospecto para este estudio. (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015 pág. 58)

### 6.1.3 *Ensayo de impacto*

Este ensayo se refiere a la resistencia al impacto de materiales, el objetivo es romper la probeta al momento del impacto y registrar la energía durante el mismo (GUERRERO V.H. et al. , 2011 pág. 73).

Para la elaboración de las probetas de impacto se dimensionaron según la norma ASTM - D 6110. (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015 pág. 42)

Figura 55. Dimensiones de la probeta de impacto



Fuente: (ASTM D 6110, 2004 pág. 6)

En el anexo H se muestra la caracterización de estos materiales expuestos a impacto en función de las necesidades del estudio según la normativa ASTM para ensayos de materiales compuestos plásticos, donde se detalla tablas y graficas de resultados obtenidos. (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015 pág. 59)

Una vez realizada el análisis de los resultados de los ensayos de impacto, se procede a verificar el material aceptable de este estudio de las configuraciones de las probetas de impacto, mediante la utilización del estadístico ANOVA de comparación de medias y con un nivel de confianza de 95% siendo el F.C.L. 30% el que presenta mejores características. (TIXE Joffre & VISTIN Jhonatan, 2015 pág. 61)

#### 6.1.4 *Ensayo de Dureza*

Los ensayos de dureza se usan comúnmente para valorar las propiedades del material porque son rápidos y convenientes. Existe una gran variedad de métodos debido a las diferencias de dureza entre los materiales. Los ensayos de dureza más conocidos son el Brinell y el Rockwell (GROOVER, 1997 pág. 57)

En el anexo I se muestra la caracterización de estos materiales al ensayo de dureza según lo indicado por las necesidades de la revisión según la norma ASTM E 10-15 donde se puntualiza tablas y diagramas de resultados adquiridos.

## **6.2 Ensayos no destructivos**

#### 6.2.1 *Ensayo aerodinámico en el túnel de viento*

Los ensayos en túnel de viento son fundamentales para desarrollar investigaciones aerodinámicas. Las informaciones extraídas de los ensayos ayudan a calcular las cargas aerodinámicas provocadas por el viento y fortalecen a escoger una decisión con relación a una mejoría de proyectos (Ries M. et al., 2000 pág. 152).

En el anexo J se muestra la realización del análisis aerodinámico de estos materiales en función de las necesidades del estudio donde se detalla tablas y graficas de resultados.

#### 6.2.2 *Ensayo con tintas penetrantes*

Ensayo por tintas penetrantes es un método sumamente eficaz para detectar fisuras y daños superficiales. Posee costos reducidos y requiere de relativamente pocos elementos para su realización. Según los químicos que se utilicen, es posible realizar evaluaciones

tanto en aleaciones metálicas (ferrosas y no ferrosas) como en materiales compuestos (De Santos, 2015 pág. 396).

En el anexo K se muestra la caracterización de estos materiales al ensayo de tintas penetrantes según lo indicado por las necesidades de la revisión según la norma ASTM – E165/E165M-12 donde se puntualiza tablas y diagramas de resultados adquiridos.

### 6.3 Características mecánicas del material real del retrovisor Suzuki forsa

**Nombre del plástico:** POLIPROPILENO

**Tipo:** Termoplástico

El polipropileno (PP) se ha convertido en un plástico de mayor uso, especialmente para el moldeo por inyección. El polipropileno puede sintetizarse en cualquiera de las tres estructuras: isotáctica, sindiotáctica o atáctica, pero la primera es de la mayor importancia a causa de su alta relación de resistencia al peso. El punto de fusión del polipropileno permite usarlo en ciertas aplicaciones que no son posibles con el polietileno, como por ejemplo componentes que necesitan esterilizarse. Otras aplicaciones son partes moldeadas por inyección para automóviles y aparatos domésticos. Al momento de hacer contacto con una llama de fuego se puede observar lo siguiente: (GROOVER, 1997 pág. 203)

**Arde:** Bien.

**Humo:** Ligero.

**Color de la llama:** Amarillo claro.

Tabla 21. Propiedades mecánicas del polipropileno

Polímero:	Polipropileno (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> ) <sub>n</sub>
Símbolo:	PP
Método de polimerización:	Adición
Grado de cristalinidad:	Alto, pero varía con el procesamiento
Módulo de elasticidad:	200,000 lb/pulg <sup>2</sup> (1400 MPa)
Resistencia a la tensión:	5,000 lb/pulg <sup>2</sup> (35 MPa)
Elongación:	de 10 a 500% dependiendo de los aditivos
Gravedad específica:	0.90
Temperatura de transición vítrea:	-4 °F (-20 °C)
Temperatura de fusión:	349 °F (176 °C)
Participación aproximada en el mercado:	Cerca del 13%

Fuente: (GROOVER, 1997 pág. 203)

Para poder realizar el análisis comparativo se tomara como referencia ensayos realizados del polipropileno los cuales se detallan a continuación:

Tabla 22. Propiedades mecánicas del polipropileno a tracción

<b>Propiedades del polipropileno a Tracción</b>	
<b>Probetas</b>	<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>
1	392,97
2	346,12
3	406,70
4	346,82
5	408,93
Promedio	380.31
Desviación Estándar	31,4895

Fuente: (RUMIGUANO, 2011 pág. 87)

Tabla 23. Propiedades mecánicas del polipropileno a flexión

<b>Propiedades del polipropileno a Flexión</b>	
<b>Probetas</b>	<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>
Promedio	2559
Desviación Estándar	8,59

Fuente: ( JENCK S.A., 2016 pág. 1)

Tabla 24. Propiedades mecánicas del polipropileno al impacto

<b>Propiedades mecánicas del polipropileno al impacto</b>	
<b>Probetas</b>	<b>Resistencia Máxima al Impacto (J)</b>
Promedio	3,9
Desviación Estándar	1,58

Fuente: (RUMIGUANO, 2011 pág. 90)

Tabla 25. Propiedades mecánicas del polipropileno a dureza

<b>Propiedades mecánicas del polipropileno a dureza</b>	
<b>Probetas</b>	<b>Dureza Brinell (HB)</b>
Promedio	7
Desviación Estándar	3,15

Fuente: (MARIANO, 2011)

Tabla 26. Propiedades aerodinámicas del polipropileno

<b>Propiedades de resina poliéster a Tracción</b>		
<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Resistencia (N)</b>
20,00	11,2	0,119
30,00	21,5	1,120
40,00	28,7	2,640
50,00	34,2	3,839
Promedio	23,9	1.9295
Desviación Estándar	9,936	1,6416

Fuente: Autores

Tras describir los materiales compuestos con sus correspondientes partes volumétricas, procedemos a demostrar los resultados conseguidos por los ensayos de tracción, flexión, resistencia al impacto, dureza, aerodinámico en el túnel de viento y de tintas penetrantes como se indica en la Tabla 27.

