

# UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico

Mención Fabricación de Autopartes de Vehículos

“Caracterización, Diseño y Simulación de un Guardafango del Vehículo Chevrolet Aveo  
Constituido con Material Compuesto a base de Resina Epoxi y Refuerzo de Fibras  
Orgánicas.”

Nota de Autor

Rommel Paúl Imbaquingo Navarrete, Facultad de Arquitectura e Ingeniería,  
Universidad Internacional SEK.

Director Ing. Julio Leguísamo, M. Sc

Codirector: Javier Martínez, PhD.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:  
[rimbaquingo.mdm@uisek.edu.ec](mailto:rimbaquingo.mdm@uisek.edu.ec)

### Declaración Juramentada

Yo, Ing. Rommel Paúl Imbaquingo Navarrete, con cédula de identidad número: 1002852059, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado de calificación profesional; y que he investigado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

ING. ROMMEL PAÚL IMBAQUINGO NAVARRETE  
C.C: 100285205-9

**Dedicatoria**

Este proyecto lo dedico con todo mi amor y cariño.

A Dios por darme la fortaleza, la dedicación y la paciencia para alcanzar cada logro al pasar del tiempo, además de una maravillosa familia y hogar que han sido mi apoyo incondicional en el cumplimiento de mis metas.

A mis papás, Edmundo y Olga que me dieron la vida y gracias a su amor, sacrificio, apoyo y virtudes inculcadas en mí, he logrado cumplir mis objetivos como persona y como profesional.

A mi esposa e hija por su amor y confianza depositados en mí.

A la Universidad Internacional SEK y al personal Docente por sus conocimientos brindados y en especial al director MSc. Julio Leguísamo por saber guiar y sacar adelante el proyecto.

MSC. ROMMEL IMBAQUINGO N.

## Índice de contenidos

<b>Dedicatoria</b> .....	3
<b>Índice de contenidos</b> .....	4
<b>Índice de Tablas</b> .....	7
<b>Índice de Figuras</b> .....	8
<b>Resumen</b> .....	10
<b>Abstract</b> .....	11
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	12
<b>Estado del arte</b> .....	15
<b>Material compuesto</b> .....	15
<b>Clasificación de los materiales compuestos</b> .....	16
<b>Componentes de los materiales compuestos</b> .....	17
<b>Matrices y refuerzos</b> .....	19
<b>La Matriz</b> .....	19
a) <b>Matrices metálicas</b> .....	19
b) <b>Matrices cerámicas</b> .....	20
c) <b>Matrices poliméricas</b> .....	21
<b>Resina Epoxi</b> .....	21
a) <b>Características</b> .....	23
b) <b>Clases De Resinas Epoxi</b> .....	24
c) <b>Aplicaciones de resinas epóxicas</b> .....	24
<b>Propiedades de las resinas</b> .....	25
<b>Refuerzo con fibras</b> .....	26
<b>Fibras</b> .....	26
<b>Clasificación de las fibras</b> .....	27
<b>Fibras convencionales</b> .....	27
<b>Fibras Naturales</b> .....	27
<b>Estudios previos</b> .....	28
<b>MÉTODO</b> .....	41
<b>Tipo de investigación</b> .....	41
<b>Método</b> .....	42
<b>Metodología</b> .....	42
<b>Estratificación Manual</b> .....	44
<b>Obtención de la fibra de coco</b> .....	45
<b>Cantidad de fibras</b> .....	45
<b>Longitud y diámetro de las fibras</b> .....	45
<b>Probetas a Tracción</b> .....	46
<b>Probetas a Flexión</b> .....	47
<b>Probetas a Impacto</b> .....	48

<b>Probetas a Tracción Material Homogéneo</b> .....	48
<b>Extracción manual de la fibra de coco seca</b> .....	49
<b>Limpieza de la fibra por medio químico</b> .....	50
<b>Cálculos de hidróxido de sodio para el ataque químico</b> .....	51
<b>Construcción del molde</b> .....	52
<b>Fabricación de las probetas de material compuesto para ensayo de tracción, flexión e impacto</b> .....	52
<b>Configuración de las fibras</b> .....	53
<b>Elaboración de las probetas</b> .....	53
<b>Fabricación de las probetas de material homogéneo para ensayo de tracción.</b> .....	57
<b>Ensayo a tracción</b> .....	57
<b>Ensayo a flexión</b> .....	59
<b>Ensayo a impacto</b> .....	61
<b>Método FEM</b> .....	62
<b>Ingeniería asistida del prototipo del guardafango</b> .....	63
<b>Consideraciones para los estudios por elementos finitos.</b> .....	63
<b>Solucionador (solver).</b> .....	64
<b>Mallado.</b> .....	65
<b>Modelado 3D.</b> .....	66
<b>Análisis de Impacto</b> .....	66
<b>Comparación de comportamiento de materiales a carga de impacto</b> .....	67
<b>Condiciones de borde:</b> .....	68
<b>El tiempo:</b> .....	68
<b>Mallado:</b> .....	68
<b>Velocidad y Hourglass Control.</b> .....	69
<b>RESULTADOS</b> .....	71
<b>Caracterización del material compuesto.</b> .....	71
<b>Recolección de datos del ensayo a tracción.</b> .....	71
<b>Recolección de datos de los ensayos a flexión</b> .....	76
<b>Recolección de datos de los ensayos a impacto</b> .....	81
<b>Propiedades Mecánicas del Material Homogéneo.</b> .....	86
<b>Resultados ensayo computacional a impacto</b> .....	88
<b>Deformación generada en el Material Compuesto después del Impacto</b> .....	88
<b>Esfuerzo generado en el Material Compuesto después del Impacto</b> .....	89
<b>Deformación generada en el Material Homogéneo después del Impacto</b> .....	90
<b>Esfuerzo generado en el Material Homogéneo después del Impacto</b> .....	90
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	91
<b>Ensayo a Tracción</b> .....	91
<b>Ensayo a Flexión</b> .....	92
<b>Ensayo a Impacto.</b> .....	98
<b>Planteamiento y Verificación de la Hipótesis</b> .....	100
<b>Análisis del Post procesamiento de datos en el programa LS DYNA PREPOST</b> .....	103
<b>Selección de especímenes en la zona de mayor concentración.</b> .....	103

<b>Especímenes en el Guardafangos de Material Compuesto .....</b>	<b>104</b>
<b>Especímenes en el Guardafangos de Material Homogéneo.....</b>	<b>104</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>110</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>113</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXO 1. Normas ASTM D3039 para tracción en materiales compuestos .....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXO 2. Normas ASTM D7264 para flexión en materiales compuestos .....</b>	<b>119</b>
<b>ANEXO 3. Normas ASTM D5628 para impacto en materiales compuestos .....</b>	<b>120</b>
<b>ANEXO 4. Resultados de ensayos experimentales a tracción material compuesto .....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXO 5. Resultados de ensayos experimentales a flexión material compuesto .....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXO 6. Resultados de ensayos experimentales a impacto material compuesto .....</b>	<b>123</b>
<b>ANEXO 7. Resultados ensayo a tracción Material Homogéneo .....</b>	<b>124</b>
<b>ANEXO 8. Licencia Estudiantil de ANSYS.....</b>	<b>125</b>
<b>ANEXO 9. Propiedades Físicoquímicas de la Resina Epoxi .....</b>	<b>126</b>

**Índice de Tablas**

Tabla 1 Características Generales de las diferentes resinas-----	25
Tabla 2 Propiedades a tracción de la fibra de coco-----	33
Tabla 3 Propiedades físicas de la fibra de coco-----	34
Tabla 4 Propiedades químicas de la fibra de coco-----	34
Tabla 5 Características de las probetas de Tracción-----	47
Tabla 6 Características de las probetas de Flexión-----	47
Tabla 7 Características de las probetas de Impacto-----	48
Tabla 8 Dimensiones probeta a tracción material homogéneo según norma ASTM E8-----	49
Tabla 9 Rangos de Skewness y calidad de elemento-----	65
Tabla 10 Configuración del material compuesto con Fibra de Coco-----	67
Tabla 11 Configuración del material homogéneo del guardafango-----	68
Tabla 12 Resultado de la calidad del mallado según el criterio Jacobian Ratio-----	69
Tabla 13 Valor de Hourglass Control y Tipo de Hourglass-----	70
Tabla 14 Resultados ensayo a tracción primera configuración-----	71
Tabla 15 Resultados ensayo a tracción segunda configuración-----	74
Tabla 16 Resultados ensayo a flexión primera configuración-----	76
Tabla 17 Resultados ensayo a flexión segunda configuración-----	79
Tabla 18 Resultados ensayo a impacto primera configuración-----	81
Tabla 19 Resultados ensayo a impacto segunda configuración-----	83
Tabla 20 Resultados ensayo a tracción material homogéneo-----	86
Tabla 21 Datos estadísticos de la resistencia a la flexión de la configuración 1-----	94
Tabla 22 Datos estadísticos de la resistencia a la flexión de la configuración 2-----	94
Tabla 23 Datos estadísticos del Módulo de flexión de la configuración 1-----	96
Tabla 24 Datos estadísticos del Módulo de flexión de la configuración 2-----	96
Tabla 25 Datos estadísticos de la resistencia al Impacto de la configuración 1-----	98
Tabla 26 Datos estadísticos de la resistencia al Impacto de la configuración 2-----	99

## Índice de Figuras

Figura 1. Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de refuerzo. Fuente: (Mazón, 2015) -----	16
Figura 2. Clasificación de acuerdo con la geometría del refuerzo. Fuente: (Restrepo, 2007)-----	17
Figura 3. Componentes del material compuesto. Fuente: (Guerrero, Dávila, Galeas, Pontón, Sotomayor & Valdivieso, 2011) -----	18
Figura 4. Componentes de un material compuesto. Fuente: (Mazón, 2015)-----	18
Figura 5. Clasificación de las fibras. Fuente: (Mazón, 2015) -----	27
Figura 6. Clasificación de las fibras Vegetales. Fuente: (Mazón, 2015)-----	28
Figura 7. Crecimiento del valor de producción de compuestos y PBI. Fuente: Asociación Latinoamericana de Materiales Compuestos – ALMACO Brasil-----	29
Figura 8. Autopartes fabricadas con materiales compuestos. Fuente: Asociación Latinoamericana de Materiales Compuestos – ALMACO Brasil -----	31
Figura 9. Reciclado y ciclo de vida industrial. Fuente: Rolando A. Spanevello,1 Alejandra G. Suárez y Ariel M. Sarotti (2008) -----	33
Figura 10. Diagrama de flujo fabricación de probetas y ensayos destructivos -----	43
Figura 11. Dimensiones de probetas de Tracción de acuerdo con la Norma ASTM 3039 -----	46
Figura 12. Dimensiones de probetas de Flexión de acuerdo con la Norma ASTM 7264 -----	47
Figura 13. Dimensiones de probetas de Impacto de acuerdo con la Norma ASTM D5628 -----	48
Figura 14. Forma de la probeta a tracción material homogéneo según norma ASTM E8 -----	49
Figura 15. Mesocarpio de coco -----	50
Figura 16. Extracción manual de la fibra de coco -----	50
Figura 17. Moldes para construcción de probetas -----	52
Figura 18. Fibra continua longitudinal -----	53
Figura 19. Fibra continua transversal -----	53
Figura 20. Encerado de los moldes de fabricación de probetas -----	54
Figura 21. Mezcla de resina y fibra de coco-----	54
Figura 22. Llenado de los moldes con fibra considerando su orientación -----	55
Figura 23. Compresión del material por medio de placas-----	55
Figura 24. Obtención de probetas para ensayos a tracción-----	56
Figura 25. Obtención de probetas para ensayos a flexión-----	56
Figura 26. Obtención de probetas para ensayos a impacto-----	57
Figura 27. Probetas del material homogéneo basados en la norma ASTM E8 -----	57
Figura 28. (a) Máquina universal de ensayos Tinius Olsen “H25KS”, (B) mordazas para ensayo de tracción y (c) equipo para ensayo a flexión. Fuente: Guerrero et al. (2011). Nuevos materiales Aplicaciones estructurales e industriales -----	58
Figura 29. (a) Configuración de carga a flexión en tres puntos utilizada (ASTM D7264/D7264M – 07). Fuente: Guerrero et al. (2011). Nuevos materiales Aplicaciones estructurales e industriales-----	60
Figura 30. Máquina para ensayo a Impacto por caída de dardo. Fuente: Guerrero et al. (2011). Nuevos materiales Aplicaciones estructurales e industriales -----	62
Figura 31. Modelado 3D del guardafango -----	66
Figura 32. Mallado según Jacobian Ratio-----	69
Figura 33. Valores de esfuerzo máximo del ensayo a tracción primera configuración -----	73
Figura 34. Curva Desplazamiento vs Carga ensayo a tracción primera configuración -----	73
Figura 35. Valores de esfuerzo máximo del ensayo a tracción segunda configuración-----	75
Figura 36. Curva Desplazamiento vs Carga ensayo a tracción segunda configuración -----	76
Figura 37. Valores de esfuerzo máximo del ensayo a flexión primera configuración-----	78
Figura 38. Curva Desplazamiento vs Carga ensayo a flexión primera configuración-----	78
Figura 39. Valores de esfuerzo máximo del ensayo a flexión segunda configuración -----	80
Figura 40. Curva Desplazamiento vs Carga ensayo a flexión segunda configuración -----	81
Figura 41. Probetas después del ensayo a impacto primera configuración-----	83
Figura 42. Probetas después del ensayo a impacto segunda configuración -----	85
Figura 43. Resistencia a la rotura y límite de fluencia material homogéneo-----	87
Figura 44. Curva carga vs deformación ensayo a tracción material homogéneo-----	88
Figura 45. Deformación generada en el Material Compuesto -----	88
Figura 46. Esfuerzo generado en el Material Compuesto -----	89
Figura 47. Deformación generada en el Material Homogéneo-----	90
Figura 48. Esfuerzo generado en el Material Homogéneo -----	90
Figura 49. Resultados promedio de la Resistencia a la Tracción de las dos configuraciones. -----	91

Figura 50. Resultados promedio del Módulo de Elasticidad de las dos configuraciones -----	92
Figura 51. Resultados promedio de la Resistencia a la Flexión de las dos configuraciones.-----	93
Figura 52. Resultados promedio del Módulo de Flexión de las dos configuraciones -----	93
Figura 53. Diagrama Caja y Bigote de la comparación de las medias del esfuerzo máximo a flexión -----	95
Figura 54. Diagrama Caja y Bigote de la comparación de las medias del módulo de flexión de las dos configuraciones-----	97
Figura 55. Diagrama Caja y Bigote de la comparación de las medias de la resistencia al impacto. -----	99
Figura 56. Distribución T (8) -----	102
Figura 57. Especímenes del Material Compuesto -----	104
Figura 58. Especímenes del Material Homogéneo -----	104
Figura 59. Esfuerzo Vs Tiempo Material Compuesto -----	105
Figura 60. Esfuerzo Vs Tiempo Material Homogéneo -----	105
Figura 61. Desplazamiento vs Tiempo Material Compuesto -----	106
Figura 62. Desplazamiento vs Tiempo Material Homogéneo -----	106
Figura 63. Esfuerzo vs Deformación espécimen Material Compuesto -----	107
Figura 64. Esfuerzo vs Deformación espécimen Material Compuesto -----	107
Figura 65. Esfuerzo vs Deformación espécimen Material Original -----	108
Figura 66. Esfuerzo vs Deformación espécimen Material Original -----	108

## Resumen

Este proyecto titulado “Caracterización, diseño y simulación de un guardafango del vehículo Chevrolet Aveo constituido con material compuesto a base de resina epoxi y refuerzo de fibras orgánicas.”, guarda un tipo de investigación teórico y experimental en lo que a materiales compuestos se refiere. Primeramente, concierne a la realización propia de las probetas de material compuesto de resina epoxi y fibras de coco, tanto para ensayos a tracción, flexión e impacto, apegados a las normativas ASTM para cada caso y caracterizados tanto en la orientación de las fibras y el porcentaje de composición para cada uno; la finalidad es obtener diferentes resultados y así determinar la mejor composición y orientación de fibras, por tanto, las mejores características mecánicas.

A continuación, en el caso de mejorarse las propiedades mecánicas, el estudio serviría como fuente ante la posibilidad de generar una alternativa a la hora de construir el guardafango, promoviendo la conservación ambiental y el aprovechamiento de la fibra de coco, considerada en muchos casos como un desecho. Este estudio se valida mediante un análisis FEM que se basa en el diseño y simulación computacional a impacto del Guardafango, tanto con material compuesto como con el material propio u homogéneo del mismo en el software Ansys. Con todo esto se realizó un análisis comparativo de los resultados entre los dos materiales pudiendo anticipar conceptos de ingeniería sobre los materiales seleccionados y de esta forma poder determinar si el material compuesto a base de resina epoxi y fibra de coco es o no aplicable y funcional en condiciones reales en la aplicación con una autoparte.

**PALABRAS CLAVE:** Diseño, Simulación, Ensayos, Tracción, Flexión, Resina, Fibras. Impacto

### **Abstract**

This project entitled "Characterization, design and simulation of a fender of the vehicle Chevrolet Aveo constituted with compound based on epoxy resin and reinforcing organic fiber material." Keeps a type of theoretical and experimental research in which composite materials are concerned. First, concerns the very realization of the specimens of composite material epoxy resin and coconut fibers, both for tensile test, flexural and impact, attached to the ASTM standards for each case and characterized both in fiber orientation and percentage of composition for each one; The purpose is to obtain different results and thus determine the best fiber composition and orientation, therefore, the best mechanical characteristics.

Then, in the case of improved mechanical properties, the study would serve as a source to the possibility of generating an alternative when constructing the fender, promoting environmental conservation and use of coconut fiber, considered in many cases as a waste. This study is validated through an FEM analysis that is based on the design and computational simulation of the Fender's impact, both with composite material and with its own material or homogeneous material in the Ansys software. With this a comparative analysis of the results between the two materials being able to anticipate engineering concepts on the selected materials and thus to determine whether the composite material based on epoxy resin and coir applicable or not and functional performed Real conditions in the application with a autopart

**KEYWORDS:** Design, Simulation, Tests, Traction, Bending, Resin, Fibers. Impact

## INTRODUCCIÓN

La preocupación por el deterioro del medio ambiente en los últimos años ha sido inminente, tanto así que existe una tendencia por promover el uso de tecnologías limpias, el uso de recursos renovables y la optimización del uso de la energía. El investigador en el ámbito de la ciencia e ingeniería de los materiales, tiene la obligación de analizar o determinar el impacto ambiental que causan los nuevos materiales y sus procesos de manufactura, así también los efectos que implican el diseño y construcción de un nuevo material; debido a esto se ha venido incentivando en los últimos años, tanto al sector industrial como manufacturero el uso de fibras naturales al presentar buena resistencia mecánica, bajo costo y poco peso, objetivos que siempre busca la industria automotriz, haciendo a las fibras naturales atractivas para los fines buscados, incluso trayendo indirectamente otros beneficios como el ahorro económico y la conservación ambiental.

Manjarrez (2015) manifiesta que, en Europa, la industria automotriz usa alrededor de 80000 toneladas de fibras naturales al año para reforzar los paneles termoplásticos, en la India, se han desarrollado láminas de material compuesto hechas de fibra de coco por ser más resistentes que la madera de teca a las condiciones ambientales, mientras que en Brasil se está desarrollando material de techumbre reforzado con sisal.

En el Ecuador, el desarrollo de materiales compuestos está en etapas iniciales lo que conlleva a que el uso de fibras naturales todavía sea limitado, pudiéndose mejorar si se considera el gran potencial que el país brinda para la producción de fibras naturales, considerando además la necesidad de desarrollar aplicaciones que tengan valor agregado y no solo el aprovechamiento del recurso alimenticio de las plantas, sino un posible uso de la parte fibrosa de las mismas como sucede con el coco, cuya cáscara o mesocarpio donde se encuentra la fibra es considerado como cáscara desechable, correspondiendo al 80% del fruto. Por todo esto, se pretende

incorporar fibras vegetales como refuerzo de materiales compuestos de matriz biodegradable, para la obtención de productos con valor agregado significativo.

En el sector automotriz, considerando el uso de materiales compuestos como principal aplicación, ha primado los termoplásticos reforzados con fibras naturales ya que guardan sus beneficios en cuanto a la degradabilidad, sin causar impactos ambientales. En Europa, se han desarrollado biocompuestos, basados en ácido poliláctico (PLA) combinados con fibras vegetales tales como la fibra de lino en la fabricación de productos prototipo a niveles pre competitivos; entre ellos, paneles para interiores de autos, techos, gabinetes, etc. teniendo a la industria automotriz como principal mercado. Toyota por ejemplo construyó una planta para producir 1000 toneladas anuales de PLA y emplearlos en componentes del interior de vehículos pretendiendo inmiscuir el uso de los materiales compuestos en la vida cotidiana.

En el mundo automotriz, es de conocimiento general que las autopartes tienen materiales como el acero, aluminio, hierro fundido, etc. y su metodología aplicada al diseño de estos materiales en la construcción de piezas estructurales. Para el caso de las fibras orgánicas y de producción nacional no se ha estandarizado métodos o no existe métodos conocidos para diseñar y construir piezas o elementos; además, se ignora en su totalidad las propiedades mecánicas que tienen estos materiales compuestos los cuales son de gran ayuda en las aplicaciones que se le podría dar a las fibras orgánicas, enfocadas a los vehículos o en sí al mundo automotor.

Con el uso de las fibras orgánicas y resina epoxi se pretende aumentar las propiedades mecánicas del elemento, trayendo consigo ahorros económicos, al evitar hacer recambios constantes de la autoparte al sufrir doblamientos o desperfectos; y no solo en el aspecto económico sino también desde el punto de vista ambiental, ya que se promovería el uso de las fibras orgánicas nacionales, brindando mayor amigabilidad de los vehículos con el medio ambiente.

Gran parte de las fibras de coco son quemadas, generando contaminaciones significativas, pudiéndose dichas fibras aprovechar para generar productos, artículos, o para este caso autopartes, de una manera sustentable, incentivando a la comunidad industrial a invertir en un mercado no explotado y sobre todo de baja inversión, pero de gran importancia a la hora de actuar como un refuerzo para un elemento.

Se ha demostrado que el uso de compuestos fibroreforzados naturales, pueden ser ya una realidad comercial, desplazando por completo en algunos casos a las fibras sintéticas.

El endurecimiento de los elementos a base de fibras orgánicas incrementa las propiedades mecánicas; tales como el módulo de elasticidad, resistencia a la tracción, el esfuerzo a la ruptura y el comportamiento al impacto, puesto que los materiales que forman el compuesto poseen mejores propiedades que las que presentan los elementos que conforman las autopartes con material homogéneo.

A parte de guardar beneficios económicos y conservación del medio ambiente, los materiales compuestos traen ciertos beneficios, entre ellos la alta resistencia referente al peso, la baja densidad, trabajan como aislantes eléctricos, además de que las fibras de refuerzo presentan mayor facilidad que los metales, proporcionando flexibilidad de formas, propiedad bastante beneficiosa en el ámbito automotriz, por ejemplo, en la aerodinámica.

Los materiales compuestos permiten el ensamble de componentes con la reducción del número de complementos, como las uniones que, al ser metales amorfos, es decir que no tienen una estructura ordenada, éstos no sufren los mismos efectos de fatiga que los metales y su resistencia es mayor, trayendo consigo reducción de costos de mantenimiento y costes de reparación.

La utilización de las fibras orgánicas trae ciertas ventajas; al ser de un peso ligero genera alivianamiento de cargas al vehículo y por ende ahorros de elementos tales como: combustible, neumáticos, esfuerzos al motor, entre otros.

Por todas estas ventajas nombradas anteriormente se ha visto bastante importante encontrar la metodología más adecuada para la elaboración de un guardafango del vehículo Chevrolet Aveo constituida con resina epoxi y a base de fibras orgánicas naturales, para este caso fibra de coco, ya que esta autoparte es un elemento bastante vulnerable a sufrir hendiduras, doblamientos o desperfectos debido a la limitada resistencia mecánica que el material que lo constituye brinda, a la vez haciendo hincapié y promoviendo el uso de fibras orgánicas nacionales en la manufactura de autopartes los cuales traerán de manera indirecta beneficios hasta con el ambiente en cuanto a su degradabilidad, ecología y en sí buscando nuevas alternativas de solución ante problemáticas que pudieran existir con alguna autoparte de cierto vehículo mediante el uso de productos orgánicos que aumenten la resistencia mecánica de los elementos que conforman un automotor.

### **Estado del arte**

#### **Material compuesto**

Los materiales compuestos, son uniones macroscópicas de dos o más materiales distintos denominados componentes o constituyentes, diferenciados en su función, forma o composición cuya finalidad es la de formar un tercer material que sea útil. Son heterogéneos, es decir sus propiedades varían en todo su volumen, su ventaja está en que cada componente, de forma independiente aporta las mejores características al compuesto, e incluso, es posible encontrar características que ninguno de los constituyentes posee.

Gutiérrez (2007) menciona algunas características de los materiales compuestos y que los diferencian de los materiales homogéneos siendo estos:

- Resistencia mecánica
- Rigidez
- Resistencia a la corrosión
- Resistencia al desgaste

- Visualmente atractivos
- Peso
- Fatiga
- Comportamiento dependiente de la temperatura
- Aislantes térmicos y eléctricos
- Aislantes acústicos

### Clasificación de los materiales compuestos

A los materiales compuestos, se los ha clasificado considerando los tipos de matriz, de refuerzo y por su geometría:

De acuerdo con el tipo de matriz pueden ser:

- Matriz metálica
- Matriz cerámica
- Matriz polimérica

De acuerdo con el tipo de refuerzo, se evidencia en la Figura 1.

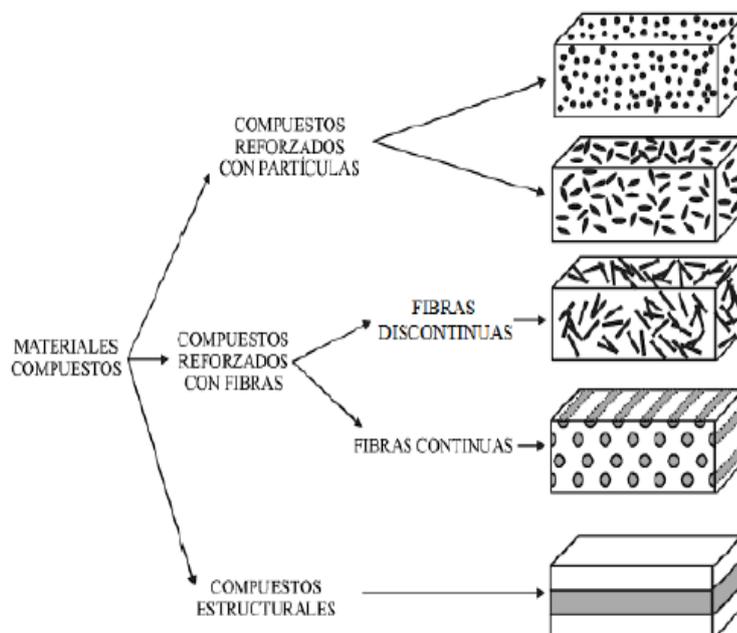


Figura 1. Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de refuerzo. Fuente: (Mazón, 2015)

Según la Geometría:

Se ha considerado a la geometría, como el principal mecanismo para mejorar las propiedades, así la clasificación más conveniente de los compuestos se realiza de acuerdo con la geometría de la unidad representativa de refuerzo.

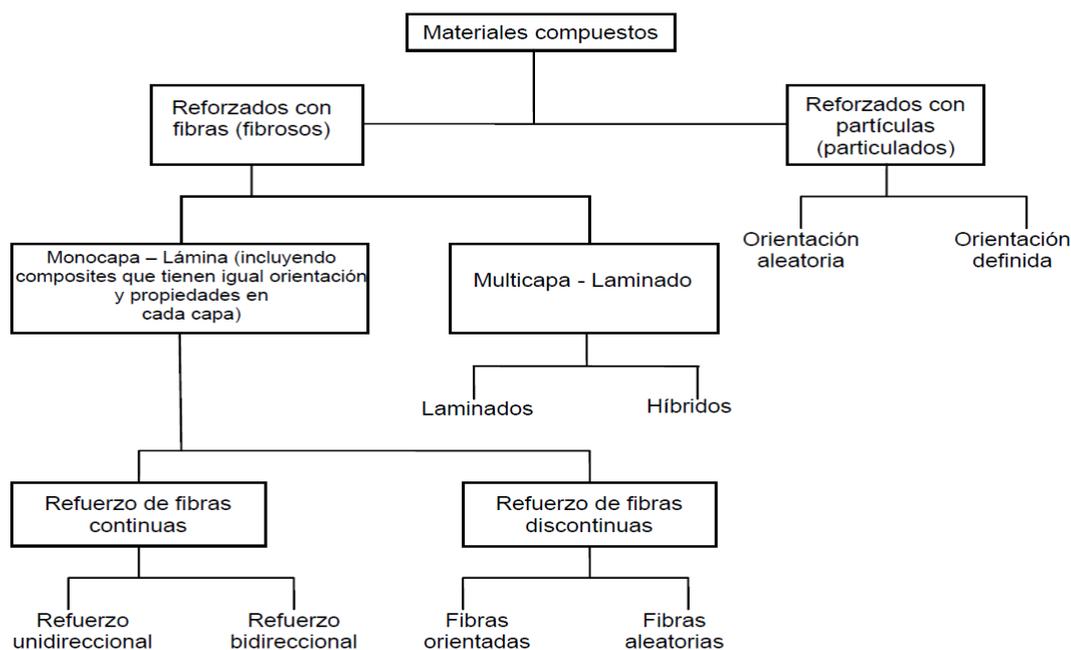


Figura 2. Clasificación de acuerdo con la geometría del refuerzo. Fuente: (Restrepo, 2007)

### Componentes de los materiales compuestos

Los componentes del material compuesto no deben disolverse ni fusionarse completamente entre ellos, es decir, los materiales deben poder identificarse por medios físicos ya que son heterogéneos. El hecho de que los materiales compuestos sean heterogéneos muchas veces hace que también sean anisotrópicos, (sus propiedades dependen de la orientación del material de refuerzo) haciendo que sus propiedades no sean las mismas en todo su volumen.

