

Producción y caracterización de un fender flares delantero de la camioneta Chevrolet Dmax

# UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico

Mención en Fabricación De Autopartes De Vehículos

Producción y caracterización de un fender flares delantero de la camioneta Chevrolet Dmax a base de agregado de resina de poliéster y hebras de agave americana (Marginata).

Geovanny Alexander Chiriboga Ibujés

Nota del Autor

Geovanny Chiriboga, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK.

Director: Ing. Ing. Julio Leguisamo, M.Sc,

Codirector: PhD. Javier Martínez.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

shoshounico@yahoo.es

### **Declaración Juramentada**

Yo, Geovanny Chiriboga, con cédula de identidad 040154137-0, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y que se ha consultado 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. El presente trabajo pertenece al programa Desarrollo Tecnológico y a la Línea de Investigación Eficiencia, Impacto Ambiental e Innovación en la Industria a fin a la Facultad de Arquitectura e Ingeniería.

Geovanny Alexander Chiriboga Ibujés

CI: 040154137-0

## Índice de Contenido

Declaración Juramentada.....	2
Índice de Tablas.....	6
Índice de Figuras.....	8
Resumen .....	12
Introducción.....	14
Objetivo general.....	16
Objetivos específicos .....	16
Estado del Arte.....	17
Materiales compuestos.....	21
Matriz.....	24
Matriz Metálica.....	25
Refuerzos continuos.....	26
Laminados: .....	27
Tejidos: .....	27
Materiales compuestos de resina reforzados con hebras .....	27
Diseño asistido por computadora (CAD).....	29
Tipos .....	30
Método.....	31
Tipo de Investigación.....	31
Origen del agave Americana Marginata .....	32
Composición química del agave .....	33
Hojas de Agave americana Marginata .....	33
Extracción de las hebras de agave (Método de extracción manual) .....	34
Medición del nivel de Humedad.....	35
Selección y asignación de los componentes de estudio .....	35
Construcción de los moldes .....	37
Fabricación de las probetas con material compuesto.....	37
Ensayo de resistencia a Tracción .....	38
Ensayo de resistencia a Flexión .....	40
Equipos y Materiales .....	42
Equipos .....	42
Materiales .....	43

Procedimiento experimental .....	45
Proceso de fabricación de probetas.....	46
Fabricación del Prototipo.....	47
Datos estadísticos.....	48
Media aritmética o promedio .....	48
Desviación estándar .....	49
Método de elementos finitos (FEM o MEF).....	49
Post-procesado Mallado.....	49
Modelado 3D Fender Flares .....	50
Análisis de Impacto .....	50
Mallado por elementos finitos .....	51
Validación de resultados (Proceso metodológico).....	51
Software Matlab.....	52
Matriz esfuerzo – deformación .....	52
Programa Matlab esfuerzo – deformación.....	52
Simulación dinámica a impacto del fender flares .....	53
Modelado del componente fender flares y barrera de impacto .....	54
Creación de nuevos materiales en el software ANSYS .....	55
Resultados.....	61
Ensayo a Flexión Fibra Tejida .....	61
Ensayo a Flexión Fibra Unidireccional.....	64
Ensayo a Tracción Fibra Tejida .....	71
Ensayo a Tracción Fibra Unidireccional.....	73
Simulación de datos fender flares con resina de poliéster .....	79
Simulación de datos fender flares material ABS .....	81
Simulación de datos fender flares material mixto resina de poliéster y fibras de agave.....	83
Costos .....	84
Costo de Materiales .....	85
Materiales adicionales.....	85
Costo de fabricación .....	85
Costo total de fabricación .....	86
Tasa de descuento .....	86
Tasa de rendimiento medio.....	86
Valor actual neto (V.A.N.).....	87
Tasa interna de rentabilidad (T.I.R.).....	88

Relación beneficio costo .....	89
Análisis y Discusión de Resultados .....	90
Análisis de resultados de simulación .....	94
Conclusiones.....	107
Recomendaciones .....	109
Bibliografía .....	110

## Índice de Tablas

TABLA 1. VALORES ARROJADOS EN EL ENSAYO A TRACCIÓN (ISO 527). .....	19
TABLA 2. APLICACIONES DE COMPUESTOS CON FIBRAS NATURALES EN PARTES AUTOMOTRICES ..	19
TABLA 3. TIPOS DE RESINAS DE POLIÉSTER MÁS UTILIZADAS Y SUS APLICACIONES. ....	20
TABLA 4. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE RESINA DE POLIÉSTER Y EPOXI. ....	28
TABLA 5. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE AGAVE. ....	29
TABLA 6. PORCENTAJES DE HUMEDAD, AZUCARES Y PROTEÍNAS .....	33
TABLA 7. VARIABLES DE PROCESOS Y NIVELES DE ESTUDIO EN EL PROCESO DE CARACTERIZACIÓN COMPUESTO. ....	36
TABLA 8. FRACCIONES VOLUMÉTRICAS Y DENSIDAD .....	37
TABLA 9. PORCENTAJES DE LOS COMPONENTES A SER UTILIZADOS EN LA RESINA DE POLIÉSTER...	44
TABLA 10. PORCENTAJES POR FRACCIÓN DE COMPONENTES PARA LA RESINA DE POLIÉSTER.....	46
TABLA 11. ESPECTRO DE MÉTRICAS DE MALLA: OBLICUIDAD .....	50
TABLA 12. ESPECIFICACIONES NORMA EURO NCAP TRANS-WP29-GRSP-2003-11E.....	51
TABLA 13. PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES A SER SIMULADOS EN ANSYS .....	56
TABLA 14. RESULTADOS ENSAYO A FLEXIÓN FIBRA TEJIDA .....	61
TABLA 15. RESULTADOS ENSAYO A FLEXIÓN FIBRA UNIDIRECCIONAL.....	64
TABLA 16. RESULTADOS PROMEDIOS DE ENSAYOS A FLEXIÓN.....	68
TABLA 17. RESULTADOS ENSAYO A TRACCIÓN FIBRA TEJIDA .....	71
TABLA 18. RESULTADOS ENSAYO A TRACCIÓN FIBRA UNIDIRECCIONAL .....	73
TABLA 19. RESULTADOS PROMEDIOS DE ENSAYOS A FLEXIÓN.....	77
TABLA 20. COSTO DE MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DEL FENDER FLARES .....	85
TABLA 21. COSTO DE MATERIALES ADICIONALES PARA LA FABRICACIÓN DEL FENDER FLARES ...	85
TABLA 22. HORAS EMPLEADAS POR CADA AUTOPARTE AUTOMOTRIZ.....	86
TABLA 23. COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN DEL PAR DE FENDER FLARES .....	86
TABLA 24. TASA DE DESCUENTO .....	86
TABLA 25. INDICADOR ECONÓMICO PARA LA ACEPTACIÓN DEL PROYECTO .....	88
TABLA 26. RESULTADOS DE VARIACIÓN DE TEMPERATURA EN EL IMPACTO EN EL IMPACTO .....	97
TABLA 27. RESULTADOS DE LOS TRES MATERIALES ANALIZADOS MEDIANTE SOFTWARE DE ANSYS Y MATLAB .....	99

TABLA 28. DEFORMACIÓN DESPUÉS DEL IMPACTO PARA LOS TRES MATERIALES ESTABLECIDOS PARA SU ANÁLISIS DINÁMICO.....	101
TABLA 29. ESFUERZO MÁXIMO DESPUÉS DEL IMPACTO PARA LOS TRES MATERIALES ESTABLECIDOS PARA SU ANÁLISIS DINÁMICO.....	102
TABLA 30. ENERGÍA INTERNA DESPUÉS DEL IMPACTO PARA LOS TRES MATERIALES ESTABLECIDOS PARA SU ANÁLISIS DINÁMICO.....	104
TABLA 31. TENSIÓN PLÁSTICA EQUIVALENTE DESPUÉS DEL IMPACTO PARA LOS TRES MATERIALES ESTABLECIDOS PARA SU ANÁLISIS DINÁMICO. ....	105

## Índice de Figuras

FIGURA 1. CLASIFICACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON HEBRAS .....	22
FIGURA 2. MORFOLOGÍAS DE COMPUESTOS REFORZADOS CON HEBRAS. A) HEBRASS CONTINUAS UNIDIRECCIONALES. B) HEBRASS DISCONTINUAS ORIENTADAS AL AZAR. C) HEBRASS ORTOGONALES O TEJIDOS. D) HEBRASS EN CAPAS MÚLTIPLES. ....	23
FIGURA 3. ELEMENTOS DE UN MATERIAL COMPUESTO .....	23
FIGURA 4. TIPOS DE MATERIALES AGREGADOS SEGÚN EL REFUERZO: A) COMPUESTO POR PARTÍCULAS; B) COMPUESTO FIBROSO; C) COMPUESTO LAMINADO.....	26
FIGURA 5. REFUERZOS DE TIPO CONTINUÓ PARA MATERIALES COMPUESTOS. ....	27
FIGURA 6. CARCAZA DE UN VEHÍCULO ILUSTRADA EN CAD.....	30
FIGURA 7. PLANTA DE AGAVE AMERICANA MARGINATA. ....	33
FIGURA 8. HOJAS DE AGAVE AMERICANA MARGINATA.....	34
FIGURA 9. HEBRAS DE AGAVE SECA DESPUÉS DE LA EXTRACCIÓN .....	35
FIGURA 10. CONSTRUCCIÓN DE MOLDES (A) ENSAYO A TRACCIÓN Y (B) ENSAYO A FLEXIÓN.....	37
FIGURA 11. PROBETAS FIBRA CONTINUA LARGA .....	37
FIGURA 12. PROBETAS FIBRA TEJIDA .....	38
FIGURA 13. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA GEOMETRÍA DEL ESPÉCIMEN. ASTM D 3039M – 00... ..	38
FIGURA 14. ENSAYO DE FLEXIÓN EN TRES PUNTOS SEGÚN LA NORMA ASTM D 7264M – 15 .....	41
FIGURA 15. MÁQUINA UNIVERSAL 150LS.....	42
FIGURA 16. CALIBRADOR PIE DE REY .....	42
FIGURA 17. MOLDES DE PROBETAS PARA ENSAYOS (A) TRACCIÓN (B) FLEXIÓN. ....	42
FIGURA 18. MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS (A) RESINA DE POLIÉSTER BASF PALATAL A430, (B) OCTOATO DE COBALTO, (C) PERÓXIDO MEK, (D) ESTIRENO Y (E) CERA DESMOLDEANTE.....	43
FIGURA 19. PROBETA A FLEXIÓN BAJO LOS PORCENTAJES DE LA EMPRESA PINTULAC .....	44
FIGURA 20. RESINA DE POLIÉSTER CON LOS DIFERENTES PORCENTAJES.....	46
FIGURA 21. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL FENDER FLARES DELANTERO .....	48
FIGURA 22. MODELADO 3D FENDER FLARES.....	50
FIGURA 23. MALLADO AUTOPARTE MECÁNICA FENDER FLARES DELANTE.....	51
FIGURA 24. MODELADO DEL FENDER FLARES DELANTERO EN EL SOFTWARE AUTODESK INVENTOR .....	54

FIGURA 25. MODELA DO DE LA BARRERA DE IMPACTO EL SOFTWARE AUTODESK INVENTOR .....	54
FIGURA 26. ENSAMBLE DE LA AUTOPARTE Y LA BARRERA DE IMPACTO.....	55
FIGURA 27. ENTORNO DE CREACIÓN DE MATERIALES EN EL SOFTWARE ANSYS.....	56
FIGURA 28. CONDICIONES DE FRONTERA MATERIAL ABS Y MIXTO (RESINA DE POLIÉSTER Y FIBRA DE AGAVE).....	57
FIGURA 29. MATERIALES ABS, RESINA DE POLIÉSTER Y COMPUESTO MIXTO.....	57
FIGURA 30. CONDICIONES DINÁMICAS .....	58
FIGURA 31. VELOCIDAD DE IMPACTO.....	58
FIGURA 32. SOLUCIÓN DE IMPACTO DINÁMICO .....	59
FIGURA 33. PARTES DE LA GEOMETRÍA DEL MODELO EN EL SOFTWARE ANSYS .....	59
FIGURA 34. (A) MALLADO DE LA ZONA DE IMPACTO Y LA AUTOPARTE FENDER FLARES, (B) MEJORAMIENTO DEL MALLADO EN LA AUTOPARTE.....	60
FIGURA 35. SIMULACIÓN DE LA AUTOPARTE MEDIANTE LA HERRAMIENTA ANSYS.....	60
FIGURA 36. ESFUERZO MÁXIMO RESISTENCIA A FLEXIÓN FIBRA TEJIDA.....	62
FIGURA 37. MÓDULO DE FLEXIÓN FIBRA TEJIDA .....	63
FIGURA 38. DIAGRAMA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN FIBRA TEJIDA .....	63
FIGURA 39. ESFUERZO MÁXIMO RESISTENCIA A FLEXIÓN FIBRA UNIDIRECCIONAL .....	65
FIGURA 40. MÓDULO DE FLEXIÓN FIBRA UNIDIRECCIONAL .....	66
FIGURA 41. DIAGRAMA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN FIBRA UNIDIRECCIONAL .....	66
FIGURA 42. ESFUERZOS MÁXIMOS A FLEXIÓN DE CADA CONFIGURACIÓN .....	67
FIGURA 43. MÓDULO DE ELASTICIDAD MÁXIMOS DE CADA CONFIGURACIÓN .....	67
FIGURA 44. GRAFICA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN ENSAYO A FLEXIÓN FIBRA TEJIDA Y FIBRA UNIDIRECCIONAL .....	69
FIGURA 45. COMPARACIÓN DE LA MEDIA DEL ESFUERZO MÁXIMO PROMEDIO POR EL MÉTODO LSD DE FISHER.....	69
FIGURA 46. COMPARACIÓN DE LA MEDIA DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PROMEDIO POR EL MÉTODO LSD DE FISHER .....	70
FIGURA 47. ESFUERZO MÁXIMO RESISTENCIA A LA TRACCIÓN FIBRA TEJIDA .....	72
FIGURA 48. MÓDULO DE ELASTICIDAD FIBRA TEJIDA .....	72
FIGURA 49. DIAGRAMA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN FIBRA TEJIDA .....	73
FIGURA 50. ESFUERZO MÁXIMO RESISTENCIA A LA TRACCIÓN FIBRA UNIDIRECCIONAL.....	74