Tabla 27. Resultados de la caracterización

<b>INTERPRETACION Y ANALISIS DE RESULTADOS</b>							
<b>Ensayo</b>	<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>		<b>Gráfico</b>				
<b>Ensayo a tracción</b>	F.C.L. 30%	Polipropileno	<table border="1"> <tr> <td>Ensayo a traccion</td> <td>0</td> <td>4157</td> <td>380,31</td> </tr> </table>	Ensayo a traccion	0	4157	380,31
	Ensayo a traccion	0		4157	380,31		
4157	380,31						
<b>Ensayo a flexión</b>	Módulo de Elasticidad (MPa)		<table border="1"> <tr> <td>Ensayo a flexion</td> <td>0</td> <td>3425</td> <td>2559</td> </tr> </table>	Ensayo a flexion	0	3425	2559
	Ensayo a flexion	0		3425	2559		
F.C.L. 30%	Polipropileno	3425	2559				

Tabla 27. (Continuación) Resultados de la caracterización

<b>Ensayo a impacto</b>	Res. Máx. al impacto (J)		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Material</th> <th>Ensayo a impacto Res. Máx. al impacto (J)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F.C.L. 30%</td> <td>5,2</td> </tr> <tr> <td>Polipropileno</td> <td>3,9</td> </tr> </tbody> </table>	Material	Ensayo a impacto Res. Máx. al impacto (J)	F.C.L. 30%	5,2	Polipropileno	3,9
	Material	Ensayo a impacto Res. Máx. al impacto (J)							
	F.C.L. 30%	5,2							
Polipropileno	3,9								
F.C.L. 30%	Polipropileno								
5,2	3,9								
<b>Ensayo de dureza</b>	Dureza Brinell (HB)		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Material</th> <th>Ensayo de dureza Dureza Brinell (HB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F.C.L. 30%</td> <td>25,53</td> </tr> <tr> <td>Polipropileno</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table>	Material	Ensayo de dureza Dureza Brinell (HB)	F.C.L. 30%	25,53	Polipropileno	7
	Material	Ensayo de dureza Dureza Brinell (HB)							
	F.C.L. 30%	25,53							
Polipropileno	7								
F.C.L. 30%	Polipropileno								
25,53	7,00								
<b>Ensayo túnel de viento</b>	Velocidad (m/s)		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Material</th> <th>Ensayo túnel de viento Velocidad (m/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F.C.L. 30%</td> <td>20,65</td> </tr> <tr> <td>Polipropileno</td> <td>23,9</td> </tr> </tbody> </table>	Material	Ensayo túnel de viento Velocidad (m/s)	F.C.L. 30%	20,65	Polipropileno	23,9
	Material	Ensayo túnel de viento Velocidad (m/s)							
	F.C.L. 30%	20,65							
	Polipropileno	23,9							
	F.C.L. 30%	Polipropileno							
20,65	23,9								
Resistencia (N)		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Material</th> <th>Ensayo túnel de viento Resistencia (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F.C.L. 30%</td> <td>1,32</td> </tr> <tr> <td>Polipropileno</td> <td>1,93</td> </tr> </tbody> </table>	Material	Ensayo túnel de viento Resistencia (N)	F.C.L. 30%	1,32	Polipropileno	1,93	
Material	Ensayo túnel de viento Resistencia (N)								
F.C.L. 30%	1,32								
Polipropileno	1,93								
F.C.L. 30%	Polipropileno								
1,32	1,93								

Tabla 27. (Continuación) Resultados de la caracterización

<b>Ensayo por tintas penetrantes</b>	Posición (mm)		
	F.C.L. 30%	Polipropileno	
	2,14	No aplicable	

Fuente: Autores

#### 6.4 Análisis comparativo del retrovisor fabricado con el retrovisor existente en el mercado

Como referencia para realizar el análisis comparativo se considera la tesis de Carlos Javier Medina Benalcázar “análisis comparativo de herramientas data quality propietario frente a las herramientas de software libre disponibles en el mercado. Aplicado a la base de datos oasis” (BENALCÁZAR, 2014).

Los resultados de los criterios de comparación: peso, costo, dureza, resistencia al impacto y durabilidad se realizarán en un cuadro comparativo de retrovisores, cuyas pruebas de desarrollo fueron realizadas y verificadas con los ensayos.

Los criterios y parámetros de valoración para los modelos de retrovisores son:

Tabla 28. Criterios y parámetros de valoración para cada retrovisor

Nº	Criterio	Parámetro	Concepto
1	Peso	Masa	Cantidad de materia que posee cada retrovisor
2	Costo	Materia Prima	Materiales y elementos que se incluyen en la elaboración de los retrovisores.
3	Dureza	Propiedades mecánicas dureza	Propiedad que tienen los materiales de resistir el rayado y el corte de su superficie
4	Resistencia al Impacto	Propiedades mecánicas impacto	Energía que absorbe un cuerpo antes de fracturarse.
5	Durabilidad	Tiempo	Conservación de los materiales

Fuente: Autores

#### 6.4.1 Definición de los indicadores

En las siguientes tablas se especifican las propiedades mecánicas del retrovisor de material compuesto y del material de polipropileno para obtener información específica.

Tabla 29. Masa

<b>Masa</b>	
<b>Indicador</b>	<b>Descripción</b>
Modelo de Material compuesto	0.455 kg
Modelo de Polipropileno	0.625 kg

Fuente: Autores

Tabla 30. Materia Prima

<b>Materia Prima</b>	
<b>Indicador</b>	<b>Descripción</b>
Modelo de Material compuesto	10,00 USD
Modelo de Polipropileno	18,00 USD

Fuente: Autores

Tabla 31. Propiedades mecánicas dureza

<b>Propiedades de dureza</b>	
<b>Indicador</b>	<b>Descripción</b>
Dureza Brinell (HB) (Material compuesto)	25,53 HB
Dureza Brinell (HB) (Polipropileno)	7,00 HB

Fuente: Autores

Tabla 32. Propiedades mecánicas impacto

<b>Propiedades de impacto</b>	
<b>Indicador</b>	<b>Descripción</b>
Resistencia max. Al impacto (Material compuesto)	5,2 J
Resistencia max. Al impacto (Polipropileno)	3,9 J

Fuente: Autores

Tabla 33. Tiempo

<b>Tiempo</b>	
<b>Indicador</b>	<b>Descripción</b>
Duración (Material compuesto)	50 años
Duración (Polipropileno)	500 años

Fuente: Autores

#### 6.4.2 Criterio de Evaluación

La valoración se realizara conforme a la escala que se muestra en la tabla 34 y tabla 35, lo cual permite establecer qué modelo de retrovisor presenta mejores condiciones para el mercado nacional.

##### 6.4.2.1 Valoración cualitativa y cuantitativa

Tabla 34. Valoración

<b>Regular</b>	<b>Bueno</b>	<b>Muy Bueno</b>	<b>Excelente</b>
<70%	>70% y <80%	>80% y <95%	>95%

Fuente: (BENALCÁZAR, 2014 pág. 114)

##### 6.4.2.2 Escala de valoración de calidad y cantidad para los parámetros

Tabla 35. Escala de depreciación

<b>Valoración de Calidad</b>	<b>Valor Específico</b>
No Satisfactorio	1
Poco Satisfactorio	2
Satisfactorio	3
Muy Satisfactorio	4

Fuente: (BENALCÁZAR, 2014 pág. 115)

**Y** = Es la calificación lograda por el retrovisor fabricado.

**X** = Es la calificación lograda por el retrovisor existente en el mercado.

**M** = Es la calificación de cálculo del el parámetro.

**Crf** = Es la calificación alcanzado del retrovisor fabricado en el parámetro.

**Cre** = Es la calificación alcanzado del retrovisor existente en el mercado en el parámetro.

**Ct** = Es la calificación por el cual es evaluado el parámetro.

**Prf** = Es el porcentaje obtenido por el retrovisor fabricado.

**Pre** = Es el porcentaje obtenido por el retrovisor existente en el mercado.

Las fórmulas para el análisis de cuantificación son las siguientes:

$$\mathbf{Crf} = \Sigma \mathbf{Y} \quad (4)$$

$$Cre = \Sigma X \quad (5)$$

$$Ct = \Sigma M \quad (6)$$

$$Prf = \frac{(crf)}{(Ct)} * 100\%$$

$$Pre = \frac{(Cre)}{(Ct)} * 100\%$$

### 6.4.3 *Análisis de cuantificación de cotejo*

#### 6.4.3.1 *Masa*

La masa hace referencia a la cantidad de materia del retrovisor para la fabricación, así como la medición en kilogramos para cada modelo.