En la Figura 3 se muestra los componentes que conforman un material compuesto reforzado con fibras.

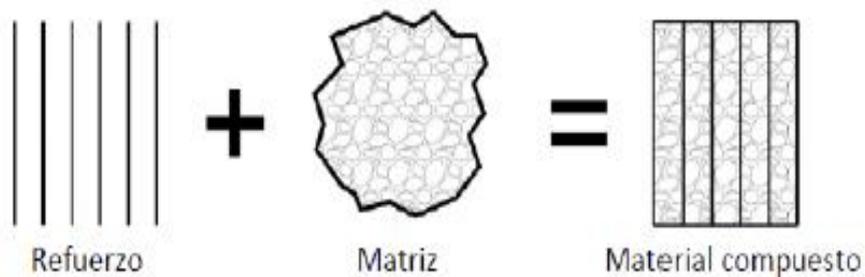


Figura 3. Componentes del material compuesto. Fuente: (Guerrero, Dávila, Galeas, Pontón, Sotomayor & Valdivieso, 2011)

Mazón (2015) en su estudio, manifiesta que la matriz y el refuerzo corresponden a los componentes de un material compuesto y a la capa de unión entre estos se denomina interfaz, existiendo la posibilidad de adicionar agentes de acoplamiento y revestimientos con el propósito de mejorar la capa de la interfaz del material compuesto y de esta forma mejorar las propiedades del material en lugar de verse afectadas.

En la figura 4, se muestra los componentes de un material compuesto, cuya matriz es resina epoxi y el refuerzo es fibra de carbono, que juntos trabajarán absorbiendo esfuerzos generados en el material.

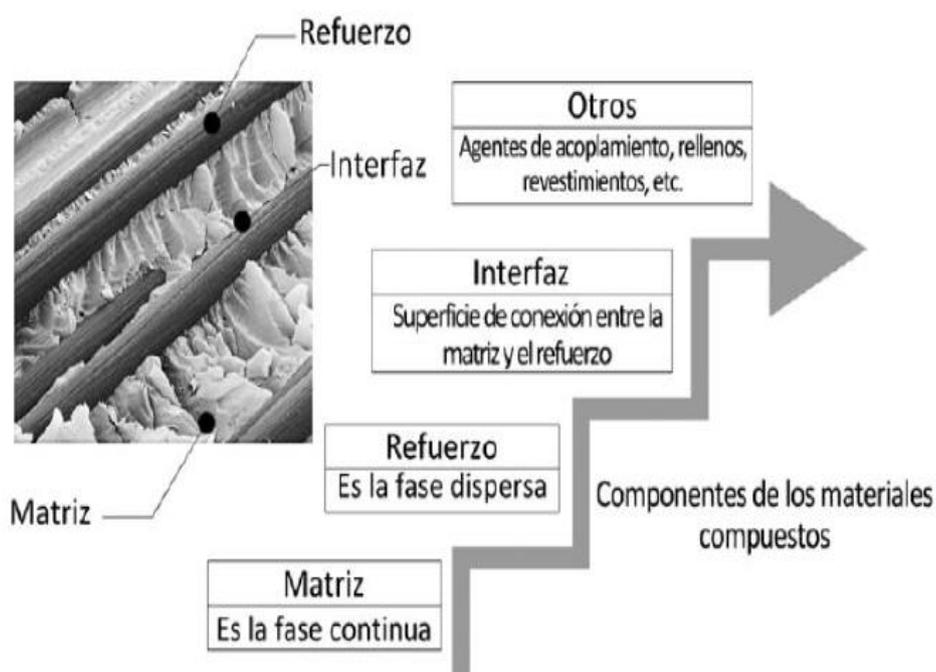


Figura 4. Componentes de un material compuesto. Fuente: (Mazón, 2015)

## **Matrices y refuerzos**

### **La Matriz**

Guarda varias funciones, entre ellas:

- Proteger la superficie del material de los refuerzos de la abrasión mecánica,
- En caso de que el material esté reforzado con fibras, la matriz debe proveer soporte lateral contra la posibilidad de pandeo de estas bajo cargas de compresión.
- Entrega consistencia y continuidad al material.
- Transferir cargas aplicadas sobre la matriz hacia los refuerzos,
- Engloba y sostiene a los elementos de refuerzo,
- Proveer al refuerzo de una barrera contra los efectos del medio ambiente, como la humedad.
- Aglutinar los refuerzos.

### **Tipos de matriz**

Guerrero, Dávila, Galeas, Pontón, Sotomayor y Valdivieso en su estudio Nuevos materiales, Aplicaciones estructurales e industriales (2011), en base a los tipos de matriz expresan que existe tres tipos: (a) metálica, (b) cerámica y (c) polimérica. A manera general, del tipo de matriz que se utilice, guarda dependencia con las propiedades eléctricas, con el comportamiento químico y el uso a temperaturas elevadas del material compuesto.

#### **a) Matrices metálicas**

Guerrero et al. (2011), expresan que los materiales metálicos más usados como matriz para la obtención de materiales compuestos son el cobre, magnesio, aluminio, titanio, níquel, y aleaciones de compuestos intermetálicos.

Mazón (2015) en cuanto a las matrices metálicas expresa, que las propiedades finales son influenciadas significativamente por los tratamientos térmicos y mecánicos, determinando la microestructura de esta matriz.

Por lo general, los metales usados para materiales compuestos son dúctiles e isotrópicos, sin embargo, dichos metales reforzados con partículas de cerámicas duras o fibras son mejoradas sus propiedades, en cuanto a rigidez, aumento de dureza, fatiga, resistencia a la tracción, resistencia a la abrasión y al desgaste, mejorando además la resistencia de trabajo a temperaturas de operación más altas que para los metales no reforzados.

Guerrero et al. (2011) manifiesta que los refuerzos utilizados con matrices metálicas deben cumplir con los siguientes requerimientos:

- Alto módulo de elasticidad.
- Compatibilidad química.
- Eficiencia económica
- Baja densidad.
- Estabilidad térmica.
- Alta resistencia a la tracción y a la compresión.
- Buena capacidad de procesamiento.
- Compatibilidad mecánica (coeficiente de expansión térmica bajo, pero adaptable a las características de la matriz)

#### **b) Matrices cerámicas**

Guerrero et al. (2011) expresan, que las matrices cerámicas presentan mejores propiedades a temperaturas elevadas y tienen menor densidad, en comparación con los compuestos de matriz metálica, para este tipo de matrices suele utilizarse fibras cerámicas como refuerzo, para lograr obtener mejor resistencia y tenacidad a la fractura, en comparación con los materiales cerámicos convencionales, los mismos que se caracterizan por ser muy frágiles.

Los materiales compuestos de matriz cerámica reforzada con fibras están recibiendo gran atención porque son materiales que presentan buena resistencia a la oxidación debido al cerámico que conforma la matriz.

Mazón (2015) en base a las matrices cerámicas, manifiesta que la gran desventaja es la fragilidad, por lo que hay que combinarlos con otros materiales, adicionando fibras y partículas de naturaleza cerámica o metálica para formar materiales compuestos, con el fin de lograr incrementar su tenacidad a la fractura.

### **c) Matrices poliméricas**

Guerrero et al. (2011) afirma:

Las matrices poliméricas, son usadas en una diversidad de aplicaciones y en grandes cantidades debido a su baja densidad, excelentes propiedades a temperatura ambiente, facilidad de conformado y costos relativamente bajos. Estas matrices, pueden ser reforzadas con fibras naturales y sintéticas. Las matrices poliméricas pueden ser de tres tipos: termoplásticas, termoestables y elastoméricas.

Las matrices termoestables, tienen múltiples enlaces entrecruzados en una estructura de red tridimensional. Son polimerizadas por una reacción química que generalmente no es reversible. No son fáciles de reprocesar después que las reacciones de entrecruzamiento han tenido lugar, lo que hace difícil su reciclaje. Los termoestables no se funden al calentarse, sino que empiezan a degradarse. Algunos ejemplos son: resina poliéster, epoxi y fenólicos.

Las matrices elastoméricas tienen una zona elástica grande y pueden estirarse hasta cinco o seis veces su longitud original. Sin embargo, sus módulos de elasticidad son bajos. Tienen menos enlaces de reticulación entre cadenas que los termoestables. El caucho natural pertenece a este tipo de matrices (p.54).

### **Resina Epoxi**

Este tipo de resinas con considerados como un polímero termofijo, ya que no producen reactivos cuando son endurecidos, presentan baja contracción al curar, una buena adhesión a otros materiales posee buena resistencia química y aislantes eléctricos y buenas propiedades mecánicas.

La familia de las resinas epóxicas se dividen en cinco grupos principales:

- Éteres glicéricos
- Ésteres glicéricos

- Aminas glicéricas
- Alifáticas lineales
- Cicloalifáticas

La resina epoxi usada como matriz influye en las propiedades físicas, químicas, eléctricas y mecánicas del compuesto; en el caso de las propiedades mecánicas, la resistencia a la tracción, la resistencia al impacto, entre otras, dependerán del tipo de matriz, del tipo de refuerzo la fracción volumétrica y la orientación de las fibras

La falla del compuesto dependerá del tipo de matriz y su capacidad de adherencia con el material de refuerzo, en lo que concierne a las propiedades químicas, son determinantes en la resistencia de un compuesto expuesto a las condiciones del medio ambiente.

Para este estudio se usará la resina CRETONHARD 961SL que es una matriz polimérica termoplástica, que tiene como características: baja densidad, excelentes propiedades a temperatura ambiente, facilidad de conformado.

La resina epoxi, en su estructura cuenta con un monómero reactivo, generalmente estireno, que formará entrecruzamientos entre las cadenas poliméricas durante el proceso de curado, además de proporcionar la viscosidad adecuada a la resina.

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

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

**a) Características.**

Jácome (2015) en su trabajo titulado “Estudio de la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de butacas deportivas” expresa, en cuanto a las características de la resina epoxi, que corresponde a un grupo de éteres cíclicos, los cuales tienen un átomo de oxígeno unido a dos átomos de carbono adyacentes, reaccionando con los grupos amino, oxhidrilo, carboxilo y ácidos inorgánicos, con el fin de lograr compuestos relativamente estables. El endurecedor o agente de curado, es un producto que cuando se añade a una dicha sustancia macromolecular determinada, en cantidades superiores a las catalíticas, reacciona con ésta y la convierte en un polímero irreversible que constará de una serie de características perfectamente definidas, de las que anteriormente carecía.

Además, Jácome (2015) manifiesta, que entre los varios sistemas de importancia industrial que utilizan endurecedores se encuentran los sistemas de resinas epoxídicas.

La tensión del enlace del anillo oxirano es muy elevada, siendo por esto de una alta reactividad tanto química como bioquímica, por lo que es fácilmente atacado por la mayoría de los compuestos de adición.

Además del peso molecular, existen otros parámetros que caracterizan las resinas epoxi:

- **Equivalente epoxi:** Se refiere al peso de resina que contiene un equivalente gramo de epoxi. Se considera como la mitad del peso molecular medio.
- **Índice de hidroxilo:** Se refiere al peso de resina que contiene un equivalente gramo de hidroxilo.
- **Contenido de cloro reactivo:** Se refiere al cloro presente en forma de cloruro hidrolizable, como producto de la presencia de trazas clorhídricas en el proceso de síntesis.

- **Color de la resina:** Se refiere al producto de los grupos fenólicos libres y que por oxidación forman quinonas coloreadas.
- **Punto de fusión:** Se requiere que al ser de una mezcla no se presenta en un intervalo muy estrecho, adoptándose la temperatura a la cual la resina le da un grado de fluidez arbitrario.
- **Viscosidad y contenido en volátiles.**

#### **b) Clases De Resinas Epoxi.**

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

Resinas más usadas que al ser versátiles y baratas, proviene de la reacción de epiclorhidrina y bisfenol A. Dependiendo del peso molecular pueden ser estas líquidas, semisólidas o sólidas

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

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

##### **Resinas epoxi bromadas.**

Son resinas a base de epiclorhidrina y tetrabromobisfenol A, en donde las cuatro moléculas adicionales de bromo proporcionan la característica de auto extinción.

##### **Resinas epoxi flexibles.**

Este tipo de resinas, poseen largas cadenas lineales sustituyendo los bisfenoles por poliglicoles poco ramificados, se caracterizan por poseer baja reactividad mejorando la resistencia al impacto.

#### **c) Aplicaciones de resinas epóxicas.**

Las resinas epóxicas, son usadas como recubrimientos en temas de protección por su buena capacidad de adhesión y su alta resistencia mecánica y química.

Como principales aplicaciones tenemos; que son usadas como recubrimientos de pintura de automóviles, recubrimiento de cables, revestimiento de tambores. Por su resistencia dieléctrica, baja contracción durante el curado, la capacidad de mantener sus propiedades bajo distintas condiciones ambientales tales como: sitios mojados o que impliquen alta humedad son usadas en la industria eléctrica y electrónica en aplicaciones como aislantes de alto voltaje, conmutadores y encapsulados de transistores.

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

**Propiedades de las resinas.**

En la siguiente tabla se muestra las propiedades físicas de los diferentes tipos de resinas.

Tabla 1  
*Características Generales de las diferentes resinas*

Propiedad	Matriz				
	Poliéster Insaturado	Resina Epoxi	Resina Fenólica	Resina Vinilester	Resina Pleiimida
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	1.17-1.26	1.17-1.25	1.25-1.3	1.17-1.25	1.27-1.42
Alargamiento a la rotura (%)	< 3	6-8	<3	3.5-7	6-10
Fluencia			Muy Baja		
Temperatura de moldeo (°C)	Temp. Ambiente 180	Temp. Ambiente hasta 170	150-190	Temp. Ambiente hasta 175	350
Temperatura de reblandecimiento	80-160	80-130	100-150	100-150	260 en periodos cortos hasta 500
Propiedades reológicas		Muy Buenas			Depende del fabricante
Calor de la reacción		Reacción exotérmica dependiendo de la geometría			
Contracción del fraguado (%)	6-10 lineal entre 1.8 y 2.4	1-3	0.5-1.5	0.1-1	0.5-0.7
Contracción Posterior (%)	Hasta 3	Prácticamente ninguna	Hasta 0.4	Hasta 1	Prácticamente ninguna

Tiempo de almacenamiento	Temp. Ambiente 6 meses	Bajas Temp. 6 meses	Temp. Ambiente 6 meses	Temp. Ambiente 6 meses	Temp. Ambiente 6 meses
--------------------------	------------------------	---------------------	------------------------	------------------------	------------------------

Fuente: Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales, 2013.

### **Refuerzo con fibras**

Guerrero et al. (2011) manifiestan que los materiales compuestos reforzados con fibras son los más usados en relación con los demás tipos de refuerzos, debido que al fusionar fibras a los materiales poliméricos se incrementa ciertas propiedades como son: la resistencia a la fatiga, tenacidad, rigidez y relación resistencia-peso al incorporar fibras resistentes y rígidas en una matriz más blanda y dúctil. El material de la matriz transmite la carga a las fibras, las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada.

De acuerdo con el diámetro y a sus características, las fibras pueden ser agrupadas en tres grupos diferentes: whiskers, fibras y alambres.

Guerrero et al. (2005) afirman:

Los compuestos reforzados con fibras típicamente manifiestan anisotropía. Esto es, algunas propiedades varían dependiendo del eje geométrico o plano a lo largo del cual fueron determinadas.

Para que un compuesto sea isotrópico en cuanto a una propiedad en específico, por ejemplo, el módulo de Young, todos los elementos de refuerzo sean fibras o partículas deben estar orientados de forma aleatoria. Esto no es fácil de lograr para fibras discontinuas, pues la mayoría de métodos de fabricación tienden a impartir una cierta orientación a las fibras. Las fibras continuas en forma de hojas o láminas se utilizan para, deliberadamente, hacer del material compuesto un material anisotrópico en una dirección en particular que se conoce está a lo largo del eje o plano principal de carga. De esta manera, se crea la posibilidad de orientar las fibras en la dirección en que se aplicará la mayor carga, lo cual incrementa la eficiencia del refuerzo (p.62).

### **Fibras**

Mazón (2015) expresa que las fibras fueron y hasta la actualidad son utilizadas en forma de materia prima para hacer varios productos como son: telas, papel, artesanías, entre otros. Mediante la indagación de nuevos materiales, las fibras fueron usadas como material de refuerzo en distintas matrices cerámicas y metálicas, a fin de mejorar o generar nuevas propiedades, en materiales compuestos denominados composites.

## Clasificación de las fibras

A las fibras de refuerzo se las puede clasificar como fibras convencionales y según su origen en: naturales y orgánicas.

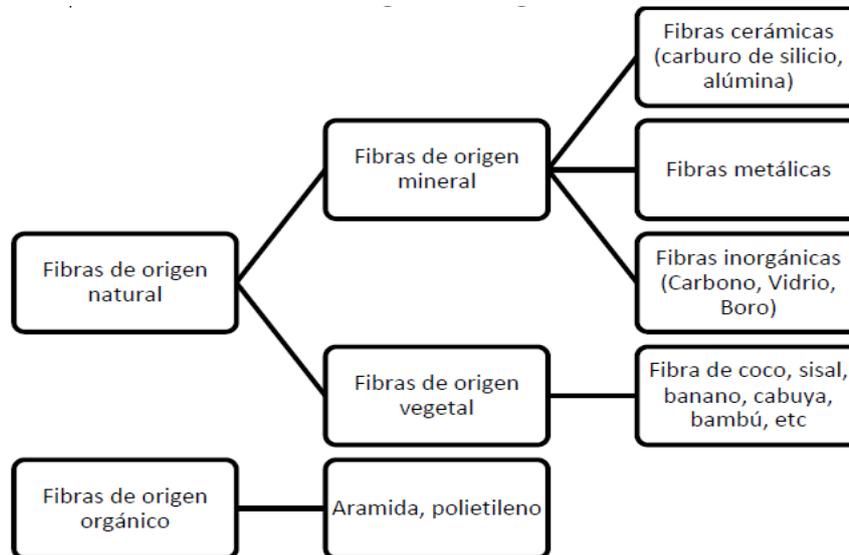


Figura 5. Clasificación de las fibras. Fuente: (Mazón, 2015)

## Fibras convencionales

Mazón (2015) manifiesta que este tipo de fibras son las más comunes en los materiales compuestos modernos, siendo las más utilizadas las fibras de carbono, las poliméricas y las inorgánicas, a esta categoría pertenecen las fibras de vidrio, altamente utilizadas por su alta resistencia, bajo costo, rigidez y conductividad eléctrica con relación a otras fibras, lo cual las hace adecuadas para múltiples aplicaciones.

## Fibras Naturales

Mazón (2015) en cuanto a las fibras naturales manifiesta, que se obtienen a partir de minerales, animales o vegetales siendo esta última la principal fuente por su amplia disponibilidad y renovabilidad en corto tiempo, respecto a los otros tipos de fibras. Son materiales lignocelulósicos, es decir, presentan una sustancia incrustante o cementante que forma parte de la pared celular de muchas células vegetales, a las cuales da dureza y resistencia; estos materiales se encuentran distribuidos en la biósfera en forma de cultivos, árboles y plantas.

Las fibras vegetales observadas en la Figura 6 como material de refuerzo en los materiales compuestos, tienen un factor negativo que es la degradación dentro de las matrices, por esto se ha desarrollado estudios en los cuales se busca incrementar la durabilidad de la fibra, permitiendo el uso de estas.

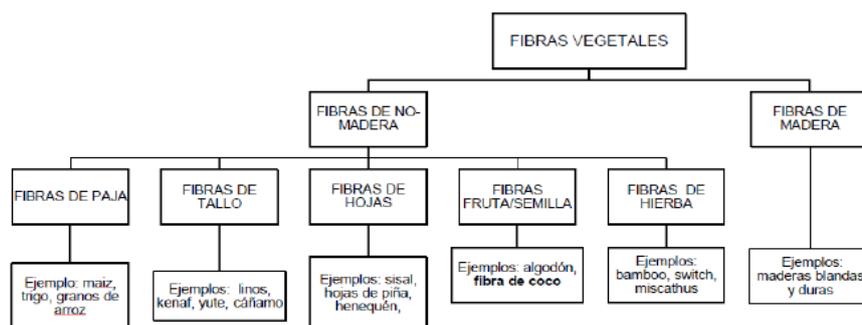


Figura 6. Clasificación de las fibras Vegetales. Fuente: (Mazón, 2015)

### Estudios previos

Tosco, Rivello y Vázquez (2016) en su artículo “Tecnologías de materiales compuestos en el sector autopartista” en consideración de la tendencia a la escasez de petróleo y a un posible incremento en costos del mismo, han llevado a las empresas productoras de vehículos al desarrollo de alternativas de propulsión más limpias y a la aplicación de alternativas de recursos energéticos, así como también innovaciones en piezas con el objetivo de reducción de consumo de combustible mediante la aplicación de materiales compuestos. Además, destacan áreas de innovación tendientes a la reducción de peso, mejoras aerodinámicas y aplicación de nuevos materiales, a su vez observando un inclinamiento hacia la integración de una multiplicidad de materiales (existentes y nuevos) en la fabricación de automóviles al implicar fuertes desafíos en materia de diseño, adaptación de procesos productivos y aplicación de nuevos materiales o mejoras de los existentes.

Tosco et al. (2016) en relación con los materiales compuestos manifiesta, que son el resultado de la unión de dos o más materiales generando uno nuevo, cuyas propiedades son superiores a

las de los materiales constituyentes sin perder su identidad luego de la unión de estos ya que no se tratan de aleaciones, sino de materiales heterogéneos.

En el cuadro siguiente se observa que existe en los materiales compuestos un crecimiento tres veces mayor al PBI Industrial en los principales países de Sudamérica, evidenciando la inserción de estos materiales y la sustitución de productos fabricados con los materiales tradicionales.

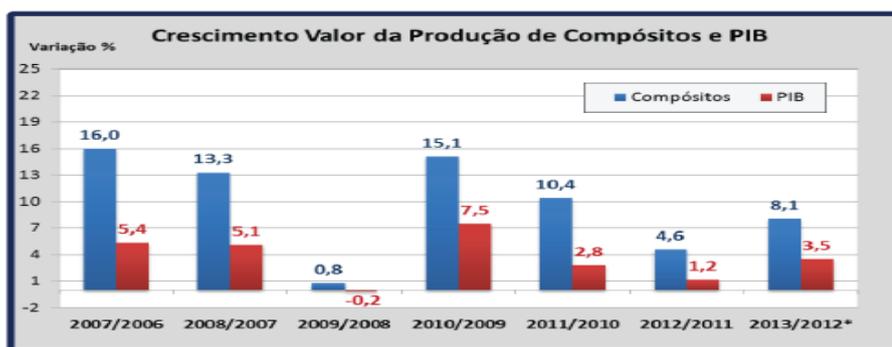


Figura 7. Crecimiento del valor de producción de compuestos y PBI. Fuente: Asociación Latinoamericana de Materiales Compuestos – ALMACO Brasil

### Caracterización de los materiales compuestos.

Tosco et al. (2016) en cuanto a la caracterización de los materiales compuestos manifiestan, que cada material constitutivo cumple funciones distintas en la mecánica del trabajo, los materiales que cumplen la función de matriz amalgaman al segundo material presentado en forma de fibras, partículas o láminas dispersas en el cuerpo de la matriz cumpliendo la función de mantener las fibras o partículas en una posición fija, relativa unas de otras y proveer la protección ante ataques del medio; las fibras tienen la finalidad de soportar las cargas mecánicas incluso térmicas y transmitir las dentro del compuesto hacia sus soportes.

Los materiales compuestos deben cumplir ciertas propiedades:

- Mantenerse unidos durante toda su vida.
- Los materiales constitutivos presentan características físicas, mecánicas y químicas propias de cada uno.

- La proporción en masa de las fibras, partículas o láminas es mayor al 5% del total del compuesto.

Además, Tosco et al. (2016) numeran ciertas ventajas, considerando el comportamiento con los materiales tradicionales a partir de los requerimientos funcionales para los cuales son diseñados:

- Aislación térmica
- Aislación Acústica
- Aislación eléctrica
- Transparencia a las ondas electromagnéticas
- Mayor calidad de terminación superficial
- Mejor resistencia a la fatiga
- Altos módulos de elasticidad y resistencia
- Menor peso estructural
- Resistencia a la propagación de fisuras
- Mayor resiliencia y resistencia al impacto
- Mayor resistencia a la corrosión.

Como desventajas implican en primera instancia su costo inicial, pero en lo posterior su bajo costo de mantenimiento a lo largo de la vida útil; y en segunda instancia la complejidad de su procesamiento.

Ha existido algunos casos de aplicación de las grandes empresas en cuanto a materiales compuestos:

- Taxi eléctrico EVA, constituido en materiales compuestos, Singapur La Technical University of Munich (TUM) junto con Nanyang Technological University, Admiralty International y HOPE Technik son asociados en el desarrollo del EVA taxi.

- PSA Peugeot. El empleo de materiales compuestos de fibras de vidrio y resinas termorígidas a escala industrial ha ganado un premio a la innovación también en la JEC París 2015.
- Hyundai Intrado. - Su estructura súper liviana, la que le confiere rigidez torsional y flexión, introduce el empleo de uniones adhesivadas integrando las partes del chasis.
- Hyundai Motor Europe Technical Centre. Ganador del premio a la innovación en seguridad para el automóvil otorgado por la JEC París 2015. El desarrollo se trata de la viga de choque del paragolpes delantero mediante el empleo de perfiles pultrudados de compuesto de híbrido de fibras de vidrio y carbono con matriz termoplástica.

## AUTOPARTES FABRICADAS CON MATERIALES COMPUESTOS

A manera general en la figura 8 se muestra ciertas autopartes fabricadas con materiales compuestos.



Figura 8. Autopartes fabricadas con materiales compuestos. Fuente: Asociación Latinoamericana de Materiales Compuestos – ALMACO Brasil

Tosco et al. (2016) manifiestan que el uso de materiales compuestos en lugar de los materiales tradicionales implica una mayor resistencia con menor peso y puede adquirir formas complejas más fácilmente, alcanzando mayor durabilidad y menor costo de instalación manufacturera.

Una mayor resistencia a la flexión; se logra empleando compuestos con secciones equivalentes en comparación con los del metal, por tanto, el uso de metal agrega peso resultando ser un factor negativo para el vehículo.

Otra ventaja es que los compuestos tienen la capacidad de integración propia reduciendo el número de piezas de ensamble, es decir, muchas partes del metal podrían sustituirse con solamente una pieza de material compuesto reduciendo costos de producción y tiempos de montaje.

Los productos hechos de materiales compuestos son durables, de alta calidad y rentables comparados con los materiales tradicionales, en el cual, las industrias podrían producir formas complejas con mayor resistencia, mayor rendimiento y menor peso, así como menor costo al optimizar la relación costo – beneficio.

Spanevello, Suárez y Sarotti (2013) en su artículo “Fuentes alternativas de materia prima”, afirman que la preocupación por el medio ambiente ha hecho que surja el enfoque por la química orgánica, con el fin de prevenir o minimizar la contaminación tanto a escala mundial como industrial, llegando a denominarse como química verde o sustentable, a esto, la unión europea (2003) lo denominó como el desarrollo de productos sustentables basados en una producción mediante transformaciones moleculares que sean energéticamente eficientes, minimicen o eliminen la formación de residuos y se utilice materia prima renovable.

Además, Spanevello et al. (2013) mencionan que las plantas con una importante fuente de materiales primarios como las fibras, por ejemplo, el algodón, yute y lino, que han sido usados por más de 500 años, además muchas fibras naturales compiten favorablemente con los materiales sintéticos, teniendo además la ventaja de que sus desechos son biodegradables.

El reciclado de materiales se ha definido como el proceso fisicoquímico o mecánico, mediante el cual se transforman materiales y objetos cotidianos que han alcanzado el final de sus vidas útiles en materias primas y que pueden reintroducir en un nuevo ciclo de vida industrial.



Figura 9. Reciclado y ciclo de vida industrial. Fuente: Rolando A. Spanevello,<sup>1</sup> Alejandra G. Suárez y Ariel M. Sarotti (2008)

Existe una investigación, por ejemplo, Trejos (2014) en su artículo “Propiedades mecánicas de una matriz de poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio”, la fibra que se usó en su investigación fue del mesocarpio del coco en la cual manifiesta que esta envoltura fibrosa se deseca y se endurece al acercarse a la madurez, el espesor de la corteza o mesocarpio varía entre 3 y 5 centímetros y representa el 35% del total de la fruta.

El 90% del mesocarpio está conformado por fibras constituidas por lignina y celulosa alcanzando longitudes de entre 15 y 30 centímetros. En la actualidad por la calidad de resistencia y durabilidad las fibras, se están usando para fabricar una serie de materiales para decoración de pisos, hilos, sogas consumiendo un mínimo porcentaje de la producción total de la externa del coco.

En las siguientes tablas se evidencian ciertas propiedades de la fibra del coco:

Tabla 2  
*Propiedades a tracción de la fibra de coco*

Resistencia (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Deformación de falla (%)
130 - 220	4 - 6	25 - 40

Fuente: Trejos, Propiedades mecánicas de una matriz de poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio, Pereira-Colombia, 2014, Pag. 40

A continuación, en la tabla 3 se muestran ciertas propiedades físicas de la fibra de coco.

Tabla 3  
*Propiedades físicas de la fibra de coco*

<b>Contenido de Humedad (%wt.)</b>	<b>Contenido de Ceniza (%wt.)</b>	<b>Contenido de carbono (%wt.)</b>	<b>Absorción de agua (%wt.)</b>	<b>Diámetro promedio (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Densidad (<math>\text{g/m}^3</math>)</b>
27,1	5,1	51,5	169	397	1,20

Fuente: Fuente: Trejos, Propiedades mecánicas de una matriz de poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio, Pereira-Colombia, 2014, Pag. 40

En la tabla 4 se evidencian algunas propiedades químicas de la fibra de coco.