Producción y caracterización de un fender flares delantero de la camioneta Chevrolet Dmax	10
FIGURA 51. MÓDULO DE FLEXIÓN FIBRA UNIDIRECCIONAL .....	75
FIGURA 52. DIAGRAMA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN FIBRA UNIDIRECCIONAL .....	75
FIGURA 53. ESFUERZOS MÁXIMOS A TRACCIÓN DE CADA CONFIGURACIÓN FIBRA TEJIDA Y FIBRA UNIDIRECCIONAL .....	76
FIGURA 54. MÓDULO DE ELASTICIDAD MÁXIMOS DE CADA CONFIGURACIÓN FIBRA TEJIDA Y FIBRA UNIDIRECCIONAL .....	76
FIGURA 55. GRAFICA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN ENSAYO A FLEXIÓN FIBRA TEJIDA Y FIBRA UNIDIRECCIONAL .....	78
FIGURA 56. COMPARACIÓN DE LA MEDIA DEL ESFUERZO MÁXIMO PROMEDIO POR EL MÉTODO LSD DE FISHER.....	78
FIGURA 57. COMPARACIÓN DE LA MEDIA DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PROMEDIO POR EL MÉTODO LSD DE FISHER .....	79
FIGURA 58. SIMULACIÓN ENERGÍA INTERNA FENDER FLARES, RESINA DE POLIÉSTER.....	80
FIGURA 59. SIMULACIÓN ESFUERZO MÁXIMO FENDER FLARES, RESINA DE POLIÉSTER.....	80
FIGURA 60. SIMULACIÓN DEFORMACIÓN TOTAL FENDER FLARES, RESINA DE POLIÉSTER.....	81
FIGURA 61. SIMULACIÓN ENERGÍA INTERNA FENDER FLARES, MATERIAL ABS.....	81
FIGURA 62. SIMULACIÓN ESFUERZO MÁXIMO FENDER FLARES, MATERIAL ABS.....	82
FIGURA 63. SIMULACIÓN DEFORMACIÓN TOTAL FENDER FLARES, MATERIAL ABS.....	82
FIGURA 64. SIMULACIÓN ENERGÍA INTERNA FENDER FLARES, MATERIAL MIXTO RESINA DE POLIÉSTER Y FIBRA DE AGAVE .....	83
FIGURA 65. SIMULACIÓN ESFUERZO MÁXIMO FENDER FLARES, MATERIAL MIXTO RESINA DE POLIÉSTER Y FIBRA DE AGAVE .....	84
FIGURA 66. SIMULACIÓN DEFORMACIÓN TOTAL FENDER FLARES, MATERIAL MIXTO RESINA DE POLIÉSTER Y FIBRA DE AGAVE .....	84
FIGURA 67. RESULTADOS PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL COMPUESTO DE FIBRA TEJIDA (COLOR AMARILLO) Y FIBRA UNIDIRECCIONAL (COLOR ROJO).....	91
FIGURA 68. RESULTADOS PROMEDIO DE LA COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL COMPUESTO DE FIBRA TEJIDA (COLOR AMARILLO) Y FIBRA UNIDIRECCIONAL (COLOR ROJO)..	92
FIGURA 69. RESULTADOS PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL COMPUESTO DE FIBRA TEJIDA (COLOR AMARILLO) Y FIBRA UNIDIRECCIONAL (COLOR ROJO).....	93

FIGURA 70. RESULTADOS PROMEDIO DE LA COMPARACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD A LA TRACCIÓN DEL COMPUESTO DE FIBRA TEJIDA (COLOR AMARILLO) Y FIBRA UNIDIRECCIONAL (COLOR ROJO) .....	94
FIGURA 71. VELOCIDAD DE IMPACTO DEL FENDER FLARES CON RESPECTO A LA BARRERA .....	95
FIGURA 72. VISUALIZACIÓN EN EL MOMENTO QUE EMPIEZA A DEFORMARSE EL MATERIAL .....	95
FIGURA 73. DESPLAZAMIENTO AL INICIO DEL IMPACTO .....	96
FIGURA 74. DEFORMACIÓN TOTAL DESPUÉS DEL IMPACTO .....	96
FIGURA 75. DEFORMACIÓN VS TIEMPO DE LOS TRES MATERIALES ESTABLECIDOS PARA SU ANÁLISIS DINÁMICO .....	101
FIGURA 76. ESFUERZO MÁXIMO VS TIEMPO DE LOS TRES MATERIALES ESTABLECIDOS PARA SU ANÁLISIS DINÁMICO .....	102
FIGURA 77. ENERGÍA INTERNA VS TIEMPO DE LOS TRES MATERIALES ESTABLECIDOS PARA SU ANÁLISIS DINÁMICO .....	104
FIGURA 78. TENSIÓN PLÁSTICA EQUIVALENTE VS TIEMPO DE LOS TRES MATERIALES ESTABLECIDOS PARA SU ANÁLISIS DINÁMICO .....	105

## Resumen

El propósito de esta investigación es el estudio de caracterización de un material compuesto de resina de poliéster y fibras de agave Marginata, por medio de una autoparte de la camioneta Chevrolet Dmax (fender flares). Realizando el análisis de las propiedades mecánicas del compuesto bajo las normativas ASTM D 3039 M -00, ASTM D 7264 M – 15, con un factor volumétrico del 20% de las diferentes probetas en sentido unidireccional con fibras tejidas y fibras largas. El análisis de este compuesto mixto entre la fibra y la resina reveló que esta adhesión depende del aumento en la presión de moldeo cuando se lleva a cabo la preparación del material y además la mezcla de químicos adiciona refuerzos de resistencia a tensión y flexión.

Los beneficios de esta investigación recaen; en mejorar el costo de producción de piezas (molduras), facilidad de moldeo, resistencia a los golpes, deformaciones, resistencia térmica, ductilidad a baja temperatura y no emisión de gases nocivos.

Los Fender Flares o también conocidos como Flametas están diseñadas a medida para diferentes tipos de vehículos para complementar los neumáticos de gran tamaño y los kits de elevación de gran altura, se pueden montar directamente, son construidos con compuestos de plástico ABS resistentes a golpes, duraderos y 100% resistente a los rayos UV, agrietamientos y la tiza. Poseen un acabado texturizado OE de Black Light y es posible que no quepa si hay otros accesorios instalados que puedan obstaculizar las bengalas Fender es decir guardabarros, carrocería, efectos de suelo, etc.

Palabras claves: fibras, tejido, fibra natural, fibras sintéticas, polímero, compuesto orgánico.

### **Abstract**

The purpose of this research is to study the characterization of a material composed of polyester resin and agave fibers Marginata, by means of a self-part of the Chevrolet Dmax truck (fender flares). Performing the analysis of the mechanical properties of the compound under the norms ASTM D 3039 M -00, ASTM D 7264 M-15, with a volumetric factor of 20% of the different specimens in unidirectional direction with woven fibers and long fibers. The analysis of this mixed compound between the fiber and the resin revealed that this adhesion depends on the increase in the molding pressure when the preparation of the material is carried out and the chemical mixture adds reinforcements of resistance to tension and flexion.

The benefits of this investigation fall; in improving the cost of production of automotive parts, ease of molding, resistance to shocks, deformations, thermal resistance, ductility at low temperature and no emission of harmful gases.

The Fender Flares or also known as Flametas are custom designed for different types of vehicles to complement large tires and high-rise lifting kits, can be mounted directly, are built with shock-resistant, durable ABS plastic compounds and 100% resistant to UV rays, cracking and chalk. They have a textured OE finish by Black Light and may not fit if there are other accessories installed that may hinder Fender flares ie fender, body, floor effects, etc.

**Keywords:** fibers, fabric, natural fiber, synthetic fibers, polymer, organic compound.

## **Introducción**

El problema se presenta por el número elevado de importaciones de piezas y la contaminación del plástico ABS al medio ambiente cuando son desechados una vez que cumplen con su vida útil, de acuerdo al Servicio Nacional de Aduana del Ecuador SENAE “Las empresas ensambladoras de vehículos están próximas a cumplir con el Acuerdo Ministerial 14 264 firmado con el Ministerio de Industrias, el cual disponía la integración del 20% de partes nacionales hasta junio de 2015. La Asociación de Empresas Ensambladoras de Vehículos y Afines del Ecuador (AEEMA) se mantuvo en la posición de cumplir el acuerdo pese a la imposición de salvaguardias arancelarias del 25% al sector, desde marzo de este año. Según las estadísticas de la asociación, las importaciones de partes y piezas (CKD) en el sector de ensamblaje de vehículos, entre los meses de enero a abril de 2017 fueron de 31.929 CKD, mientras que en el mismo período de este año se adquirieron 36.763 unidades”. (SENAE, 2018).

Con base en la Organización Mundial de la Salud la contaminación del medio ambiente debido a los termoplásticos cuya elaboración y procesamiento es más compleja que los plásticos comunes ya que es una mezcla de un copolímero vítreo (estireno - acrilonitrilo) y un compuesto elástico principalmente de butadieno en forma de burbujas inmersa en una dura y rígida matriz SAN representa un importante riesgo medioambiental para la salud.

Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cáncer de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma. Según estimaciones de 2012, la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año 3 millones de defunciones prematuras (Ramírez, 2013 - 2014).

En el mes de mayo del año 2018 La Comisión de Comercio Internacional de los Estados Unidos (USITC) presenta estudios realizados sobre la gran desventaja en su lenta descomposición de los termoplásticos ABS que dura 500 años en desintegrarse, tampoco es biodegradable. Existen dos estándares relacionados con el control del plástico: el ISO 15270:2008 para su desperdicio y el ISO 14001:2004 para la protección del medio ambiente, en el proceso de investigación para reciclarlo. En tal virtud se plantea la caracterización de un material compuesto de resina de poliéster y hebras de agave para la fabricación de Fender Flares delanteros para la camioneta Chevrolet Dimax promoviendo la conservación ambiental y el aprovechamiento de la hebras de agave ya que es 100% natural, considerada en muchos casos como un desecho. Este estudio se valida mediante un análisis FEM que se basa en el diseño y simulación dinámica computacional a impacto, tanto con material compuesto como con el material propio u homogéneo del mismo en el software ANSYS Free Student y de esta forma poder determinar si el material compuesto a base de resina de poliéster y hebras de agave es o no aplicable y funcional en condiciones reales en la aplicación con una autoparte.

La propuesta por el gobierno del Ecuador de cambio de la matriz productiva ha sido con la finalidad de buscar nuevas riquezas que logren tener un desarrollo sostenible e impulsar distintas actividades que se encuentran relacionadas con el talento humano, tecnología y el conocimiento. Este cambio de la matriz productiva ha impulsado y fortalecido en el ámbito automotriz debido a que se han formado empresas las cuales aportan con distintas autopartes como asientos, parabrisas, tapicería, entre otros, para el ensamble de automóviles en Ecuador generando así una economía y puestos de trabajo para los ecuatorianos (Ramírez, 2013 - 2014).

### **Objetivo general**

Caracterizar y aplicar el material compuesto de matriz polimérica de resina de poliéster y fibra de agave americana (Marginata), mediante una autoparte de vehículo que sea amigable con el medio ambiente.

### **Objetivos específicos**

1. Determinar las propiedades mecánicas del compuesto de resina de poliéster y refuerzo de fibra de agave bajo las normativas ASTM D 3039 M - 00, ASTM D 7264 M - 15, para la caracterización del material.
2. Analizar los materiales compuestos de las diferentes probetas con matriz polimérica y refuerzo de fibra de agave con un factor volumétrico del 20% en sentido unidireccional con fibra larga y fibra tejida, bajo la normativa ASTM correspondiente para calcular los esfuerzos máximos que soportan cada configuración.
3. Realizar un análisis dinámico del Fender Flares delantero de una camioneta Dmax con las propiedades del material compuesto de resina de poliéster y refuerzo de fibra de agave, utilizando software Inventor.
4. Diseñar un prototipo de Fender Flares delantero de una camioneta Chevrolet Dmax mediante la utilización del software Inventor.
5. Fabricar un prototipo de protección laterales delanteros para una camioneta Chevrolet Dmax con el material compuesto de resina de poliéster y refuerzo de fibra de agave.

## **Estado del Arte**

En el presente estudio se propone realizar la producción y caracterización de un material agregado a base de resina de poliéster y hebras de agave para mejorar el costo de producción de piezas de automoción, facilidad de moldeo, resistencia a los golpes, deformaciones, resistencia térmica, ductilidad a baja temperatura y no emisión de gases nocivos.

Según (Morocho Toaza, 2013) realizó un estudio sobre la variación de las fracciones volumétricas y configuraciones de los refuerzos en las propiedades mecánicas de los materiales compuestos con hebras naturales. La adhesión de hebras de refuerzo a las matrices poliméricas permitió un incremento de las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto.

Una vez sometidas las probetas de agregados de hebras de vidrio a ensayos de flexión e impacto se observó un incremento en los módulos elásticos debido al incremento de hebras (Ramírez, 2013 - 2014).

De acuerdo a (Castillo & Reyes, Octubre 2013), investigó sobre la caracterización mecánica y termo física de materiales a base de hebras de Typhana con una perspectiva de uso como materiales de construcción, el aglutinante utilizado en este estudio fue la arcilla. Se examinó la influencia del contenido de aglutinante sobre las propiedades mecánicas y de aislamiento térmico. Las resistencias a la compresión y a la tracción varían respectivamente de 0,279 a 0,796 MPa y de 0,340 a 0,969 MPa cuando el porcentaje en peso de aglutinante oscila entre 77-85%. Estos valores tienen una fuerte correlación lineal con el porcentaje en peso de aglutinante. La conductividad térmica de los materiales secos varía de 0.117 a 0.153 W. m<sup>-1</sup>. K<sup>-1</sup> mientras que la efusividad térmica aumenta de 228,9 a 300,0 J. m<sup>-2</sup>. ° C<sup>-1</sup>. S<sup>-1</sup>. Los resultados muestran que la conductividad térmica y la efusividad térmica aumentan con el contenido de humedad de los materiales. Desde el punto de vista mecánico, las resistencias a la

compresión y las resistencias a la tracción de los materiales obtenidos son bajas e indica que estos materiales en su forma actual no pueden usarse como material portador; Se pueden utilizar en combinación con una estructura portante; Los bajos valores de conductividad térmica mostraron altas capacidades de aislamiento térmico de estos materiales. Estos materiales, sujetos a los resultados de pruebas adicionales como el envejecimiento y la resistencia al fuego, pueden ser una alternativa interesante para materiales de aislamiento importados (Castillo & Reyes, Octubre 2013).

El material compuesto con hebras de agave tiene buenas propiedades. Se fabricaron dos probetas con dos tipos de resinas (epóxica y poliéster). En las probetas fabricadas con resina epóxica se observó que no hubo buena adherencia entre hebras – matriz, lo cual al ser sometidas a esfuerzos de tensión se fracturo rápidamente, su módulo de elasticidad fue bajo. En cambio las probetas fabricadas con resina de poliéster al ser sometidas a esfuerzos de tensión tarda más en fracturarse su módulo elástico es mayor que las primeras probetas. La adherencia entre hebras-matriz fue menor, se llega a la conclusión que al ser combinada la resina poliéster con la hebras de agave sus propiedades fueron mejores que la combinación de hebras matriz epóxica (G.Dolores, Omar, & Omar, 2015).

Por otra parte (Álvarez V. d., 2016) manifiesta con el propósito de elaborar mezclas mediante el proceso de moldeo por compresión, se fabricó una prensa de laboratorio para generar las muestras del compuesto, obteniendo placas de 200x100x6 mm. Se realizaron algunas probetas con diferentes concentraciones de hebras, que van desde el 0% hasta un máximo de 10% de peso total de la placa. Se cortaron las probetas a una medida proporcional al grosor de las probetas (6 mm) de acuerdo a la norma ISO 527 (Plásticos. Determinación de las propiedades a tracción) para la realización de ensayos. Las pruebas se ejecutaron en una máquina hidráulica

de ensayos universales que utiliza una celda de carga de 10 kN a una temperatura ambiente de 23°C, a una velocidad de 10 mm/min. Los resultados de las pruebas se muestran en la siguiente

Tabla 1.

Tabla 1.

*Valores arrojados en el ensayo a tracción (ISO 527).*

<i>Material</i>	<i>Valor arrojado en el ensayo</i> (n)	<i>Módulo de young ensayo</i> (e)	<i>Módulo de young referencia</i> (e)
PLA	4309 N	3.81 GPa	2.7 – 4 GPa
PLA 90% + hebras de agave 10%	2847 N	2.51 GPa	-

**Nota:** Fuente: (Álvarez V. )

De acuerdo a (Sperber, 2008) manifiesta que en el mercado europeo y norte-americano alcanzó las 685000 toneladas en gasto de hebras de naturales en automóviles, en la siguiente

Tabla 2 están las marcas más reconocidas a nivel mundial.