La lectura en kilogramos del retrovisor existente en el mercado es de 0.625 kg la lectura en kilogramos del retrovisor fabricado de material compuesto es de 0.455 kg

Tabla 36. Comparación de masa

<b>Valoración</b>	
<b>Medición en kilogramos del retrovisor.</b>	<b>Valoración de calidad</b>
Menos de 0,1 kg	No Satisfactorio
De 0,2 kg o mayor a 0,8 kg	Poco Satisfactorio
De 0,3 kg o mayor 0,7 kg	Satisfactorio
De 0,4 kg a 0,7 kg	Muy Satisfactorio

Fuente: Autores

Tabla 37. Resultados del Criterio de masa.

<b>Parámetros</b>	<b>Retrovisor fabricado de Material Compuesto</b>		<b>Retrovisor existente en el mercado</b>	
	<b>Valor de Calidad</b>	<b>Valor Alcanzado</b>	<b>Valor de Calidad</b>	<b>Valor Alcanzado</b>
Material compuesto	Muy Satisfactorio	4		
Polipropileno			Muy Satisfactorio	4

Fuente: Autores

- *Interpretación*

*Masa:* La medición de masa en kilogramos de los retrovisores es muy importante, debido a que los modelos no deben ser muy ligeros y tampoco muy pesados ya que contribuyen una parte importante de la seguridad activa del conductor, tomando como referencia el valor de masa de 0.625 kg del retrovisor existente en el mercado interpretamos que el nuevo modelo de retrovisor de masa 0.455 kg cumple a la perfección con los parámetros establecidos siendo así que han obtenido una valoración de 4 puntos que correspondientes a muy satisfactorio.

- *Evaluación*

Cómputo de proporciones.

$$Crf = \Sigma Y = 4; Cre = \Sigma X = 4; Ct = \Sigma M = 4$$

$$Prf = \frac{(4)}{(4)} * 100\% = 100\%$$

$$Pre = \frac{(4)}{(4)} * 100\% = 100\%$$

Figura 56. Resultados de masa del retrovisor



Fuente: Autores

- *Interpretación de masa de retrovisor*

En los resultados observados en la Figura 56 se tiene para este criterio que el retrovisor fabricado tiene un porcentaje del 100% y el retrovisor que existe en el mercado con un porcentaje del 100% total lo cual es equivalente a excelente y dejando a consideración que los dos modelos son competentes en lo que a peso se refiere.

#### 6.4.3.2 *Materia Prima*

El criterio de que vamos a analizar y comparar nos dará los resultados necesarios del costo total de la materia prima que utilizamos para la construcción del nuevo modelo de retrovisor, así como del retrovisor que se encuentra en el mercado.

Tabla 38. Costo del retrovisor.

<b>Valoración</b>	
<b>Costo del retrovisor.</b>	<b>Valoración de calidad</b>
De 25,00 USD a 30,00 USD	No Satisfactorio
De 20,00 USD a 25,00 USD	Poco Satisfactorio
De 15,00 USD a 20,00 USD	Satisfactorio
Menos de 10,00 USD	Muy Satisfactorio

Fuente: Autores

Tabla 39. Resultados del Criterio de materia prima.

<b>Parámetros</b>	<b>Retrovisor fabricado de Material Compuesto</b>		<b>Retrovisor existente en el mercado</b>	
	<b>Valor de Calidad</b>	<b>Valor Alcanzado</b>	<b>Valor de Calidad</b>	<b>Valor Alcanzado</b>
Material compuesto	Muy Satisfactorio	4		
Polipropileno			Satisfactorio	3

Fuente: Autores

- *Interpretación*

*Materia prima:* Factor que es necesariamente comparar, debido a que los precios de la materia prima para la construcción de este nuevo modelo no deben sobrepasar el costo del retrovisor que existe en el mercado, por el contrario observamos que este modelo es muy económico obteniendo una calificación de 4 equivalente a muy satisfactorio a un

costo de 10,00 dólares por unidad abaratando por mucho el costo del retrovisor que encontramos en el mercado a un precio de 18,00 dólares el mismo que ha obtenido una valoración de 3 puntos que corresponde a satisfactorio.

- *Evaluación*

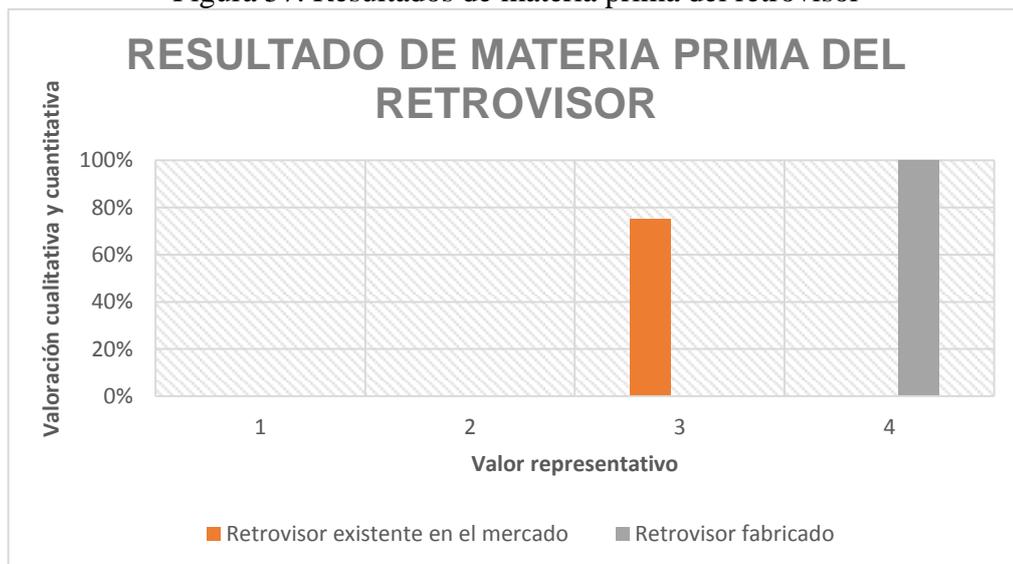
Cómputo de proporciones.

$$\text{Crf} = \Sigma Y = 4; \text{Cre} = \Sigma X = 3; \text{Ct} = \Sigma M = 4$$

$$\text{Prf} = \frac{(4)}{(4)} * 100\% = 100\%$$

$$\text{Pre} = \frac{(3)}{(4)} * 100\% = 75\%$$

Figura 57. Resultados de materia prima del retrovisor



Fuente: Autores

- *Interpretación de materia prima del material*

En los resultados se observa que para este criterio que el retrovisor fabricado con un porcentaje del 100% equivalente a excelente y el retrovisor que existe en el mercado 75% del porcentaje total equivalente a bueno y dejando a consideración que el nuevo modelo está en competencia directa para el mercado nacional en lo que a precio se refiere.