Tabla 4  
*Propiedades químicas de la fibra de coco*

<b>Lignina (%wt.)</b>	<b>Celulosa (%wt.)</b>	<b>Hemicelulosa (%wt.)</b>
59,4	32,65	7,95

Fuente: Fuente: Trejos, Propiedades mecánicas de una matriz de poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio, Pereira-Colombia, 2014, Pag. 40

Trejos (2014) para la realización de su investigación “Propiedades mecánicas de una matriz de poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio” ejecutó ensayos a tensión y flexión para materiales compuestos con matriz polimérica, basándose en las normas ASTM D3039-08 y ASTM D790-10 respectivamente. Mediante la realización de probetas, tanto de fibra de coco como de fibra de vidrio se obtuvo resultados, en cuanto, a las probetas realizadas con fibra de vidrio hubo un aumento promedio en el esfuerzo máximo a tracción debido a que las fibras son mucho más resistentes y rígidas que la matriz de poliéster sin fibras, mientras que en el análisis del módulo de elasticidad hubo disminución.

Referente a la utilización de materiales compuestos, existen investigaciones por ejemplo Rodríguez (2014) en su artículo “Elaboración de un material biocompuesto a partir de la fibra de plátano” manifiesta que elaboró materiales biocompuestos con fibra del seudotallo del plátano (FSP) en matriz de poliéster, utilizando FSP tratada y sin tratar, mediante la técnica de moldeo manual, además del respectivo análisis de las fibras, se sometió a ensayos de absorción

de agua y resistencia mecánica de la FSP no tratada, y a los compuestos de poliéster con FSP modificada con anhídrido acético y epiclorhidrina. Se determinó una notable reducción en la absorción de agua, y un incremento significativo de la resistencia mecánica de los materiales compuestos. De los ensayos a tensión efectuados en una máquina universal AG -X marca Shimazu a cinco muestras de cada tipo y preparadas de acuerdo con la norma internacional ISO 527 – 4, se obtuvo, referente al esfuerzo máximo a tracción, deformación y módulo de Young un incremento en las capacidades mecánicas a los compuestos de poliéster con FSP modificada. El aumento de la rigidez y el incremento de la resistencia de las FSP modificadas a los ambientes alcalinos, incrementa su potencial para ser usados en aplicaciones que requieran estabilidad dimensional y capacidad de soportar altas cargas.

Adicionalmente, la resistencia a la absorción de agua de los FSP modificadas tanto a temperatura ambiente como en su punto de ebullición extiende su viabilidad para aplicaciones en empaques, donde la hidrofobicidad, bajo peso, buena tensión y biodegradabilidad son características importantes.

Pachacama (2015) en su proyecto, “Diseño, caracterización y aplicación de un material compuesto con base de resina epoxi y refuerzo de fibras orgánicas para la aplicación en un prototipo de capot de la camioneta Mazda BT50 2010”, menciona que se realizó mediante una investigación teórica – experimental de los materiales compuestos orgánicos, cuyos métodos fueron el diseño y simulación de un capot en un software especializado, permitiendo anticipar conceptos de ingeniería sobre los materiales seleccionados y la obtención final de un prototipo que minimice la contaminación ambiental. Determinó la aplicabilidad y funcionalidad de los materiales en escenarios reales, sometiendo a un protocolo de pruebas en el que se evidencia las mayores prestaciones mecánicas; se obtuvo un material compuesto de matriz polimérica biodegradable con fibras de cabuya en diferentes configuraciones, disposiciones y cantidades,

procesados mediante moldeo por compresión manual considerando parámetros como: presión, tiempo y temperatura hasta obtener un laminado con las mejores características.

Las probetas, se obtuvieron mediante estratificación manual y moldeo por compresión para proceder a los ensayos de laboratorio de tracción y flexión basados en las normas ASTM D3039-08 y ASTM D7264M-07 respectivamente, y en lo posterior la obtención del prototipo de capó.

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

Espinoza e Hidalgo (2016), en su estudio “Caracterización de materiales compuestos para la aplicación en la carrocería del vehículo monoplaza tipo formula SAE”, guarda principalmente la finalidad de reducir peso mediante la caracterización de materiales compuestos, sin descuidar la resistencia del material; los materiales que usaron fueron fibra de vidrio y fibra de caña guadua.

Para la caracterización, fue necesario el diseño y construcción de 5 grupos de probetas apegados a la norma ISO 527 – 2 mediante estratificación manual en las cuales efectuó ensayos a tracción, de los resultados obtenidos concluyeron que el material más idóneo para alivianar la carrocería considerando su resistencia fue el composite de fibra de vidrio.

En otra investigación referente al uso de fibras de coco, Delgado, Galeas y Guerrero (2014) en su artículo “Obtención de Materiales Compuestos Híbridos de Matriz Poliéster Reforzada con Fibras de Coco y Vidrio para la Elaboración de Tableros”, exponen los resultados producto de

la caracterización mecánica de los compuestos híbridos de matriz poliéster, reforzado con fibras de coco y vidrio. Los ensayos experimentales de tracción, flexión e impacto se basaron a las normas ASTM D 3039, ASTM D 7264 y ASTM D 5628 respectivamente, mediante la fabricación de probetas y estratificación manual, colocando a las fibras en la disposición tipo sándwich vidrio – coco – vidrio.

Las propiedades mecánicas se evaluaron de las fracciones volumétricas de refuerzo de 0,15 y 0,20 variando las proporciones de coco-vidrio en 25/75, 50/50, 75/25, donde, mejores resultados mecánicos se obtuvieron de las proporciones volumétricas de 0,20 y de la configuración 50/50, arrojando resultados deseables para aplicaciones estructurales como buenos resultados mecánicos y baja densidad.

De la matriz poliéster cuyo módulo elástico de 3960 MPa y esfuerzo máximo de 38,56MPa, se evidenció un aumento de 231% y 40% respectivamente. Para el esfuerzo a flexión, las propiedades mecánicas incrementaron en un 104%; en los ensayos de impacto la composición absorbió un 361% más energía que el poliéster de 0,07J, viendo todos estos incrementos mecánicos, procedieron a la fabricación de los tableros con la composición antes nombrada, por último se realizó ensayos de tracción y flexión bajo las normas ASTM D3034 y ASTM D3500 respectivamente, luego compararlos con las propiedades mecánicas de la madera contrachapada hasta llegar a la elaboración de un prototipo.

Las fibras de coco, han sido utilizadas en múltiples aplicaciones, no solo en el sector automotriz sino también en el sector de la Ingeniería Civil, por ejemplo Quintero y Gonzales (2006) en su investigación “Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto”, evaluaron las propiedades físicas, químicas y mecánicas como caracterización de las fibras de coco, así como las propiedades físicas y mecánicas de morteros reforzados con volúmenes de fibra de estopa de coco de 0,5 y 1,5% con longitudes de 2 y 5 cm.

En los resultados obtenidos en los compuestos probados a compresión axial, tracción y flexión, la incorporación de fibras disminuyó en todos los casos, la deformación máxima reflejó que los refuerzos de fibra mejoran de varias maneras la tenacidad de la matriz del compuesto.

Guerrero, Pontón, Tamayo, Villacís, Delgado y Galeas (s.f.) en su artículo “Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas”, exponen la caracterización mecánica de los materiales compuestos de matriz termoestable reforzados con fibras naturales y sintéticas, mediante estratificación manual, donde obtuvieron compuestos de matriz poliéster empleando como refuerzos fibra de abacá, fibra de cabuya y refuerzos híbridos de fibra de abacá/vidrio y fibra de coco/vidrio para ser ensayados a tracción, flexión e impacto según normas ASTM, además de cómo influye la variación de las fracciones volumétricas y configuraciones de los refuerzos en la obtención de las propiedades mecánicas.

El módulo elástico a tracción tuvo un aumento con respecto a la matriz en un rango de 37,5% (híbrido reforzado con fibra longitudinal de abacá y vidrio con fracción volumétrica de 0,20) y hasta 264,4%(material reforzado con fibra de cabuya). El módulo elástico a flexión se incrementó en un rango comprendido entre 105,4% (híbrido reforzado con fibra de coco y vidrio con fracción volumétrica de 0,15) y hasta 237% (compuesto reforzado con fibra). Los resultados determinaron que la matriz poliéster a mayor fracción volumétrica de refuerzo, sus módulos elásticos presentaron un aumento y los ensayos a flexión e impacto realizados a los compuestos de matriz poliéster mostraron que a mayor cantidad de fibra de vidrio se produce un incremento en la resistencia al impacto.

En cuanto a la caracterización de un material, Jácome (2015) en su investigación “Estudio de la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de butacas deportivas” expresa que los ensayos que se realizan a los materiales nos permitirán determinar los valores de resistencia mecánica, verificar las propiedades y establecer el comportamiento de este bajo

influencias externas. Se someten a ensayos físicos donde se pueda determinar la forma y dimensiones de los cuerpos, el peso específico y densidad, contenido de humedad, etc. y se someten también a ensayos mecánicos pudiendo determinarse la resistencia, elasticidad y plasticidad, tenacidad, ductilidad y fragilidad, etc. Dentro de los ensayos mecánicos menciona el ensayo a tracción, el cual tiene por objetivo determinar la resistencia elástica, resistencia última y plasticidad del material cuando es sometido a fuerzas uniaxiales. Otro ensayo es el de flexión donde se logra determinar la rigidez a la flexión y propiedades de resistencia de un compuesto.

Guerrero et al. (2005) en su artículo Nuevos Materiales Aplicaciones Estructurales e Industriales, expone que la evaluación de las propiedades mecánicas para la caracterización de los materiales incluyendo los materiales compuestos, se realiza fundamentalmente mediante el uso de ensayos destructivos los cuales consisten en tomar cierta cantidad de muestras de un material y realizar un determinado número de pruebas con el fin de caracterizar el comportamiento del mismo, además menciona que los ensayos mecánicos se realizan mediante simulaciones de cargas con equipos sofisticados para el caso, de tal forma que los resultados que se arroje tengan validez. Así mismo existe normas a nivel mundial como la ASTM, ASME, ISO, UNE, INCONTEC, INEN, etc., los cuales han generado estándares o normativas para diferentes propósitos incluyendo la caracterización mecánica. La Sociedad Americana para Ensayos y Materiales ASTM, ha determinado normas para ensayos de materiales entre las cuales se puede encontrar las de caracterización de composites fundamentando básicamente en los ensayos a tracción, flexión e impacto.

Moyano (2017), en su estudio Caracterización y Aplicación de material compuesto de resina de poliéster y refuerzo de totora para la fabricación de parachoques delantero de autobús urbano, realiza la caracterización del material compuesto mediante ensayos a tracción, flexión e impacto bajo normativa ASTM para materiales polímeros, con el propósito de mejorar la

configuración de parachoques delanteros de autobuses urbanos, analizó con diferentes orientaciones del material de refuerzo con el fin de determinar la mejor configuración determinando que la fibra larga y tejida presentan mejores características mecánicas, a partir de eso procedió a fabricar un prototipo de parachoques impulsando la fabricación de estos en el país y el desarrollo de la matriz productiva del Ecuador

## MÉTODO

### Tipo de investigación

El presente trabajo, corresponde a un tipo de investigación cuantitativa, exploratoria, experimental de tipo descriptivo - transversal.

Primeramente, de orden cuantitativo para la determinación y valoración de los resultados, tanto de los ensayos que caracterizan al material compuesto y de los resultados producto de las simulaciones de la autoparte, considerando el material compuesto y el material homogéneo.

De tipo descriptivo, en el análisis de los resultados producto de los ensayos destructivos, en la descripción y análisis de los resultados producto de las simulaciones en el software de ingeniería, usando los dos tipos de materiales, además de obtener información de las distintas formas de combinación y orientación de los elementos que conforman el material compuesto.

De tipo transversal, ya que se realizó en un tiempo establecido, se obtuvo información de manera inmediata y permitió correlacionar resultados para de esta forma poder hacer un corte en las propiedades y comportamientos mecánicos con cada material y poder tomar decisiones inmediatas y factibles en cuanto a las ventajas o beneficios que brinde cada material.

De tipo exploratoria ya que es un tipo de investigación que conlleva la indagación, búsqueda y profundización referente a la fabricación del material compuesto de resina epoxi con fibra de coco, en sus diferentes orientaciones y porcentajes con el fin de determinar la más apta a usarse considerando sus propiedades mecánicas.

De tipo bibliográfica ya que es una investigación que exige una búsqueda libros, papers, investigaciones previas, normas y otras fuentes de información con la finalidad de obtener información referente al tema de estudio.

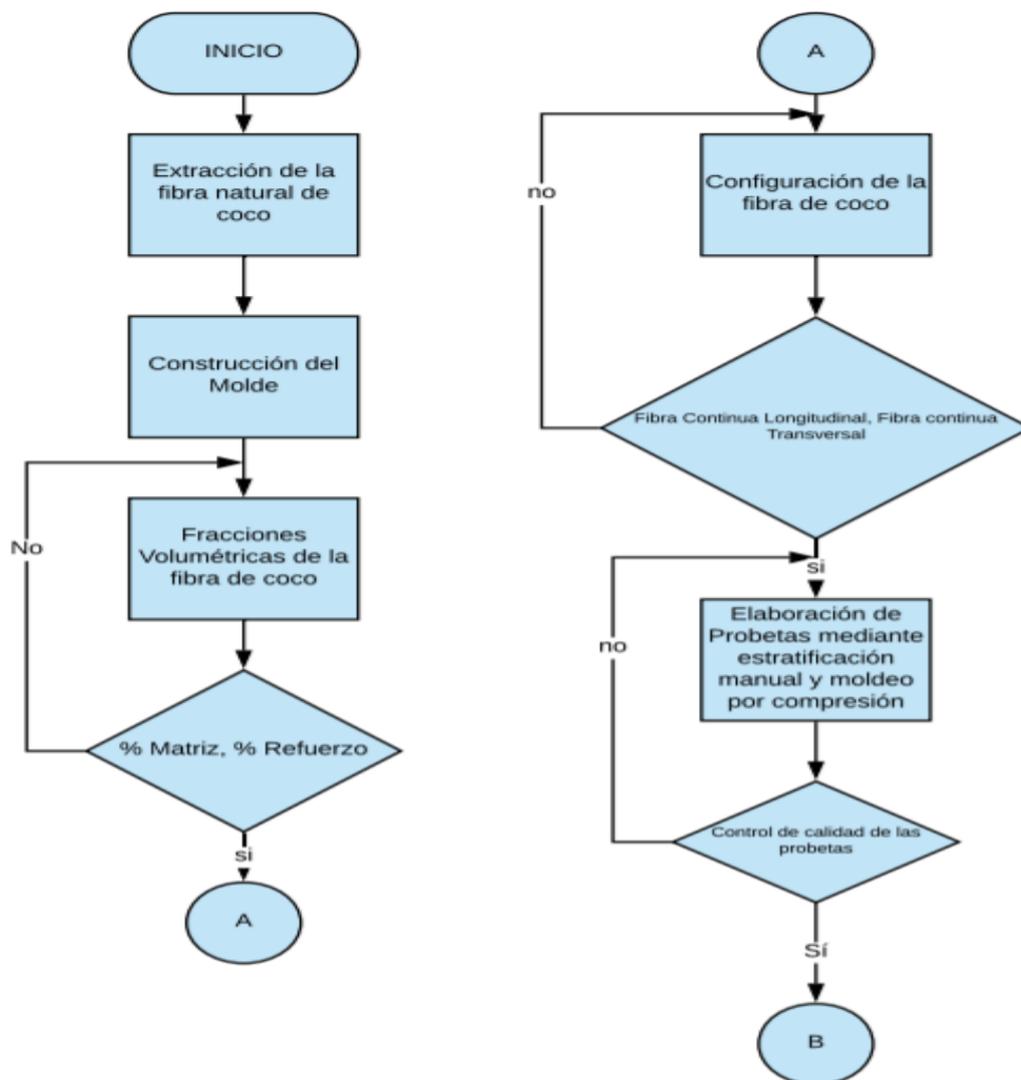
De tipo experimental ya que, bajo los resultados de los ensayos a tracción, flexión e impacto realizados, permitirán obtener la mejor composición y orientación de fibras, con la finalidad de que en un futuro sean llevados a la industria.

**Método**

Con la simulación computacional, en base a métodos matemáticos, se podrá predecir de manera eficaz cómo funcionará y reaccionará un determinado producto bajo un entorno real; para el caso en análisis se podrá predecir cómo funcionará y reaccionará el guardafango con material compuesto y material homogéneo y así tener una idea clara y poder determinar sus cualidades o características de cada uno de ellos y de ser el caso en un futuro poder ingresar al campo de la manufactura.

**Metodología**

**Proceso de fabricación de las probetas y ensayos destructivos**



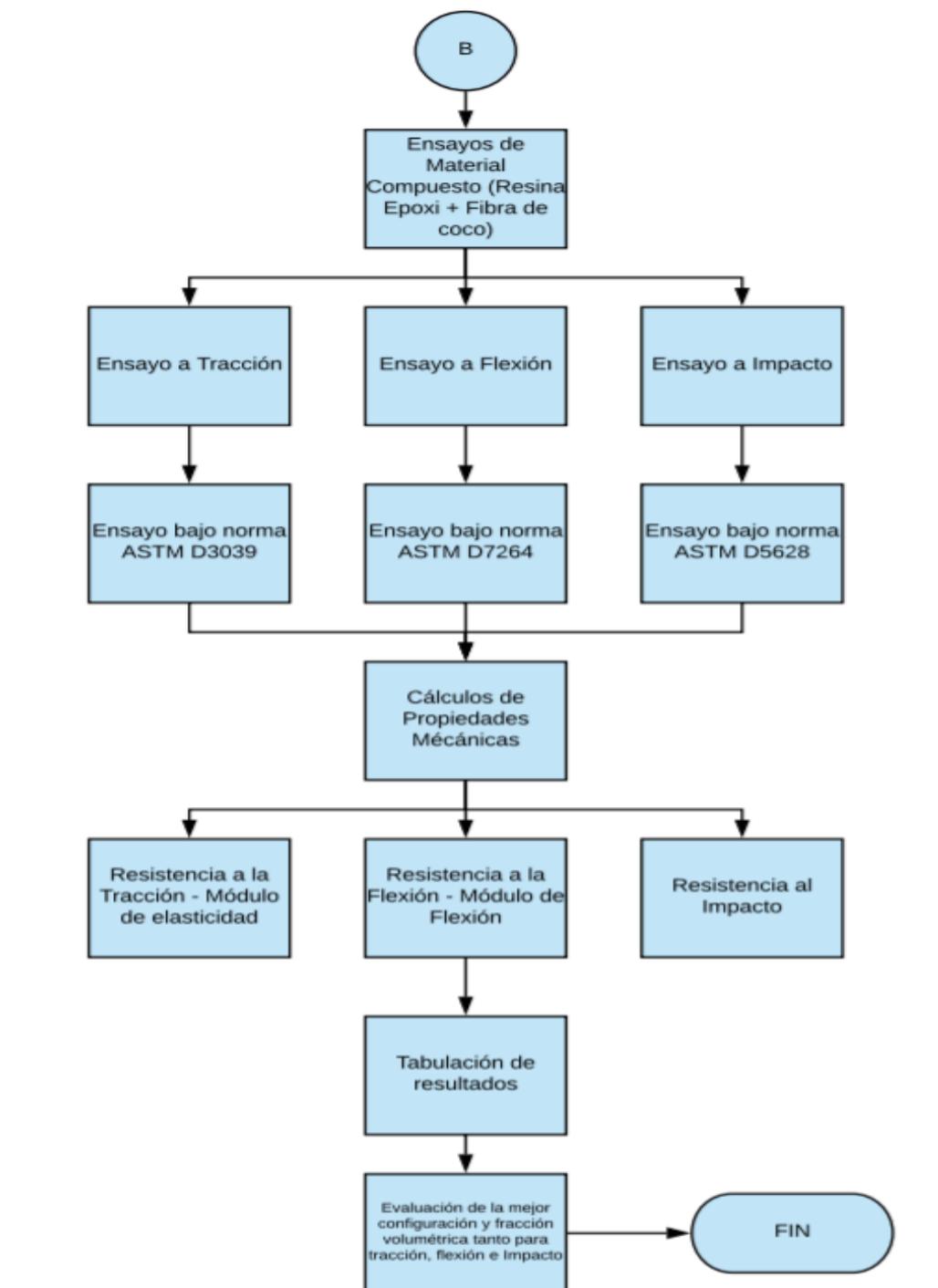


Figura 10. Diagrama de flujo fabricación de probetas y ensayos destructivos

Con el fin de obtener un material compuesto, existen varios equipos y procedimientos los cuales estarán ligados con el tipo de material a obtener, constituyentes y uso final del mismo. Para este caso se utilizará la estratificación manual y moldeo por compresión.

### **Estratificación Manual**

Guerrero et al. (2011), en su estudio “Nuevos materiales: Aplicaciones estructurales e industriales”, en base a la estratificación manual señala que es la técnica más simple y antigua, si se trata de obtener materiales compuestos de matriz termoestable puesto que las resinas termoestables permiten un fácil procesamiento y una buena impregnación de refuerzos en forma de fibra, al encontrarse en estado líquido y a temperatura ambiente.

Las matrices comúnmente suelen ser: poliésteres, resinas epóxicas y fenólicas. La resina que se usen para estos casos debe contener en su estructura un monómero reactivo, generalmente estireno, que formará entrecruzamientos entre las cadenas poliméricas durante el proceso de curado, otorgando la viscosidad adecuada a la resina. Para que ocurra el proceso de curado se adiciona un iniciador, que es el encargado de desencadenar la reacción y posteriormente un catalizador o promotor para acelerar dicha reacción. La resina poliéster, frecuentemente usada por su bajo costo, tiene un contenido de estireno monómero entre 30 y 50% en peso. Como iniciador se utiliza generalmente octoato de cobalto y como catalizador peróxido de metiletil cetona (MEKP, por sus siglas en inglés).

En cuanto a las etapas del proceso de estratificación manual Guerrero et al. (2011), expresa ciertos pasos como:

- a) Adicionar al molde un agente de desmoldeo para poder retirar con facilidad la pieza final.
- b) El gelcoat es aplicado con una pistola de aspersion o mediante un rodillo
- c) Cuando el gelcoat ha curado parcialmente se añaden capas del material de refuerzo y se deposita la resina catalizada sobre cada capa de refuerzo. Pasar un rodillo para permitir que el refuerzo se impregne del polímero y con el objetivo de eliminar el aire atrapado en el laminado.

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

### **Obtención de la fibra de coco.**

Se procede a retirar el mesocarpio del fruto ya que éste contiene las fibras secándose a temperatura ambiente con la finalidad de lograr la deshidratación y así poder extraer más fácilmente la fibra.

### **Cantidad de fibras**

La cantidad de fibras se basa en la regla de mezclas la cual manifiesta que una fracción mayor de volumen de fibras incrementará la resistencia de rigidez del compuesto, sin embargo, la fracción máxima de volumen de fibras es aproximadamente 80%, un porcentaje mayor de fibras ya no quedan totalmente rodeados por la matriz.

### **Longitud y diámetro de las fibras**

Pachacama (2015) en cuanto a la longitud y diámetro de las fibras expresa que las fibras pueden ser cortas, largas o incluso continuas. Para esto se ha definido la relación  $l/d$ , donde  $l$  es la longitud de la fibra y  $d$  su diámetro.

Las fibras comunes o típicas tienen diámetros que van desde 10 micrones hasta 150 micrones. La resistencia del compuesto es mejor cuando se obtiene una relación de forma grande, debido a que a menudo las fibras se fracturan debido a defectos en la superficie.

Considerar un diámetro demasiado pequeño le da a la fibra menos área superficial, en consecuencia, hay menos defectos que pueden propagarse durante el proceso o bajo carga. La preferencia de obtener o trabajar con fibras largas, posibilita a que los extremos de una fibra

soporten menos carga que el resto, por lo tanto, a menos extremo mayor capacidad de las fibras de soportar carga.

Se ha encontrado relaciones de  $l/d$  de 1000 entre la longitud y el ancho. Tal es el caso del lino, cabuya, ramio, cáñamo, kenaf y yute.

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

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

Dónde:

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

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

Dónde:

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

### Probetas a Tracción

Las probetas a tracción se las realizará de acuerdo con la norma ASTM 3039.

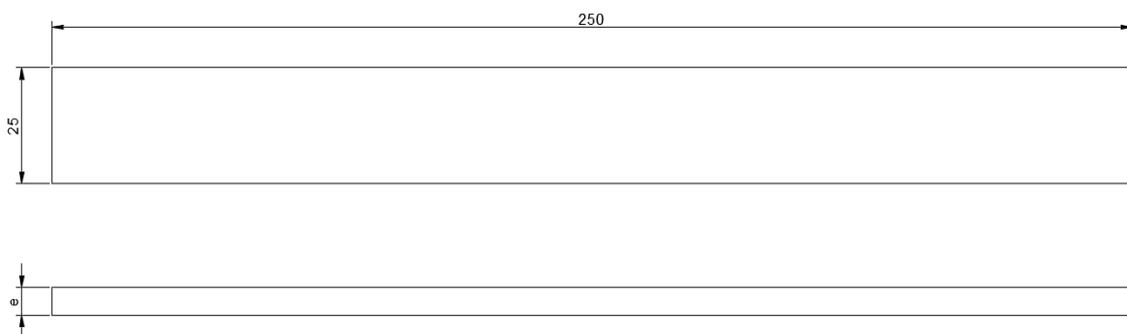


Figura 11. Dimensiones de probetas de Tracción de acuerdo con la Norma ASTM 3039

Para el ensayo a tracción se realizaron las siguientes probetas con sus características que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 5  
*Características de las probetas de Tracción*

N° de configuración	Cantidad de probetas	Capas de fibra	Tipo	Dirección	Fracción Volumétrica de fibra (%)	Fracción Volumétrica de Resina (%)
1	5	3	Continua	90°-0°-90°	40	60
2	5	2	Continua	90°-0°	25	75

### Probetas a Flexión

Las probetas a flexión se las realizará de acuerdo con la norma ASTM 7264.

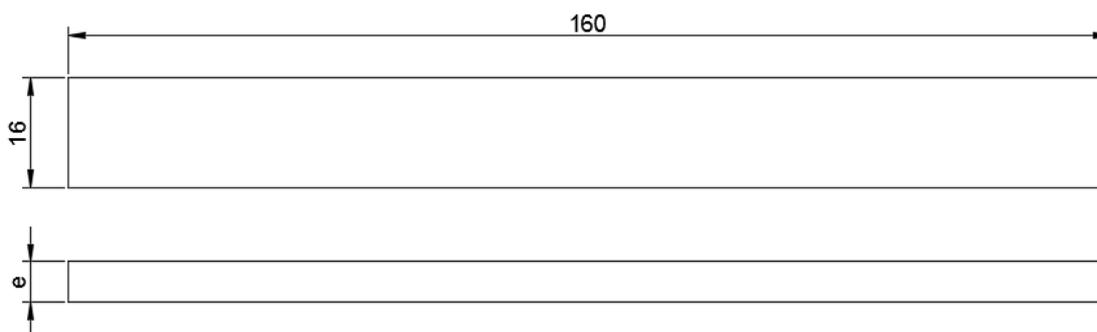


Figura 12. Dimensiones de probetas de Flexión de acuerdo con la Norma ASTM 7264

Para el ensayo a flexión se realizaron las siguientes probetas con sus características que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 6  
*Características de las probetas de Flexión*

N° de configuración	Cantidad de probetas	Capas de fibra	Tipo	Dirección	Fracción Volumétrica de fibra (%)	Fracción Volumétrica de Resina (%)
1	5	3	Continua	90°-0°-90°	40	60
2	5	2	Continua	90°-0°	30	70

### Probetas a Impacto

Las probetas a tracción se las realizará de acuerdo con la norma ASTM D5628.

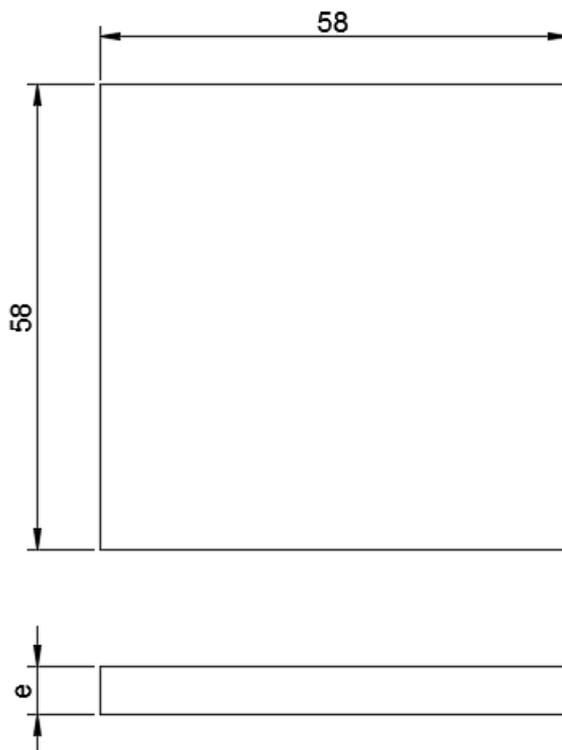


Figura 13. Dimensiones de probetas de Impacto de acuerdo con la Norma ASTM D5628

Tabla 7  
*Características de las probetas de Impacto*

Nº de configuración	Cantidad de probetas	Capas de fibra	Tipo	Dirección	Fracción Volumétrica de fibra (%)	Fracción Volumétrica de Resina (%)
1	5	2	Continua	90°-0°	25	75
2	5	3	Continua	90°-0° -90°	25	75

### Probetas a Tracción Material Homogéneo

Las probetas a tracción se las realizará de acuerdo con la norma ASTM E8 propia para materiales homogéneos, cuyos valores se muestran en la tabla 8 y la forma final en la figura 14.