Tabla 2.

*Aplicaciones de compuestos con fibras naturales en partes automotrices*

<b>Manufactura</b>	<b>Modelo and Aplicación</b>
Audi	A3,A4, A4 Avant, A6, A8, Roadstar, Coupe Asiento trasero, lateral panel de la puerta trasera, forro de bota, perchero, forro de llanta de repuesto
BMW	Serie 3,5 y 7. Paneles para puertas, panel hadliner, forro de bota,
Daimler / Chrysler	Paneles de puertas clase A, C, E, E, parabrisas / tablero de instrumentos, mesa de negocios, panel de cubierta del pilar
Fiat	Punto, Brava, Marea Alfa Romeo 146, 156
Ford	Mondeo CD 162, paneles Focus Door, pilar B, forro de maletero
Opel	Astra, Vectra, panel Zafira Headliner, paneles de puerta, panel de cubierta de pilar, panel instrumental
Peugeot	Nuevo Modelo 406
Renault	Clio
Rover	Rover 2000 y otros Aislamiento, panel de estante de almacenamiento trasero

Saab	Paneles de las puertas
SEAT	Paneles de puerta, respaldo asiento
Volkswagen	Golf A, Variante del Passat, Bora. Panel de la puerta, respaldo del asiento, panel de acabado de la tapa de la bota, forro de la bota
Volvo	C70, panel de la puerta V70, estante paquete

**Nota.** Fuente: (Bledzki, 2006)

La resina de poliéster son las más usadas, su obtención industrial es de forma masiva donde la convierte en una especie de gel, donde su microestructura se comporta como sólido elástico de carácter pegajoso, en la siguiente etapa se da el periodo de curado donde se produce el endurecimiento de la resina. Hay que disolver para obtener la fluidez suficiente a fin de que la impregnación de las hebras sea posible, por lo que se suministra disuelta en estireno, que va a participar en la reticulación. Suele venir mezclada con un acelerador que ayuda al catalizador a descomponerse y pueda comenzar así la reacción química de reticulación. (Fernández, Marzo - Abril del 2003). Existen diferentes tipos de resinas de poliéster comercializadas como las que se muestran a continuación.

Tabla 3.

*Tipos de resinas de poliéster más utilizadas y sus aplicaciones.*

<b>Tipos</b>	<b>Aplicaciones</b>
Ortoftálicas	Semirrígidas: estratificados industriales, placas onduladas. Rígidas: barnices, preimpregnados.
Isoftálicas	Gel coats, depósitos, ingeniería química.
Tereftálicas	Ingeniería química, estratificados con alta resistencia química.
Tetrahidroftálicas	Barnices, depósitos de alimentos, cubas.
Bisfenólicas	Aplicaciones anticorrosión, alta resistencia química.
Resinas del ac. Tetracloroftálico	Comportamiento al fuego mejorado.
Resinas del ac. Hct	Resistencia al fuego, anticorrosión.
Resinas al MMA	Estratificados para el transporte, placas, cúpulas.

**Nota.** Fuente: (QUIMINET.COM, 2007).

Según (Taborda-Rios, Cañas-Mendoza, & Tristancho-Reyes, 2017), manifiesta que se llevó a cabo una caracterización mecánica de dos tipos de materiales compuestos: resina poliéster

reforzada con hebras de vidrio y resina poliéster reforzada con hebras de bambú. Se realizaron ensayos de tracción, flexión e impacto siguiendo las normas internacionales ASTM. Las hebras de bambú fueron obtenidas de forma manual y para mejorar la compatibilidad matriz de poliéster/ hebras, fueron sometidas a un tratamiento químico con hidróxido de sodio al 5 % en masa. Las muestras fueron elaboradas con concentraciones en masa de hebras de bambú de 11.07, 13.53 y 16.23 % y para poliéster reforzado con hebras de vidrio de 10.11, 14.77 y 19.19 %. Las propiedades mecánicas de estos materiales compuestos fueron comparadas con la matriz de poliéster sin refuerzo con el fin de conocer el aporte mecánico que le hacen las hebras a la matriz.

### **Materiales compuestos**

Resultan de la combinación o formación de dos o más materiales con el propósito de obtener otro material con diferentes propiedades, que diferencian en su forma y composición, sin que exista reacción química entre ellos (Nowell, 2011).

Las hebras naturales o fragmentos de hebras cuyo origen se encuentra en la naturaleza o cultivadas en diferentes campos, son utilizadas como refuerzo en la manufactura de un material compuesto de la misma manera que una hebra artificial. Algunos ejemplos de las hebras más utilizadas son: abacá, kenaf, cáñamo, lino, yute y ramina (Escobar, 2018).

Entre las características principales de los materiales compuestos con el fin de conseguir una combinación de propiedades, flexibilidad y peso de un polímero con la misma resistencia de una cerámica o la misma similitud, se logra mediante la combinación razonada de dos o más materiales diferentes, materiales que encontramos en la naturaleza como madera (hebras de celulosa flexible rodeadas y sostenidas por la lignina que es rígida), huesos (Colágeno suave, mineral duro y frágil). De los materiales compuestos se destaca la alta resistencia en relación a su

peso, baja densidad, alta resistencia dieléctrica, resistencia a la corrosión, buen comportamiento a la fatiga, reducción de costes de mantenimiento entre otras (Bizarro, 2018).

### Clasificación de los materiales compuestos

De acuerdo a (Materiales D. G., 2018) establece la siguiente clasificación.

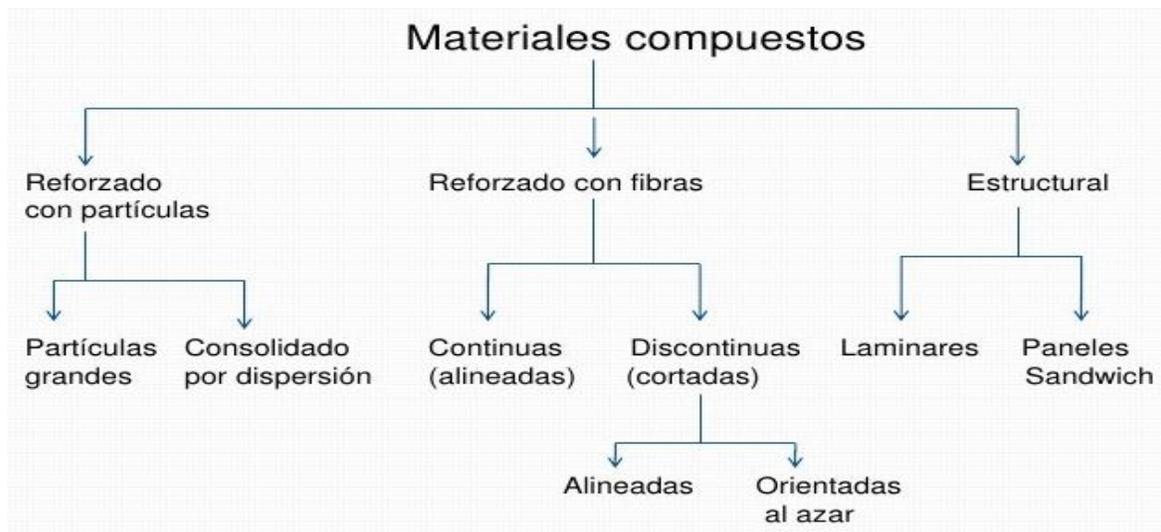


Figura 1. Clasificación de materiales compuestos reforzados con hebras (Materiales D. G., 2018).

### Materiales reforzados con hebras

Estos materiales poseen morfologías variadas con diferentes orientaciones y características como se puede apreciar en la figura 2. Las hebras cortas suelen tener orientaciones aleatorias, las hebras continuas una orientación anisotrópica deliberada y las hebras tejidas poseen orientaciones largas con combinaciones horizontales y verticales. (Materiales U. , 2017).

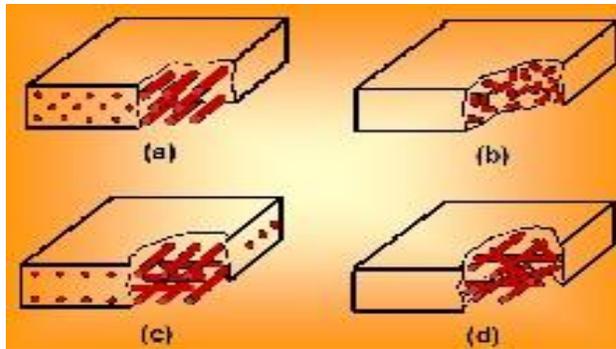


Figura 2. Morfologías de compuestos reforzados con hebras. a) Hebrass continuas unidireccionales. b) Hebrass discontinuas orientadas al azar. c) Hebrass ortogonales o tejidos. d) Hebrass en capas múltiples.  
(*Materiales U. , 2017*).

### Componentes del material agregado

Un material agregado consta de dos o más componentes y se diferencia del resto de materiales porque sus propiedades del material final son superiores a las que tienen los materiales constituyentes por separado. Los materiales agregados poseen dos fases; una continua llamada matriz y otra dispersa denominada refuerzo. El refuerzo proporciona propiedades mecánicas al material agregado y la matriz la resistencia térmica como ambiental. Matriz y refuerzo se encuentran separadas por la interfase, como se muestra en la figura 3. (*Tecnología de los Plásticos, 2011*).

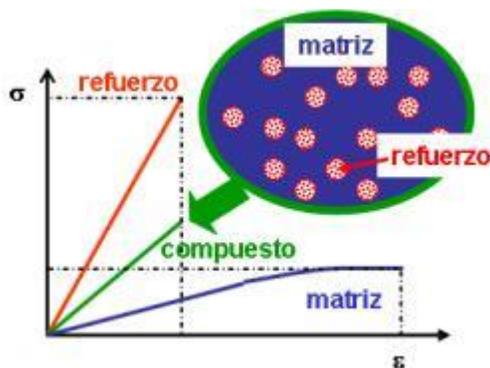


Figura 3. Elementos de un material compuesto  
(*Callister, 2009*).

## **Matriz**

Es la fase que contiene a los elementos de refuerzo, brindando consistencia y continuidad al material además distribuye los esfuerzos entre las hebras y las mantiene unidas.

En un material agregado la matriz desempeña distintas funciones, una de ellas es la fase continua, la que se encarga de englobar y sostener los elementos de refuerzo concediendo consistencia y continuidad al material. Entre las principales funciones se tiene las siguientes:

- Definir las propiedades físicas y químicas
- Transmitir las cargas aplicadas al refuerzo
- Proteger y brindar cohesión al refuerzo
- Cubrir al refuerzo de humedad
- Definir la confortabilidad y acabado superficial del material (Guerrero & Dávila, 2011).

## **Tipos de matrices**

Existen varios tipos de matrices constituida por polímero y reforzada por algún tipo de hebras con excelentes propiedades mecánicas, resistentes a la corrosión y agentes químicos. En función presentan o no reticulaciones podemos dividirlos en Matrices Poliméricas, Matrices Metálicas, Matrices Cerámicas, Matrices Termoestables, Matrices Termoplásticas. (Mazón Ortiz, 2017).

## **Matriz polimérica**

Un compuesto con matriz polimérica, CMP (en inglés PMC), es un material agregado de un polímero incorporado a una fase de refuerzo con hebras o polvos. Se fundamenta en realizar un concentrado a base de hebras, partículas u hojuelas. Son los más importantes a nivel comercial de las tres clases de compuestos sintéticos (Linares, 2009).

## **Matriz Metálica**

Las matrices metálicas en algunas ocasiones sustituyen a las matrices poliméricas porque poseen propiedades, resistentes a la temperatura, conductividad térmica y eléctrica. Dichos compuestos de matriz metálica son utilizados en la industria aeronáutica y aeroespacial debido a que presentan resistencia a la temperatura y la abrasión. Las matrices más utilizadas son aquellos que presentan baja densidad y los más utilizados son: aluminio, magnesio y titanio. (Antigüedad, 2008).

## **Refuerzo**

Un refuerzo es básicamente un compuesto que permite absorber las tensiones e incrementar la rigidez y la resistencia del conjunto. En los materiales agregados se emplean dos tipos de refuerzos: (Ingemecánica, 2016)

- Refuerzos discontinuos (partículas o hebras cortas).
- Refuerzos continuos (hebras largas, o tejidas).

## **Tipos de refuerzos**

Se clasifican en dos tipos de refuerzo:

### **Refuerzos discontinuos**

Existen diferentes tipos de refuerzo discontinuo en los materiales agregados, estos suelen ser en forma de partícula, forma de plaqueta, hebras discontinuas. Estos se suelen utilizar para aplicaciones donde exista menor esfuerzo estructural, entre las principales características de cada tipo tenemos las siguientes:

### **Partículas**

Son elementos de refuerzo que contienen propiedades físicas y químicas pero el resultado que se consigue no es muy elevado. El comportamiento mecánico en este tipo de

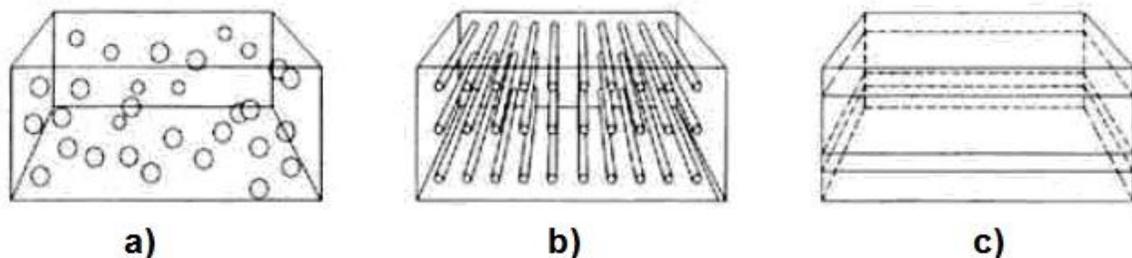
materiales suele ser isótropo, y son los materiales menos costosos y de más fácil fabricación de todos los materiales agregados. Cuando las partículas de refuerzo son cerámicas se consigue incrementar la rigidez y la temperatura de servicio de las matrices metálicas, mientras que el empleo de partículas dúctiles aumenta la tenacidad de fractura en matrices frágiles.

### **Plaquetas**

Con el empleo de plaquetas se obtiene un cambio en las propiedades mecánicas, pero su resultado que se obtiene no es elevado, pero alcanza un mejor grado de compactación. Al ser este tipo de refuerzo aproximadamente bidimensional permiten ofrecer prácticamente igual resistencia en su plano.

### **Hebras cortas**

Con la utilización de hebras cortas. Los materiales compuestos reforzados con hebras tienen naturaleza anisótropa, ofreciendo excelentes propiedades en la dirección de las hebras, como se pueden apreciar en la figura 4.



*Figura 4.* Tipos de materiales agregados según el refuerzo: a) Compuesto por partículas; b) Compuesto fibroso; c) Compuesto laminado. (Ingemecánica, 2016).

### **Refuerzos continuos**

Existen también diferentes clases de refuerzo de tipo continuo para los materiales agregados como son, forma de hebras continua (su longitud es mayor que la sección transversal). De forma

de tipo laminado (formado por una o varias láminas) y por último refuerzos en forma de tejido (estructura en forma de sándwich, porque esta relleno de diferentes materiales). Las características principales de cada tipo son las siguientes:

**Hebras largas:** son aquellas que tienen la forma de hilo en las que existe su relación  $L/D > 100$ , siendo "L" longitud de la hebras y "D" el diámetro de su sección.