### 6.4.3.3 Propiedades de dureza

El criterio de propiedades de dureza que vamos a analizar y comparar nos dará los resultados de dureza que se realizaron en los ensayos del nuevo modelo de retrovisor, así como del retrovisor que se encuentra en el mercado.

Tabla 40. Equivalencia de valores

<b>Valoración</b>	
<b>Dureza en escala Brinell.</b>	<b>Valoración de calidad</b>
Menor a 5 HB	No Satisfactorio
De a 5 HB a 10 HB	Poco Satisfactorio
De a 10 HB a 20 HB	Satisfactorio
Mayor a 20 HB	Muy Satisfactorio

Fuente: Autores

Tabla 41. Resultados del Criterio de dureza

<b>Parámetros</b>	<b>Retrovisor fabricado de Material Compuesto</b>		<b>Retrovisor existente en el mercado</b>	
	<b>Valor de Calidad</b>	<b>Valor Alcanzado</b>	<b>Valor de Calidad</b>	<b>Valor Alcanzado</b>
Dureza en escala Brinell (Material compuesto)	Muy Satisfactorio	4		
Dureza en escala Brinell (Polipropileno)			Poco Satisfactorio	2

Fuente: Autores

- *Interpretación*

*Propiedades de dureza:* En este factor de comparación observamos que el nuevo modelo en cuestión de dureza del material obtiene una calificación de 4 equivalente a muy satisfactorio con una escala de dureza de 25,53 HB a diferencia del retrovisor de polipropileno que existe en el mercado que tenemos en la escala de dureza de 7 HB el mismo que ha obtenido una valoración de 2 puntos equivalente a poco satisfactorio.

- *Evaluación*

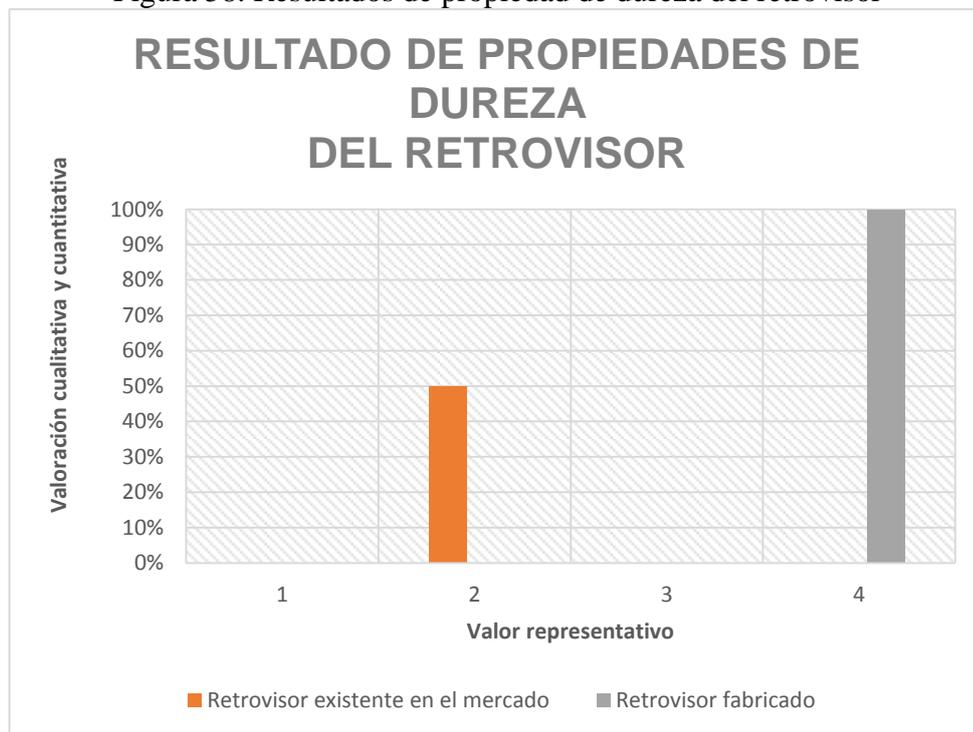
Cómputo de proporciones.

$$C_{rf} = \sum Y = 4; C_{re} = \sum X = 2; C_t = \sum M = 4$$

$$Prf = \frac{(4)}{(4)} * 100\% = 100\%$$

$$Pre = \frac{(2)}{(4)} * 100\% = 50\%$$

Figura 58. Resultados de propiedad de dureza del retrovisor



Fuente: Autores.

- *Interpretación de dureza del material*

En los resultados se observa que para este criterio el retrovisor fabricado de material compuesto con un porcentaje del 100% equivalente a excelente y el retrovisor que existe en el mercado 50% del porcentaje total equivalente a regular y dejando a consideración que si a materiales compuestos se refiere el nuevo modelo de retrovisor obtiene un excelente grado de dureza y teniendo en cuenta que el retrovisor no es una parte y pieza que este expuesta a esfuerzos sino solo a la presión del aire como demostramos en el análisis CFD.

#### 6.4.3.4 *Propiedades de impacto*

El criterio de propiedades de impacto que vamos a analizar y comparar nos dará los resultados de impacto que se realizaron en los ensayos del nuevo modelo de retrovisor, así como del retrovisor que se encuentra en el mercado.

Tabla 42. Equivalencia de valores

<b>Valoración</b>	
<b>Resistencia máxima al impacto.</b>	<b>Valoración de calidad</b>
Menor a 3 J	No Satisfactorio
De a 3 J a 4 J	Poco Satisfactorio
De a 4 J a 5 J	Satisfactorio
Mayor a 5 J	Muy Satisfactorio

Fuente: Autores

Tabla 43. Resultados del Criterio de impacto

<b>Parámetros</b>	<b>Retrovisor fabricado de Material Compuesto</b>		<b>Retrovisor existente en el mercado</b>	
	<b>Valor de Calidad</b>	<b>Valor Alcanzado</b>	<b>Valor de Calidad</b>	<b>Valor Alcanzado</b>
Resistencia max. al impacto (Material compuesto)	Muy Satisfactorio	4		
Resistencia max. al impacto (Polipropileno)			Poco Satisfactorio	2

Fuente: Autores

- *Interpretación*

*Propiedades de Impacto:* Para este factor de comparación en valores de J (Joule) observamos que el nuevo modelo en cuestión de resistencia máxima al impacto obtiene una calificación de 4 equivalente a muy satisfactorio ya que tenemos el valor de 5,2 J a diferencia del retrovisor de polipropileno que existe en el mercado que tenemos un valor de 3,9 J el mismo que ha obtenido la valoración de 2 puntos que corresponde a poco satisfactorio.