Tabla 8

*Dimensiones probeta a tracción material homogéneo según norma ASTM E8*

Dimensiones	mm (pulg.)
G-Longitud del calibre	50.0 ± 0.1 (2.000±0.005)
W-Ancho	12.5±0.2 (0.500±0.010)
T-Espesor	Grosor del material
R-Radio del filete, min	12.5 (0.500)
L-Longitud Total, min	200(8)
A-Longitud de la sección paralela reducida, min	57(2.25)
B-Longitud de la sección de agarre, min	50(2)
C-Anchura de la sección de agarre, aproximada	20(0.750)

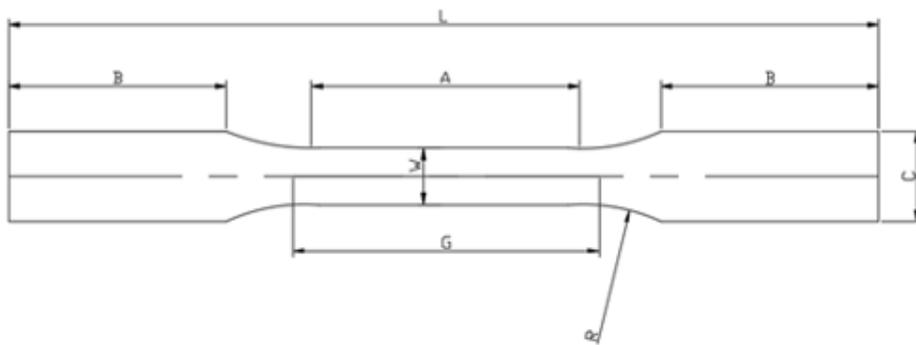


Figura 14. Forma de la probeta a tracción material homogéneo según norma ASTM E8

### **Extracción manual de la fibra de coco seca**

Al mesocarpio del coco se procede a dividir en hilos de forma manual, podría usarse un cepillo de alambre para quitar un poco de material fenólico que se encuentre en la pulpa además del polvo que pudiera existir.



Figura 15. Mesocarpio de coco

Empezamos a obtener la fibra de coco en forma de hilos o tiras para en lo posterior formar las probetas junto con resina que complementan el material compuesto.



Figura 16. Extracción manual de la fibra de coco

### **Limpieza de la fibra por medio químico**

Para mejorar una correcta unión entre la fibra de coco y la resina epoxy se realiza un ataque químico en el cual se usa fibras sumergidas en hidróxido de Sodio (NaOH) con una concentración volumétrica del 2% y del 1%.

### Cálculos de hidróxido de sodio para el ataque químico

El hidróxido de sodio (NaOH) es un químico también conocido como sosa caustica, es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe la humedad del aire. Al contacto con el agua libera gran cantidad de calor.

Para el cálculo de volumen se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_{NaOH} = \frac{MN_{aOH} * \rho_{NaOH}}{MN_{aOH} * \rho_{NaOH} + (1 - MN_{aOH})\rho_{H_2O}}$$

Siendo:

$V_{NaOH}$  = fracción Volumétrica de Hidróxido de Sodio

$\rho_{H_2O}$  = densidad del agua ( $\frac{1g}{cm^3}$ )

$\rho_{NaOH}$  = densidad de Hidróxido de Sodio ( $\frac{2,13g}{cm^3}$ )

$MN_{aOH}$  = concentración de Hidróxido de Sodio (0.02)

Por tanto:

$$V_{NaOH} = \frac{0,02 * 2,13 \frac{g}{cm^3}}{0,02 * 2,13 \frac{g}{cm^3} + (1 - 0,02)1 \frac{g}{cm^3}}$$

$$V_{NaOH} = 0,0417$$

Cálculo de Volumen de Hidróxido de Sodio y Agua

$$V_{NaOH} = 0.04165 * 1000cm^3$$

$$V_{NaOH} = 41.7cm^3$$

$$V_{H_2O} = 1000cm^3 - 41.65cm^3$$

$$V_{H_2O} = 958.3cm^3$$

### Construcción del molde

El material que constituye los moldes es acero ASTM A36 realizados de acuerdo con las normativa ASTM D-3039 para ensayo a tracción, ASTM D- 7264 para ensayo a flexión y ASTM D-5628 para ensayos a impacto.



Figura 17. Moldes para construcción de probetas

### Fabricación de las probetas de material compuesto para ensayo de tracción, flexión e impacto

#### Fracciones volumétricas de fibra de coco de las probetas para ensayo a tracción.

Las probetas para el ensayo de tracción se las realizó bajo las condiciones siguientes:

5 probetas de 40% de fibra de coco con 60% de resina epoxi y orientación  $90^{\circ}$ - $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$ .

5 probetas de 25% de fibra de coco con 75% de resina epoxi y orientación  $90^{\circ}$ - $0^{\circ}$ .

#### Fracciones volumétricas de fibra de coco de las probetas para ensayo a flexión.

Las probetas para el ensayo de flexión se las realizó bajo las condiciones siguientes:

5 probetas de 40% de fibra de coco con 60% de resina epoxi y orientación  $90^{\circ}$   $0^{\circ}$   $90^{\circ}$ .

5 probetas de 30% de fibra de coco con 70% de resina epoxi y orientación  $90^{\circ}$   $0^{\circ}$ .

#### Fracciones volumétricas de fibra de coco de las probetas para ensayo a impacto

5 probetas de 25% de fibra de coco y 2 capas con 75% de resina epoxi y orientación  $90^{\circ}$ - $0^{\circ}$ .

5 probetas de 25% de fibra de coco y 3 capas con 75% de resina epoxi y orientación  $90^{\circ}$ - $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$ .

### **Configuración de las fibras**

Las fibras de coco para la realización de los ensayos experimentales tienen 2 orientaciones:

#### **a) Fibra continua longitudinal**



Figura 18. Fibra continua longitudinal

#### **b) Fibra continua transversal**



Figura 19. Fibra continua transversal

### **Fabricación de las probetas de material compuesto para ensayos de tracción, flexión e impacto**

#### **Elaboración de las probetas**

Se necesita que el refuerzo natural de las fibras de coco se encuentre completamente seco, en el caso de que la fibra natural no se encuentre seca o tenga algo de humedad se recomienda guardar

la fibra en un ambiente con temperatura controlada (20-40°C) con el fin de evitar disminuir las propiedades físicas que ésta brinda, ya que la humedad le va a tornar quebradiza.

El proceso de fabricación se basa en los siguiente:

- Encerar el molde con cera desmoldante y esperar que se seque, el tiempo de secado dependerá de la cantidad de cera que se aplique.



Figura 20. Encerado de los moldes de fabricación de probetas

- Mezclar la resina epoxi con fibra de coco en el molde. Evitar la creación de burbujas de aire.



Figura 21. Mezcla de resina y fibra de coco

- Llenar el molde completamente de la mezcla de resina epoxi y fibra considerando sus respectivas orientaciones de las fibras.



Figura 22. Llenado de los moldes con fibra considerando su orientación

- Comprimir las probetas colocando la tapa de los moldes y empernarla para ejercer la presión. Para mejorar la compresión e impedir que se formen burbujas de aire se ha utilizado una parte de madera que de igual forma será comprimida con el molde. Esperar que la resina epoxi se solidifique y se mezcle con la fibra natural de coco un tiempo promedio de 3 días.



Figura 23. Compresión del material por medio de placas

- Realizar un control de calidad de las probetas

- Obtención de probetas para ensayos a tracción previo a un control de calidad, en las mismas se fijarán lijas en los extremos con el propósito de mejorar la sujeción y evitar deslizamientos de las mordazas con las probetas al momento del ensayo.

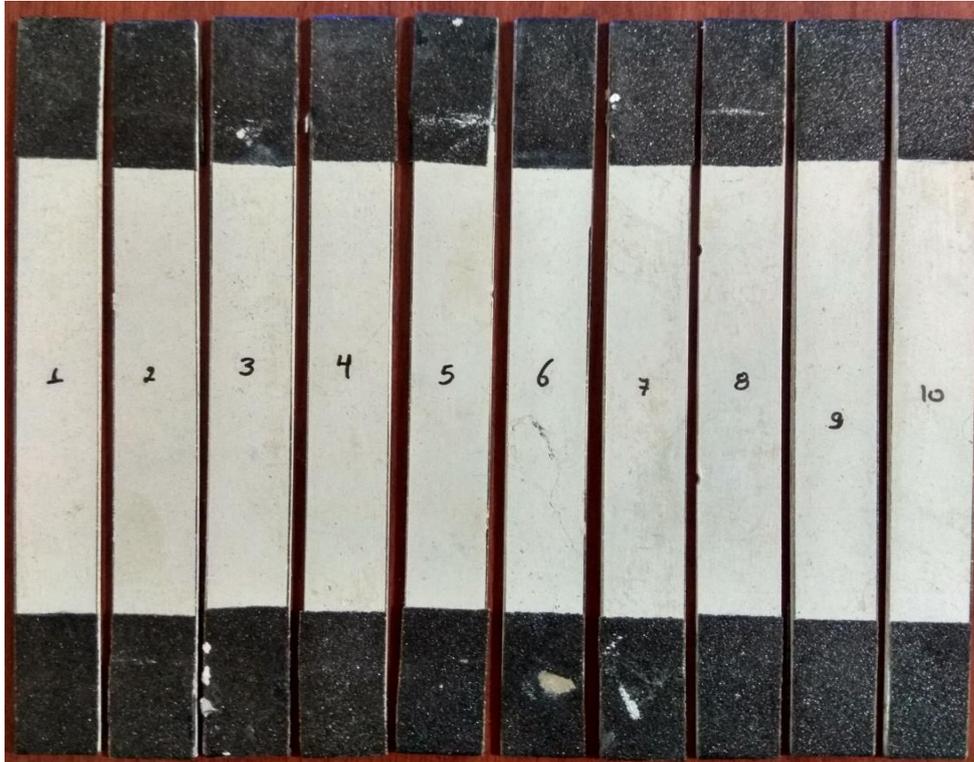


Figura 24. Obtención de probetas para ensayos a tracción

- Obtención de probetas para ensayos a flexión previo a un control de calidad de estas.



Figura 25. Obtención de probetas para ensayos a flexión

- Obtención de probetas para ensayos a impacto previo a un control de calidad de estas

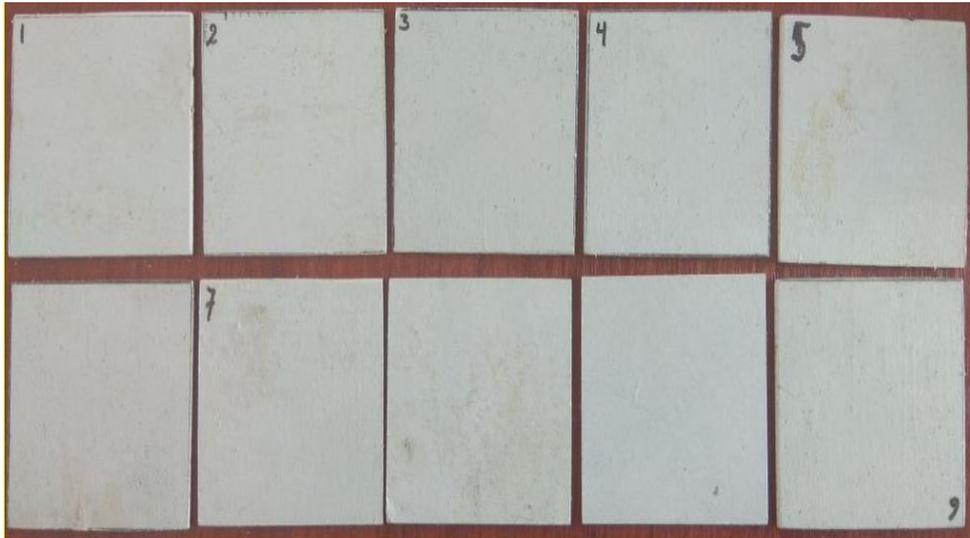


Figura 26. Obtención de probetas para ensayos a impacto

### **Fabricación de las probetas de material homogéneo para ensayo de tracción.**

Basado en la norma ASTM E8 se fabricó las probetas de material homogéneo cuyas características del material, obtenido de los ensayos se usarán para la respectiva simulación.



Figura 27. Probetas del material homogéneo basados en la norma ASTM E8

### **Ensayo a tracción**

Guerrero et al. (2011), en su artículo “Nuevos materiales Aplicaciones estructurales e industriales” en referencia al ensayo a tracción para materiales compuestos expresa que es uno

de los ensayos mecánicos más comúnmente realizado, en el cual el material ensayado se deforma hasta la rotura de la probeta mediante la aplicación de una fuerza uniaxial a lo largo del eje principal aumentando de manera gradual. El ensayo de tracción se lleva a cabo bajo las regulaciones de la norma D3039/D3039M-00 y se lo realiza utilizando una máquina universal de ensayos como la que se muestra en la Figura 28.

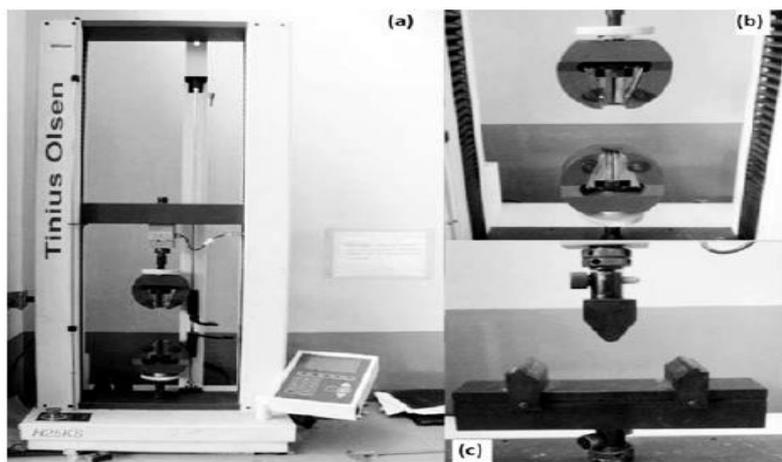


Figura 28. (a) Máquina universal de ensayos Tinius Olsen “H25KS”, (B) mordazas para ensayo de tracción y (c) equipo para ensayo a flexión. Fuente: Guerrero et al. (2011). Nuevos materiales Aplicaciones estructurales e industriales

Como implemento para la realización del ensayo debe utilizarse algún elemento mecánico que garantice que la sujeción de la probeta sea adecuada de tal forma que el deslizamiento sea mínimo, para esto pueden usarse mordazas cuneiformes. Así mismo, puede o no utilizarse un extensómetro cabe indicar que el uso del extensómetro durante la realización del ensayo generará resultados con un menor margen de error.

Las probetas por ensayar deben presentar dimensiones específicas que exige la norma mencionada anteriormente. Además, dichas probetas requieren mostrar superficies libres de defectos visibles, fisuras o imperfecciones.

#### Esfuerzo máximo a la tracción.

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

Donde:

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

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

$A$  = Área de la sección transversal de la probeta ( $mm^2$ )

Porcentaje de deformación

$$\varepsilon(\text{elongación}) = \frac{L_f - L_i}{L_i}$$

$$\% \text{ de deformación} = \frac{L_f - L_i}{L_i} \cdot 100$$

Donde:

$L_f$  = Longitud final (mm)

$L_i$  = Longitud inicial (mm)

Módulo de Elasticidad

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

Donde:

$\sigma_{max}$  = Esfuerzo máximo

$\varepsilon$  = Elongación

### **Ensayo a flexión**

Guerrero et al. (2011), en su artículo “Nuevos materiales Aplicaciones estructurales e industriales” en referencia al ensayo a flexión expresa que se realiza mediante la norma D7264/D7264M-07, determinando la rigidez a la flexión y propiedades de resistencia de un compuesto de matriz polimérica. El procedimiento se basa en un sistema de carga en tres puntos utilizando una carga central en una viga con apoyos simples. Las propiedades a flexión se pueden ver afectadas por la superficie de la probeta, pues ningún laminado es perfectamente

simétrico, estas pequeñas diferencias desviarán el eje neutral y los resultados se verán afectados incluso por la mínima asimetría presente en el laminado. También se ve afectado por el espesor de la probeta, condicionantes ambientales o de ensayo donde se realizan las pruebas, velocidad de aplicación de esfuerzo, etc.

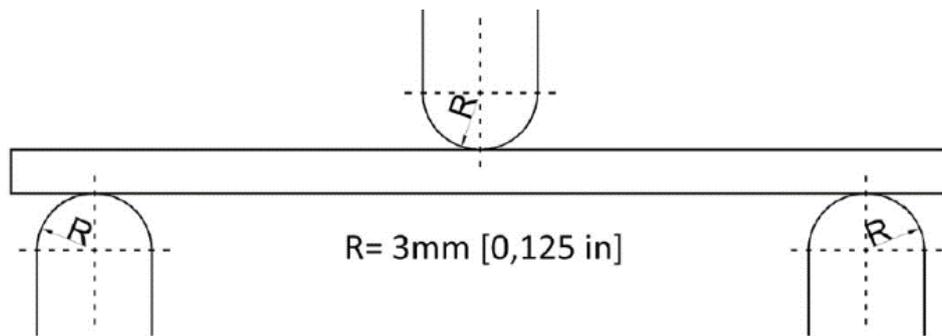


Figura 29. (a) Configuración de carga a flexión en tres puntos utilizada (ASTM D7264/D7264M – 07). Fuente: Guerrero et al. (2011). Nuevos materiales Aplicaciones estructurales e industriales

Guerrero et al. (2011), además expresa que, para realización de este ensayo se requieren al menos 5 probetas por cada condición de ensayo, a menos que se puedan obtener resultados válidos mediante el ensayo de menos probetas, como en el caso de un diseño experimental. Al igual que en los ensayos de tracción y de impacto, las probetas deben respetar características solicitadas de aspecto superficial, como es la ausencia de fisuras o defectos que influyan erradamente en los resultados del ensayo. Al igual que en el ensayo de tracción, las marcas ocasionadas por operaciones de corte deben ser cuidadosamente eliminadas con una lima fina o un abrasivo. De esta manera se alcanza una preselección y preparación de probetas que serán aptas para la realización del ensayo.

### Esfuerzo Máximo a flexión

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

Donde:

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

$F$ =Carga a la fractura (N)

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

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

$h$ =espesor de la probeta (mm)

Módulo de flexión

$$E_f = \frac{L^3 \cdot F}{4 \cdot w \cdot h^2 \cdot \delta}$$

Donde:

$E_f$  = Módulo de Flexión

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

$L$ = longitud entre los dos apoyos entre los dos puntos de apoyos (mm)

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

$F$ =fuerza aplicada (N)

$h$ =espesor de la probeta (mm)

## **Ensayo a impacto**

### **Ensayo de impacto mediante caída de dardo**

Guerrero et al. (2011), menciona que este tipo de ensayo se realiza de acuerdo con los estándares de la norma técnica ASTM D5628. La máquina de ensayos utilizada para esta prueba fue construida en el LAEV según las especificaciones y requerimientos de la norma ASTM. En la Figura 30 se muestra la máquina de impacto por caída de dardo. Es importante considerar que el área de impacto del dardo esté libre de fallas, de tal forma que los resultados obtenidos no se vean afectados.



Figura 30. Máquina para ensayo a Impacto por caída de dardo. Fuente: Guerrero et al. (2011). Nuevos materiales Aplicaciones estructurales e industriales

Además, Guerrero et al. (2011) manifiesta que con este método normalizado de ensayo se determina la energía de falla del material, originándose fisuras al caer el dardo sobre la probeta. Se coloca la probeta en la máquina y se deja caer el dardo teniendo en cuenta que el dardo no debe golpear dos veces a la probeta, es decir, este no debe rebotar, se retira la probeta y se examina si ha sufrido o no daño. Es importante conocer que se considera como falla al apareamiento de una fisura en la probeta. Esta debe ser detectada a simple vista, bajo condiciones de luz normal, además, se debe considerar que la energía de impacto será aquella necesaria para producir fallas en al menos el 50% de las probetas. Este mismo criterio se tomará para definir la altura y el peso del impactador. También se debe notar que la falla generalmente ocurre en el lado opuesto al golpe de impacto, por lo que es necesario después de cada impacto revisar esta superficie.

### **Método FEM**

Manjarrez y Santillán (2017) hacen mención de los elementos finitos como técnicas matemáticas los cuales permiten expresar la solución a un problema en forma numérica, pertenece al grupo de los métodos numéricos cuya estrategia común es la transformación de las ecuaciones diferenciales en un sistema de ecuaciones algebraicas que dependen de un número infinito de incógnitas.

La solución numérica será válida con la realidad si:

- El modelo matemático incorpora todos los aspectos del mundo real.
- El método numérico puede resolver exactamente las ecuaciones del modelo matemático.

Para el proceso de simulación se ha hecho uso de ANSYS, un software en el cual se podrá predecir de manera eficaz cómo funcionará y reaccionará un determinado producto bajo un entorno real, para el caso en análisis se podrá predecir cómo reaccionará el guardafango con material compuesto a base de resina epoxi y fibras orgánicas de coco teniendo una idea clara de su comportamiento y así poder plantear soluciones ante posibles problemas que pudieran existir.

ANSYS Corporation” fue fundada en 1970, esta empresa emplea a casi 3.000 profesionales, muchos de los cuales son expertos e ingenieros de nivel de doctorado en análisis de elementos finitos, dinámica de fluidos computacional, electrónica, semiconductores, software integrado y optimización de diseño. Su personal excepcional es un apasionado de empujar los límites de la tecnología de simulación de clase mundial para que los clientes puedan convertir sus conceptos de diseño en productos exitosos e innovadores más rápido y a un menor costo. (ANSYS, 2017).

### **Ingeniería asistida del prototipo del guardafango**

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

El concepto básico del análisis por elementos finitos para una estructura radica en sustituir la estructura continua real por una estructura idealizada equivalente compuesta por un número finito de partes discretas (puntos interconectados entre si llamados nodos y al conjunto se le

conoce como malla) por medio de un mallado (bidimensionales; cuadriláteros y triángulos; tridimensionales: hexaedros y tetraedros), al cual se aplican cargas en los nodos de los elementos límite del modelo, después del cual empleando teoremas de energía (relación entre fuerzas actuantes en los nodos y sus desplazamientos, ley de Hooke, módulo de Young, módulo de Poisson, etc.), se llega a derivar una matriz de rigidez (stiffness matriz, - las ecuaciones que rigen el comportamiento de la malla regirán también para la estructura). De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito". (Ind. data 9(1), 2006, p. 12)

### **Solucionador (solver).**

La simulación es una técnica para analizar y estudiar sistemas complejos permitiendo reunir información pertinente sobre el comportamiento del elemento mediante software CAD, antes de llevarlo al mundo real, la información recopilada se usa por lo general para un posterior diseño del elemento en análisis, además la simulación es una técnica que imita el funcionamiento del elemento para nuestro caso el guardafango recalcando que no es una técnica de optimización sino para estimar las medidas de desempeño del elemento, para este proceso se necesita un modelado previo en un software generando muestras representativas de las mediciones de desempeño.

Un análisis por elementos finitos (FEM) disminuye la cantidad de prototipos necesarios, buscar valores de coeficientes de seguridad idóneos y a su vez analizar distintas ideas de diseño variando las geometrías o el material en un instante de tiempo, garantizando la calidad de un producto antes de lanzar al mercado solventando una pérdida considerable en su ciclo de vida. El FEM se ha usado para desarrollar y solucionar problemas de ingeniería al ser una herramienta bastante potente.

### **Mallado.**

Las mallas son objetos 3D que se conforman por vértices los cuales pueden unirse o dividirse para dar un aspecto suavizado o arrugado según se requiera. Las mallas dan una mejor capacidad de modelado en algunos objetos llegándolos a modelar de una manera más detallada y descriptiva sobre todo en las curvaturas más abruptas que son las más notorias.

Para el mallado se puede utilizar técnicas para comprobar la calidad de la malla y por ende la precisión de los resultados, entre ellas tenemos la métrica basado en la calidad *Skewness* cuya verificación de los elementos de la malla se hace mediante el factor de *Skewness* (oblicuidad), que se mide en una escala del 0 al 1 representando el valor 0 la mayor calidad posible y 1 la peor. En la tabla 8 se presenta los rangos del factor de oblicuidad para determinar la calidad del mallado según el software Ansys.

Tabla 9  
*Rangos de Skewness y calidad de elemento*

<b>Skewness</b>	<b>Calidad de mallado</b>
1	Degradado
0.9<1	Malo
0.75 – 0.9	Pobre
0.5 – 0.75	Razonable
0.25 – 0.5	Bueno
>0 – 0.25	Excelente
0	Equilátero

Fuente: Calidad de mallado según Ansys 18.0

Otra forma de comprobar la calidad de la malla es mediante la métrica “Jacobian Ratio” este método tiene un rango de -1.0 a 1.0, se refiere a 1.0 como el elemento de malla perfecto y realiza una comparación entre todos los elementos de malla si el promedio se acerca a 1.0 quiere decir que el elemento computacional es altamente fiable.

### **Modelado 3D.**

El modelado 3D se realizó en el software SolidWorks, para el diseño se considera las dimensiones propias del guardafango del vehículo Chevrolet Aveo para en lo posterior realizar la simulación mediante el paquete estudiantil del software ANSYS.

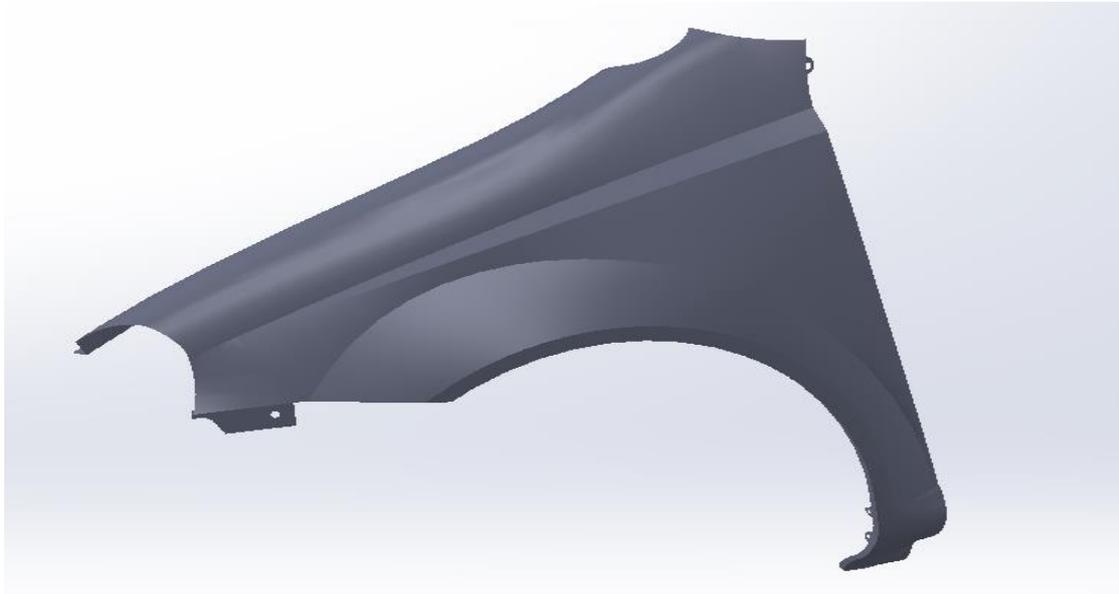


Figura 31. Modelado 3D del guardafango

### **Análisis de Impacto**

Con el propósito de determinar una diferencia en el comportamiento a carga de impacto entre el material compuesto y el material homogéneo del guardafango del vehículo en análisis, se ha efectuado una prueba de impacto, con la configuración que lo determina la norma EURO NCAP, que en esencia manifiesta que los ensayos computacionales para determinar comportamiento a impacto son válidos y factibles de realizar siempre y cuando se tome en cuenta los pasos normados para el proceso.

El grupo de normas que regulan este tipo de ensayo son las EURO NCAP TRANS-WP29-GRSP-2003-11e.

### **Comparación de comportamiento de materiales a carga de impacto**

Se ha tomado en cuenta el guardafangos que resulta ser objeto de este trabajo de investigación el cual mediante ensayos destructivos se ha logrado la caracterización del material compuesto generado a partir de fibras de coco y resina epoxi.

Para efecto de simulación se ha utilizado el programa computacional ANSYS, mediante el módulo LS DYNA mismo que resulta ser específico para estudios de dinámica explícita que son aquellas aplicaciones donde existen grandes deformaciones en pequeños intervalos de tiempo.

El material compuesto se ha configurado en el software ANSYS FREE de tal manera que en la simulación intervengan los parámetros reales de acuerdo con las propiedades obtenidas en la caracterización como son la densidad, el esfuerzo máximo, módulo de elasticidad entre otras del material obtenido, se muestra en la tabla a continuación

Tabla 10  
*Configuración del material compuesto con Fibra de Coco*

<b>Propiedades</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Módulo de Elasticidad	4459.54	MPa
Resistencia a la Tracción	97.06	MPa

De la misma forma se procede a la configuración del material homogéneo en el software de simulación de acuerdo con los parámetros determinados en la caracterización del material, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 11  
*Configuración del material homogéneo del guardafango*

<b>Propiedades</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Resistencia de rotura	247.23	MPa
Límite de fluencia	249.75	MPa

Se utiliza el módulo WORKBENCH LS DYNA y se configura las siguientes condiciones de borde.

#### **Condiciones de borde:**

##### **El tiempo:**

Es un factor determinante en este tipo de estudio, sin embargo, se deberá tomar en cuenta el valor asignado en función a la idea real de la duración del suceso, por lo general los impactos se encuentran en el orden de las décimas de segundo, dependiendo también del tamaño del componente a analizar.

Se han presentado casos en los que el volumen de los elementos o sistemas a analizar requieren de un tiempo mucho menor (en el orden de los micro segundos).

Se utiliza el modelo matemático Lagrangiano – Euleriano, dado que el objetivo es determinar varios valores de salida a partir de parámetros configurados puntualmente para el estudio.