**Laminados:** se forman a partir de la repetición de un número finito de láminas con diferentes orientaciones. En este caso, cada lámina puede ser un material (hebras corta, hebras larga o tejido de dos dimensiones).

**Tejidos:** tipo de refuerzo que presenta una elevada rigidez y resistencia a esfuerzos de flexión, así como una alta capacidad de aislamiento.

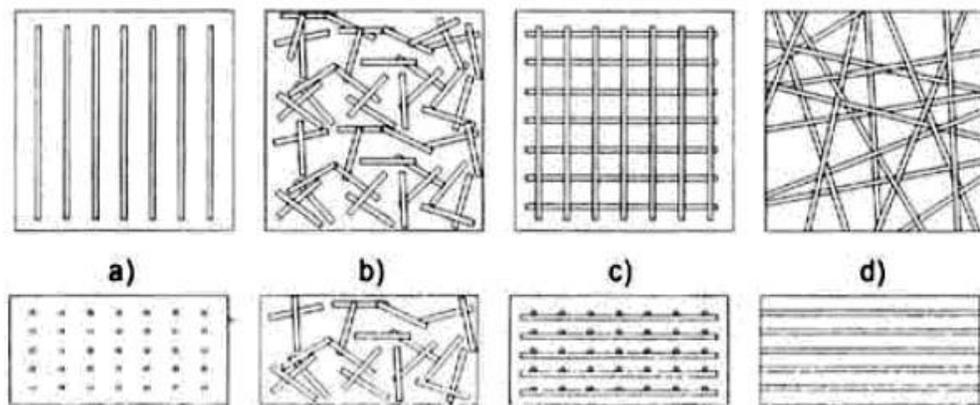


Figura 5. Refuerzos de tipo continuo para materiales compuestos. (Ingemecánica, 2016).

### Materiales compuestos de resina reforzados con hebras

En la tabla 4 se detallan las propiedades comparativas entre las matrices de poliéster y epoxi:

Tabla 4.

*Propiedades físicas y mecánicas de resina de poliéster y epoxi.*

<i>Propiedad</i>	<i>Poliéster</i>	<i>Epoxi</i>
Tensión de rotura (MPa)	40 - 90	55 – 130
Módulo de elasticidad a tracción (GPa)	2,0 - 4,4	2,8 – 4,2
Límite elástico a flexión (MPa)	60 – 160	125
Resistencia al impacto (J/m) (ensayo de Izod de barra dentada)	10,6 - 21,2	5,3 – 53
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1,1 - 1,46	1,2 – 1,3

**Nota.** Fuente: (Ingemecánica, 2016).

Según Slah Msahli (2015) estudió el efecto del tratamiento de las hebras, la estructura del refuerzo y la relación de peso de hebras sobre las propiedades de flexión de los compuestos de Typhana-polyester. Se fabricó una matriz de poliéster insaturado reforzada con una mezcla de hebras de hoja de Typhana y hebras de hoja de Typhana no tejidas, con diversas condiciones de tratamiento como agua de mar, álcali y tratamiento combinado, y peso de hebras proporción. Los resultados muestran que el tratamiento con álcali y el proceso combinado proporcionaron mejores propiedades mecánicas de los compuestos en comparación con la hebra tratada con agua de mar. La relación de peso de las hebras influyó en las propiedades de flexión de los materiales compuestos de tal manera que sus valores aumentan después del tratamiento con álcali. De hecho, se observó un valor máximo de resistencia a la flexión (69,8 MPa) y módulo de flexión (6,16 GPa) para una proporción en peso de hebras del 12,6%. La resistencia a la flexión aumenta en un 65,32 % y 50,66 % respectivamente para el tratamiento combinado y alcalino. Por lo tanto, el material compuesto desarrollado puede utilizarse para aplicaciones tales como partes de automóviles, construcción de edificios, entre otros. (Msahli Slah, 2015).

Estableció FAO. (2009) “El año internacional de las hebras naturales 2009”, en su reporte anual destaca la producción de hebras naturales en nuestro país ubicándolo como el segundo. Productor mundial de abacá después de Filipinas con aproximadamente 10.000 toneladas anuales. El primer encuentro nacional de productores y artesanos de hebras naturales realizada en Maldonado en el año 2000, identifica la zona ecuatoriana de cultivo de abacá y lo ubicada dentro de un polígono, cuyos vértices más notables son: Quinindé, Santo Domingo de los Tsáchilas, Quevedo y La Maná.

Tabla 5.  
*Composición química de Agave.*

<b>Componente Químico</b>	<b>Composición ( % base seca)</b>
Celulosa	$17.72 \pm 0.68$
Hemicelulosa	$17.15 \pm 0.91$
Lignina soluble	$3.64 \pm 0.34$
Lignina insoluble	$3.68 \pm 0.21$
Cenizas	$12.45 \pm 0.88$
Extractivos	$45.34 \pm 1.2$

**Nota.** Fuente: (INKANAT, 2018).

### **Diseño asistido por computadora (CAD)**

El diseño asistido por computadora muestra un proceso completo sobre la fabricación de un determinado producto mostrando características como tamaño, contorno, forma, textura, etc. Todo esto se almacena en la unidad de memoria en la computadora en dibujos bidimensionales o tridimensionales, de esta manera el usuario puede realizar distintas modificaciones para perfeccionar su diseño, forma, modelo o incluso verificar si los materiales son aptos para la construcción por medio de análisis dinámicos e incluso posee una gran ventaja al momento de vender, acorde a las necesidades del cliente y de esta manera se facilita la fabricación con operarios humanos (Copyright, 2015).

## Tipos

**CAD Analítico:** usa algoritmos analíticos para definir sus límites o acciones. Surgieron después de los primeros métodos gráficos por necesidad de cuantificar y permitir evaluar los resultados de las variables que involucra el diseño estructural, los dibujos o trazos son almacenados en la memoria de la computadora como un grupo de pixeles, en programas de renderizado y tratamiento de imágenes.

**CAD Paramétrico:** un programa paramétrico de CAD difiere básicamente de la información visual porque es parte de la información disponible en el banco de datos, o sea, una representación de la información como un objeto, en la memoria de la computadora. (Ecured, 2018).

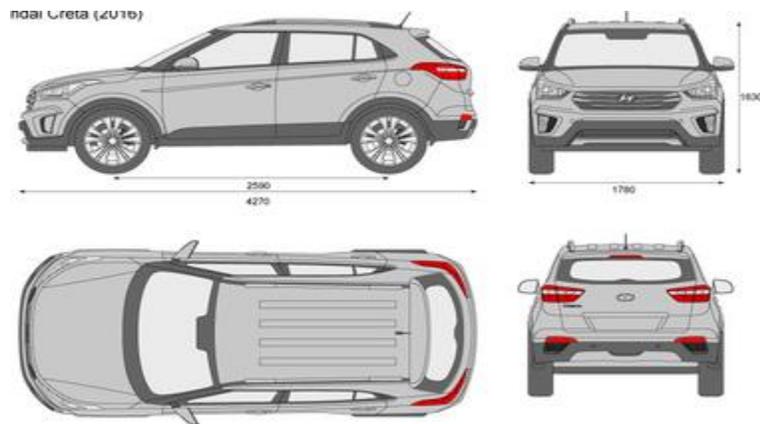


Figura 6. Carcaza de un vehículo ilustrada en CAD.  
(AutoCAD (.dwg), 2018).

## **Método**

Para alcanzar los objetivos propuestos dentro de la investigación, se debe determinar los parámetros por los cuales se va a llevar el estudio, es por tal razón que el presente trabajo se desarrolla en dos fases, la primera fase es la investigación exploratoria y la segunda es experimental con el desarrollo del estudio para alcanzar los objetivos planteados.

Se detallan los métodos aplicados para el desarrollo del proyecto que consiste en la elaboración de probetas a base de material agregado de matriz Polimérica reforzado con hebras de agave americana Marginata para la obtención de sus propiedades mecánicas experimentalmente, los equipos utilizados, ordenación y tabulación de datos recogidos mediante el análisis de los resultados de ensayos realizados a flexión, tracción e impacto.

### **Tipo de Investigación**

En el presente proyecto a desarrollar se utilizará un tipo de investigación aplicada porque facilita encontrar mecanismos o estrategias para lograr un objetivo concreto, en este caso es encontrar la solución a reemplazar los plásticos ABS en las autopartes de vehículos a base de materiales mixtos con similares características y que sean degradables después de haber concluido su vida útil, conseguir un elemento o bien que pueda ser de utilidad, específico y muy delimitado, porque no se trata de explicar una amplia variedad de situaciones, sino de encontrar abordar un problema específico (Mimenza, 2017).

De tipo cuantitativo porque es un procedimiento de decisión a ser tomado, entre ciertas alternativas, entre los elementos que conforman el problema (Ortiz E. Z., 2018). 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 afirman:

“La investigación descriptiva indaga especificar propiedades, características y rasgos relevantes de fenómeno que se analicen, dependiendo su forma” (Flores, 2003, p.119).

En el análisis de los resultados producto de los ensayos destructivos, en la descripción, comparación de los resultados producto de las simulaciones en software de ingeniería a cada una de las microestructuras, como esfuerzo de fluencia, esfuerzo último a tensión, esfuerzo último a fractura, % de elongación, % de reducción de área y coeficiente de endurecimiento por deformación.

De tipo transversal ya que es un método no experimental para recoger y analizar datos en un momento determinado, de esta forma poder tomar decisiones inmediatas y factibles acerca de las ventajas o beneficios que brinde el material compuesto para la fabricación de autopartes mecánicas.

De tipo exploratoria ya que permite profundizar la investigación acerca del material a ser reforzado en este caso características específicas del agave y la resina de poliéster, porcentajes idóneos al realizar las mezclas.

### **Origen del agave Americana Marginata**

Agave americana marginata, el agave amarillo o pita, es una planta perenne perteneciente a la familia Agaváceas. Originaria de México y el sur de Estados Unidos, se ha distribuido

mundialmente como planta ornamental y naturalizado en muchas regiones, desde Sudamérica, Cuenca mediterránea (Jiménez & Rubén, 2018).



Figura 7. Planta de agave americana Marginata. (Cactus Art Nursery, 2017)

### Composición química del agave

El Agave presentó un alto contenido de sólidos (33%). Estos compuestos son de gran importancia para la obtención de jarabes, en la siguiente tabla 6 se muestran las principales características:

Tabla 6.  
Porcentajes de humedad, azúcares y proteínas

Porcentaje de humedad	Porcentaje de azúcares	Porcentaje de proteínas
Humedad 67%	75 Partes de Fructosa (índice glucémico bajo por lo que es apropiado para diabéticos).	5,30 % gr. de extracto no nitrogenado.
Sólidos solubles 33%	25 Partes de Glucosa.	0,4% de proteínas como:
(Celulosa 36.20%	5 Partes de Inulina	lisina, triptófano, histidina,
Fructano 69.75%	(Índice "0").	fenilalanina, leucina, tirosina,
Lignina 17.02%).		metionina, valina y arginina

**Nota.** Fuente: (López & Díaz, 2015).

### Hojas de Agave americana Marginata

Las hojas de agave americana Marginata son del tamaño promedio de 1.10 m de largo y 0.12 m de ancho aproximado así como se pueden apreciar en la Figura 8.



*Figura 8.* Hojas de agave americana Marginata

### **Extracción de las hebras de agave (Método de extracción manual)**

La extracción de las hebras de agave se las realiza de forma manual de la siguiente manera, cortar las hojas de agave Marginata de la planta, esta labor es realizada por cualquier persona, en general hombres por la ardua labor, ya que requiere esfuerzo físico (Esparza, 2014).

Las hojas una vez cosechadas se procede a la remoción de la quilla (nervios centrales) de cada hoja de extremo a extremo (Bonilla, Trujillo, & Guerra, 2009).

A continuación, las fracciones fueron cepilladas con una cardadora metálica, y con ello se produjo la separación de las hebras del resto de materiales. El raspado de las hojas con la cardadora fue realizado en forma ordenada y secuencial, iniciando en la parte superior de la hoja, raspando y peinando hasta alcanzar una buena liberación de las hebras. Al terminar con la totalidad de la hoja, las hebras fueron sometidas a un proceso de limpieza manual para tratar de retirar el material de soporte adherido a las hebras. Finalmente, las hebras fueron colgadas para su secado (Bonilla, Trujillo, & Guerra, 2009).



*Figura 9.* Hebras de agave seca después de la extracción  
Fuente: (Díaz, 2015)

### **Medición del nivel de Humedad**

Una vez que las hebras están secas se procede a medir el nivel de humedad que poseen para esto se las debe someter a pruebas por el método de diferencia de peso, que consiste en tomar una muestra de por lo menos 100 hebras pesarlas individualmente en una balanza de precisión con una capacidad de medida de 0,0001g, colocarlas en un horno con circulación interna de aire durante 24 horas a una temperatura de 70 ° C y pesarlas nuevamente. El porcentaje de humedad en las hebras se las puede calcular con la ecuación 1 (Carrera, 2017).

$$\% \text{ de humedad} = \frac{P_H - P_O}{P_H} * 100 \quad (1).$$

Donde:

PH = Peso en humedad ambiente

PO = Peso en humedad cero, con una humedad relativa del 60 %

### **Selección y asignación de los componentes de estudio**

Para realizar los ensayos de tracción y flexión se fabricará un total de 28 probetas según la norma ASTM D 3039M – 00, ASTM D 7264M – 15, con la siguiente configuración.

A continuación se detallan las variables de procesos y sus niveles de estudio en la tabla 7.

Tabla 7.

*Variables de procesos y niveles de estudio en el proceso de caracterización del material compuesto.*

<b>Diseño, producción y caracterización de material compuesto de resina de poliéster y hebras de agave americana (Marginata).</b>		
<i>Variable</i>	<i>Niveles</i>	
<i>Material a procesar</i>	<b>Hebras de Agave Americana Marginata</b>	
<i>Caracterización Matriz compuesta (Resina de Poliéster)</i>	<b>Ensayo de Flexión (20%)</b>	<b>Ensayo de Tracción ( 20%)</b>
	ASTM D 7264M – 15	ASTM D 3039M – 00
<i>Análisis Comparativo</i>	<b>Hebras Larga Unidireccional y Hebras Tejida</b>	

**Nota.** Fuente: Autor

### **Obtención de las fracciones volumétricas del material compuesto**

Según (Arellano, Vargas, & Hernández, 2008) Las características mecánicas de una combinación de refuerzo matriz pueden ser estimadas a partir de las características de cada uno de los constituyentes. El volumen del material compuesto se expresa como la suma del volumen de la matriz ( $V_m$ ), del refuerzo ( $V_f$ ) y de la porosidad ( $V_p$ ):

$$V_t = V_f + V_m + V_p \quad (2)$$

En el caso de la masa se hace una consideración que simplifica la relación de los tres constituyentes, lo que permite expresar a la masa total ( $M_t$ ) como la suma de las masas del refuerzo ( $M_f$ ) y de la matriz ( $M_m$ ).

$$M_t = M_f + M_m \quad (3)$$

La densidad del material compuesto se expresa por una ecuación similar:

$$\rho_t = \frac{M_t}{V_t} = \frac{M_f + M_m}{V_f + V_m + V_p} \quad (4)$$

Las fracciones volumétricas, másicas y la densidad de cada constituyente se listan en la tabla 8.

Tabla 8.