- *Evaluación*

Cómputo de proporciones.

$$Crf = \Sigma Y = 4; Cre = \Sigma X = 2; Ct = \Sigma M = 4$$

$$Prf = \frac{(4)}{(4)} * 100\% = 100\%$$

$$Pre = \frac{(2)}{(4)} * 100\% = 50\%$$

Figura 59. Resultados de propiedad de impacto del retrovisor



Fuente: Autores

- *Interpretación de impacto del material.*

En los resultados se observa que para este criterio el retrovisor fabricado con un porcentaje del 100% equivalente a excelente y el retrovisor que existe en el mercado 50% del porcentaje total equivalente a regular, teniendo en cuenta que el retrovisor no es una parte y pieza que sea diseñada para estar sometida a impacto como es el caso de los guardachoques, chasis, etc. sino solo a la presión del aire como demostramos en el análisis CFD determinamos que la resistencia máxima al impacto para el retrovisor fabricado de material compuesto es muy satisfactoria.

#### 6.4.3.5 *Tiempo*

El criterio de tiempo que vamos a analizar nos dará los resultados de durabilidad de los materiales del nuevo modelo de retrovisor, así como del retrovisor que se encuentra en el mercado, teniendo en cuenta cómo afecta al ecosistema la biodegradación.

Los plásticos al ser materiales de difícil degradación, se acumulan en las superficies donde son depositados y contaminan grandes masas de tierra y volúmenes de agua. Por ello, impulsar el desarrollo de materiales biodegradables que presenten la funcionalidad y versatilidad de los plásticos convencionales y que además se deriven de recursos renovables constituye la mejor alternativa frente a los graves problemas medioambientales. (GUERRERO V.H. et al. , 2011 pág. 125)

Estas propiedades han promovido la incorporación de fibras vegetales a materiales poliméricos para disminuir el impacto de algunos productos en el medio ambiente y reducir la dependencia de derivados del petróleo (GUERRERO V.H. et al. , 2011 pág. 280).

Tabla 44. Equivalencia de valores

<b>Valoración</b>	
<b>Tiempo</b>	<b>Valoración de calidad</b>
Más de 300 años	No Satisfactorio
De a 200 a 300 años	Poco Satisfactorio
De a 100 a 200 años	Satisfactorio
De a 50 a 100 años	Muy Satisfactorio

Fuente: Autores

Tabla 45. Resultados del Criterio de tiempo

<b>Parámetros</b>	<b>Retrovisor fabricado de Material Compuesto</b>		<b>Retrovisor existente en el mercado</b>	
	<b>Valor de Calidad</b>	<b>Valor Alcanzado</b>	<b>Valor de Calidad</b>	<b>Valor Alcanzado</b>
Material compuesto	Muy Satisfactorio	4		
Polipropileno			No Satisfactorio	1

Fuente: Autores

- *Interpretación*

*Tiempo:* para este factor de comparación en años observamos que el nuevo modelo en cuestión durabilidad obtiene una calificación de 4 equivalente a Muy Satisfactorio ya que tenemos una biodegradación de los materiales compuestos a 50 años a diferencia del retrovisor de polipropileno que existe en el mercado que se degrada en 500 años el mismo que ha obtenido la valoración de 1 punto que corresponde a no satisfactorio.

- *Evaluación*

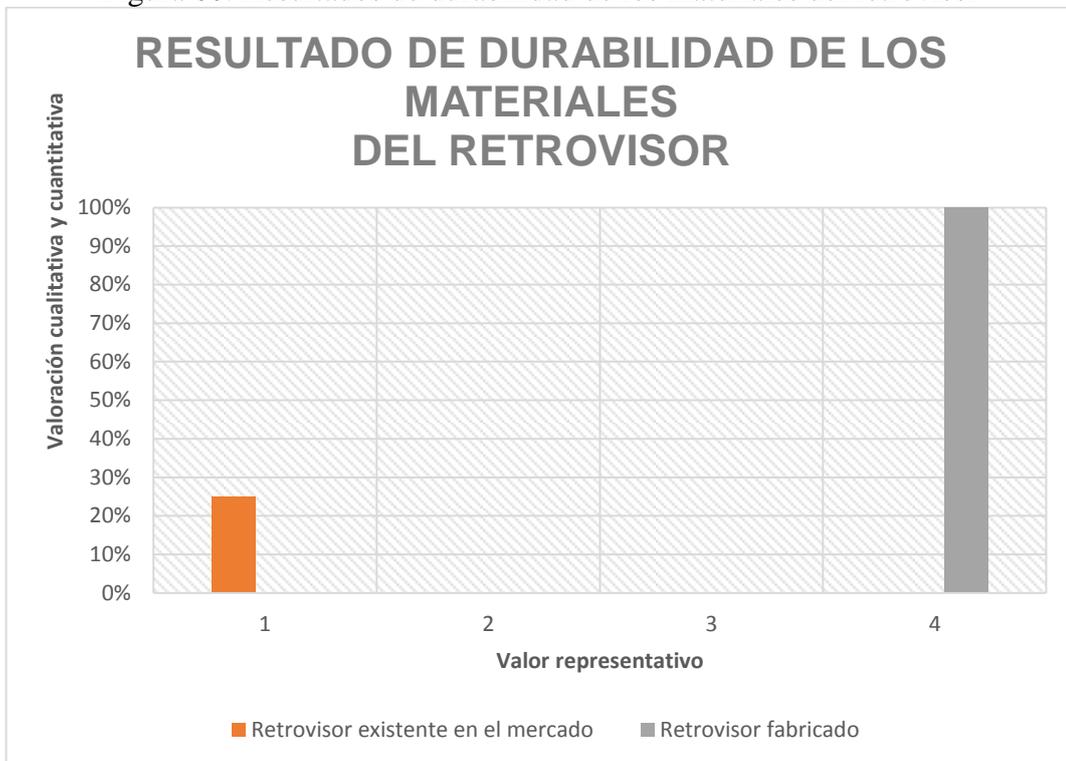
Cómputo de proporciones

$$Crf = \Sigma Y = 4; Cre = \Sigma X = 1; Ct = \Sigma M = 4$$

$$Prf = \frac{(4)}{(4)} * 100\% = 100\%$$

$$Pre = \frac{(1)}{(4)} * 100\% = 25\%$$

Figura 60. Resultados de durabilidad de los materiales del retrovisor



Fuente: Autores

- *Interpretación de durabilidad del material.*

En los resultados se observa que para este criterio el retrovisor fabricado con un porcentaje del 100% equivalente a excelente y el retrovisor que existe en el mercado 25% del porcentaje total equivalente a regular, teniendo en cuenta que el nuevo modelo de retrovisor contribuye a cuidar el medio ambiente el mismo resulta una opción muy satisfactoria ya que los materiales compuestos tienen un tiempo determinado para biodegradarse volviendo así a la naturaleza, esto no sucede con el retrovisor de polipropileno ya que su duración es muy prolongada el mismo que una vez que termine su vida útil lo único que contribuye es a contaminar.

La utilización de fibras vegetales favorece la creación de fuentes alternativas de empleo. En este caso, se podría desarrollar una producción que no esté destinada únicamente al sector alimenticio, sino también a sectores de continuo crecimiento como el del de transporte, siendo estos un potencial nicho de mercado para materiales compuestos reforzados con fibras naturales. (GUERRERO V.H. et al. , 2011 pág. 280)

Esto se puede aprovechar notablemente en Ecuador, pues el uso de materiales agrícolas como fibra de abacá, yute, coco, cabuya, entre otros, podría promover un desarrollo económico sustentable de las zonas rurales. (GUERRERO V.H. et al. , 2011 pág. 280)

#### 6.4.4 *Puntajes Alcanzados*

Después de observar los indicadores planteados para cada uno de los parámetros especificados para este análisis comparativo, procedemos a una consideración por medio de la examinación de datos.