En la configuración del análisis se ha determinado un tiempo de 0,9 s con el fin de poder visualizar en las curvas que se obtendrán a partir del estudio, de forma clara, el comportamiento de los materiales, tanto del original, así como del material compuesto.

##### **Mallado:**

Las normas obligan a que se realice un proceso de mallado para dinámica explícita, el mismo que se muestra a continuación:

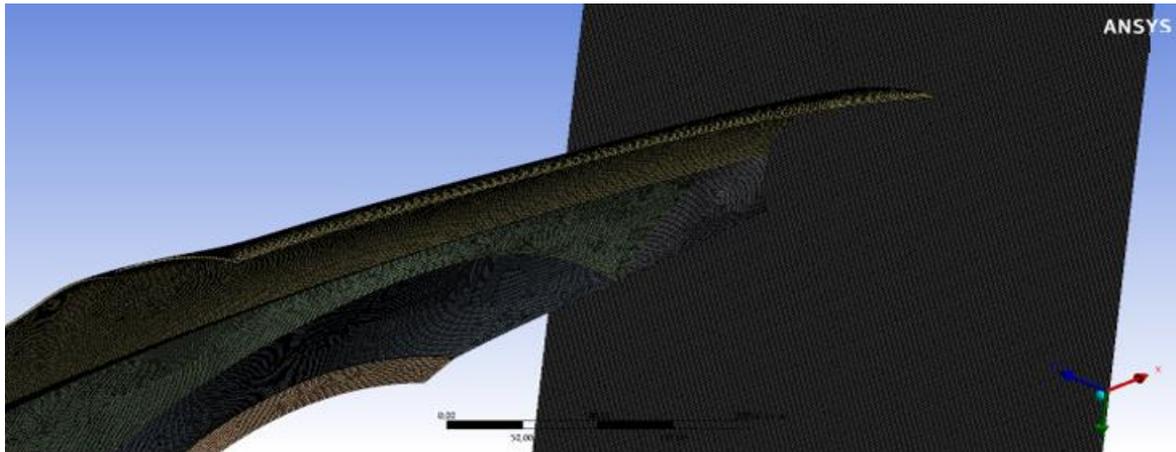


Figura 32. Mallado según Jacobian Ratio

Las características en cuanto a calidad de la malla se muestran a continuación, cabe indicar que el criterio de Ratio Jacobiano muestra una malla de mayor calidad cuando el promedio tiende a 1.

Tabla 12

*Resultado de la calidad del mallado según el criterio Jacobian Ratio*

<b>Calidad del Mallado</b>	<b>Jacobian Ratio</b>
Mínimo	1
Máximo	4.2683
Promedio	1.0359
Desviación Estándar	0.14074

### **Velocidad y Hourglass Control**

En cuanto a las condiciones iniciales para el estudio la norma estipula que se deberá efectuar el ensayo a 15.5 m/s equivalente aproximadamente a 55 Km/h. En Ecuador no existe una regulación para este tipo de ensayos.

La norma estipula también que se utilice un coeficiente para fenómenos de Hourglass de 0.1 y el criterio para contrarrestar el fenómeno de reloj de arena que suele presentarse en el mallado de dinámica explícita es el Flanagan Belytschko Stiffnes, que resulta ser apropiado para espesores relativamente menores como el caso de chapas metálicas que es el más

cercano al caso de análisis en este trabajo. Dichos valores que se configurarán en el programa se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 13  
*Valor de Hourglass Control y Tipo de Hourglass*

<b>Tipo de Hourglass</b>	<b>Exact Volume Flanagan Belytschko Stiffnes</b>
Coeficiente Hourglass por defecto	0.1

## RESULTADOS

### Caracterización del material compuesto.

Con el fin de determinar las propiedades mecánicas del material compuesto se utilizó ensayos destructivos de tracción, flexión e impacto.

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

Basados en las normas ASTM los cuales han desarrollado estándares para ensayos de materiales tanto de material compuesto como para materiales homogéneos, se procede a la realización de los ensayos de tracción y flexión en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del Gobierno de Tungurahua en la Máquina Universal de Ensayos MTE-50 y a la realización del ensayo a impacto en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Civil de la Universidad técnica de Ambato, cuyos informes se adjuntan como anexos.

### Recolección de datos del ensayo a tracción

Tabla 14  
*Resultados ensayo a tracción primera configuración*

<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>	
<b>Datos Informativos</b>	
Fecha:	21-11-2017
Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos MTE-50
Realizado por:	Ing. Rommel Imbaquingo
Revisado por:	MSc. Julio Leguísamo

<b>Parámetros Del Ensayo</b>			
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM -D3039
Orientación:	90°-0°-90°	Estratificación:	Manual
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	60%
Refuerzo:	Fibra de Coco	Fracción Volumétrica:	40%
Capas Fibra:	3	Número de Probetas:	5
Dimensiones:	250mm*25mm*e	Velocidad de ensayo:	10 mm/min
Temperatura:	21°C	Humedad:	55%

**Resultados**

Probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de Tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de Falla
1	2341.46	130.84	6073.36	2.15	LGM
2	1621.98	87.56	4734.82	1.85	LGM
3	2601.80	108.15	4035.30	2.68	LGM
4	2546.58	95.99	3850.16	2.49	AGM
5	1719.81	62.77	3604.08	1.74	LAT
Promedio:	2166.33	97.06	4459.54	2.18	-
Desv. Est:	463.84	25.16	995.40	0.40	-

**Evaluación y Observaciones**

Esfuerzo Máximo Promedio: 97.06 MPa

Módulo de Elasticidad Promedio: 4459.54 MPa

**Descripción Tipo de Falla**

Primer Carácter	Segundo Carácter	Tercer Carácter
L Lateral	A En el agarre	T Parte Superior
L Lateral	I Dentro del Agarre	T Parte Superior
A Angular	G Zona Calibrada	M Medio

En la figura 33 se muestran los datos obtenidos del ensayo a tracción de las probetas que corresponden a la primera configuración, se representa el esfuerzo máximo de cada probeta junto con el esfuerzo promedio.

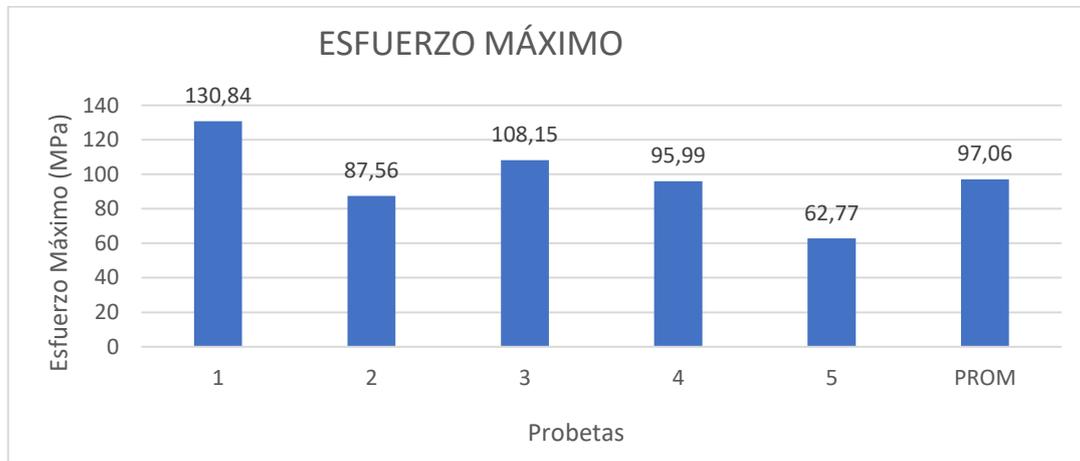


Figura 33. Valores de esfuerzo máximo del ensayo a tracción primera configuración

En la figura 34 se puede apreciar la curva carga vs deformación del ensayo a tracción de las 5 probetas donde se evidencia la ausencia de la zona plástica antes de la fractura.

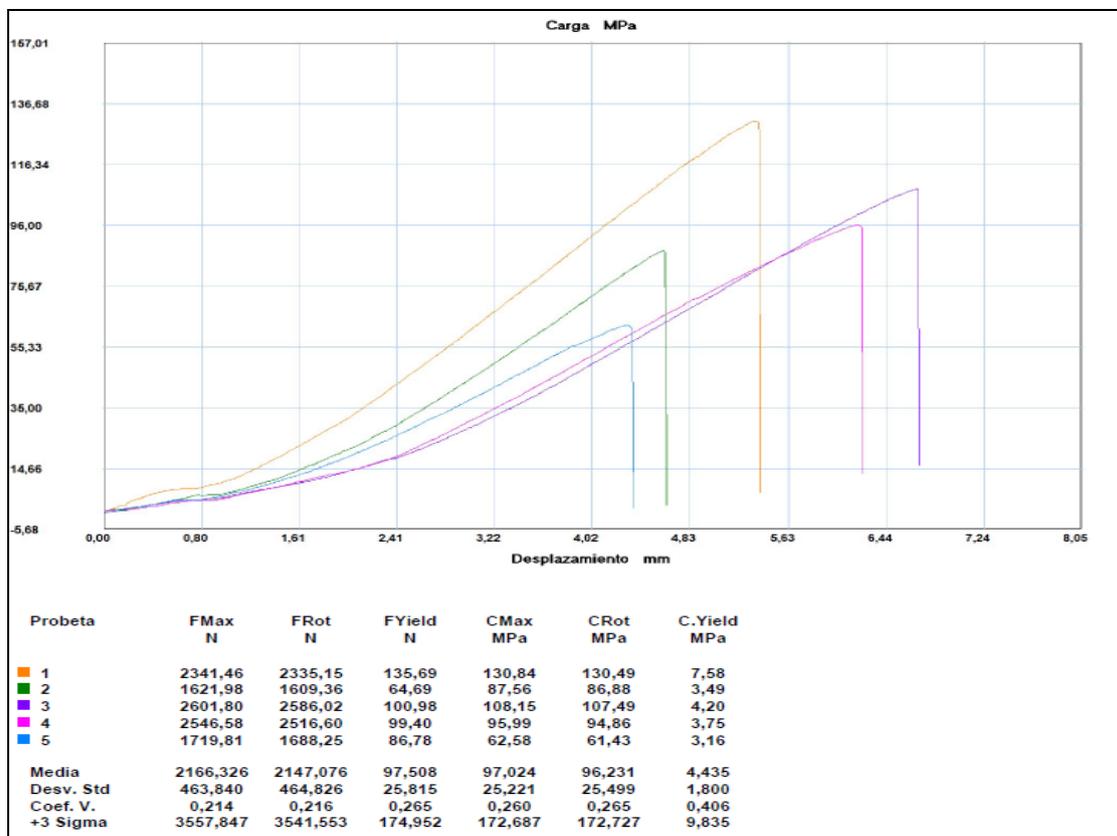


Figura 34. Curva Desplazamiento vs Carga ensayo a tracción primera configuración

Tabla 15  
Resultados ensayo a tracción segunda configuración

<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>					
<b>Datos Informativos</b>					
Fecha:	21-11-2017				
Ciudad:	Ambato				
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos MTE-50				
Realizado por:	Ing. Rommel Imbaquingo				
Revisado por:	MSc. Julio Leguísamo				
<b>Parámetros Del Ensayo</b>					
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:		ASTM -D3039	
Orientación:	90°-0°	Estratificación:		Manual	
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:		75%	
Refuerzo:	Fibra de Coco	Fracción Volumétrica:		25%	
Capas Fibra:	2	Número de Probetas:		5	
Dimensiones:	250mm*25mm*e	Velocidad de ensayo:		10 mm/min	
Temperatura:	21°C	Humedad:		55%	
<b>Resultados</b>					
Probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de Tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de Falla
1	1917.03	70.84	2938.78	2.41	LGM
2	2562.36	68.50	2655.71	2.58	SGM
3	2167.95	70.18	3173.99	2.21	LGM
4	2616.00	77.47	3127.68	2.48	AGM
5	2081.13	52.04	2640.66	1.97	LAT
Promedio:	2268.89	67.80	2907.36	2.33	-

Desv. Est:	306.54	9.45	252.53	0.24	-
------------	--------	------	--------	------	---

**Evaluación y Observaciones**

Esfuerzo Máximo Promedio: 67.80 MPa

Módulo de Elasticidad Promedio: 2907.36 MPa

**Descripción Tipo de Falla**

Primer Carácter		Segundo Carácter		Tercer Carácter	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte Superior
L	Lateral	I	Dentro del Agarre	T	Parte Superior
A	Angular	G	Zona Calibrada	M	Medio

En la figura 35 se aprecia los valores obtenidos del ensayo a tracción de las probetas que corresponden a la segunda configuración, se representa el esfuerzo máximo de cada probeta junto con el esfuerzo promedio.

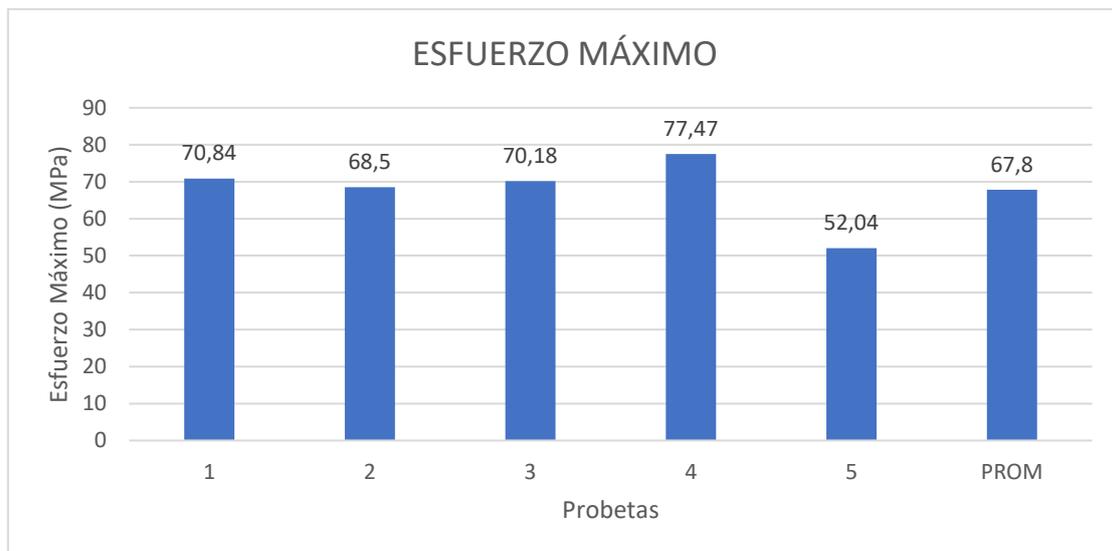


Figura 35. Valores de esfuerzo máximo del ensayo a tracción segunda configuración

En la figura 36 de igual forma se puede apreciar en la curva carga vs deformación la ausencia de la zona plástica antes de la fractura, propia de un material constituido con resina.

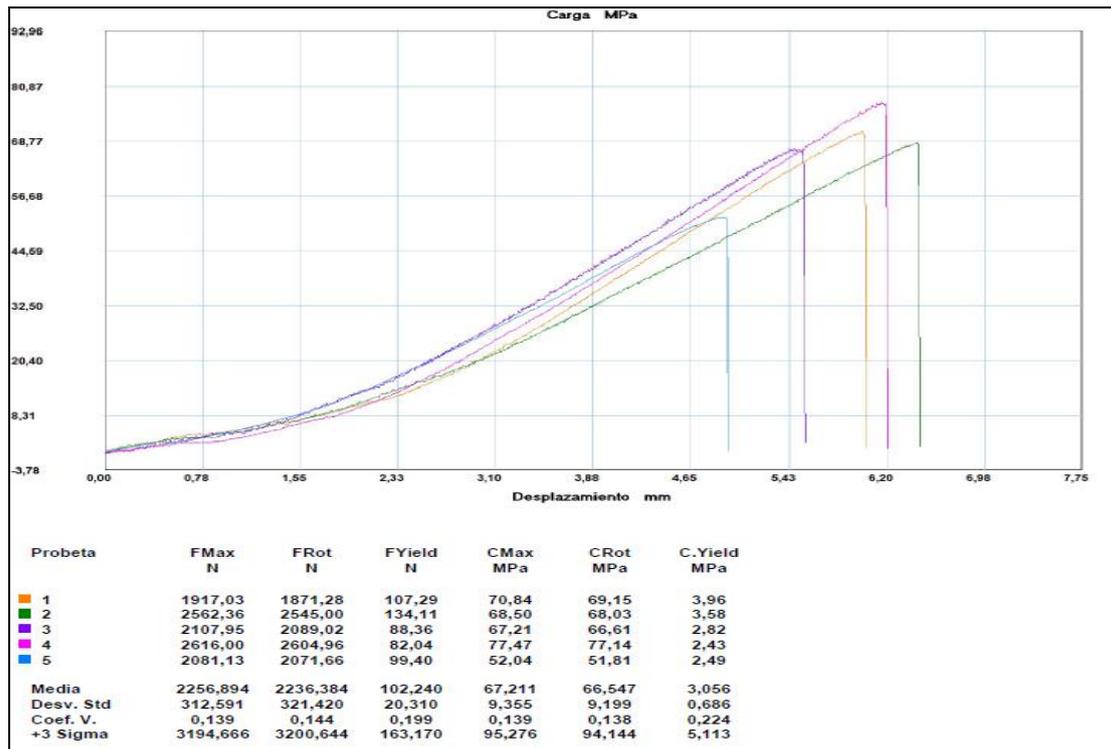


Figura 36. Curva Desplazamiento vs Carga ensayo a tracción segunda configuración

**Recolección de datos de los ensayos a flexión**

Tabla 16  
Resultados ensayo a flexión primera configuración

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
Datos Informativos			
Fecha:	21-11-2017		
Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos MTE-50		
Realizado por:	Ing. Rommel Imbaquingo		
Revisado por:	MSc. Julio Leguísamo		
Parámetros Del Ensayo			
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM -D7264
Orientación:	90°-0°-90°	Estratificación:	Manual

Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	60%
Refuerzo:	Fibra de Coco	Fracción Volumétrica:	40%
Capas Fibra:	3	Número de Probetas:	5
Dimensiones:	160mm*16mm*e	Velocidad de ensayo:	10 mm/min
Temperatura:	18°C	Humedad:	61%

**Resultados**

Probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de Flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
1	34.71	111.12	17596.95	5.576	OAT
2	45.76	105.60	26378.29	3.04	OAT
3	58.38	98.51	17246.44	3.723	OAB
4	36.29	81.83	23494.18	2.568	OAT
5	66.27	124.67	19957.38	4.293	OAT
Promedio:	48.28	104.35	20934.65	3.84	-
Desv. Est:	13.78	15.82	3933.27	1.17	-

**Evaluación y Observaciones**

Esfuerzo Máximo Promedio:	104.35 MPa
Módulo de Elasticidad Promedio:	20934.65 MPa

**Descripción Tipo de Falla**

Primer Carácter	Segundo Carácter	Tercer Carácter
O	Otros	A
O	Otros	L
		B
		V
		T

En la figura 37 se aprecia los valores obtenidos del ensayo a flexión de las probetas que corresponden a la primera configuración, se representa el esfuerzo máximo de cada probeta junto con el esfuerzo promedio.

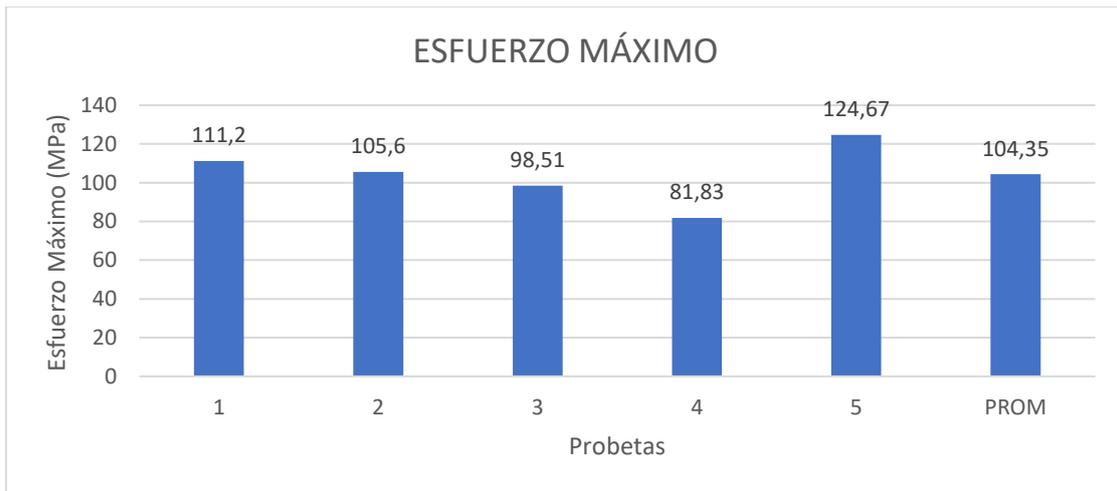


Figura 37. Valores de esfuerzo máximo del ensayo a flexión primera configuración

En la figura siguiente se muestra la curva carga vs deformación de las probetas a flexión con la primera configuración, aquí se aprecia que no existe un punto de fluencia definido y la ausencia de la zona plástica.

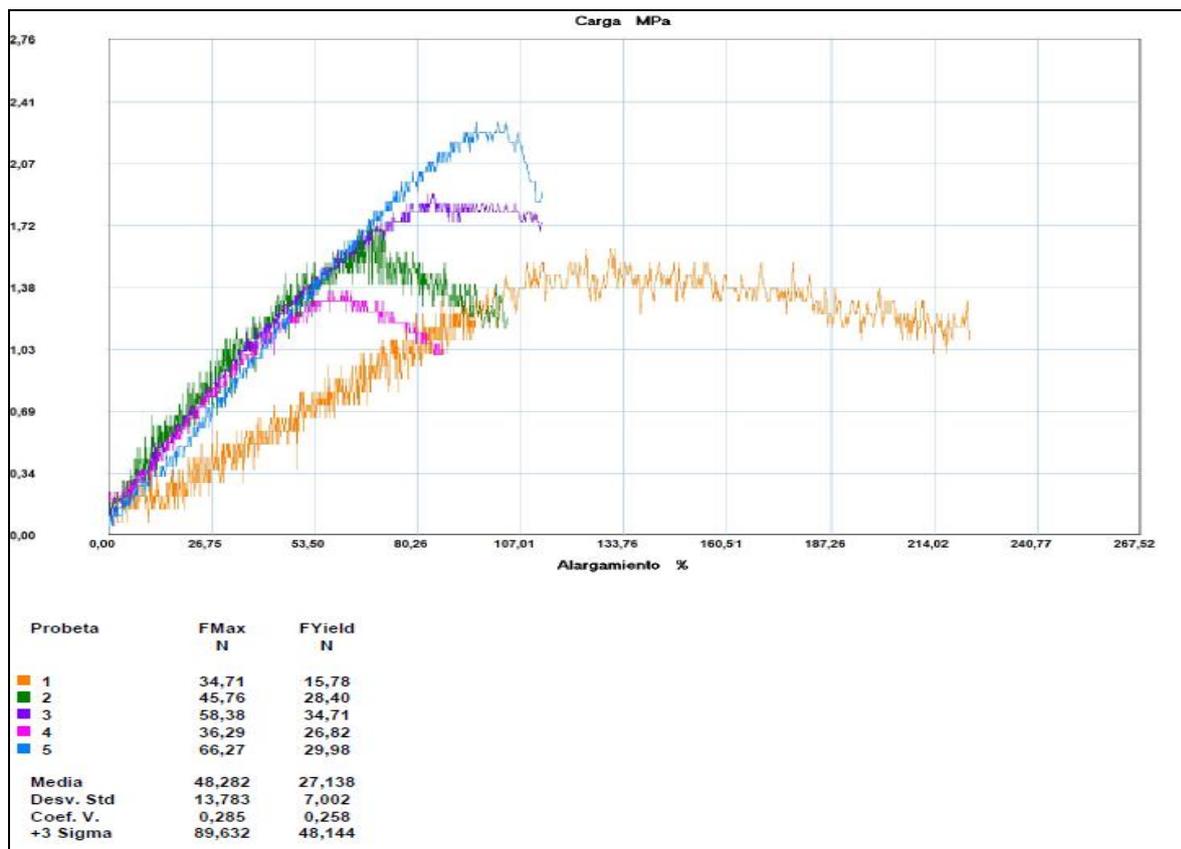


Figura 38. Curva Desplazamiento vs Carga ensayo a flexión primera configuración

Tabla 17  
Resultados ensayo a flexión segunda configuración

<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>					
<b>Datos Informativos</b>					
Fecha:	21-11-2017				
Ciudad:	Ambato				
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos MTE-50				
Realizado por:	Ing. Rommel Imbaquingo				
Revisado por:	MSc. Julio Leguísamo				
<b>Parámetros Del Ensayo</b>					
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:		ASTM -D7264	
Orientación:	90°-0°	Estratificación:		Manual	
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:		70%	
Refuerzo:	Fibra de Coco	Fracción Volumétrica:		30%	
Capas Fibra:	2	Número de Probetas:		5	
Dimensiones:	160mm*16mm*e	Velocidad de ensayo:		10 mm/min	
Temperatura:	18°C	Humedad:		61%	
<b>Resultados</b>					
Probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de Flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
1	69.42	118.40	17007.58	4.597	OLU
2	48.91	91.73	11105.51	5.702	OAT
3	80.47	140.07	18642.83	5.094	OAB
4	50.49	101.94	18576.03	3.913	OAB
5	50.49	92.08	17495.99	3.521	OAB
Promedio:	59.96	108.84	16565.59	4.57	-

Desv. Est:	14.24	20.54	3131.70	0.88	-
------------	-------	-------	---------	------	---

**Evaluación y Observaciones**

Esfuerzo Máximo Promedio:	108.84 MPa
Módulo de Elasticidad Promedio:	16565.59 MPa

**Descripción Tipo de Falla**

Primer Carácter		Segundo Carácter		Tercer Carácter	
O	Otros	A	En el punto de carga	B	Fondo
O	Otros	L	Entre la carga y el punto de apoyo	V	Varios
				T	Superior

En la figura 39 se aprecia los valores obtenidos del ensayo a flexión de las probetas que corresponden a la segunda configuración, se representa el esfuerzo máximo de cada probeta junto con el esfuerzo promedio.



Figura 39. Valores de esfuerzo máximo del ensayo a flexión segunda configuración

En la figura 40 se muestra la curva carga vs deformación de las probetas a flexión con la primera configuración, aquí se aprecia que no existe un punto de fluencia definido y la ausencia de la zona plástica.