*Fracciones volumétricas y densidad*

	<i>Fracción volumétrica</i>		<i>Densidad</i>	
Hebras	$V_f = \frac{V_f}{V_t}$ (5)		$\rho_f = \frac{m_f}{V_f}$ (6)	
Matriz	$V_m = \frac{V_m}{V_t}$ (7)		$\rho_m = \frac{m_m}{V_m}$ (8)	
Porosidad	$V_p = \frac{V_p}{V_t}$ (9)			

**Nota.** Fuente: (Arellano, Vargas, & Hernández, 2008).

### Construcción de los moldes

Los moldes son fabricados de acero ASTM A36, como se aprecia en la Figura 10.

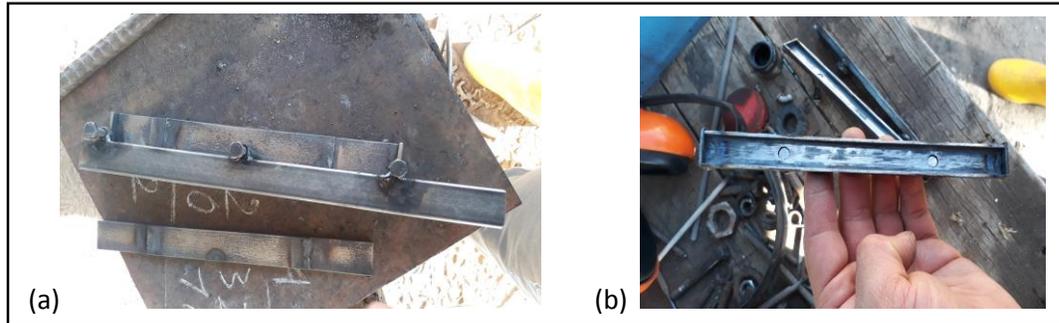


Figura 10. Construcción de moldes (a) ensayo a tracción y (b) ensayo a flexión

### Fabricación de las probetas con material compuesto

Para la fabricación de las probetas con material compuesto se diferencian dos tipos con fibra larga y fibra tejida.

a.- Fibra continua larga



Figura 11. Probetas fibra continua larga

**b.- Fibra tejida**

Figura 12. Probetas fibra tejida

**Ensayo de resistencia a Tracción**

Según (Berrocal, 2018), el ensayo de tracción de un material consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la misma. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente. Las velocidades de deformación en un ensayo de tensión suelen ser muy pequeñas ( $\dot{\epsilon} = 10^{-4}$  a  $10^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

Para este tipo de ensayo según la norma ASTM D 3039M – 00, se utilizaran un promedio de 7 probetas con diferentes configuraciones tanto en forma unidireccional y tejida, en la figura 13.

Se detallan las dimensiones de la probeta para este tipo de ensayo.

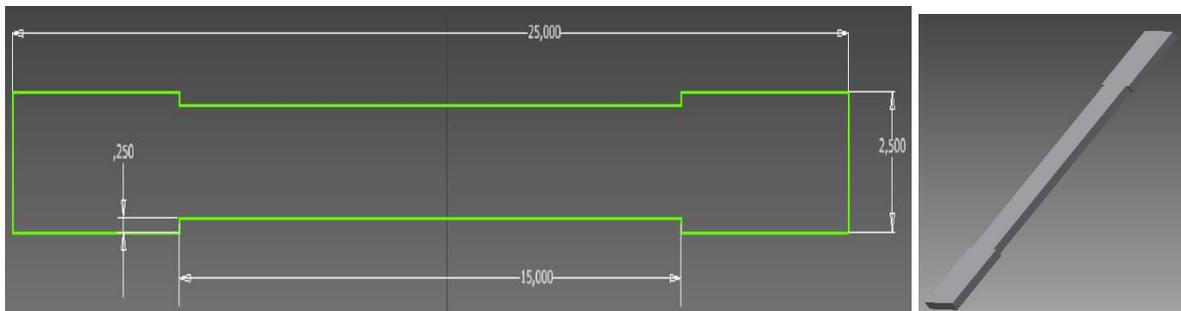


Figura 13. Ensayo de resistencia a la geometría del espécimen. *ASTM D 3039M – 00*. (Naevarez, 2013)

De igual manera se puede determinar diferentes propiedades como se detallan en las siguientes ecuaciones:

Esfuerzo máximo mediante la ecuación 5.

$$\delta_{max} = \frac{F}{A} \quad (5)$$

Donde:

$\delta_{max}$  = Esfuerzo máximo (Mpa)

$F$  = Fuerza máxima (kgf, N)

$A$  = Área de la sección transversal  $mm^2$

Deformación mediante la ecuación 6.

$$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \quad (6)$$

Donde:

$\epsilon$  = Deformación

$l_f$  = Longitud final.

$l_o$  = Longitud inicial

Módulo de elasticidad o módulo de Young mediante la ecuación 7.

$$E = \frac{\delta_{max}}{\epsilon} \quad (7)$$

Donde:

$E$  = Módulo de elasticidad (Mpa)

$\delta_{max}$  = Esfuerzo máximo (Mpa)

$\epsilon$  = Deformación

Conociendo la densidad de la fibra que es de  $0.050 \text{ g.cm}^3$ , el área se puede calcular mediante la ecuación 8.

$$A = \frac{J_{lineal}}{J_{fibra}} \quad (8)$$

Donde:

$A$  = Area de la fibra

$J_{lineal}$  = Densidad lineal

$J_{fibra}$  = Densidad de la fibra

Realizando este procedimiento también se puede encontrar el diámetro de la fibra con la ecuación 9.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} \quad (9)$$

Donde:

$D$  = Diámetro de la fibra

$A$  = Área de la fibra

### **Ensayo de resistencia a Flexión**

Método para medir el comportamiento de los materiales sometidos a la carga de la viga simple. Con algunos materiales, también se denomina ensayo de la viga transversal. La probeta está soportada por dos cuchillas como viga simple y la carga se aplica en su punto medio. El esfuerzo máximo de la fibra y la deformación máxima se calculan en incrementos de carga. Los resultados se trazan en un diagrama carga-deformación y el esfuerzo máximo de la fibra es la resistencia a la flexión. Se presenta la resistencia de fluencia de la flexión en aquellos materiales que no se rompen (Gharagozlou, 2018).

En el ensayo a flexión se realiza las probetas según las norma ASTM D 7264M – 15 que permite obtener dimensiones estándar como se muestra en la figura 14.

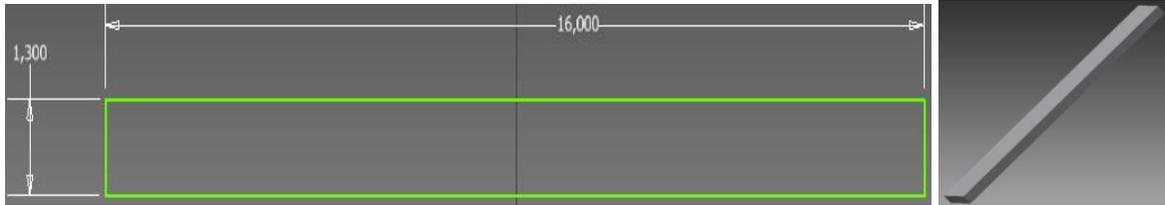


Figura 14. Ensayo de Flexión en tres puntos según la norma ASTM D 7264M – 15  
Fuente: (Pérez, 2015)

Deformación máximo a flexión se determina mediante la ecuación 10.

$$\delta_{maxf} = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (10)$$

Donde:

$\delta_{maxf}$  = Esfuerzo máximo de flexión (MPa)

F = Fuerza aplicada (N)

L = Longitud (mm)

h = altura de la probeta (mm)

b = ancho de la probeta (mm)

Deflexión máxima aquella que sufre una viga al ser sometida por una fuerza en forma perpendicular, para ser calculada se utiliza la ecuación 11.

$$Y_{max} = \frac{FL^3}{4bh^3Q} \quad (11)$$

Donde:

$Y_{max}$  = Deformación máxima (MPa)

F = Fuerza aplicada (N)

L = Longitud (mm)

h = altura de la probeta (mm)

b = ancho de la probeta (mm)

Q = Deflexión de la probeta (mm)

## Equipos y Materiales

Los equipos y materiales para el estudio y constitución de las probetas de material compuesto de hebras de agave americana Marginata se detallan a continuación:

### Equipos

Los equipos utilizados son los siguientes: Máquina de Prueba Universal Multi-parámetros para materiales (figura 15), calibrador pie de rey (figura 16), moldes de las probetas (figura 17).



Figura 15. Máquina Universal150LS  
Fuente: (Olsen, 2019)

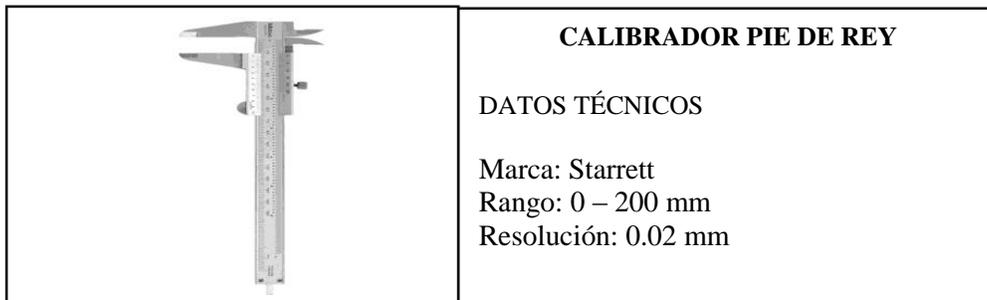


Figura 16. Calibrador Pie de Rey

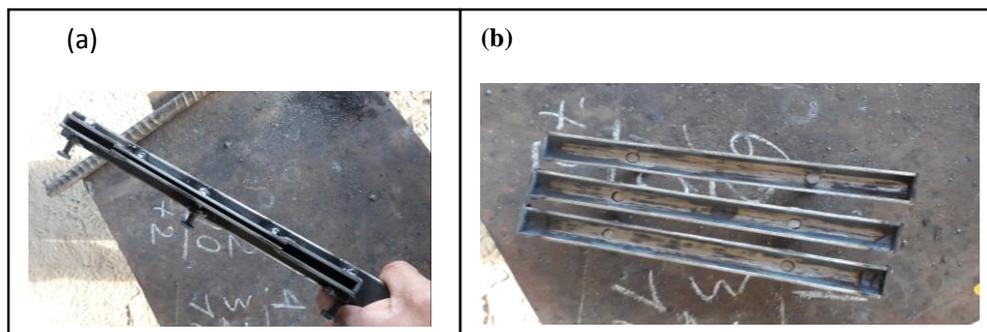


Figura 17. Moldes de probetas para ensayos (a) Tracción (b) Flexión.

## Materiales

Para la fabricación de las probetas se utilizan diferentes componentes: resina de poliéster Basf Palatal A430 (figura 18a), octoato de cobalto (figura 18b), peróxido MEK (figura 18c), Estireno (figura 18d) y cera desmoldeante (figura 18e).



Figura 18. Materiales para la fabricación de las probetas (a) resina de poliéster Basf Palatal A430, (b) Octoato de cobalto, (c) Peróxido MEK, (d) Estireno y (e) Cera desmoldeante.

En la figura 18(a) la resina de poliéster Basf Palatal A430 presenta una buena resistencia mecánica, química y una alta resistencia a la compresión. Es un líquido sumamente viscoso que

es utilizado por lo general en las áreas de la industria aeronáutica, automotriz, caracterización de nuevos materiales con diferentes tipos de fibras naturales o sintéticas.

A la resina de poliéster se le adiciona Octoato de cobalto figura 18 (b) que actúa como un acelerante para el respectivo secado a temperatura ambiente, a esa mezcla se le añade Peróxido Mek figura 18(c), es un catalizador cuya función es homogenizar la mezcla, al momento de iniciar el trabajo se agrega unas cuantas gotas dependiendo la aplicación, se emplea como disolvente diluyente estireno figura (d) que permite romper el doble enlace y une a los átomos que lo forman, mejorando sus características físicas y químicas. Una vez realizado todo el proceso de mezclado se utiliza cera desmoldante figura (e) en los moldes para generar un mejor desprendimiento entre las superficies en contacto (probeta y molde).

En la tabla 9 se presentan los porcentajes adecuados para obtener probetas de mejor calidad, siguiendo los estándares certificados por la empresa Pintulac.

Tabla 9.

*Porcentajes de los componentes a ser utilizados en la resina de poliéster*

<i>Componentes</i>	<i>Porcentaje a ser Utilizado</i>
Peróxido MEK	1%
Octoato de Cobalto	0,40%
Estireno	10%

**Nota.** Fuente: (Pintulac, 1984 - 2018).

Como podemos observar en la figura 19 tenemos una probeta a flexión realizada bajo los componentes anteriormente mencionados y cumpliendo los parámetros del manual de Pintulac.



Figura 19. Probeta a flexión bajo los porcentajes de la empresa Pintulac

### Procedimiento experimental

A continuación se muestra un diagrama que reúne todo el proceso a desarrollar en el presente proyecto de investigación.

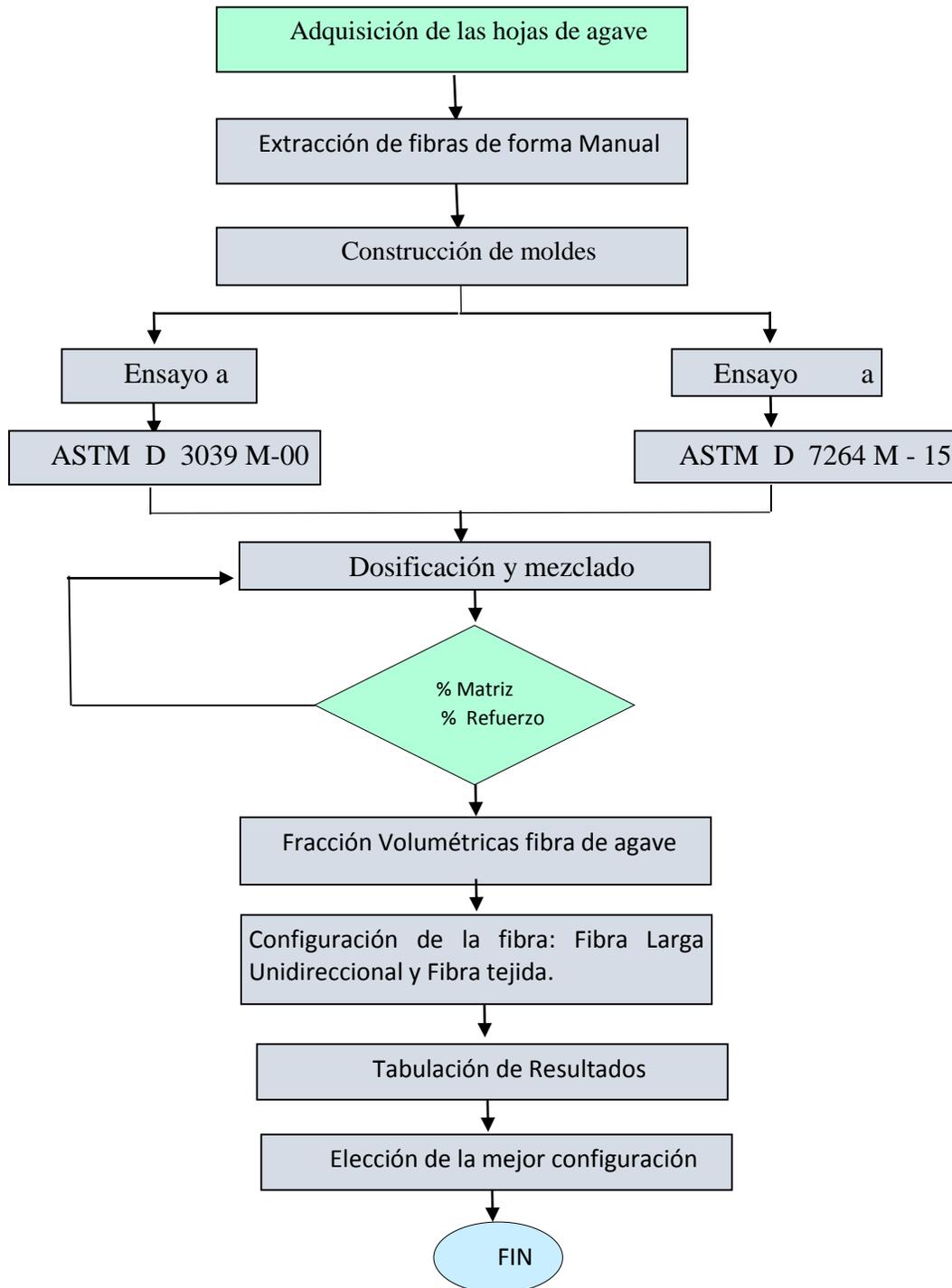


Figura 20. Diagrama del proceso experimental de la caracterización del material compuesto

### Proceso de fabricación de probetas

Para la construcción de las diferentes probetas se realiza el diseño de los moldes bajo las dimensiones respectivas que manifiestas las normas ASTM 3039M – 00 y ASTM 7264 M -15.