Se observa los valores de cantidad, que manifiestan el desarrollo de cada retrovisor de acorde a sus propiedades de peso, costo, dureza, resistencia al impacto y durabilidad, para así determinar qué modelo alcanzo el mejor puntaje en cosideracion a los parámetros propuestos.

Los resultados obtenidos en el análisis comparativo que se detallan a continuación en la tabla 46.

Tabla 46. Resultados obtenidos en el análisis

Criterios	Parámetros	Indicadores	Retrovisores	
			Retrovisor fabricado de Material Compuesto	Retrovisor existente en el mercado
Peso	Masa	Modelo de Material compuesto	4	
		Modelo de Polipropileno		4
Costo	Materia Prima	Modelo de Material compuesto	4	
		Modelo de polipropileno		3
Dureza	Propiedades mecánicas dureza	Dureza Brinell (HBW) (Material compuesto)	4	
		Dureza Brinell (HBW) (Polipropileno)		2
Resistencia al Impacto	Propiedades mecánicas impacto	Resistencia max. Al impacto (Material compuesto)	4	
		Resistencia max. Al impacto (Polipropileno)		2
Durabilidad	Tiempo	Duración (Material compuesto)	4	
		Duración (Polipropileno)		1
Suma			20	12
Promedios generales			4	2.4
Porcentajes generales			100 %	60%

Fuente Autores

#### 6.4.5 Resultados en porcentajes.

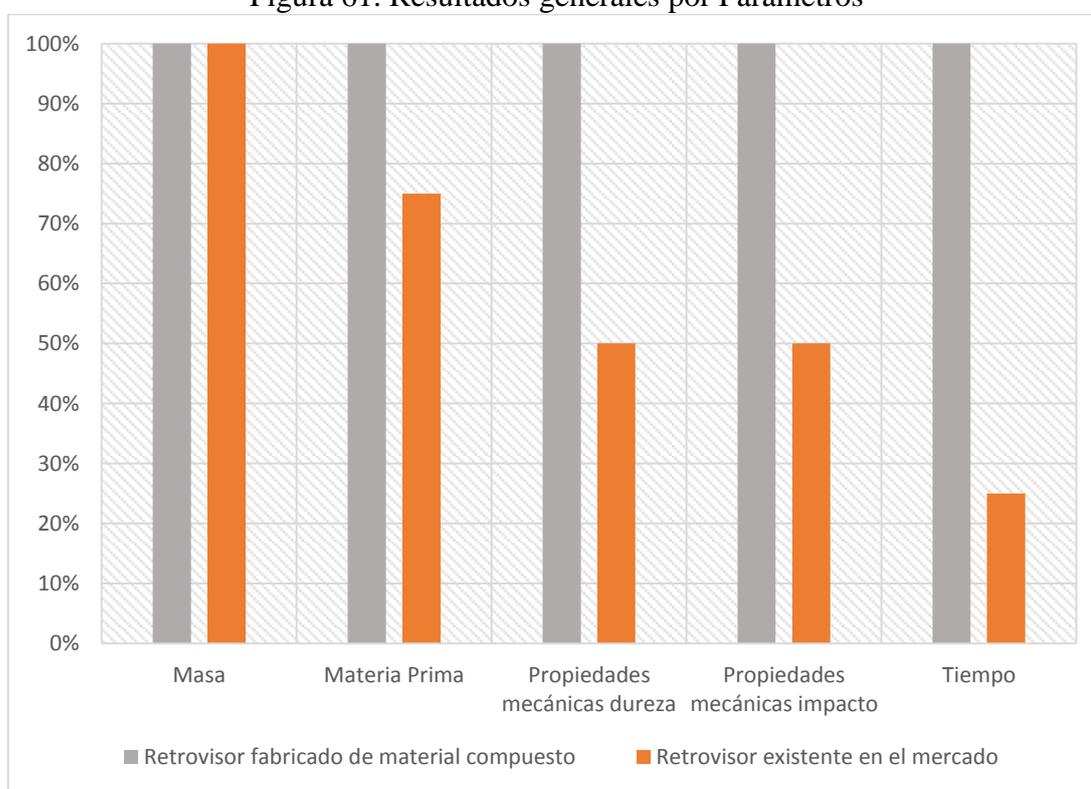
En la Tabla 47 se describe los resultados en porcentajes de los retrovisores, los datos que se alcanzaron se muestran a continuación:

Tabla 47. Resultados generales por Parámetro

	Masa	Materia Prima	Propiedades mecánicas dureza	Propiedades mecánicas impacto	Tiempo
<b>Retrovisor fabricado de Material Compuesto</b>	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Retrovisor existente en el mercado</b>	100%	75%	50%	50%	25%

Fuente Autores

Figura 61. Resultados generales por Parámetros

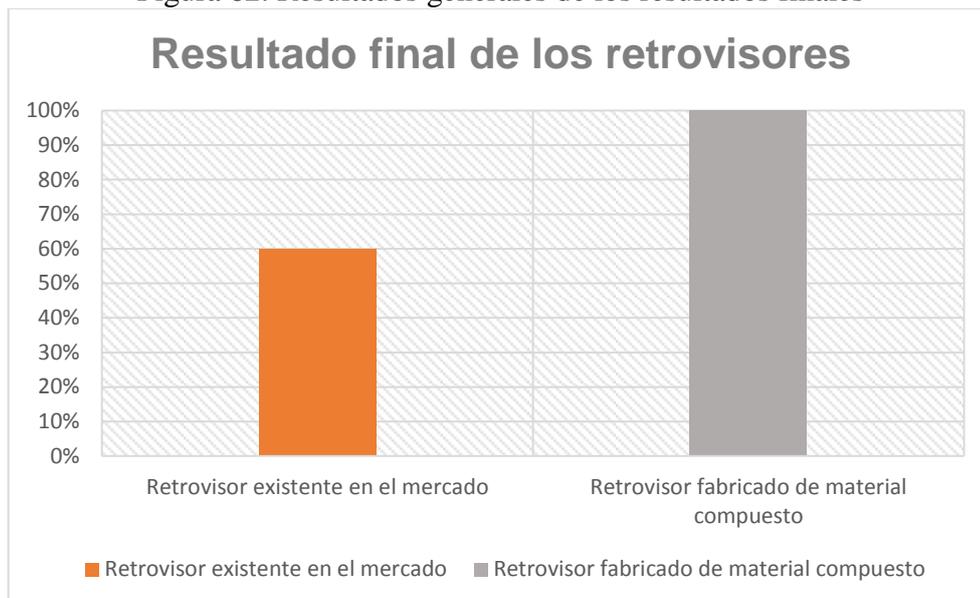


Fuente: Autores

- *Interpretación de los resultados generales.*

La tabulación de los resultados generales del retrovisor fabricado mediante material compuesto y el retrovisor existente en el mercado es una competencia debido a su bajo costo, sus excelentes propiedades mecánicas y su tiempo de biodegradación que se detallan en la Figura 61.