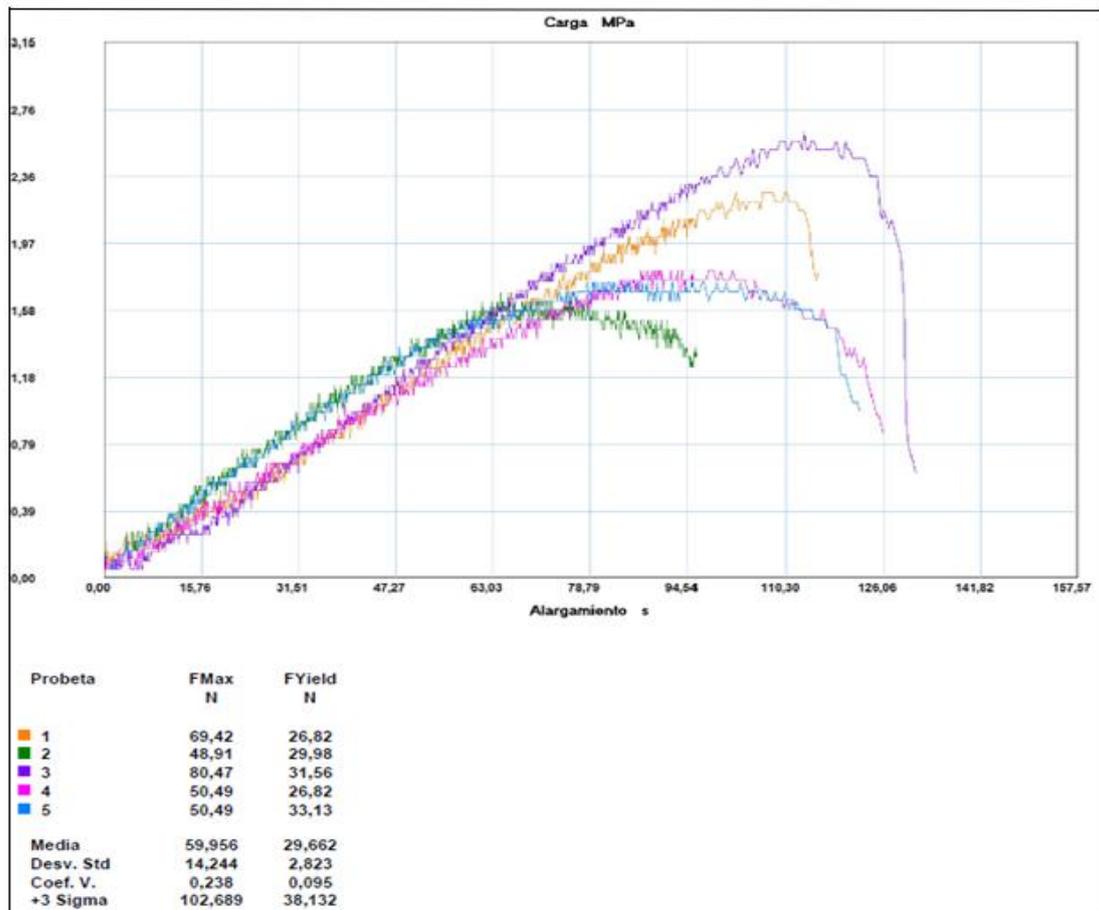


Figura 40. Curva Desplazamiento vs Carga ensayo a flexión segunda configuración

### Recolección de datos de los ensayos a impacto

Tabla 18

Resultados ensayo a impacto primera configuración

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	
Datos Informativos	
Fecha:	06-12-2017
Ciudad:	Ambato
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio de Metalografía Ingeniería Mecánica – FICM
Máquina:	Máquina de Impacto
Realizado por:	Ing. Rommel Imbaquingo
Revisado por:	MSc. Julio Leguísamo

**Parámetros Del Ensayo**

Tipo de Ensayo:	Impacto en materiales compuestos	Norma:	ASTM -5628
Configuración	Fibra Longitudinal	Estratificación:	Compresión
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	75%
Refuerzo:	Fibra de Coco	Fracción Volumétrica:	25%
Capas Fibra:	2	Número de Probetas:	5
Dimensiones:	58mm*58mm	Masa del dardo:	0.2283 kg
Diámetro del dardo:	20mm	Geometría del dardo	FE

**Resultados**

Probeta	Altura (mm)	Peso del dardo (kg)	Coefficiente	Resistencia al Impacto (J)	Capas de fibra de coco al 25%
1	660	0.2283	$9.80665 \times 10^{-3}$	1.47815118	2
2	630	0.2283	$9.80665 \times 10^{-3}$	1.41096249	2
5	600	0.2283	$9.80665 \times 10^{-3}$	1.3437738	2
6	500	0.2283	$9.80665 \times 10^{-3}$	1.1198115	2
7	300	0.2283	$9.80665 \times 10^{-3}$	0.6718869	2

**Descripción de la falla**

Probeta:	1	Peso del dardo (Kg):	0.2293	Peso Total (kg):	0.2293
Peso Adicional Kg.	0	Piezas Adicionales:	0	Tipo de Falla:	Falla tipo A: Grieta o griete en una sola cara, (la placa puede contener agua)
Probeta:	2	Peso del dardo (Kg):	0.2293	Peso Total (kg):	0.2293
Peso Adicional Kg.	0	Piezas Adicionales:	0	Tipo de Falla:	Falla tipo B: Grietas que penetran en todo el espesor, (el agua penetra a través de la placa)
Probeta:	5	Peso del dardo (Kg):	0.2293	Peso Total (kg):	0.2293
Peso Adicional Kg.	0	Piezas Adicionales:	0	Tipo de Falla:	Falla tipo B: Grietas que penetran en todo el espesor, (el agua penetra a través de la placa)
Probeta:	6	Peso del dardo (Kg):	0.2293	Peso Total (kg):	0.2293

Peso Adicional Kg.	0	Piezas Adicionales:	0	Tipo de Falla:	Falla tipo A: Grieta o griete en una sola cara, (la placa puede contener agua)
Probeta:	7	Peso del dardo (Kg):	0.2293	Peso Total (kg):	0.2293
Peso Adicional Kg.	0	Piezas Adicionales:	0	Tipo de Falla:	Ninguna

**Evaluación y Observaciones**

Energía promedio absorbida:	1.204917174 J
Resistencia máxima al impacto:	0.6718869 J

En la figura siguiente se indica las probetas con la primera configuración después del ensayo a impacto

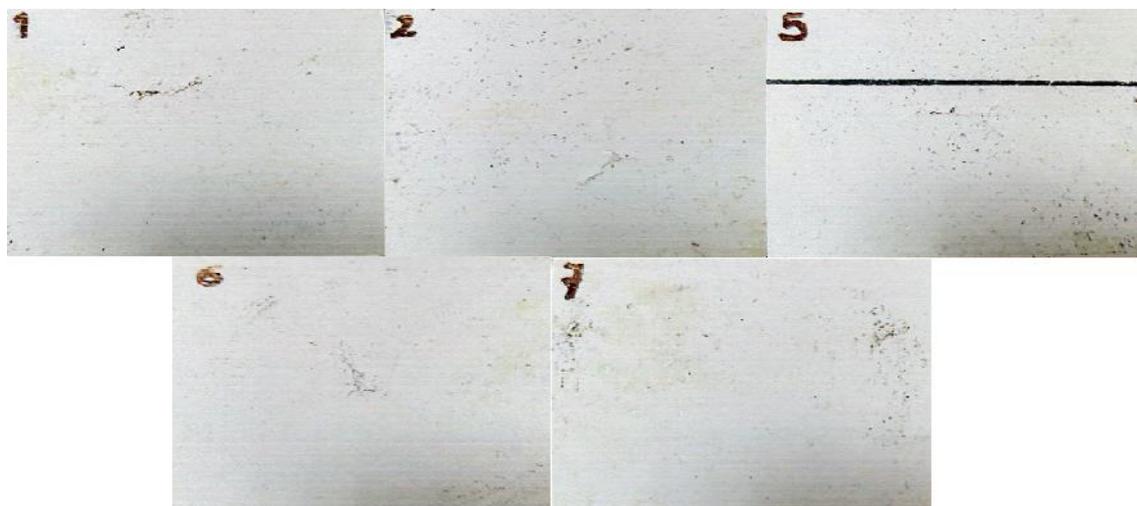


Figura 41. Probetas después del ensayo a impacto primera configuración

Tabla 19  
Resultados ensayo a impacto segunda configuración

<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>	
<b>Datos Informativos</b>	
Fecha:	06-12-2017
Ciudad:	Ambato
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio de Metalografía Ingeniería Mecánica – FICM
Máquina:	Máquina de Impacto

Realizado por: Ing. Rommel Imbaquingo

Revisado por: MSc. Julio Leguísamo

**Parámetros Del Ensayo**

Tipo de Ensayo:	Impacto en materiales compuestos	Norma:	ASTM -5628
Configuración:	Fibra Longitudinal	Estratificación:	Compresión
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	75%
Refuerzo:	Fibra de Coco	Fracción Volumétrica:	25%
Capas Fibra:	3	Número de Probetas:	5
Dimensiones:	58mm*58mm	Masa del dardo:	0.2283 kg
Diámetro del dardo:	20mm	Geometría del dardo	FE

**Resultados**

Probeta	Altura (mm)	Peso del dardo (kg)	Coefficiente	Resistencia al Impacto (J)	Capas de fibra de coco al 25%
3	660	0.2283	$9.80665 \times 10^{-3}$	1.47815118	3
4	630	0.2283	$9.80665 \times 10^{-3}$	1.41096249	3
8	600	0.2283	$9.80665 \times 10^{-3}$	1.3437738	3
9	500	0.2283	$9.80665 \times 10^{-3}$	1.1198115	3
10	300	0.2283	$9.80665 \times 10^{-3}$	0.6718869	3

**Descripción de la falla**

Probeta:	3	Peso del dardo (Kg):	0.2293	Peso Total (kg):	0.2293
Peso Adicional Kg.	0	Piezas Adicionales:	0	Tipo de Falla:	Falla tipo A: Grieta o griete en una sola cara, (la placa puede contener agua)
Probeta:	4	Peso del dardo (Kg):	0.2293	Peso Total (kg):	0.2293
Peso Adicional Kg.	0	Piezas Adicionales:	0	Tipo de Falla:	Falla tipo B: Grietas que penetran en todo el espesor, (el agua penetra a través de la placa)
Probeta:	8	Peso del dardo (Kg):	0.2293	Peso Total (kg):	0.2293

Peso Adicional Kg.	0	Piezas Adicionales:	0	Tipo de Falla:	Falla tipo A: Grieta o griete en una sola cara, (la placa puede contener agua)
Probeta:	9	Peso del dardo (Kg):	0.2293	Peso Total (kg):	0.2293
Peso Adicional Kg.	0	Piezas Adicionales:	0	Tipo de Falla:	Falla tipo B: Grietas que penetran en todo el espesor, (el agua penetra a través de la placa)
Probeta:	10	Peso del dardo (Kg):	0.2293	Peso Total (kg):	0.2293
Peso Adicional Kg.	0	Piezas Adicionales:	0	Tipo de Falla:	Ninguna

**Evaluación y Observaciones**

Energía promedio absorbida: 1.204917174 J

Resistencia máxima al impacto: 0.6718869 J

En la figura siguiente se indica las probetas con la segunda configuración después del ensayo a impacto

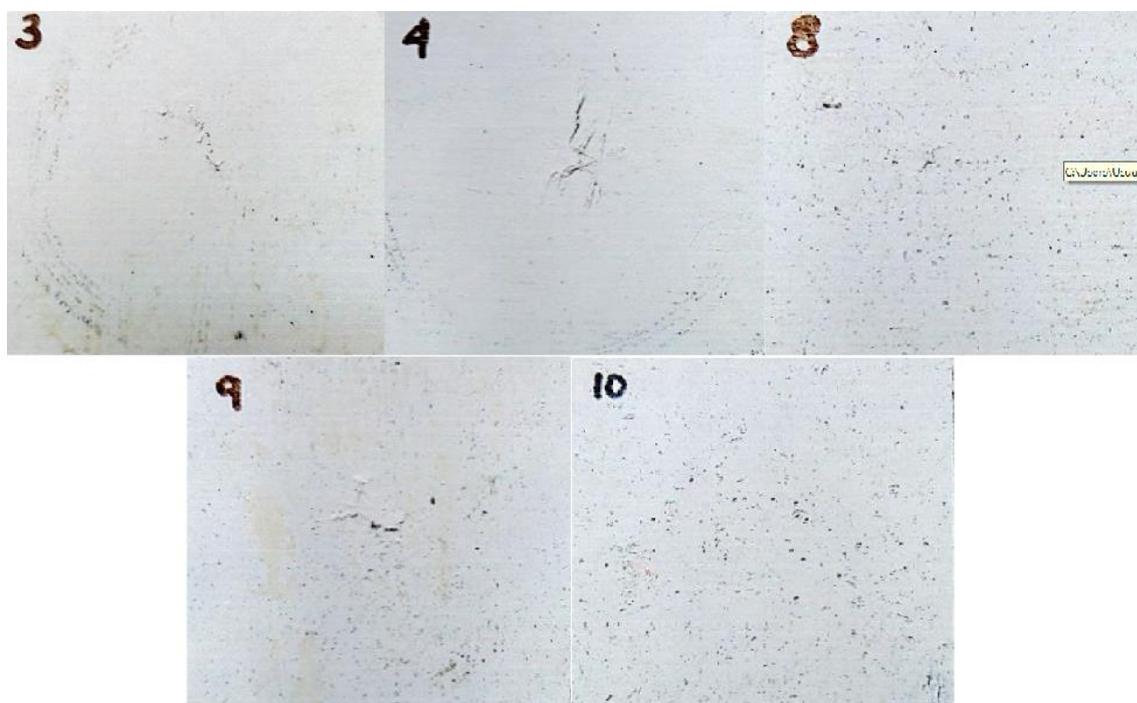


Figura 42. Probetas después del ensayo a impacto segunda configuración

**Propiedades Mecánicas del Material Homogéneo.**

Las propiedades mecánicas del material homogéneo del Guardafango se determinaron mediante la realización de ensayo a tracción en la Máquina Universal de Ensayos Metro Test 50KN del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del Gobierno de Tungurahua.

Tabla 20  
*Resultados ensayo a tracción material homogéneo*

<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>					
<b>Datos Informativos</b>					
Fecha:	03-10-2017				
Ciudad:	Ambato				
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos MTE-50				
Realizado por:	Ing. Rommel Imbaquingo				
Revisado por:	MSc. Julio Leguísamo				
<b>Parámetros Del Ensayo</b>					
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:		ASTM -E8	
Material	Acero estructural				
Temperatura:	25.6°C	Número de Probetas:		5	
Humedad:	44.7%	Velocidad de ensayo:		10 mm/min	
<b>Resultados</b>					
Probeta	Fuerza Máxima (N)	Fuerza de Fluencia (N)	Resistencia de Rotura (MPa)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación (%)
1	2513.45	2556.05	243.91	271.62	33.30
2	2426.67	2355.66	257.17	287.94	35.38
3	2459.80	2414.04	266.82	289.75	34.49

4	2172.64	2292.55	216.55	250.67	32.88
5	2384.07	2469.27	251.72	282.38	34.28
Promedio:	2391.326	2417.51	247.23	276.47	34.06
Desv. Est:	131.080	101.643	16.073	13.429	-

**Evaluación y Observaciones**

Resistencia de rotura Promedio: 247.23 MPa

Límite de fluencia Promedio: 249.75 MPa

En la figura 43 se muestra los resultados de las cinco probetas del ensayo a tracción del material homogéneo, considerando las propiedades de la resistencia de rotura y límite de fluencia.

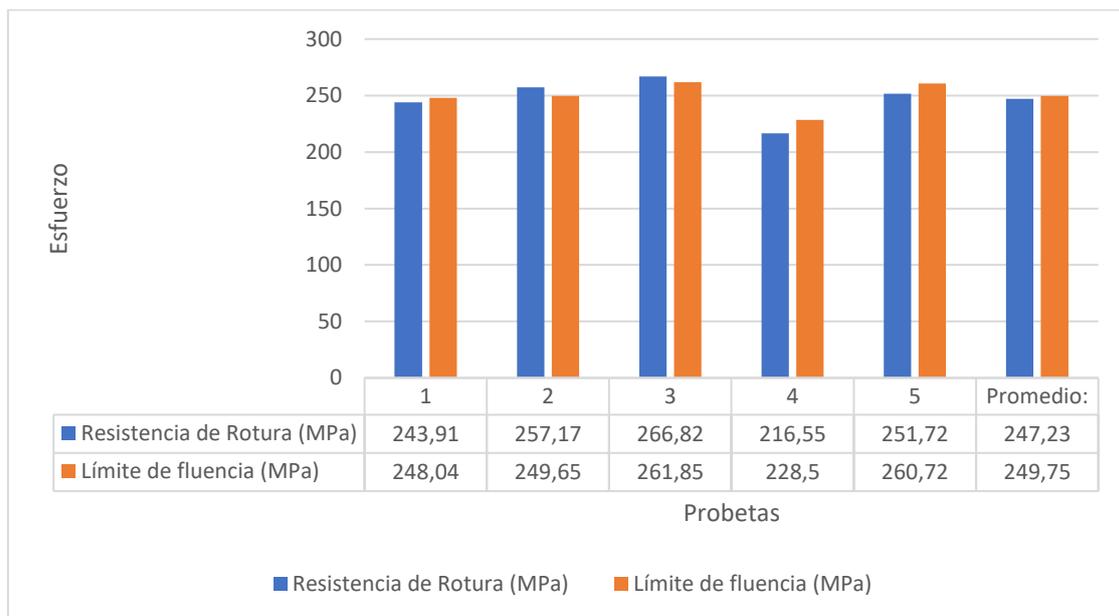


Figura 43. Resistencia a la rotura y límite de fluencia material homogéneo

En la figura 44 se aprecia la curva carga vs deformación en la cual al ser un material metálico y homogéneo ya se aprecia un punto de fluencia definido y la zona plástica del material antes de la fractura.

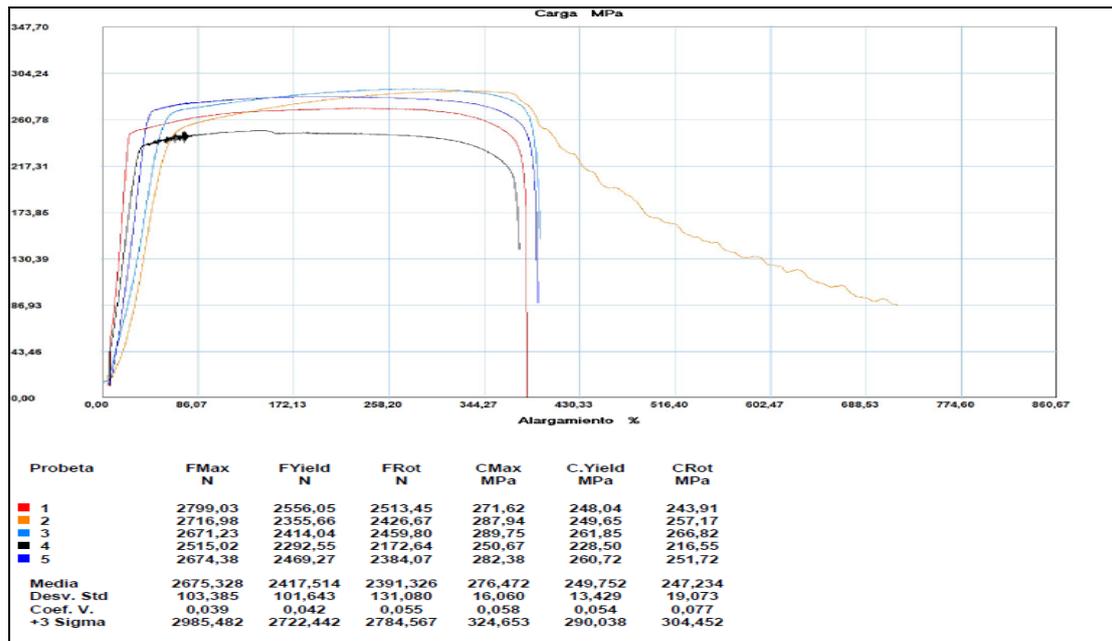


Figura 44. Curva carga vs deformación ensayo a tracción material homogéneo

### Resultados ensayo computacional a impacto

Se procede a realizar la simulación durando aproximadamente 4 horas de solución en un ordenador industrial.

A continuación, se tiene los siguientes resultados en cuanto a Esfuerzo Principal generado y Deformación por impacto en el material Compuesto:

### Deformación generada en el Material Compuesto después del Impacto

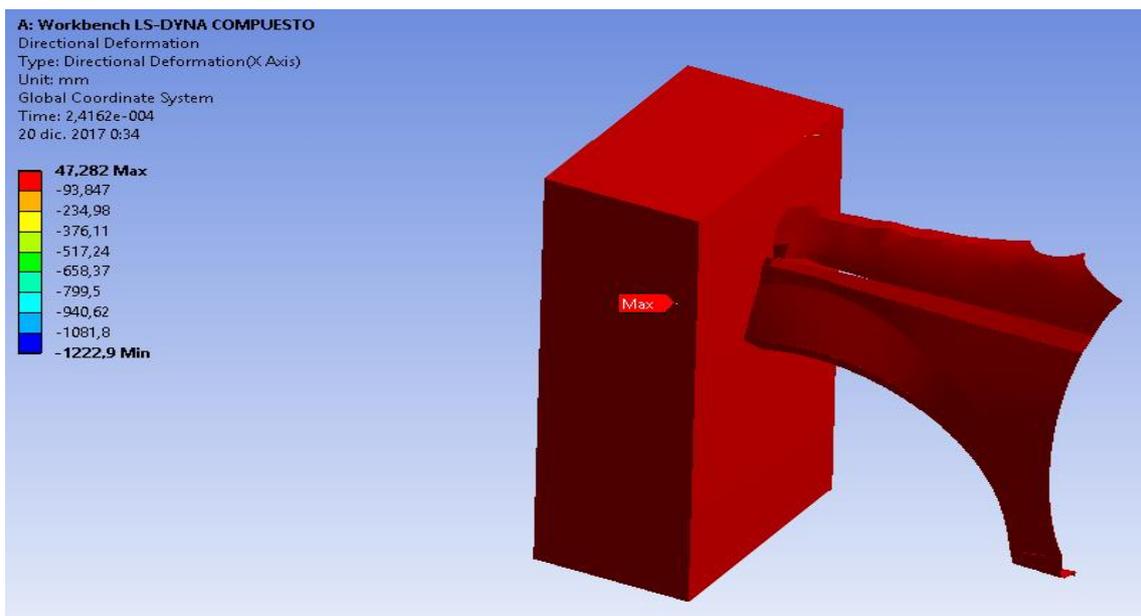


Figura 45. Deformación generada en el Material Compuesto

Se evidencia que existe una deformación teórica de 1222 mm.

La mejor evidencia se observa en el post procesamiento que se genera en LS DYNA lo que se mostrará en lo posterior.

### Esfuerzo generado en el Material Compuesto después del Impacto

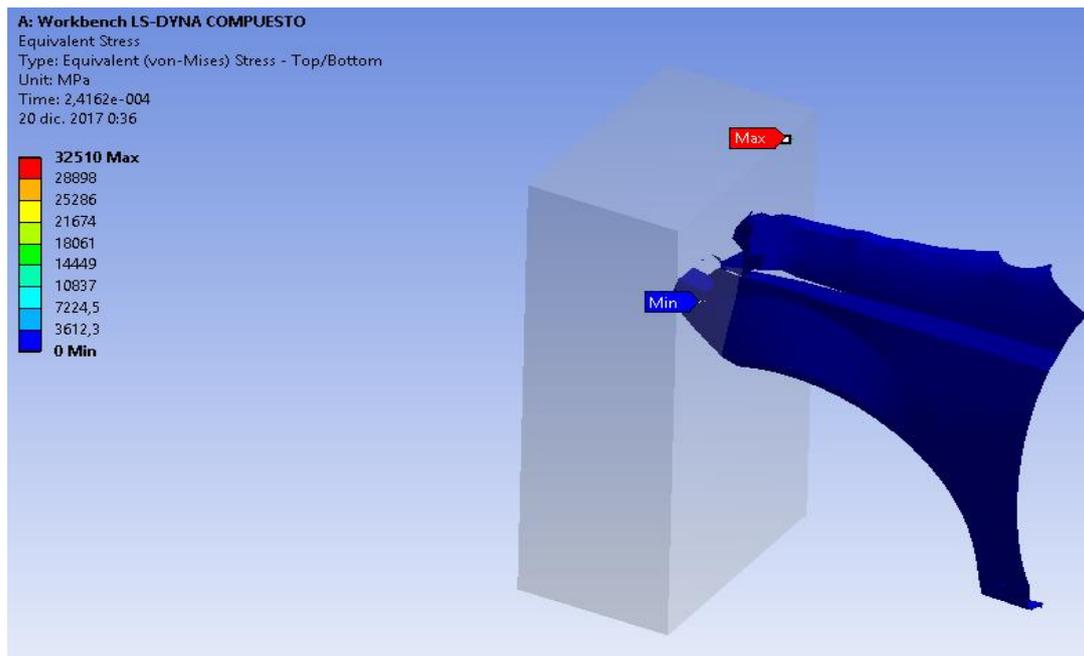


Figura 46. Esfuerzo generado en el Material Compuesto

Los valores resultan tan elevados por que el programa no discrimina el momento de la rotura del material a carga de impacto, sino que la simulación continua mientras el tiempo configurado lo permita, sin embargo, mediante las propiedades de los materiales como la resistencia última se puede tener la idea certera del momento del colapso del material compuesto para este caso.

En cuanto al material original los resultados en el Workbench de LS DYNA son los siguientes:

### Deformación generada en el Material Homogéneo después del Impacto

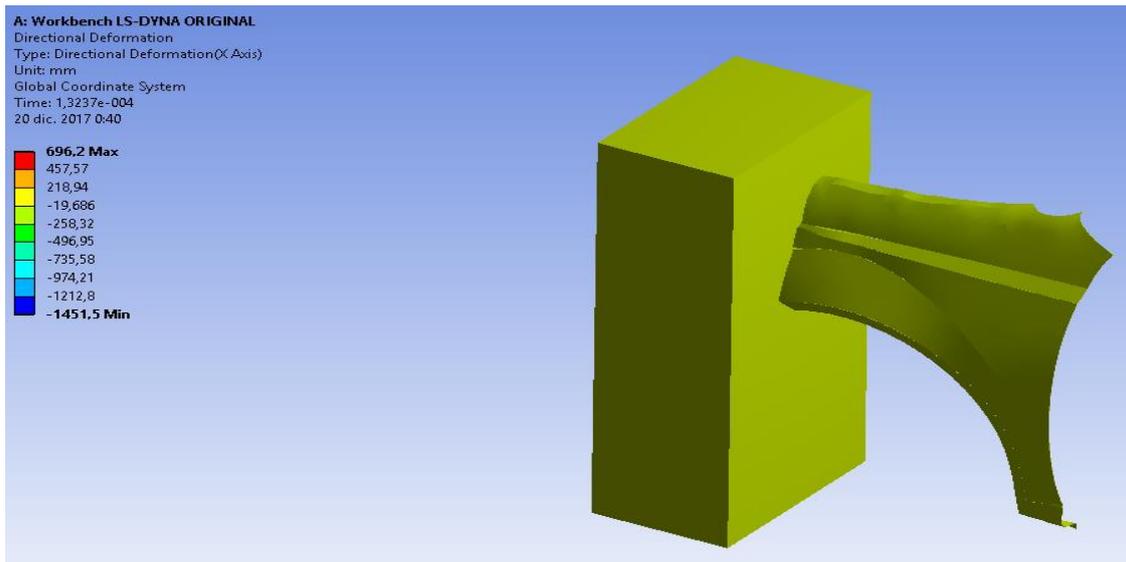


Figura 47. Deformación generada en el Material Homogéneo

Se evidencia que existe una deformación teórica de 1451.5 mm, de lo cual se desprende el criterio de que el material homogéneo posee un campo de deformación más amplio que el material compuesto por la sencilla razón de que el primero es dúctil y el segundo es frágil, esto se corrobora mediante el análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de tracción.

### Esfuerzo generado en el Material Homogéneo después del Impacto

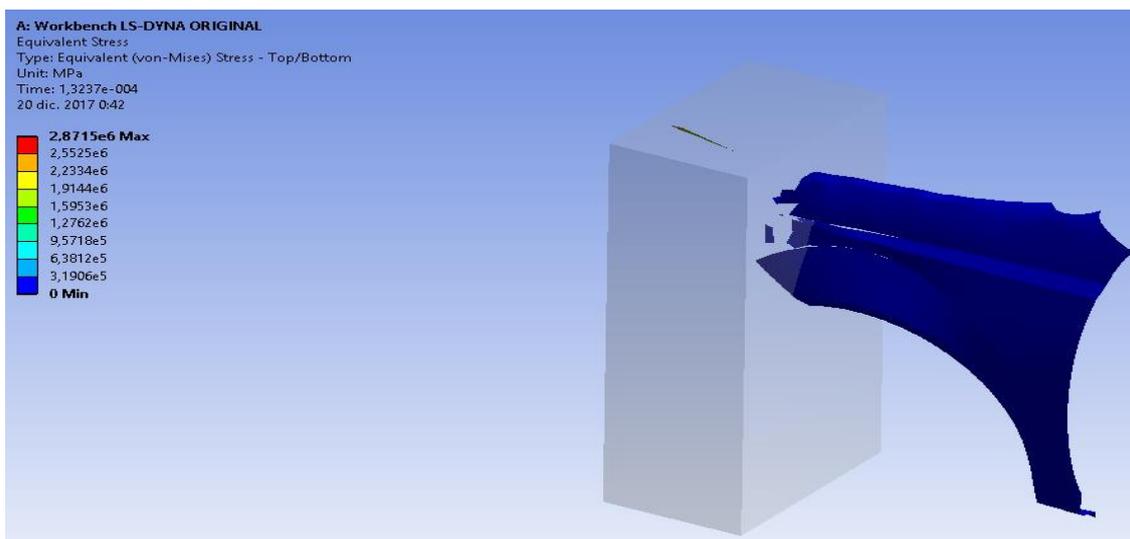


Figura 48. Esfuerzo generado en el Material Homogéneo

Por ende y por características de resistencia del material original este muestra ser mayor que el material compuesto.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

En cuanto a la caracterización del material compuesto y sus distintas configuraciones que en este estudio se lleva a cabo, se procede a interpretar los resultados de los ensayos tanto a Tracción, Flexión e Impacto y así determinar la configuración óptima en cuanto a las mejores propiedades mecánicas que estos brinden, originando una posible alternativa a la hora de construir el guardafango por las casas fabricantes de estos.

Para la interpretación de los datos se ha utilizado un método estadístico basado en el diagrama de caja y bigote el cual es un gráfico que presenta cuartiles y mediante él se visualiza la distribución de un conjunto de datos. Está compuesto por un rectángulo (la caja) y dos brazos (bigotes), proporcionando información como dispersión y simetría de los datos, además se obtiene la mediana de una muestra de datos que para este caso correspondería a la media aritmética de los resultados obtenidos en los ensayos experimentales y con lo cual se realizará la comparación de las propiedades mecánicas obtenidas por cada configuración de probetas.

### Ensayo a Tracción

De las dos configuraciones llevadas a cabo en este estudio cuyos detalles constan en la tabla 5, se procede a realizar la comparación de los resultados de la resistencia a la tracción:

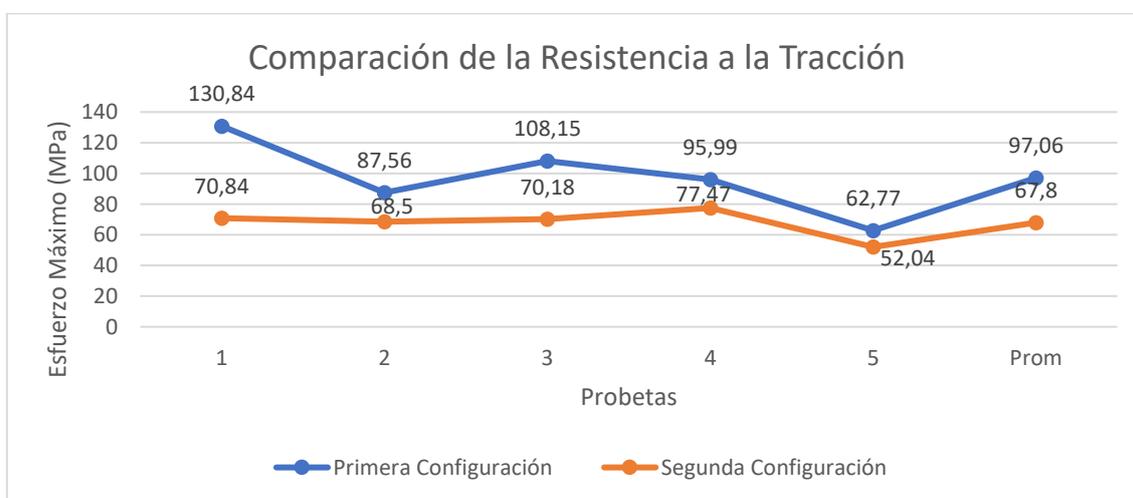


Figura 49. Resultados promedio de la Resistencia a la Tracción de las dos configuraciones.