El proceso de fabricación de las probetas es el siguiente:

- a) Se coloca cera desmoldante en todos los moldes.
- b) Preparación de la resina de poliéster con sus diferentes componentes:



Figura 21. Resina de poliéster con los diferentes porcentajes.

Tabla 10.

*Porcentajes por fracción de componentes para la resina de poliéster*

<i>Estireno</i>	<i>5% x 1kg</i>
<i>Octoato de Cobalto</i>	<i>1 % x 1kg</i>
<i>Peróxido de MEK</i>	<i>1 % x 1kg</i>

**Nota.** Fuente: (PINTULAC, 2018)

- c) Colocar el refuerzo en los moldes (fibras de agave).
- d) Colocar la mezcla de resina de polyester más sus respectivos componentes (tabla 10).
- e) Esperar su solidificación y proceder a desmoldear.

### **Fabricación del Prototipo**

Para elaborar el prototipo se utilizará un molde de fender flares delantero de la camioneta Chevrolet Dmax, adquirido en el mercado, a partir del molde se detalla a continuación los pasos a seguir para la fabricación del parachoques.

1. Limpieza del molde
2. Aplicar cera desmoldante al molde con un mínimo de 5 capas para garantizar el desmolde del prototipo.
3. Elaborar el refuerzo de fibra de totora con la mejor configuración en el porcentaje utilizado en los ensayos (Tracción y flexión).
4. Preparar la matriz de resina de poliéster y catalizador con las mismas concentraciones de volumen usadas en los ensayos (Tracción y flexión).
5. Realizar un pre mojado de la fibra de totora con la resina poliéster
6. Aplicar con una brocha una capa fina de resina preparada en el molde
7. Colocar el material de refuerzo respetando la forma del molde
8. Consecutivamente aplicar con una brocha otra capa fina de resina para que el refuerzo absorba todos los componentes.
9. Dejar secar por al menos unas 6 horas a temperatura ambiente para volver aplicar otra capa de resina y refuerzo donde se observe que sea necesario.
10. Desmóldelo del prototipo

En la figura 22 se muestra el proceso de construcción del fender flares delantero de la camioneta Chevrolet Dmax.



Figura 22. Proceso de construcción del fender flares delantero

### Datos estadísticos

Una vez recolectados los datos correspondientes a las diferentes variables se procede al análisis e interpretación de los mismos.

### Media aritmética o promedio

“La media aritmética es el valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número de datos” (VITUTOR, s.f.).

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{N} = \frac{\sum x_i}{N} \quad (11)$$

Donde:

$\bar{X}$  = Promedio

$X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n$  = Datos

$N$  = Total de datos

### Desviación estándar

“Esto significa que la desviación estándar es igual a la raíz cuadrada de la diferencia entre el promedio de los cuadrados de los valores y el cuadrado del valor promedio” (Reserved., 2017).

$$D_{estandar} = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{X})^2 + \dots + (x_n - \bar{X})^2}{N}} \quad (12)$$

Donde:

$$D_{estandar} = Desviación\ estándar$$

$\bar{X}$  = Promedio

$$(x_1 - \bar{X})^2 + \dots + (x_n - \bar{X})^2 = \text{Datos}$$

$N$  = Total de datos

### Método de elementos finitos (FEM o MEF)

Método de elementos finitos es un método de aproximación de problemas continuos, donde se divide un número finito de partes “elementos”, cuyo comportamiento se especifica mediante un número finito de parámetros “nodos” (Valero, 2004).

Dentro de los parámetros establecidos para el desarrollo de la investigación de la autoparte mecánica fender flares se utiliza el software Ansys, un entorno de estudio de estructuras y volúmenes bajo la teoría de elementos finitos, para verificar su comportamiento en forma dinámica sobre impacto frontal con diferentes materiales ya anteriormente caracterizados.

### Post-procesado Mallado

Para determinar la calidad de mallado Ansys presenta un valor entre 0 siendo la mayor calidad y 1 la peor mediante un factor de oblicuidad, como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11.

*Espectro de métricas de malla: Oblicuidad*

<i>Excelente</i>	<i>Muy Buena</i>	<i>Buena</i>	<i>Aceptable</i>	<i>Malo</i>	<i>Inaceptable</i>
<i>0 - 0,25</i>	<i>0,25 - 0,50</i>	<i>0,50 - 0,80</i>	<i>0,80 - 0,94</i>	<i>0,95 - 0,97</i>	<i>0,98 - 1,00</i>

**Nota.** Fuente: Calidad de mallado según Ansys R19.2 Academic

### Modelado 3D Fender Flares

El diseño del fender flares se lo realiza en Inventor 2018, considerando las dimensiones y características de la autoparte original de la camioneta Chevrolet Dmax 2012, para luego proceder con su respectiva simulación mediante la utilización del software estudiantil Ansys como se muestra en la siguiente figura 22.

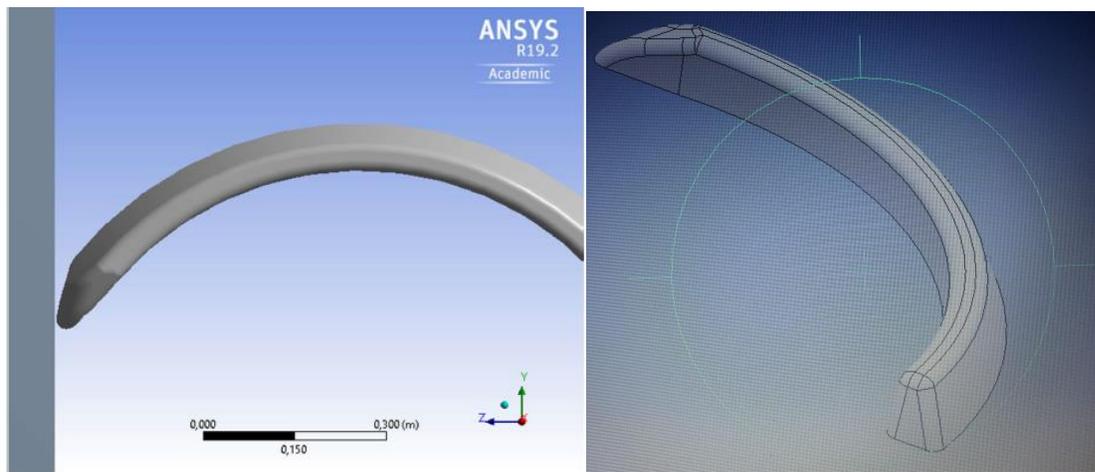


Figura 23. Modelado 3D Fender Flares

### Análisis de Impacto

Para determinar sus diferencias entre el material compuesto (mixto), ABS y fibra de agave se ha efectuado pruebas de impacto (simulación dinámica), mediante la norma EURO NCAP TRANS-WP29-GRSP-2003-11e con el fin de obtener datos reales acerca del comportamiento de dichos elementos, que serán analizados para verificar si son válidos y factibles para la construcción de la autoparte automotriz.

Tabla 12.

Especificaciones Norma EURO NCAP TRANS-WP29-GRSP-2003-11e

<b>Tiempo</b>	<b>5 a 10 segundos</b>
Velocidad	55 km/h o 15,5 m/s
Coefficiente de Fenómenos Hourglass	0,1
Pared (Muro)	60 Toneladas

Nota: Fuente (NCAP, 2004)

### Mallado por elementos finitos

Para una correcta simulación hay que definir diferentes parámetros, como son la geometría de la figura y verificar que su ratio sea bueno. En este caso se realiza bajo las condiciones de un número de 11772 nodos y 13032 elementos.

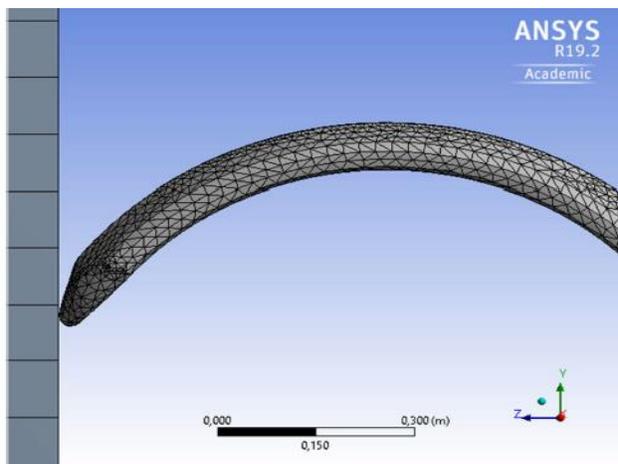


Figura 24.  
Mallado autoparte mecánica fender flares delante

### Validación de resultados (Proceso metodológico)

Los procesos que se utilizaron en el desarrollo de la presente investigación están basados en simulaciones en software y pruebas en máquinas universales de ensayo donde todos los valores encontrados están en la fase de análisis de resultados.

### Software Matlab

Para la validación de los resultados obtenidos mediante la herramienta de ANSYS, se utiliza un software con versión R2017a con un lenguaje de programación disponible para la plataforma Window, donde se implementa un algoritmo secuencial utilizando librerías, caja de herramientas (toolboxes).

### Matriz esfuerzo – deformación

Para calcular los esfuerzos y deformaciones se procede a construir la matriz específica para análisis de materiales isotrópicos que se detalla a continuación.

$$\begin{Bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \\ Jxy \\ Jyz \\ Jzx \end{Bmatrix} = E \begin{Bmatrix} 1 & -P & -P & 0 & 0 & 0 \\ -P & 1 & -P & 0 & 0 & 0 \\ -P & -P & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2(1+P) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1+P) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1+P) \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathcal{E}x \\ \mathcal{E}y \\ \mathcal{E}z \\ \lambda xy \\ \lambda yz \\ \lambda zx \end{Bmatrix}$$

Donde:

P = Relación de Poisson

E = Módulo de elasticidad

$\delta$  = Esfuerzo normal

J = Esfuerzo cortante

$\mathcal{E}$  = Deformación normal

$\lambda$  = Deformación cortante

### Programa Matlab esfuerzo – deformación

A continuación se detallan los comandos utilizados para la elaboración del programa que permite realizar los cálculos de los esfuerzos y deformaciones para los tres materiales, Compuesto Mixto ganador de resina de poliéster y fibra de agave, material original elaborado el fender flares plástico ABS y análisis de resina al 100%.

```

clc                                     % Limpia la pantalla del Command
for i=1:1                               % Bucle
M.Elasticidad(i)=input('M. Young(N/mm2):_'); % Valor Módulo de Young
end
for i=1:1
Relacion.Poisson(i)=input('Coeficiente de Poisson:_'); % Valor Coeficiente de Poisson
end
for i=1:1
Sxx(i)=input('Tensión unitaria Tensor X-X:_'); % Valor tensión Unitaria en X
end
for i=1:1
Syy(i)=input('Tensión unitaria Tensor Y-Y:_'); % Valor tensión Unitaria en Y
end
for i=1:1
Szz(i)=input('Tensión unitaria Tensor Z-Z:_'); % Valor tensión Unitaria en Z
end
for i=1:1
Txy(i)=input('Tensión unitaria Tensor X-Y:_'); % Valor tensión Unitaria en XY
end
    for i=1:1

Tyz(i)=input('Tensión unitaria Tensor Y-Z:_'); % Valor tensión Unitaria en YZ
end
for i=1:1
Tzx(i)=input('Tensión unitaria Tensor X-Z:_'); % Valor tensión Unitaria en XZ
end
disp('Matriz de Strai-Stress Relations'); % Matriz esfuerzo deformación
M1=[1 -Pt -Pt 0 0 0; -Pt 1 -Pt 0 0 0; -Pt -Pt 1 0 0 0; 0 0 0 (2*(1+Pt)) 0 0; 0 0 0 0 (2*(1+Pt)) 0; 0 0 0 0 (2*(1+Pt))]
disp('Matriz de Tensores Unitarios');
M2=[Sxx; Syy; Szz; Txy; Tyz; Tzx]
SSR=[(1/Et)*(M1*M2)] % Soluciones

```

### Simulación dinámica a impacto del fender flares

Para realizar el estudio a impacto de la autoparte mecánica fender flares delanteros de la camioneta Chevrolet Dmax se partió del modelado de la pieza mediante el software Autodesk Inventor 2018, para luego simular en el software ANSYS R19.2 Academic.

### Modelado del componente fender flares y barrera de impacto

Para el modelado de la pieza automotriz se utiliza la moldura original adquirida en un centro de venta, se procede a medir y tomar en cuenta sus diferentes características de doblado, chaflanes que este posee, en la figura 25 se muestra el dibujo en el software Inventor con los diferentes detalles.

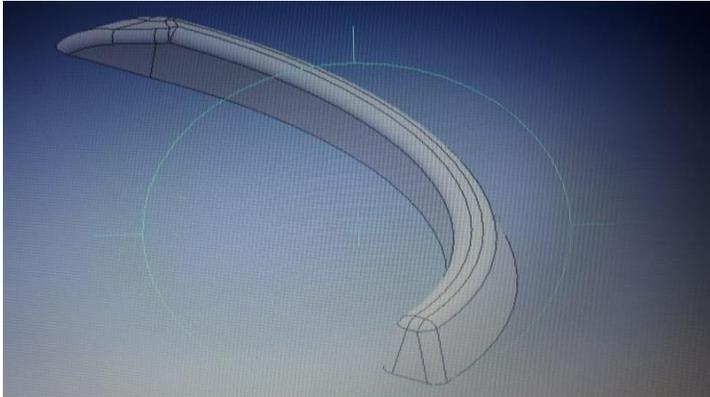


Figura 25. Modelado del fender flares delantero en el software Autodesk Inventor

De igual manera se modela la barrera de impacto (pared) de 60 toneladas donde se va a realizar el impacto con las dimensiones establecidas por la norma específica a impactos dinámicos Euro Ncap, como se muestra en la figura 26.