Figura 62. Resultados generales de los resultados finales



Fuente: Autores

- *Interpretación de resultados finales de los retrovisores.*

En la Figura 62 se demuestra que el retrovisor fabricado con material compuesto de 70% de resina poliéster y 30% de cabuya obtuvo el mejor resultado de entre todos los parámetros analizados con un 100% por encima del retrovisor existente en el mercado (polipropileno) el cual obtuvo 60% del porcentaje total ubicándose en el segundo lugar en este análisis.

## 6.5 Análisis de precios

Para la realización y aplicación de materiales compuestos en el retrovisor para el vehículo Suzuki forsa, se tomaron en cuenta dos fases como son la fase de construcción de probetas, ensayos y la fase de elaboración de un modelo de retrovisor.

### 6.5.1 precios directos

Los precios directos hacen referencia a la materia prima, la fabricación del modelo patrón de retrovisor y mano de obra.

En la tabla 48 se detalla los precios materia prima del molde de retrovisor.

Tabla 48. Materia prima del molde de retrovisor

<b>Cantidad</b>	<b>Representación</b>	<b>Valor unitario (USD)</b>	<b>Valor total (USD)</b>
7	Resina poliéster (kg)	8,00	56,00
4	Monómero de estireno (kg)	5,00	20,00
2,5	Octoato de cobalto (kg )	5,00	12,50
2,5	Meck (kg)	5,00	12,50
2,5	Gel coat (kg)	10,00	25,00
4	Refuerzo de cabuya (kg)	2,00	8,00
6	Molde de retrovisor	8,00	48,00
1	Cera desmoldante (kg)	20	20
8	Brochas	0,40	3,20
5	Guantes	0,25	1,25
4	Yeso (lb)	1,00	4,00
1	Fibra de vidrio	3,21	3,21
4	Tablas del molde de yeso	0,25	1,00
<b>Total</b>			<b>214,66</b>

Fuente: Autores

A continuación se detalla la lista de precios en la fase de construcción del retrovisor de matriz polimérica y fortificación de cabuya en la tabla 49.

Tabla 49. Materiales y precios construcción modelo de retrovisor

<b>Cantidad</b>	<b>Representación</b>	<b>Valor Unitario (USD)</b>	<b>Valor Total (USD)</b>
0,8	Resina poliéster (kg)	7,00	5,60
1	Refuerzo de cabuya	1,50	1,50
2	Brochas	0,50	1,00
1	Gel – coat (Kg)	1,20	1,20
0.1	Pintura poliéster (Lt)	13,00	1,30
<b>Total</b>			<b>10.60</b>

Fuente: Autores

### 6.5.2 Precios indirectos

Estos precios se usan después de la fabricación.

Tabla 50. Precios indirectos

<b>Descripción</b>	<b>Valor (USD)</b>
Material Investigativo	250,00
Impresiones	100,00
Logística	150,00
Casualidades	220,00
<b>Total</b>	<b>720,00</b>

Fuente: Autores

### 6.5.3 Precios generales

Tabla 51. Precios totales

<b>Precios directos</b>	
Materia prima de la fabricación del molde de retrovisor	214,66
Materia prima de fabricación del modelo de retrovisor	10,60
Total de precios	225,26
<b>Precios indirectos</b>	
Material Investigativo	250,00
Movilización y transporte	200,00
Impresiones e Imprevistos	300,00
Total costos indirectos:	750,00
<b>Total costos (USD):</b>	<b>965,18</b>

Fuente: Autores

## CAPÍTULO VII

### 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 Conclusiones

- La cabuya utilizada como refuerzo para un material compuesto es una excelente alternativa debido a sus características mecánicas, de bajo costo y se encuentra disponible en el mercado nacional, por lo cual las aplicaciones para la misma son muy variadas.
- Se digitalizó las tres geometrías de retrovisores, que están en contacto con el fluido externo, con sus medidas correspondientes para MOD\_0 (247.39 x 121.55 x 69.28) mm, MOD\_1 (289.69 x 137.35 x 69.28) mm y MOD\_2 (286.27 x 159.20 x 92.35) mm que hacen referencia a altura, base y ancho respectivamente en Solidworks CAD.
- Se analizó el comportamiento aerodinámico de cada modelo de retrovisor, en condiciones de velocidad normal a 120km/h obteniendo un coeficiente de arrastre igual a (0,53, 0.61, 0.60) y en condiciones críticas a 200km/h igual a (1.47, 1.69, 1.66) para MOD\_0, MOD\_1 y MOD 2 respectivamente mediante volúmenes finitos en CFD y posteriormente su análisis estático MEF.
- Se procedió a analizar los resultados del software CAM y seleccionar el retrovisor con el mejor comportamiento aerodinámico, se determinó que MOD\_0 presenta un coeficiente de arrastre inferior a los otros dos con un valor de 0.5 siendo el más aerodinámico; de igual manera el valor de esfuerzo máximo es inferior de 0.982 Mpa y su deformación total es de 0.099 mm en comparación a los otros prototipos y finalmente su factor de seguridad es de 15 siendo el prototipo que utilizaremos para la fabricación.
- El método utilizado para la obtención del nuevo modelo de retrovisor con material compuesto fue el de estratificación manual por la facilidad y bajos costos.

- Los ensayos realizados demostraron que el material compuesto con 30 % de fibra de cabuya y 70% de resina poliéster, posee excelentes condiciones mecánicas de tracción, flexión, impacto y dureza, siendo estos 4157 Mpa, 3425 Mpa, 5.2 J, 25.53 HB respectivamente.
- Se realizó el análisis comparativo de peso, costo, dureza, resistencia al impacto y durabilidad del nuevo modelo de retrovisor, con el retrovisor existente en el mercado en el cual demostramos que el nuevo modelo de material compuesto es una competencia directa ya que significa una nueva tecnología con menor costo, mejor calidad, excelentes propiedades de impacto y dureza y sobre todo amigable con el medio ambiente por su tiempo de biodegradación.

## **7.2 Recomendaciones**

- Disponer de un computador que posea altas prestaciones en Memoria RAM y velocidad, ya que este análisis CFD demanda de mucha capacidad, teniendo en consideración las iteraciones que se realicen.
- Crear un volumen de control suficiente, en el cual se pueda visualizar con claridad todos los procedimientos como: contornos tanto de presión, velocidad, fuerzas etc.
- Tener como prioridad los cambios de estado de la resina poliéster, para evitar el cambio brusco en el material.
- Variar el porcentaje de fibra natural y la resina poliéster para comparar los resultados con esta investigación.
- Para la manipulación de la resina poliéster y sus componentes en la etapa de construcción utilizar los equipos de protección personal.
- Realizar la construcción del nuevo modelo de retrovisor por otro método de estratificación.
- Proponer un proceso de producción en serie del nuevo modelo de retrovisor.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALBÁN ARNULFO, Gustavo Pucha.** Análisis y simulación aerodinámica de una motocicleta de carretera tipo custom 125 cc. Mediante dinámica de fluidos computacional (dfc) y propuesta de diseño de un carenado frontal (Tesis).(Ingeniería) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad De Mecánica, Escuela De Ingeniería Automotriz, Riobamba. 2016. pp. 48.