De la misma manera se procede a realizar la comparación de los resultados en cuanto al módulo de elasticidad:

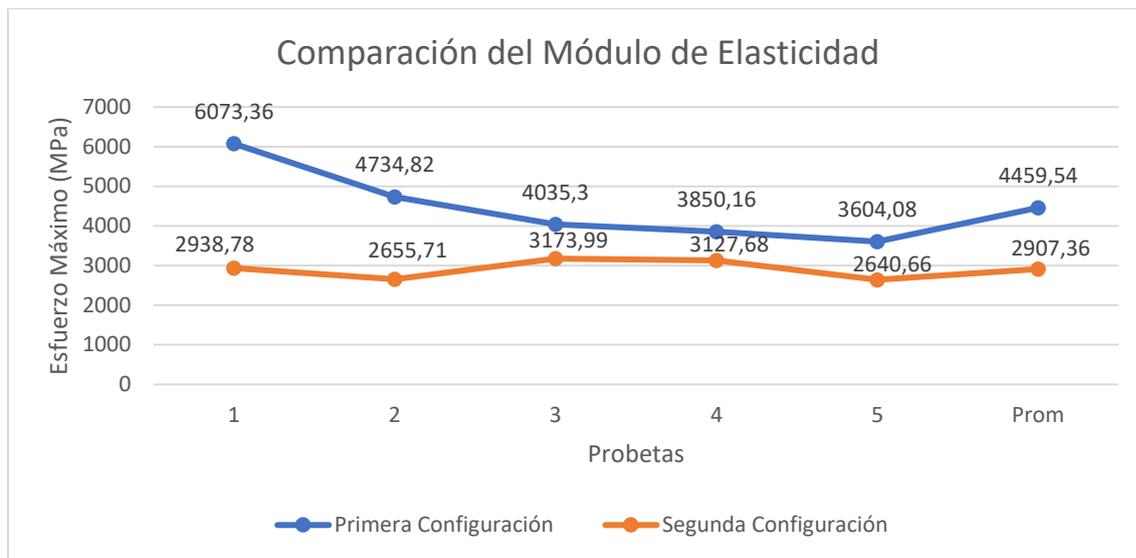


Figura 50. Resultados promedio del Módulo de Elasticidad de las dos configuraciones

Del análisis en los resultados del material compuesto por resina epoxi y fibra de coco, se observa en las figuras 34 y 36 que en las curvas Carga vs Deformación no existe un punto de fluencia definido y la ausencia de la zona plástica antes de la fractura.

Al realizar la prueba de tracción se determina las propiedades mecánicas como el esfuerzo máximo a la tracción y el módulo de elasticidad máximo representados los valores en la tabla 14 y 15 tanto para la primera y la segunda configuración respectivamente, que mediante análisis estadístico se establece una comparación de la media de los resultados obtenidos, determinando que la primera configuración posee mejores propiedades mecánicas en la comparación con la segunda configuración.

### Ensayo a Flexión

De las dos configuraciones llevadas a cabo en este estudio cuyos detalles constan en la tabla 6, se procede a realizar la comparación de los resultados de la resistencia a la flexión:

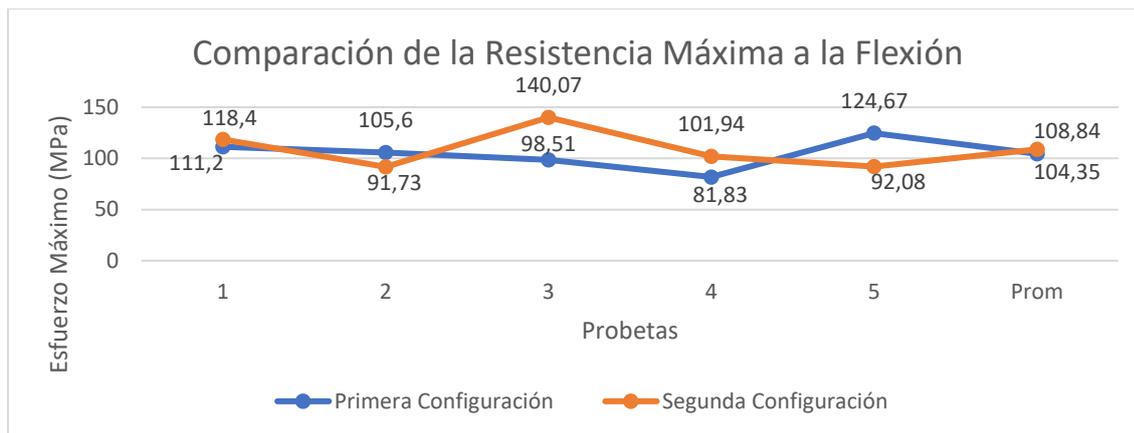


Figura 51. Resultados promedio de la Resistencia a la Flexión de las dos configuraciones.

De la misma manera se procede a realizar la comparación de los resultados en cuanto al módulo de elasticidad:

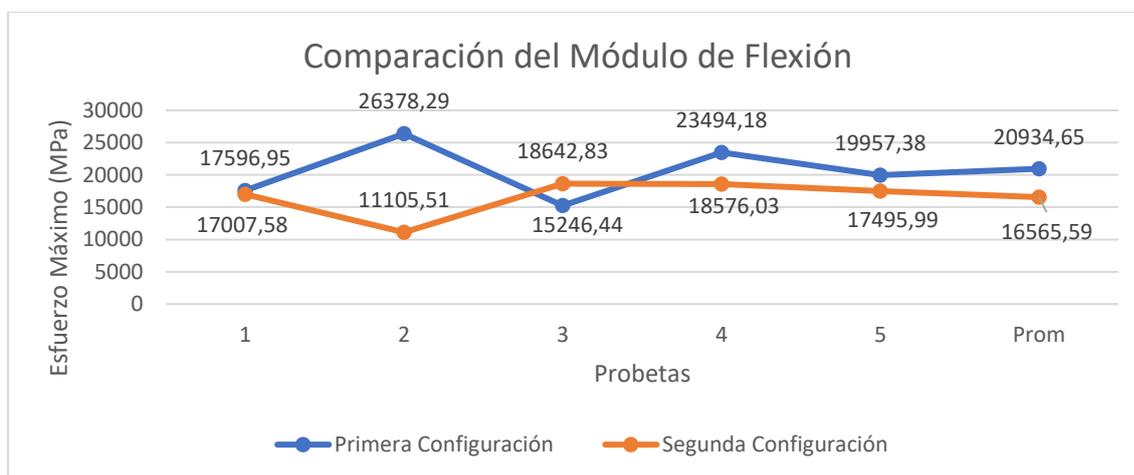


Figura 52. Resultados promedio del Módulo de Flexión de las dos configuraciones

Del análisis en los resultados del material compuesto constituido por resina epoxi y fibra de coco, se observa en las figuras 38 y 40 que en las curvas Carga vs Deformación no presentan un punto de fluencia definido y la ausencia de la zona plástica antes de la fractura.

Al realizar la prueba de flexión se determina las propiedades mecánicas como el esfuerzo máximo a la flexión y el módulo de flexión máximo y, mediante análisis estadístico se establece una comparación de la media de los datos obtenidos del esfuerzo máximo a flexión de las dos configuraciones de las probetas, a continuación, se muestra en las tablas 20 y 21 y figura 41 dichos valores:

Tabla 21

*Datos estadísticos de la resistencia a la flexión de la configuración 1*

<b>Resistencia Máxima a la Flexión Promedio Config. 1</b>		<b>Estadístico</b>
Media		104,3600
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	89,4991
	Límite superior	119,2209
Media recortada al 5%		104,4833
Mediana		104,9750
Varianza		200,529
<i>Desv. Típ.</i>		14,16081
Mínimo		81,83
Máximo		124,67
Rango		42,84
Amplitud intercuartil		20,23
Asimetría		-,310
<i>Curtosis</i>		1,256

Tabla 22

*Datos estadísticos de la resistencia a la flexión de la configuración 2*

<b>Resistencia Máxima a la Flexión Promedio Config. 2</b>		<b>Estadístico</b>
Media		108,8433
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	89,5613
	Límite superior	128,1254
Media recortada al 5%		108,0593
Mediana		105,3900
Varianza		337,593
<i>Desv. Típ.</i>		18,37371
Mínimo		91,73

Máximo	140,07
Rango	48,34
Amplitud intercuartil	31,82
Asimetría	1,029
<i>Curtosis</i>	,667

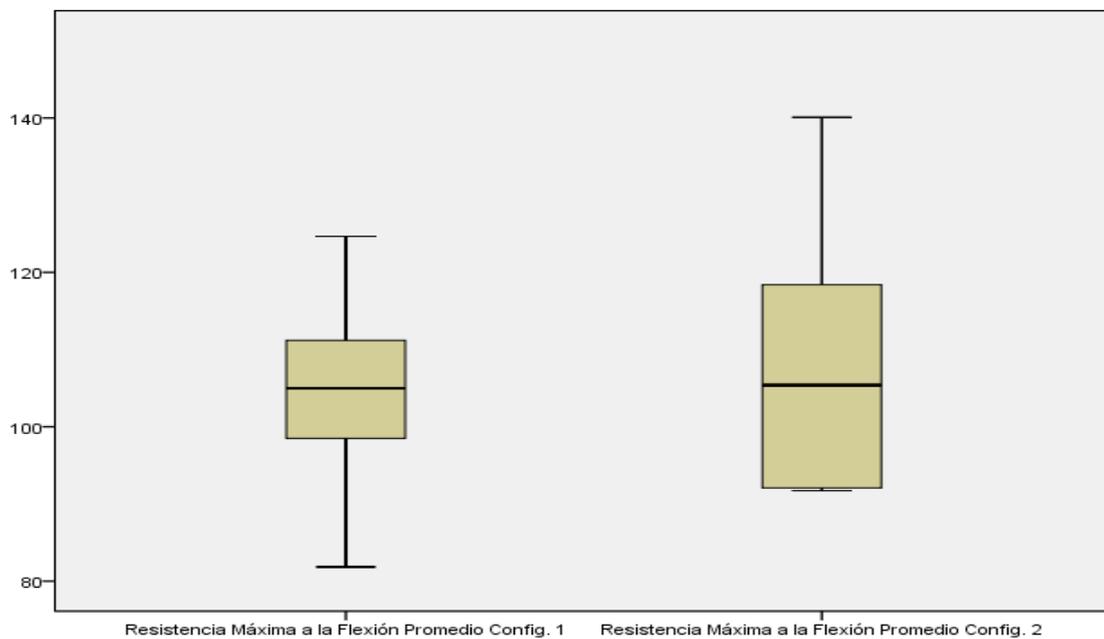


Figura 53. Diagrama Caja y Bigote de la comparación de las medias del esfuerzo máximo a flexión

Al comparar el esfuerzo máximo a flexión de las dos configuraciones se puede observar que existe una variación importante entre el límite superior e inferior de los datos obtenidos de las dos configuraciones, además se observa que la media de la segunda configuración es levemente superior a la primera configuración determinando una propiedad mecánica del esfuerzo máximo a la flexión similar.

En la figura 54 comparamos la media de los datos obtenidos del módulo de elasticidad de flexión de las dos configuraciones previo a los datos estadísticos de la tabla 23 y 24 de la configuración 1 y 2 para ensayos a flexión respectivamente.

Tabla 23

*Datos estadísticos del Módulo de flexión de la configuración 1*

<b>Módulo de Flexión Promedio Config. 1</b>		<b>Estadístico</b>
Media		20601,3150
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	16404,3919
	Límite superior	24798,2381
Media recortada al 5%		20577,8650
Mediana		20446,0150
Varianza		15993753,577
<i>Desv. Típ.</i>		3999,21912
Mínimo		15246,44
Máximo		26378,29
Rango		11131,85
Amplitud intercuartil		7205,88
Asimetría		,169
<i>Curtosis</i>		-,537

Tabla 24

*Datos estadísticos del Módulo de flexión de la configuración 2*

<b>Módulo de Flexión Promedio Config. 2</b>		<b>Estadístico</b>
Media		16565,5883
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	13626,0343
	Límite superior	19505,1423
Media recortada al 5%		16753,5237
Mediana		17251,7850
Varianza		7846053,588
<i>Desv. Típ.</i>		2801,08079
Mínimo		11105,51

---

Máximo	18642,83
Rango	7537,32
Amplitud intercuartil	3392,16
Asimetría	-1,977
<i>Curtosis</i>	4,263

---

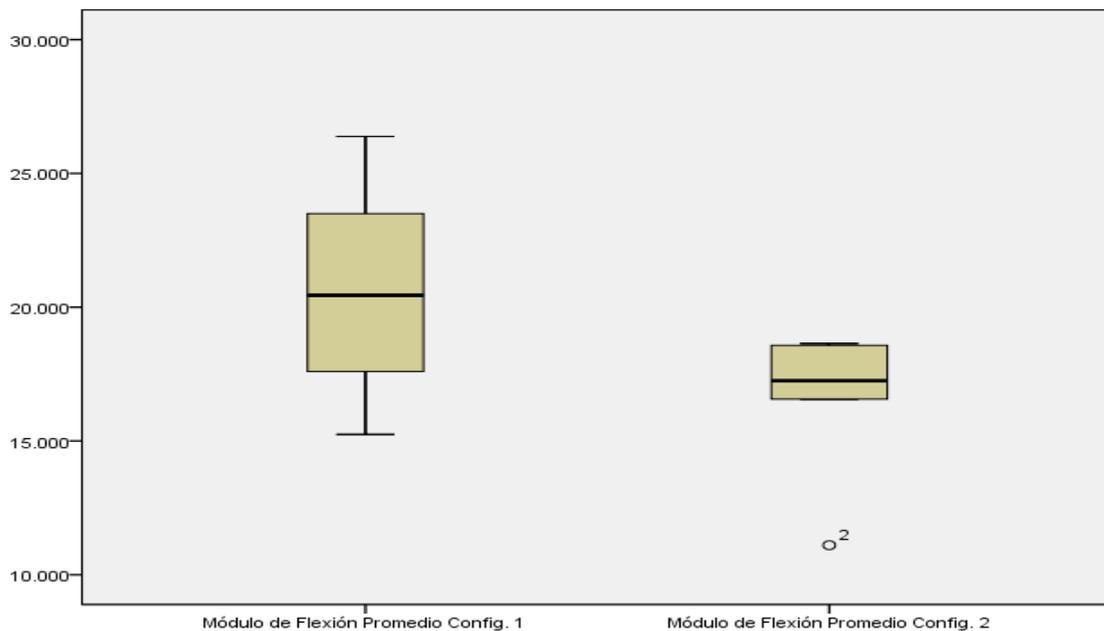


Figura 54. Diagrama Caja y Bigote de la comparación de las medias del módulo de flexión de las dos configuraciones

En la figura 54 se observa una menor variación entre los valores inicial y final en cuanto a los datos de la primera configuración, además se establece que la media de la primera configuración es mayor que la de la segunda configuración.

Al analizar los datos obtenidos en el ensayo a flexión se observa que las dos configuraciones tienen propiedades mecánicas similares con una mínima superioridad de la primera configuración.

### Ensayo a Impacto

De las dos configuraciones llevadas a cabo en este estudio cuyos detalles constan en la tabla 7, se procede a realizar la comparación de los resultados de la resistencia al impacto.

Se evidencia que las probetas poseen fracturas correspondientes a un material frágil. Mediante un análisis estadístico comparamos la media de los datos obtenidos de la resistencia máxima al impacto de las dos configuraciones y se representa en la figura 55:

Tabla 25  
*Datos estadísticos de la resistencia al Impacto de la configuración 1*

<b>Resistencia al Impacto Promedio Config. 1</b>		<b>Estadístico</b>
Media		1,2017
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	,8935
	Límite superior	1,5098
Media recortada al 5%		1,2157
Mediana		1,2700
Varianza		,086
<i>Desv. Típ.</i>		,29363
Mínimo		,67
Máximo		1,48
Rango		,81
Amplitud intercuartil		,43
Asimetría		-1,396
<i>Curtosis</i>		2,058

Tabla 26  
*Datos estadísticos de la resistencia al Impacto de la configuración 2*

<b>Resistencia al Impacto Promedio Config. 2</b>		<b>Estadístico</b>
Media		1,2017
	Límite inferior	,8935
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite superior	1,5098
Media recortada al 5%		1,2157
Mediana		1,2700
Varianza		,086
<i>Desv. Típ.</i>		,29363
Mínimo		,67
Máximo		1,48
Rango		,81
Amplitud intercuartil		,43
Asimetría		-1,396
<i>Curtosis</i>		2,058

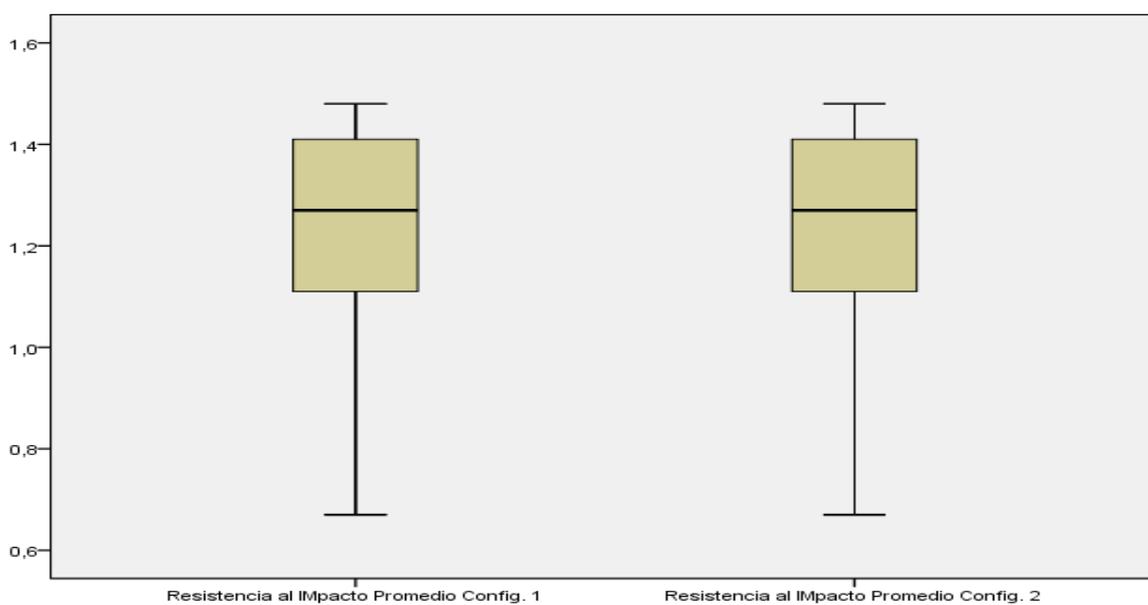


Figura 55. Diagrama Caja y Bigote de la comparación de las medias de la resistencia al impacto.

Al comparar la resistencia al impacto de las dos configuraciones se puede observar que no poseen variación de sus datos.

En este tipo de ensayos, las probetas presentan igual capacidad de absorción de energía independientemente del número de capas de fibra que se encuentre, podemos observar los mismos valores característicos del ensayo a impacto en las dos configuraciones de las probetas, lo que se podría decir que la capacidad de absorción de energía del material no depende del número de capas que se añadan.

### **Planteamiento y Verificación de la Hipótesis**

En esta sección se procede al planteamiento de la Hipótesis de Investigación cuya verificación se realiza mediante el método estadístico “T Student” el cual permite hacer un análisis con una distribución entre dos medias. Para efecto de desarrollo se establece la siguiente Hipótesis:

**Hipótesis:** Se obtendrá mejores resultados de resistencia en el ensayo a tracción del material compuesto a base de resina Epoxi y fibra de coco utilizando la primera configuración planteada, es decir, tres capas de fibra orientadas a  $90^{\circ}$ - $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$  con fracción volumétrica de 60% de matriz y 40% de fibra, que la segunda configuración con dos capas de fibra orientada a  $90^{\circ}$  -  $0^{\circ}$  con fracción volumétrica de 75% de matriz y 25% de fibra.

Se establece dos variables tanto la dependiente como la independiente:

Variable Dependiente: Mejores resultados de los ensayos a tracción del material compuesto de resina epoxi y fibra de coco.

Variable Independiente: Configuraciones llevadas a cabo en este estudio.

#### Simbología:

*Ho = Hipótesis Nula*

*Ha = Hipótesis alternativa o de investigación*

*$\alpha$  = Margen de error*

$X$  = Media de los datos obtenidos del ensayo en la primera configuración.

$Y$  = Media de los datos obtenidos del ensayo en la segunda configuración.

$n_1$  = Datos de la población de la configuración 1

$n_2$  = Datos de la población de la configuración 2

#### Modelo Matemático:

Nivel de confianza = 95%

Nivel de significancia =  $\frac{\alpha}{2} = 0.025$

Desviación Estandar  $S_1 = 25.16$  (obtenido de la tabla 9)

Desviación Estandar  $S_2 = 9.45$  (obtenido de la tabla 10)

Grados de libertad

$n = n_1 + n_2 - 2$

$n = 5 + 5 - 2$

$n = 8$

Selección del  $t$  Student

$t = 0.975$  (sugerido para trabajos de nivel experimental)

#### Modelo Lógico:

##### Hipótesis Nula $H_0$ :

$H_0$ : No se obtendrá mejores resultados de resistencia en el ensayo a tracción del material compuesto a base de resina Epoxi y fibra de coco utilizando la primera configuración planteada, es decir, tres capas de fibra orientadas a  $90^\circ-0^\circ-90^\circ$  con fracción volumétrica de 60% de matriz y 40% de fibra, que la segunda configuración con dos capas de fibra orientada a  $90^\circ - 0^\circ$  con fracción volumétrica de 75% de matriz y 25% de fibra.

##### Hipótesis Alternativa $H_a$ :

*Ha*: Se obtendrá mejores resultados de resistencia en el ensayo a tracción del material compuesto a base de resina Epoxi y fibra de coco utilizando la primera configuración planteada, es decir, tres capas de fibra orientadas a 90°-0°-90° con fracción volumétrica de 60% de matriz y 40% de fibra que la segunda configuración con dos capas de fibra orientada a 90° - 0° con fracción volumétrica de 75% de matriz y 25% de fibra.

Resolución:

Distribución T tabulado:

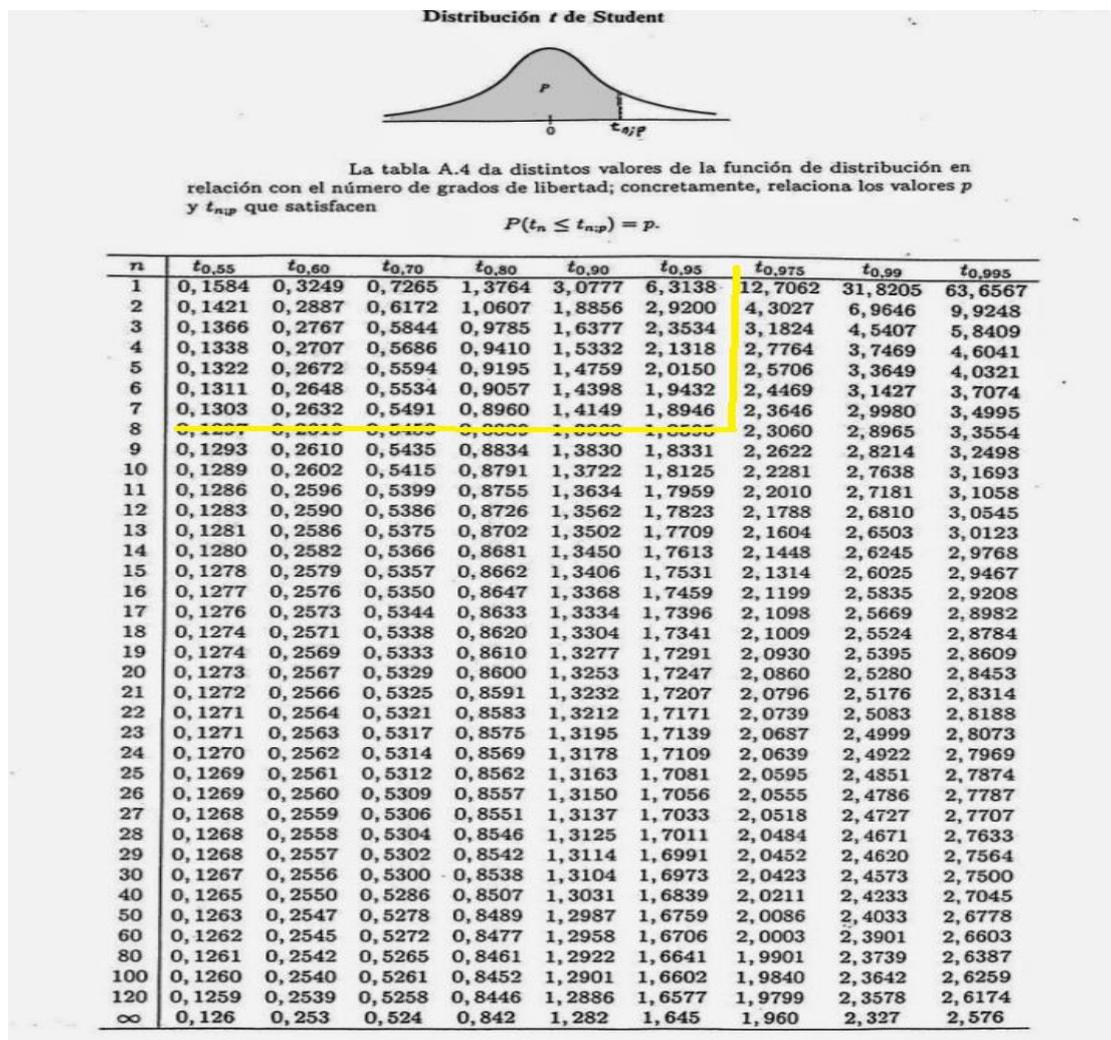


Figura 56. Distribución T (8)

$T$  tabulado = 2.3060

Distribución T calculado:

$$T = \frac{X - Y}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$T = \frac{97.06 - 67.8}{\sqrt{\frac{(5 - 1)25.16^2 + (5 - 1)9.45^2}{5 + 5 - 2}} \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}}$$

$$T \text{ calculado} = 2.4349$$

$$\therefore T \text{ calculado} > T \text{ tabulado}$$

Por ser el  $T \text{ calculado}$  mayor que el  $T \text{ tabulado}$  se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que dice:

Se obtendrá mejores resultados de resistencia en el ensayo a tracción del material compuesto a base de resina Epoxi y fibra de coco utilizando la primera configuración planteada, es decir, tres capas de fibra orientadas a  $90^\circ-0^\circ-90^\circ$  con fracción volumétrica de 60% de matriz y 40% de fibra, que la segunda configuración con dos capas de fibra orientada a  $90^\circ - 0^\circ$  con fracción volumétrica de 75% de matriz y 25% de fibra.

### **Análisis del Post procesamiento de datos en el programa LS DYNA PREPOST**

A continuación, se efectúa el post procesamiento de datos en el programa LS DYNA PrePost, que resulta ser idóneo para desglosar de mejor manera los resultados, realmente este paquete resulta ser un visor de parámetros mucho más especializado que el propio WorkBench de ANSYS.

### **Selección de especímenes en la zona de mayor concentración.**

Una vez que se ha logrado correr el archivo dp3.plot que está contenido en los archivos de la simulación de impacto del material compuesto se procede a seleccionar elementos finitos

especímenes de la zona de mayor concentración de esfuerzo por impacto para determinar el comportamiento de material ante tal requerimiento de carga a impacto. A continuación, se muestra la selección de elementos tanto para el material compuesto como para el original.