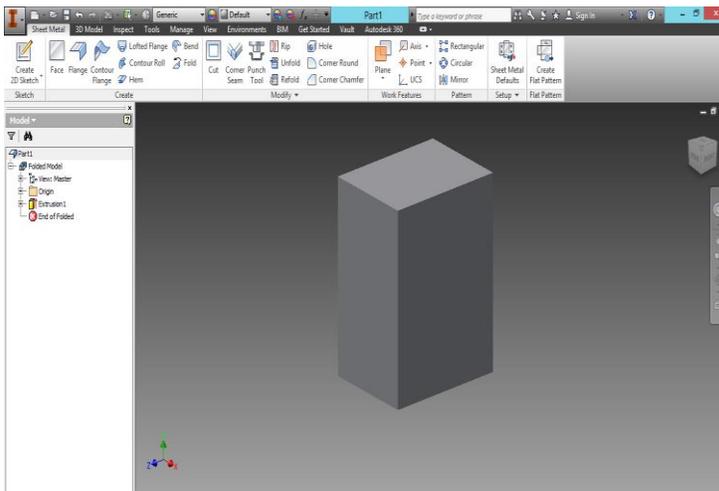
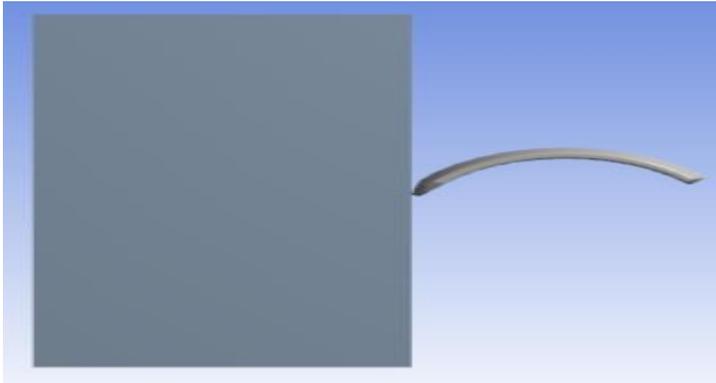


Figura 26. Modelado de la barrera de impacto en el software Autodesk Inventor

Se procede a ensamblar los elementos pero en el software ANSYS para esto hay que guardar y exportar los documentos con extensiones .igs o .stp (fender flares y barrera de impacto) como se muestra la figura 27.



*Figura 27.* Ensamble de la autoparte y la barrera de impacto

### **Creación de nuevos materiales en el software ANSYS**

Para la creación de nuevos materiales utilizamos el software ANSYS, como se puede observar en la figura 28 la cual nos permite crear nuevos materiales a partir de sus propiedades físicas y mecánicas. En este caso se establece la creación de dos materiales compuestos, el material ganador de los ensayos a tracción y flexión (material compuesto de resina de poliéster y fibra de agave tejida), el material que solo posee resina de poliéster insaturada y uno ya existente acrilonitrilo butadieno estireno conocido como ABS del cual son fabricados los fender flares.

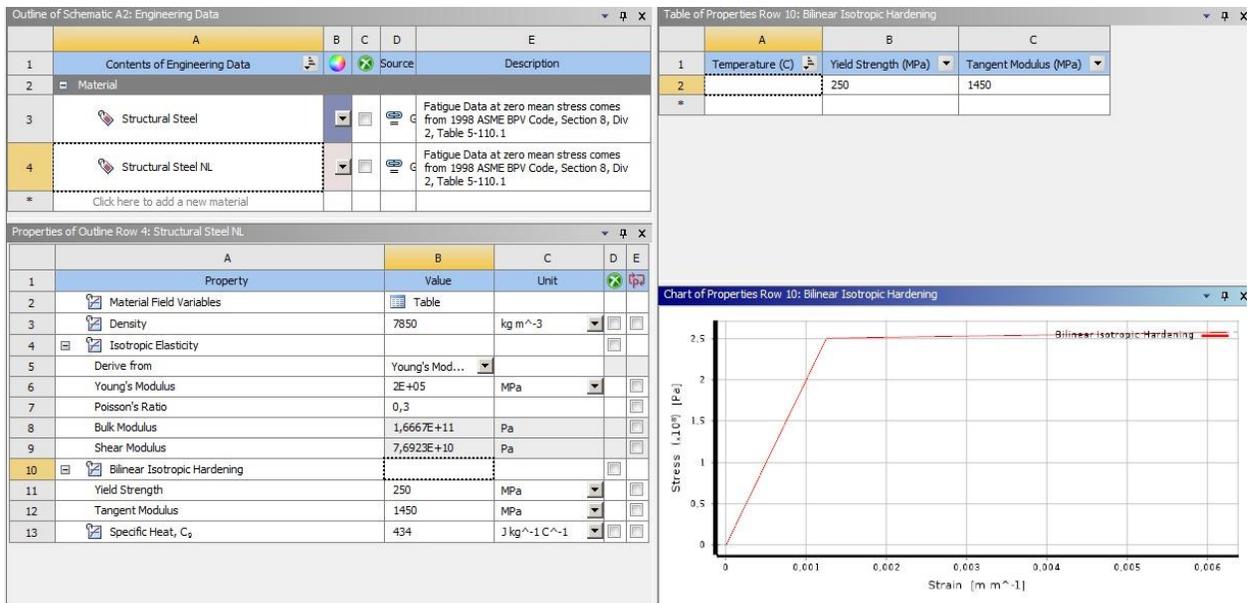


Figura 28. Entorno de creación de materiales en el software ANSYS

Una vez que estamos en el entorno de creación de materiales procedemos a ingresar las propiedades necesarias para llenar los requisitos que el software nos permite ingresar, estos datos son los siguientes tabla 13.

Tabla 13. *Propiedades mecánicas de materiales a ser simulados en ANSYS*

Propiedades mecánicas de diferentes materiales			
Propiedades	Resina de poliéster	Material ABS	Matriz compuesta (resina de poliéster y fibra de agave marginata)
Densidad de la fibra: Kg.cm <sup>3</sup>	50	1010	840
Módulo de la elasticidad: GPA	43,8	1,1	0,8
Constante elástica:	---	0,33	0,18
Módulo de deformación: MPA	149,9	29,5	0,03
Módulo de corte: KJ.m <sup>2</sup>	52	12	5
Fuerza de rendimiento: MPa	180	18,5	7,3
Modulo tangente: MPa	30,54	108	23
Resistencia a la tracción: MPa	342	42	7
Alargamiento a la rotura:	1,7	1,5	0,4
Calor específico: Kcal/ Kg °C	27	155	98

**Nota.** Fuente: Datos obtenidos mediante ensayos realizados en la Escuela Politécnica Nacional

Luego de la asignación de las propiedades en el software ANSYS se establece las condiciones de frontera figura 29, velocidad, tiempo, restricción de sólidos, mallado, geometría, número de iteraciones, desplazamientos, como se puede apreciar de la siguiente manera.

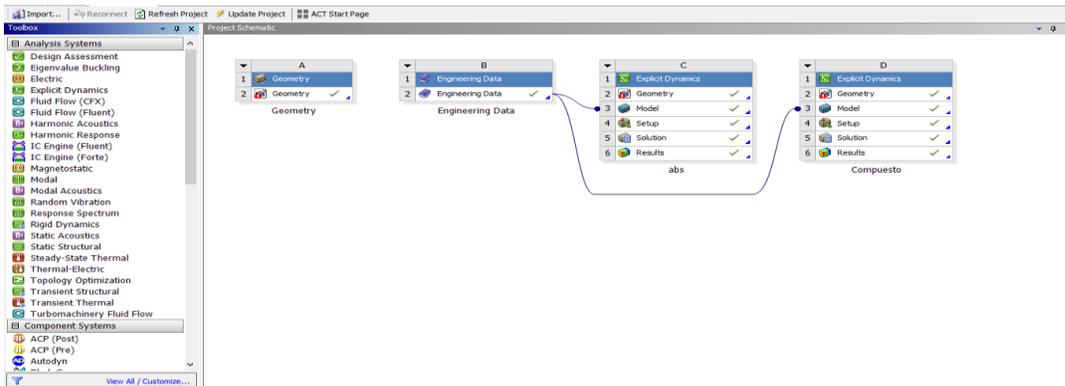


Figura 29. Condiciones de frontera material ABS y Mixto (Resina de poliéster y fibra de agave)

Luego se procede a parametrizar los valores de las propiedades en el software ANSYS como se muestra en la figura 30.

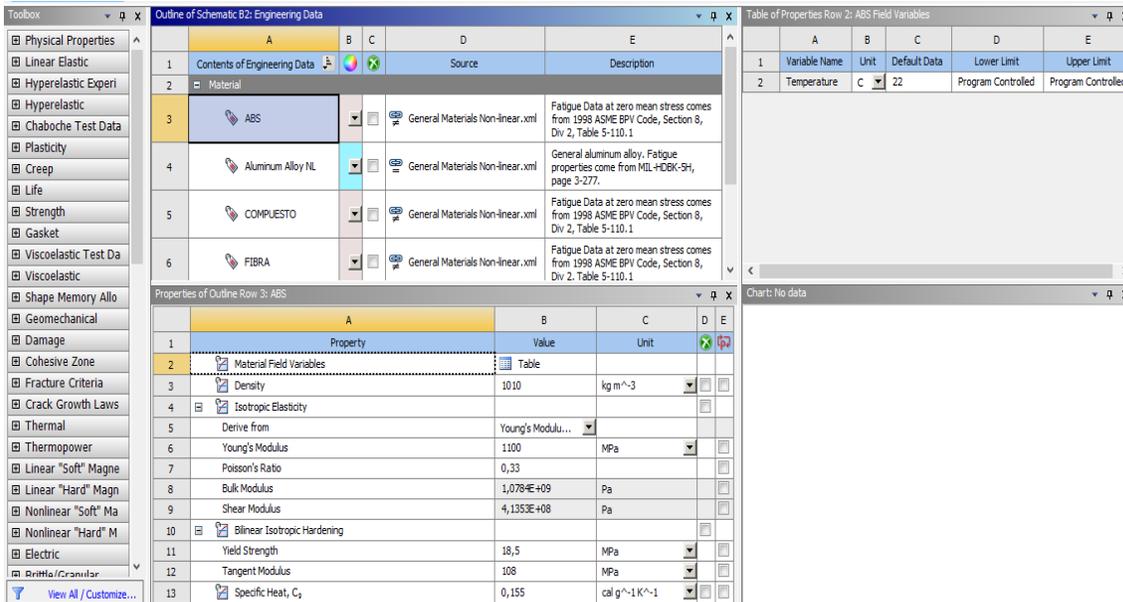


Figura 30. Materiales ABS, Resina de Poliéster y Compuesto Mixto.

Además se asignan condiciones dinámicas, sistema fijo (barrera de 60 toneladas) figura 31.

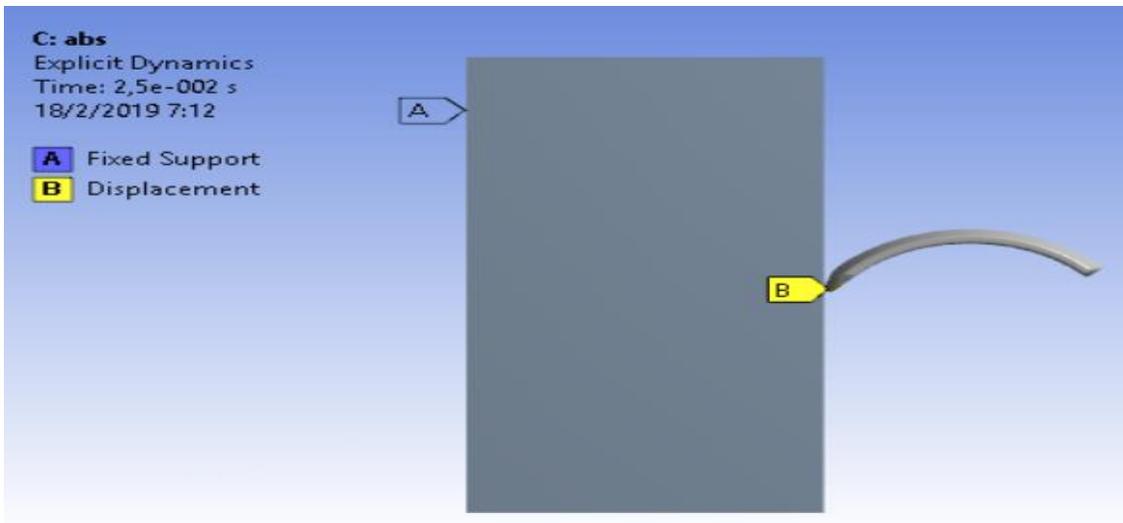


Figura 31. Condiciones dinámicas

Una vez establecida la barrera de 60 toneladas como sistema fijo se asigna su velocidad de impacto figura 32.

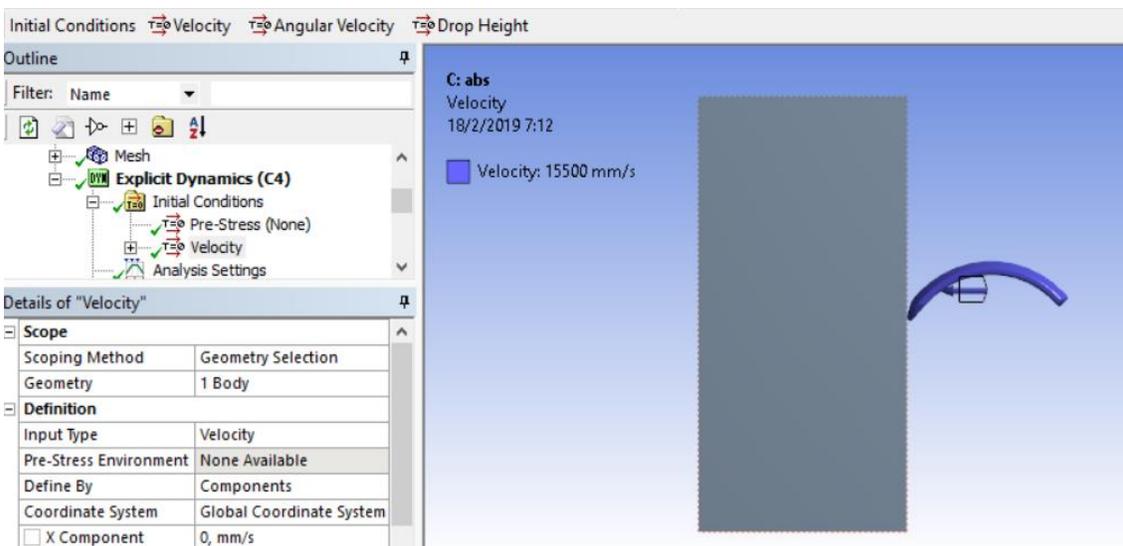


Figura 32. Velocidad de impacto

Y finalmente se procede a encontrar la solución figura 33 para los diferentes materiales y tiempos de impactos (mayor número de iteraciones).