**ANZALDO MUÑOZ G.** *Mesh quality & advance topics introduction to ansys meshing.* [en línea]. Quito [Consulta: 13 octubre 2016]. Disponible en : [http://www.academia.edu/16970000/MESH\\_QUALITY\\_AND\\_ADVANCED\\_TOPICS\\_ANSYS\\_WORKBENCH\\_16.0](http://www.academia.edu/16970000/MESH_QUALITY_AND_ADVANCED_TOPICS_ANSYS_WORKBENCH_16.0) .

**ASKELAND, Donald R.** *Ciencia e Ingeniería de Materiales.* 3<sup>a</sup> ed. Mexico : International Thomson Editores, 1998, pp. 517-522.

**ASTM D 6110.** *Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics, Section 7 Test specimen.*

**ASTM D 638 - 02a.** *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics .*

**ASTM D3039.** *Tensile Properties of Polymer Matrix Composite materials, Section 7 Apparatus.*

**ASTM D7264.** *Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Material.*

**BAYAS GUEVARA, Christian Marcelo & ROSERO SÁNCHEZ Diego Ricardo.** Diseño y construcción de una carrocería de un vehículo de competencia fórmula “sae” en fibra de vidrio, para la escuela de ingeniería automotriz (Tesis). (Ingeniería) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba - Ecuador. 2015. pp. 60.

**BENALCÁZAR MEDINA, Carlos Javier.** Análisis comparativo de herramientas data quality propietario frente a las herramientas de software libre disponibles en el mercado. aplicado a la base de datos oasis (Tesis).(Ingeniería) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad De Informática Y Electrónica, Escuela De Ingeniería En Sistemas, Riobamba - Ecuador. 2014. pp. 114-155.

**BESEDNJAK, Alejandro.** *Los materiales compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones.* Barcelona -España: Edicions UPC, 2005, pp. 3-115.

**CALLISTER, W.** *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales.* 9<sup>a</sup> ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, 2014. pp. 532-534.

**CLAUDIO, Boin; et al.** *Materiales civil.* [en línea] 2002. [Consulta: 19 octubre 2016.]. Disponible en: [www.fceia.unr.edu.ar/materialescivil/Monografias/02.2.03-Polipropileno%20Homopolimero%20Isotactico.pdf](http://www.fceia.unr.edu.ar/materialescivil/Monografias/02.2.03-Polipropileno%20Homopolimero%20Isotactico.pdf)

**DASSAULT SYSTÈMES SOLIDWORKS CORPORATION.** *Novedades solidworks:* Derechos Reservados, (2015), (Estados Unidos) pp. 14.

**DE SANTOS, Augusto Javier.** *Análisis de fallos en sistemas aeronáuticos.* Madrid, España: Ediciones Paraninfo, 2015, pp. 396.

**DEREK, Hull.** *Materiales Compuestos.* Barcelona, España : Reverté S. A, 2003, pp 37.

**GROOVER, Mikell P.** *Fundamentos de manufactura moderna materiales, procesos y sistemas.* Mexico : Prentice-Hall, Inc. A Simon y Schuster Company, 1997. ISBN 968-880-846-6, pp. 57-203.

**GUERRERO V. H. et al.** *Nuevos materiales: aplicaciones estructurales e industriales.* Quito, Ecuador: Imprefepp, 2011, pp. 49-280.

**JENCK S.A.** *Flexural Testing of Plastics.* [en línea] Abril 2016. [Consulta: 8 noviembre 2016]. Disponible en: <https://public.jenck.com/notijenck/uploads/ensayo-de-resistencia-a-la-flexion-en-plasticos.pdf>.

**LEVY, F.** *Compósitos estruturais: Ciencia e tecnologia.* Sao Paulo, Brasil : Edgard Blucher, 2006, pp 37.

**LYBRARY, SCIENCE PHOTO.** *sciencephoto.* [En línea] Noviembre 2011. [Consulta: 3 octubre 2016] Disponible en: <http://www.sciencephoto.com/image/10002/530wm>.

**MACIAS, Manuel J.** “Las plantas de fibra”. *Botánica Económica de los Andes Centrales*, n° 1(2006), (La Paz) pp .371.

**MARIANO.** *Tecnología de los plásticos* [blog] Lanús, Buenos Aires, Argentina: 27 junio, 2011. [Consulta: 8 noviembre 2016]. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/propiedades-mecanicas.html>.

**MAZUMDAR, S.** *Composites manufacturing: Materials, product and process engineering*. Florida, Estados Unidos: Acid-free paper, 2002, pp. 5.

**MOHANTY Amar et al.** *Natural fibers, biopolymers and biocomposites*. New York, Estados Unidos: Taylor & Francis Group, 2009, pp. 10-332.

**MOPAR.** *Retrovisores*. [En línea] 2013. [Consulta: 6 octubre 2016]. Disponible en : <http://jeep.mopar.eu/es/es/recambios/original/retrovisores>.

**NEWELL, J.** *Ciencia de Materiales Aplicaciones en Ingeniería*. Mexico : Alfaomega Grupo Editor, 2011, pp . 226-227.

**NISBETT, Richard G. & BUDYNAS, Keith J .** *Diseño en ingeniería mecánica de shigley*. 8ª ed. Missouri, Estados Unidos: Mc Graw-hill Interamericana, 2008, pp. 50.

**PÁEZ MOSCOSO, Juan Carlos.** Obtención de compuestos de propileno reforzados con fibra de abacá mediante moldeo por compresión (Tesis).(Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional, Ingeniería Mecánica. Quito-Ecuador. 2007. pp. 9.

**RIES M. et al.** “Información tecnológica” *Asociación Geológica Argentina*, vol 49, no 1-2 (1994), (Argentina) pp. 152.

**RUMIGUANO MENDOZA, Ángel Lenin.** Evaluación de Compuestos de Polipropileno y Carbonato de Calcio para aplicaciones industriales (Tesis). (Ingeniería) [En línea] Escuela Superior Politecnica de Litoral, Facultad De Ingeniería En Mecánica Y Ciencias De La Producción, Escuela de Ingeniería Mecánica . Guayaquil – Ecuador. 2011. pp 87-90. [Consulta: 7 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/19134>

**SMITH, Willian F. & HASHEMI, Javad.** *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. 4ª ed. Mexico : McGraw - Hill Interamericana, 2006, pp. 216.

**STANDARD NO 111 MIRRORS REAR VIEW.** *Rearview mirrors*. [en línea]. San Francisco: 16 noviembre 1993. [Consulta: 6 octubre 2016]. Disponible en: <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/49/571.111>

**STUPENENGO, Franco.** *Materiales y materias primas.* Buenos Aires-Argentina : Saavedra, 2011, pp. 9-12.

**TAMAYO DUQUE, Napoleón Andrés.** Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster con fibra de cabuya mediante estratificación [En línea] (Tesis).(Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional, Mecanica, Quito.2012. pp. 4-10. [Consulta: 8 noviembre 2016]. Disponible en : <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4714/1/CD-4344.pdf>

**TIXE SUBINA Joffre Marcelo & VISTÍN BASTIDAS Jhonatan David.** Aplicación de materiales compuestos para la formación de guardabarros y tapaslaterales de una moto de 125cc, 4 tiempos (Tesis).(Ingeniería) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Mecanica, Escuela de Ingenieria Automotriz. Riobamba – Ecaudor. 2015. pp 20-103.