### Especímenes en el Guardafangos de Material Compuesto

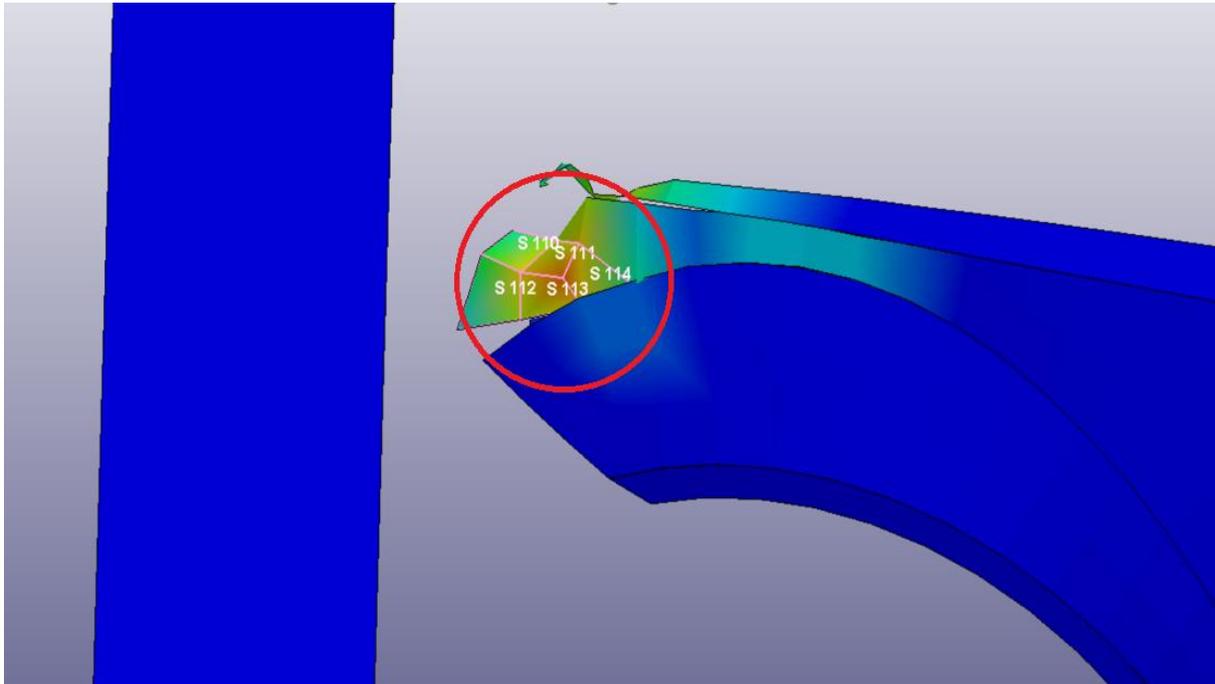


Figura 57. Especímenes del Material Compuesto

### Especímenes en el Guardafangos de Material Homogéneo

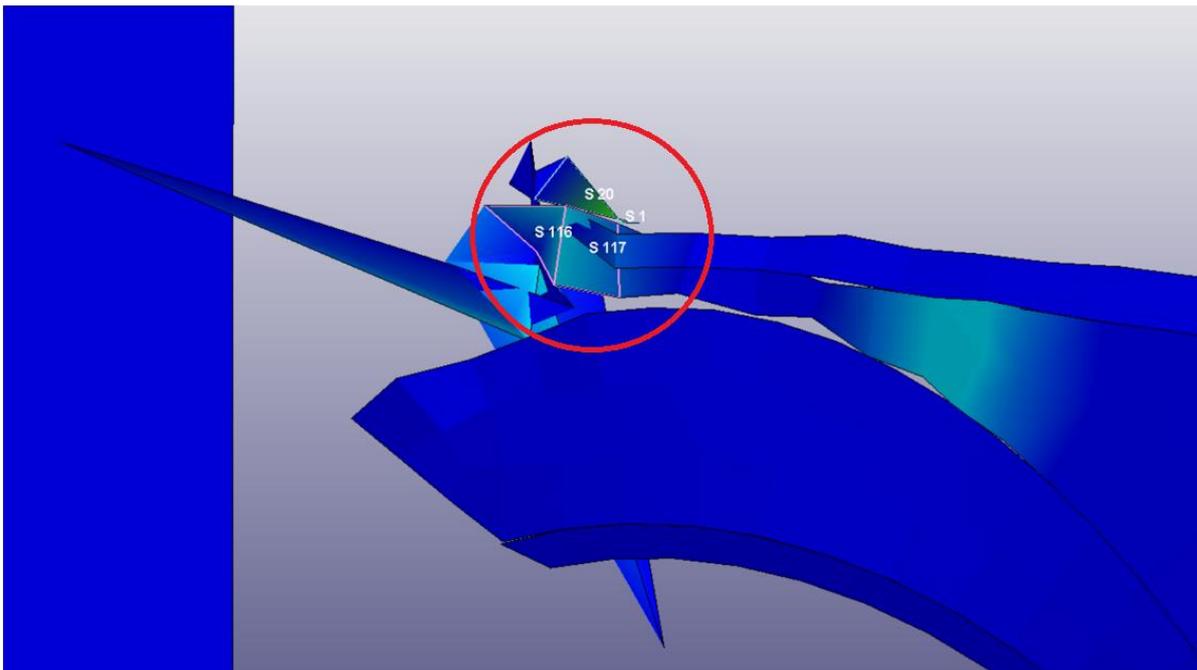


Figura 58. Especímenes del Material Homogéneo

Una vez seleccionados los nodos se determina las curvas de esfuerzo de Von Mises tanto para el material compuesto, así como para el material Homogéneo del guardafangos y en este orden se presenta a continuación:

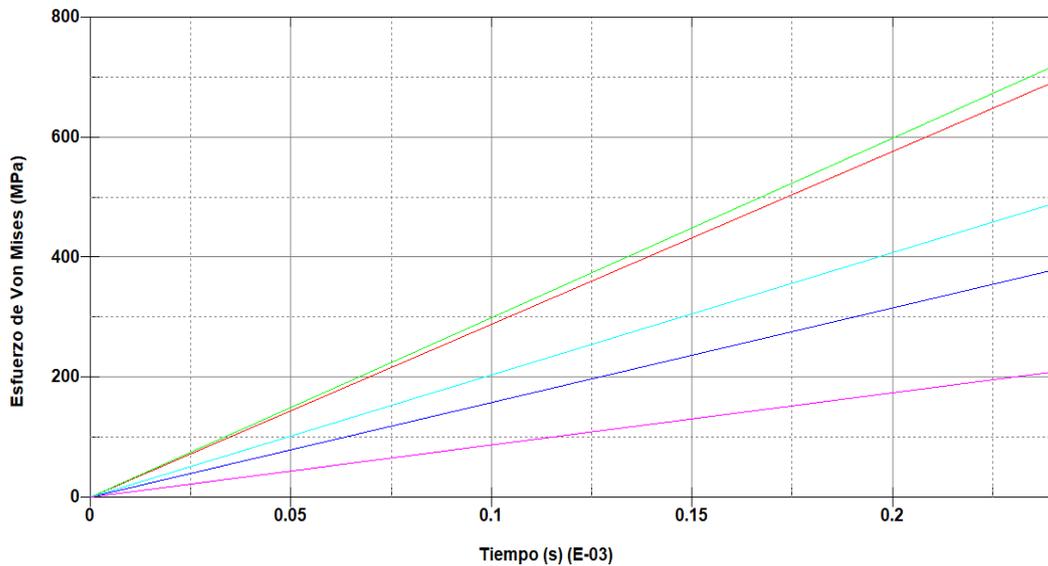


Figura 59. Esfuerzo Vs Tiempo Material Compuesto

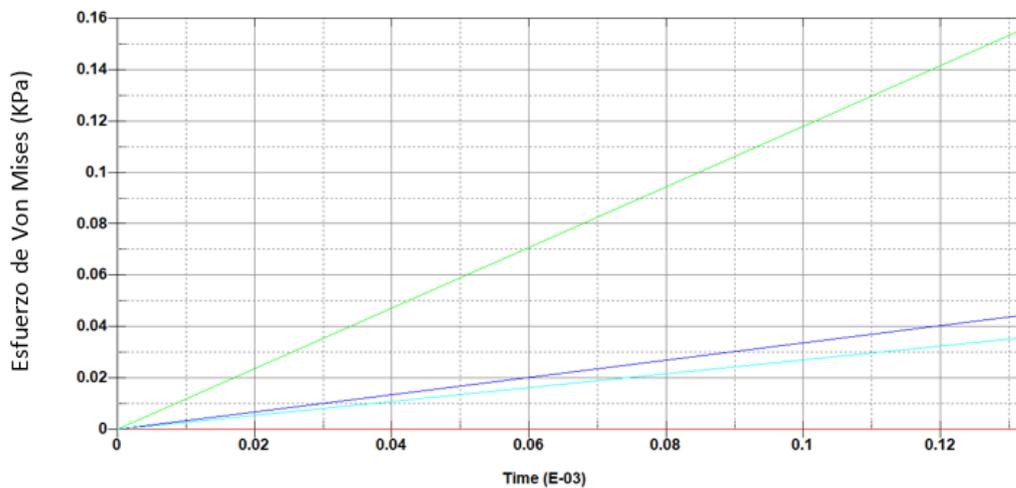


Figura 60. Esfuerzo Vs Tiempo Material Homogéneo

Cada curva representa el comportamiento de un elemento en relación con el parámetro mencionado (Von Mises), tanto para el un material como para el otro.

Básicamente se puede determinar que mientras el suceso avanza el esfuerzo principal incrementa y eso es lógico, en virtud que en un momento determinado tanto para el un material como para el otro va a ocurrir el colapso o rotura.

En los dos casos se presentan resultados de esfuerzos de Von Mises, y se nota que en el material compuesto existe mayor generación de esfuerzo principal por motivo de su fragilidad lo que conlleva por supuesto a pensar que la rotura llegará más rápido en ese caso que en el del material metálico que tiene un mayor rango de comportamiento elastoplástico, que se traduce en mejor absorción de energía de deformación por ende mayor tiempo de resistencia al colapso.

Los desplazamientos nodales se presentan a continuación para los dos materiales:

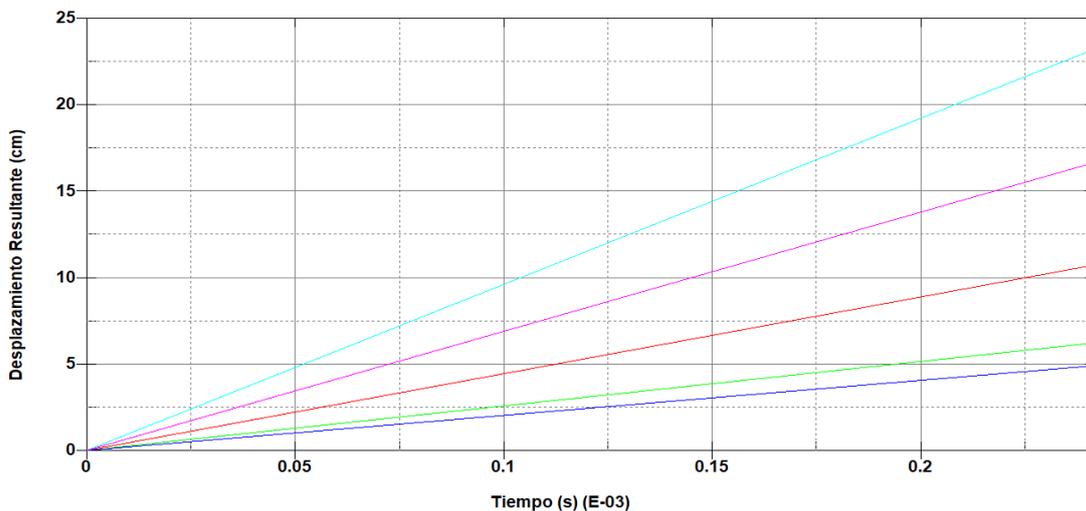


Figura 61. Desplazamiento vs Tiempo Material Compuesto

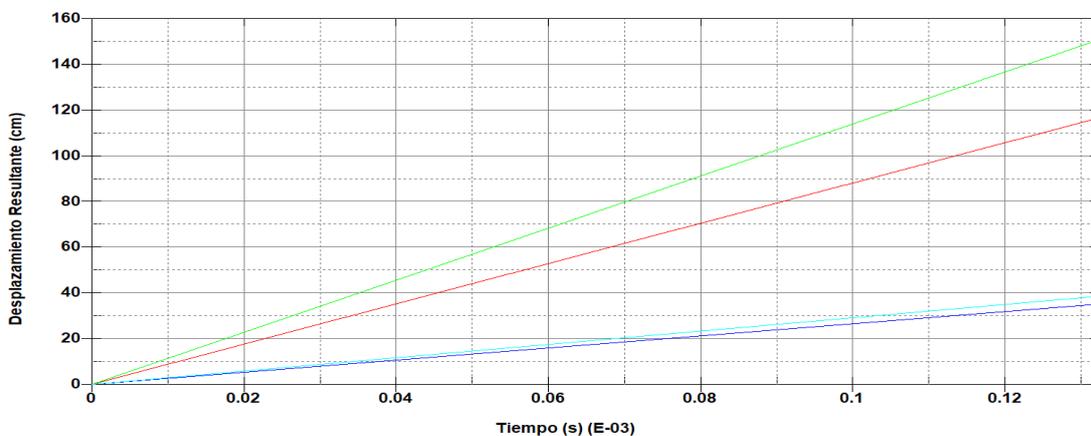


Figura 62. Desplazamiento vs Tiempo Material Homogéneo

En estas curvas generadas igualmente para cada nodo espécimen, se puede notar que el material compuesto tiene un comportamiento de menor desplazamiento en relación con el del material original que presenta una gran deformación en virtud de su ductilidad. Realmente los desplazamientos se miden con relación al eje de impacto, y es lógico pensar que son sinónimos de la deformación existente solo que estos muestran con mayor calidad los valores obtenidos. A continuación, y mediante el software de post procesamiento se muestran los resultados de esfuerzo vs deformación de dos especímenes del grupo de elementos escogidos tanto para el material compuesto como para el material original.

MATERIAL COMPUESTO:

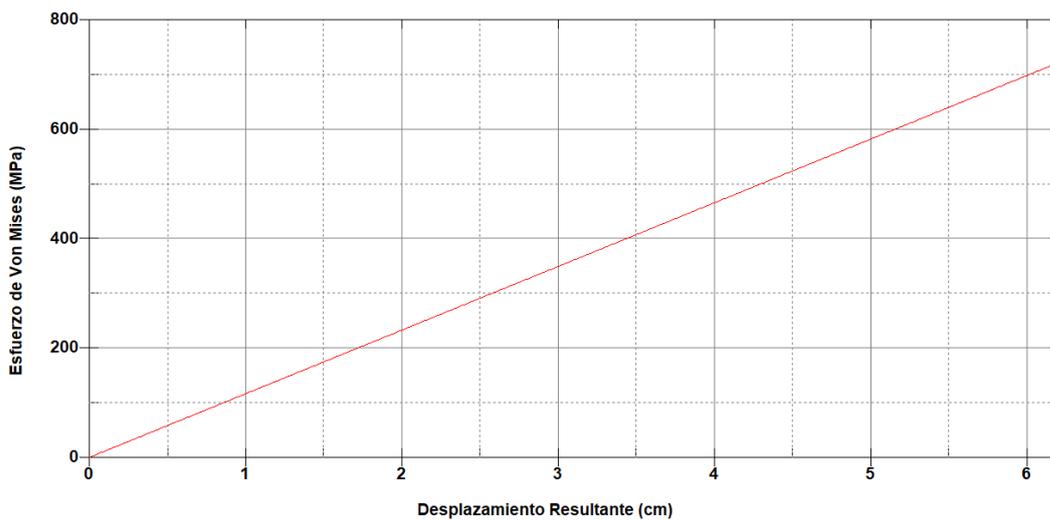


Figura 63. Esfuerzo vs Deformación espécimen Material Compuesto

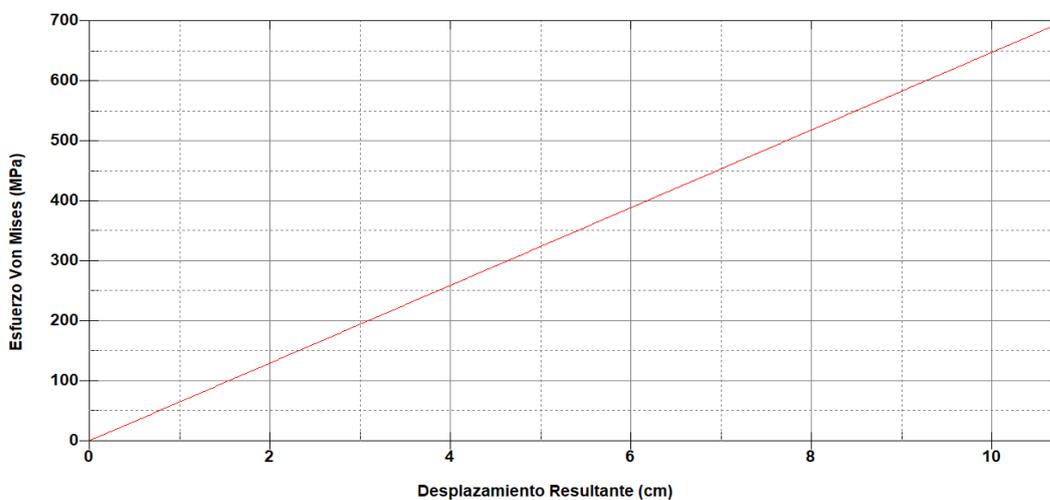


Figura 64. Esfuerzo vs Deformación espécimen Material Compuesto

En las que se puede concluir que el material según el tiempo seteado en la simulación de 0.9 segundos tiende a generar un alto esfuerzo, se sabe que la resistencia proporcionada en los ensayos es aproximadamente de 150 MPa, por lo que la falla se estaría generando aproximadamente a 2.5 cm de deformación.

El comportamiento se deduce en relación con un material FRAGIL.

MATERIAL ORIGINAL:

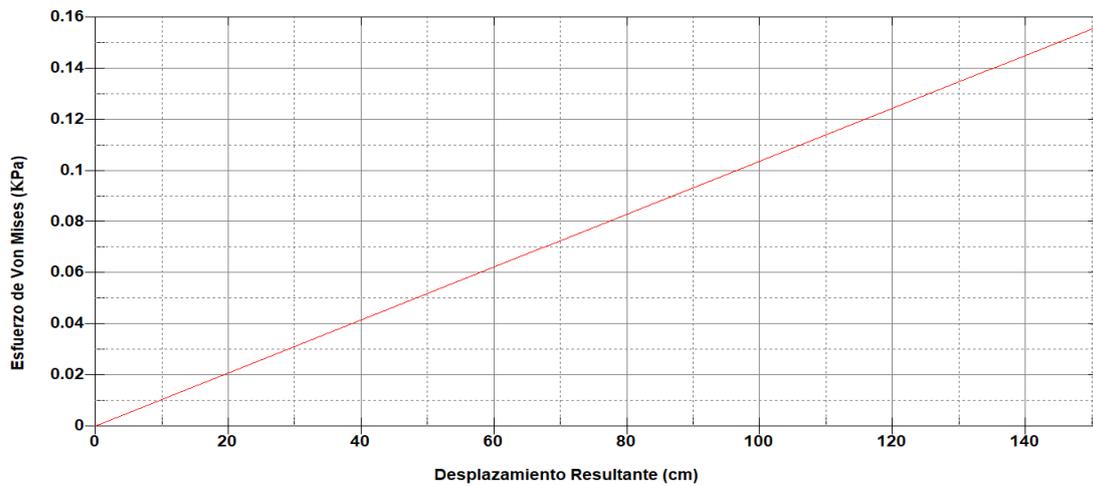


Figura 65. Esfuerzo vs Deformación espécimen Material Original

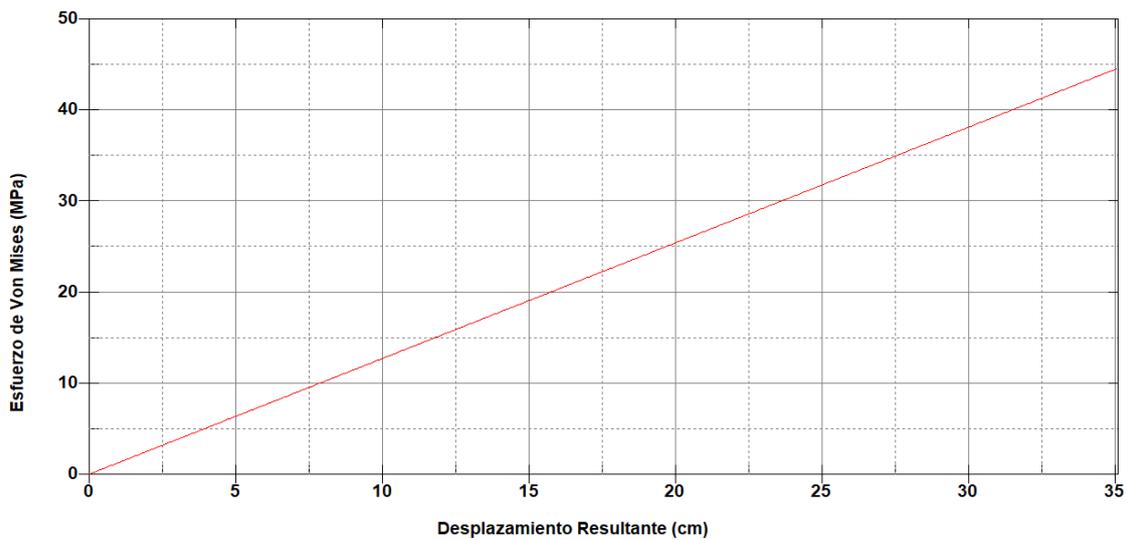


Figura 66. Esfuerzo vs Deformación espécimen Material Original

De acuerdo a las gráficas y a lo anteriormente expuesto se concluye que la capacidad de absorción de impacto es mucho mayor en el material homogéneo en virtud que la característica de ductilidad del mismo le ayuda a generar energía de deformación tal que puede disipar ciertas cargas ocasionadas por el impacto antes de colapsar lo que no sucede con el material frágil (COMPUESTO) que colapsa mucho más rápido y con mayor concentración de esfuerzo esto debido a que su material base es una resina que se cristaliza a cierto tiempo de secado.

## CONCLUSIONES

- Los ensayos experimentales de tracción, flexión e impacto del material compuesto, al estar hechos bajo normativa ASTM garantiza y valida la información obtenida en cuanto a los resultados de sus propiedades mecánicas que estos arrojen pudiéndose aprovechar para las respectivas simulaciones de ingeniería.
- La estratificación a compresión de las probetas permitió alcanzar una buena compactación del refuerzo de fibra de coco con la matriz a base de resina epoxi impidiendo la formación de aire entre las capas, las cuales pudieran influenciar en los resultados de las propiedades mecánicas, además permitió establecer que siempre será necesario ubicar como aglutinante inicial una capa de resina epoxi.
- Del análisis experimental efectuado a tracción en el material compuesto, mayor esfuerzo promedio presentaron las probetas cuya configuración consiste en 3 capas de fibra de coco orientadas a  $90^{\circ}$ - $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$  con fracción volumétrica del 60% en resina epoxi comparado con la otra configuración que en este estudio se llevó a cabo.
- Del análisis experimental efectuado a flexión se pudo determinar que la mejor configuración en cuanto al esfuerzo máximo a flexión presentó las probetas de dos capas de fibra con orientaciones de  $90^{\circ}$ - $0^{\circ}$  al 70% de fracción volumétrica en resina epoxi.
- Del análisis experimental efectuado a impacto se pudo determinar que las dos configuraciones es decir de 2 y 3 capas de fibra presentan igual capacidad de absorción de energía generando una hipótesis de que esta energía no depende del número de capas de fibra.
- El diseño y simulación del guardafangos en el software de Ingeniería Ansys permitió tener una perspectiva clara del comportamiento del elemento en la realidad con cada

uno de los dos elementos pudiéndose determinar esfuerzos y deformaciones que estos tendrían al someterles a cargas de impacto.

- Un correcto mallado para dinámica explícita garantizan la confiabilidad de los resultados obtenidos en los ensayos computacionales, además de que las condiciones iniciales de tiempo es determinante en este tipo de estudios cuyo valor deberá estar asignado en función de la duración del suceso es decir en décimas o incluso de micro segundos.
- Se puede determinar que la mejor evidencia de los resultados en un ensayo a impacto para materiales compuestos se obtiene en el post procesador de LS DYNA ya que se puede observar mediante las gráficas el comportamiento del elemento en pequeñas fracciones de tiempo, siendo este módulo el más idóneo para estudios de dinámica explícita.
- Considerando los resultados de deformación tanto del material compuesto como del material homogéneo se determinó que el campo de deformación más amplio presenta en material homogéneo, al ser un material dúctil su comportamiento es elastoplástico y no frágil como sucede con el otro material cuyo comportamiento es de menor desplazamiento a la vez corroborando los ensayos de tracción experimentales.
- Considerando los resultados del esfuerzo del post procesamiento se puede observar que en el material compuesto existe mayor generación de esfuerzo que por motivo de la fragilidad que este presenta la rotura llegará más rápido que el material metálico.
- La capacidad de absorción de impacto es mucho mayor en el material homogéneo cuya característica de ductilidad de este proporciona mejor energía de deformación disipando de mejor manera ciertas cargas ocasionadas por el impacto.
- El material compuesto es apto para el uso en los vehículos como lo es en el guardafango por la poca deformación que este material tiene, además la suficiente resistencia

mecánica para el desempeño que este soporta día a día en temas aerodinámicos ya que un esfuerzo generado por el viento siempre va a ser mucho menor que un esfuerzo generado por un impacto.

- El material compuesto al ser obtenido de la mezcla de resinas y fibras naturales es de liviano peso, trayendo consigo ventajas indirectas como reducción de esfuerzo del vehículo por ende ahorro de consumo de combustible y de ahí reducción de emanaciones contaminantes al medio ambiente, incluso ahorro de neumáticos.
- Al ser metales amorfos es decir que no tienen una estructura ordenada no sufren los mismos efectos de fatiga que los metales y su resistencia es alta comparado al peso trayendo consigo reducción de costos de mantenimiento.

## RECOMENDACIONES

- Utilizar la resina como primera capa de inicio ya que facilita la adherencia de las fibras, además de brindar mejor humectación provocando una configuración regular de la superficie de las probetas fabricadas
- La presión de compresión es el principal factor que ayuda en el moldeo de las probetas por lo que a mayor peso aplicado garantizará de mejor manera el acabado de las probetas y la posibilidad de penetraciones de aire.
- En la preparación inicial del molde de las probetas, se lo debe engrasar por lo menos unas cuatro veces dejándolo secar sin efecto del sol, con el fin de obtener un desmoldeo adecuado de las probetas.
- El ensayo a tracción requiere que en los extremos tanto superior como inferior de las probetas exista una superficie de agarre para lo cual se debería usar una pega compatible con la resina con el fin de generar una buena adherencia y evitar desprendimientos a la hora de realizar los ensayos.
- Promover este tipo de estudios sobre materiales compuestos ya que aparte de darle un fin productivo a mucha fibra que puede ser desechada en ríos, o demás lugares que pudieran generar contaminación, se promueve el uso de tecnologías limpias, el uso de recursos renovables y la optimización del uso de la energía.
- La resina epoxi y la fibra de coco proporcionan un bajo peso al elemento, característica que podría ser usada en diferentes ámbitos automotrices como por ejemplo en el desarrollo de alerones ya que este tipo de accesorio no está sometido a grandes esfuerzos sino más bien como complemento aerodinámico en los vehículos.
- Introducir en los procesos productivos automotrices el uso de materiales compuestos aprovechando de estos su alta resistencia referente al bajo peso, baja densidad, su capacidad de flexibilidad alcanzando formas que en los metales es mucho más difícil

alcanzar o en muchos casos imposible, trabajan como aislantes eléctricos, además de que se lograría el ensamble de componentes reduciendo el número de complementos y por tanto menor número de uniones.

- Incorporar fibras vegetales como refuerzo de materiales compuestos de matriz biodegradable no solo en el ámbito automotriz, sino también en todos los ámbitos productivos manufactureros cuyo objetivo sea la obtención de productos con valor agregado significativo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alemón Galindo, B. (2003). *Ensayo sobre reemplazo de componentes metálicos de automóvil por polímeros o materiales compuestos*. Guadalajara : Universidad Autónoma de Guadalajara .
- Bendezú Reyes, J. H. (2002). *Los Plásticos Reforzados En Fibra De Vidrio (Prfv), Sus Aplicaciones En La Industria Nacional*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Cevallos García , J. M. (2008). *Estudio comparativo de las propiedades mecánicas y reológicas de compuestos de polietileno de alta densidad con cascarilla de arroz y bagazo de caña*. Guayaquil.
- Dávila , J. L., Galeas , S., Guerrero , V., Pontón , P., Rosas, M. N., Sotomayor , V., & Valdivieso , C. (2011). *Nuevos materiales Aplicaciones Estructurales e Industriales*. Quito: Imprefepp.
- Delgado , F., Galeas , S., & Guerrero , V. (2014). *Obtención de Materiales Compuestos Híbridos de Matriz Poliéster Reforzada con Fibras de Coco y Vidrio para la Elaboración de Tableros*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Espinoza Beltrán , G. E., & Hidalgo Pacheco , J. A. (2016). *Caracterización de materiales compuestos para la aplicación en la carrocería del vehículo monoplaza tipo fórmula SAE*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana sede matriz Cuenca.
- García Diez, S. (2011). *Fibras y materiales de refuerzo: Los poliésteres reforzados aplicados a la realización de piezas en 3D*.

- Guerrero , V., Pontón , P., Tamayo , A., Villacís , H., Delgado , F., & Galeas , S. (s.f.). *Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas*. Quito : Escuela Politécnica Nacional .
- Manjarrés, F. J., Santillán , E. R., Guerrero , V., & Pachacama , V. (2015). *Diseño, Caracterización Y Aplicación De Un Material Compuesto Con Base De Resina Epoxi Y Refuerzo De Fibras Orgánicas Para La Aplicación En Un Prototipo De Capot De La Camioneta Mazda Bt50 2010*. Latacuanga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Quintero García , S. L., & Gonzáles Salcedo , L. O. (2006). *Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto*. Valle del Cauca .
- Rodríguez, L. J. (2014). *Elaboración de un material biocompuesto a partir de la fibra de plátano*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Spanavello , R. A., Suarez , A. G., & Sarotti , A. M. (2013). *Fuentes Alternativas De Materia Prima* . México : Universidad Nacional Autónoma de México .
- Tosco , H., Rivello , A., & Vásquez , M. (2016). *Estudio Panorámico De Vigilancia Tecnológica E Inteligencia Competitiva: Tecnologías De Materiales Compuestos En El Sector Autopartista*. Buenos Aires.
- Trejos , J. D. (2014). *Propiedades Mecánicas De Una Matriz De Poliéster Reforzada Con Fibra De Coco Comparadas Con La Misma Matriz Reforzada Con Fibra De Vidrio*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Villacís Salazar , H. G. (2011). *Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzados con fibra de vidrio y abacá mediante estratificación manual*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Jácome León , A. D. (2015). *Estudio de la Configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de butacas deportivas*. Ambato.

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1. Normas ASTM D3039 para tracción en materiales compuestos**

## **ANEXO 2. Normas ASTM D7264 para flexión en materiales compuestos**

**ANEXO 3. Normas ASTM D5628 para impacto en  
materiales compuestos**

## **ANEXO 4. Resultados de ensayos experimentales a tracción material compuesto**

## **ANEXO 5. Resultados de ensayos experimentales a flexión material compuesto**

## **ANEXO 6. Resultados de ensayos experimentales a impacto material compuesto**

## **ANEXO 7. Resultados ensayo a tracción Material Homogéneo**

## **ANEXO 8. Licencia Estudiantil de ANSYS**

## **ANEXO 9. Propiedades Físicoquímicas de la Resina Epoxi**