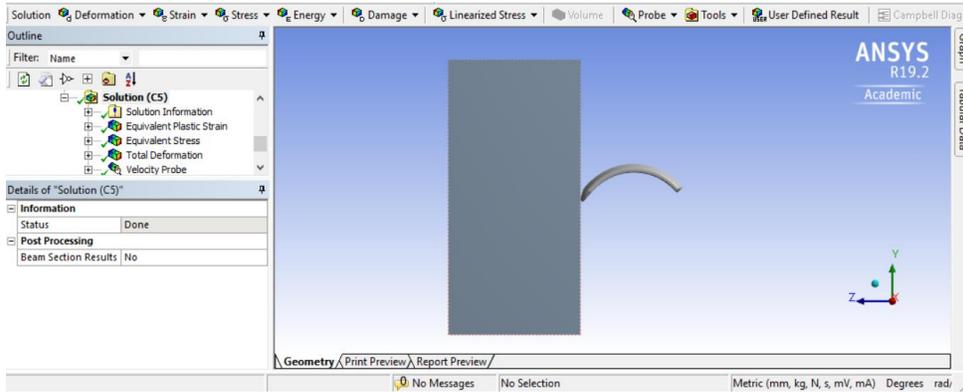
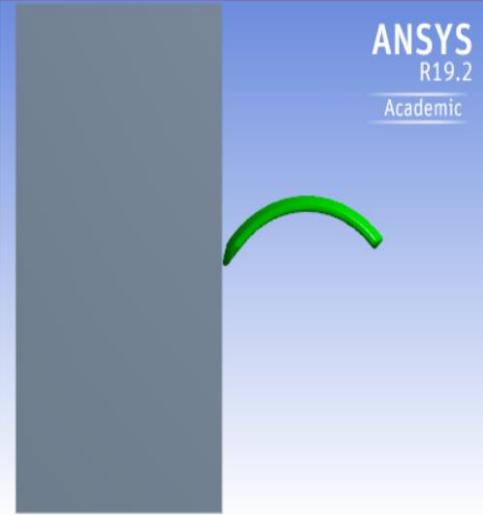


Figura 33. Solución de impacto dinámico

En la figura 34 se puede observar claramente, los valores del material ABS, sus propiedades y la cantidad de nodos y elementos que se utilizó para encontrar parte de la solución



Sistema coordinado	Sistema de coordenadas predeterminado	
Temperatura de referencia	Por entorno	
Marco de referencia	Lagrangiano	
<b>Material</b>		
Asignación	Acero Estructural NL	ABS
<b>Cuadro Delimitador</b>		
Longitud X	2500, mm	80,007 mm
Longitud Y	2500, mm	345,72 mm
Longitud Z	1223, mm	947,96 mm
<b>Propiedades</b>		
Volúmen	7,6438e+009 mm <sup>3</sup>	4,1399e+005 mm <sup>3</sup>
Masa	60003 kg	0,41813 kg
Centroide X	0, mm	-15,612 mm
Centroide Y	2090,5 mm	2268,7 mm
Centroide Z	611,5 mm	-466,68 mm
Momento de Inercia Ip1	3,8731e+010 kg·mm <sup>2</sup>	2587, kg·mm <sup>2</sup>
Momento de Inercia Ip2	3,8731e+010 kg·mm <sup>2</sup>	32346 kg·mm <sup>2</sup>
Momento de Inercia Ip3	6,2504e+010 kg·mm <sup>2</sup>	34409 kg·mm <sup>2</sup>
<b>Estadística</b>		
Nodos	10206	1566
Elementos	8788	4244
Malla Métrica	Ninguna	

Figura 34. Partes de la geometría del modelo en el software ANSYS

Posteriormente se realiza el mallado, cabe recalcar que en esta sección se debe mejorar el mallado para obtener mejor el comportamiento de la simulación a impacto, para mejorar los resultados hay que mejorar la malla porque es una red compuesta de elementos y nodos lo que hacen estos es discretizar la región para mejorar los resultados a medida que se incrementan los elementos.

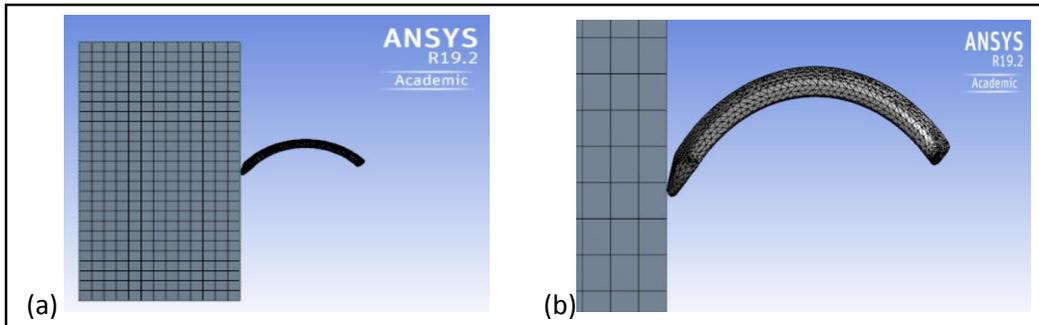


Figura 35. (a) Mallado de la zona de impacto y la autoparte fender flares, (b) mejoramiento del mallado en la autoparte.

Una vez realizado el mallado se procede con la solución bajo los parámetros ya anteriormente mencionados tabla 13 para los tres materiales, demorándose por cada simulación un promedio de 6 horas.

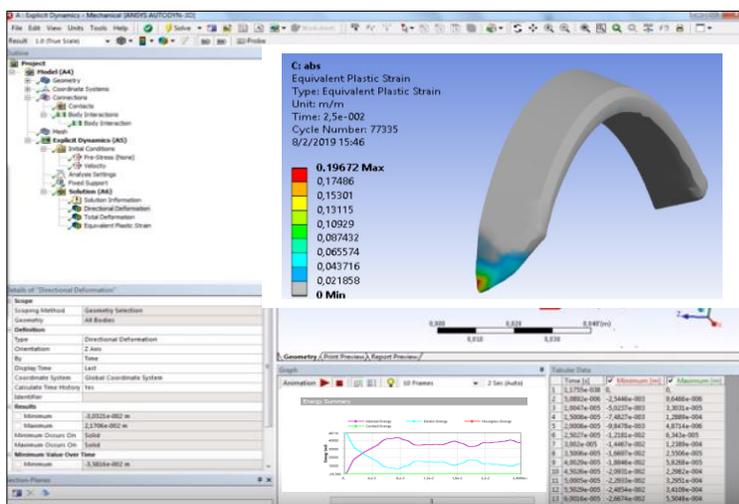


Figura 36. Simulación de la autoparte mediante la herramienta ANSYS

## Resultados

Los resultados que se presentan a continuación tabla 14 fueron desarrollados en el laboratorio de investigaciones aplicadas a polímeros CIAP de la Universidad Politécnica Nacional, donde los parámetros del ensayo a flexión de fibra tejida bajo la normativa ASTM-D7264M15 mediante estratificación manual con una matriz de resina de poliéster a un 80% de fracción volumétrica y un refuerzo de fibras de agave de un 20% en las dimensiones 160 mm por 13 mm, para una temperatura de 24°C encontrándose el 5% de humedad siendo evaluadas siete probetas, cuyos informes se adjuntan a continuación:

### Ensayo a Flexión Fibra Tejida

Tabla 14.  
*Resultados ensayo a flexión fibra tejida*

<b>Parámetros Del Ensayo</b>			
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM –D7264M15
Matriz:	Resina Poliéster	Estratificación:	Manual
Refuerzo:	Hebras de Agave	Fracción Volumétrica:	80%
Capas Fibra:	1	Fracción Volumétrica:	20%
Dimensiones:	160mm*13mm*e	Número de Probetas:	7
Temperatura:	24°C	Velocidad de ensayo:	10 mm/min
		Humedad:	5%

### Resultados

De las siete probetas evaluadas se obtuvo una carga máxima promedio de 112,643 N, una deformación máxima 12,471 mm, un esfuerzo máximo 115,497 MPa y un módulo de flexión de 6265,361 MPa.

Probeta	Carga	Carga	Deformación	Esfuerzo	Módulo de
N°	máxima	máxima	máxima	máximo	flexión
	(Kg)	(N)	(mm)	(MPa)	(MPa)
1	13,13	129,4618	13,9	133,37	6150,75
2	11,25	110,925	10,6	114,34	7265,56
3	8,42	83,0212	8,12	88,23	6883,34
4	11,34	111,8124	12,99	115,65	5865,56
5	11,35	111,911	14,02	116,89	5624,34
6	13,13	129,4618	13,89	123,44	6318,76
7	11,35	111,911	13,78	116,56	5749,22
<b>Promedio</b>	11,424	112,643	12,471	115,497	6265,361
<b>Desv. Estándar</b>	1,575	15,534	2	13,726	610,387

En la figura 37 se muestra los valores de la resistencia a flexión de la fibra tejida de las siete probetas evaluadas en forma de gráfico de columnas siendo la probeta numero 1 aquella que alcanza el valor máximo más resistente 133,37 MPa y la probeta numero 3 el valor mínimo de 88,23 MPa existiendo una diferencia del 40% de su valor nominal.

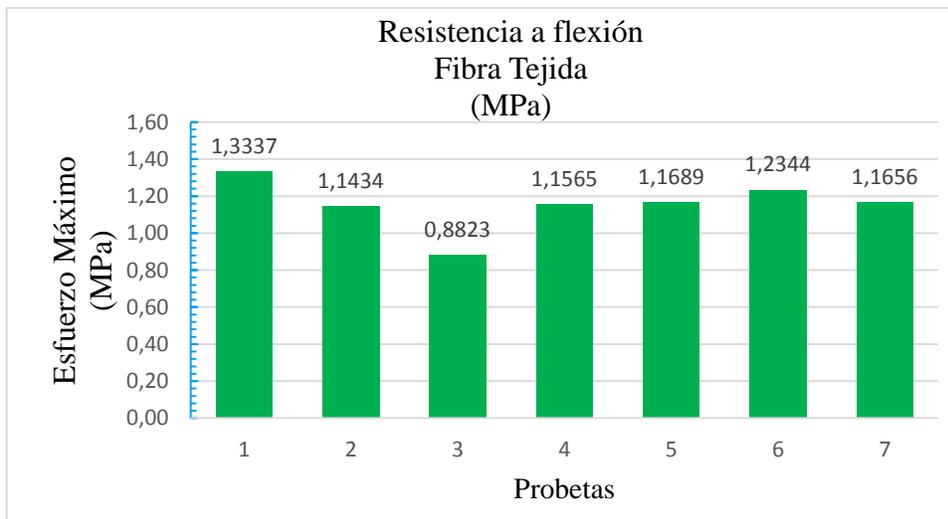


Figura 37. Esfuerzo máximo resistencia a flexión fibra tejida

En la figura 38 se representa los módulos de flexión siendo el mayor de la probeta número 2 con 7265,56 MPa y un valor mínimo de 624,34 MPa de la probeta número 5.

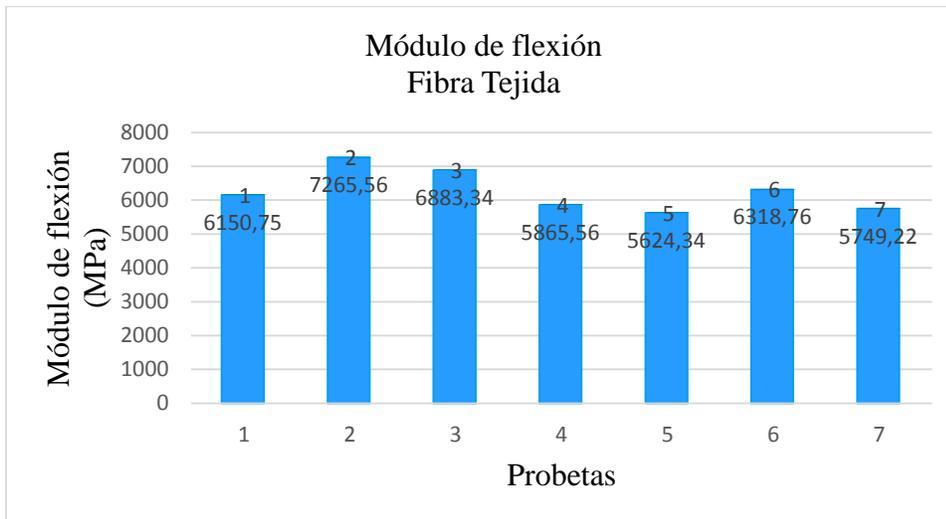


Figura 38. Módulo de flexión fibra tejida

Por medio de un gráfico de líneas figura 39 se encuentra la representación del esfuerzo vs deformación del ensayo a flexión de la fibra tejida, mostrando un sobre pico de 13,9 mm de deformación y un esfuerzo de 133,37 MPa como valor máximo y un valor mínimo de 8,12 mm de deformación a un valor de 88,23 MPa.

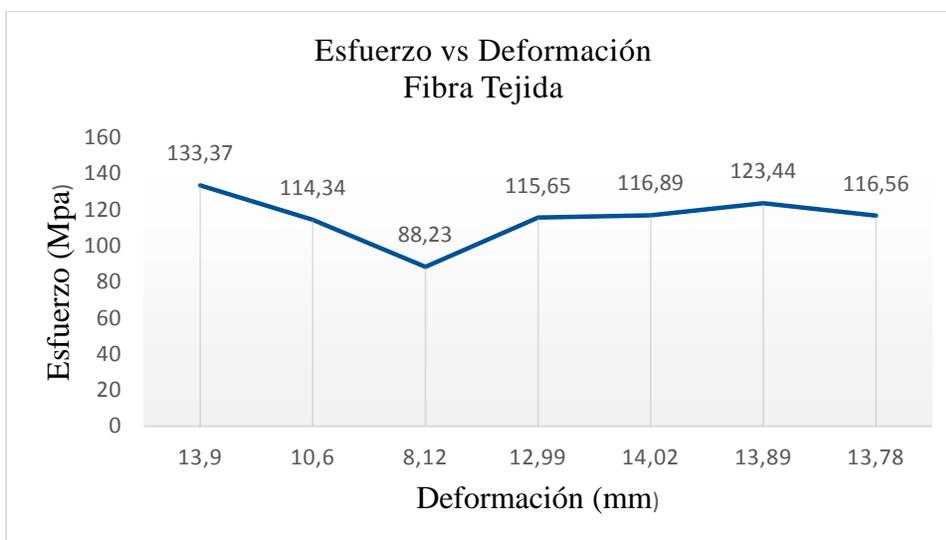


Figura 39. Diagrama esfuerzo vs deformación fibra tejida

En la tabla 15 se muestra los datos obtenidos en los ensayos a flexión de la fibra unidireccional.

### Ensayo a Flexión Fibra Unidireccional

Del ensayo a flexión de fibra unidireccional bajo la normativa ASTM-D7264M15 mediante estratificación manual con una matriz de resina de poliéster a un 80% de fracción volumétrica y un refuerzo de fibras de agave de un 20% en las dimensiones 160 mm por 13 mm, para una temperatura de 24°C encontrándose el 5% de humedad siendo evaluadas siete probetas, cuyos informes se adjuntan en la tabla 15.

*Tabla 15.*

Resultados ensayo a flexión fibra unidireccional

<b>Parámetros Del Ensayo</b>			
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM – D7264M15
Matriz:	Resina Poliéster	Estratificación:	Manual
Refuerzo:	Hebras de Agave	Fracción Volumétrica:	80%
Capas Fibra:	1	Fracción Volumétrica:	20%
Dimensiones:	160mm*13mm*e	Número de Probetas:	7
4Temperatura:	24°C	Velocidad de ensayo:	10 mm/min
		Humedad:	5%

De las siete probetas evaluadas se obtuvo una carga máxima promedio de 107,95 N, una deformación máxima 8,45 mm, un esfuerzo máximo 71,70 MPa y un módulo de flexión de 5484,08 MPa.

Probeta	Carga	Carga	Deformación	Esfuerzo	
N°	Máxima (Kg)	máxima (N)	máxima (mm)	máximo (MPa)	Módulo de flexión(MPa)
1	11,54	113,78	8	79,45	5437,67
2	11,45	112,90	6,5	63,32	5810,78
3	10,74	105,90	8,45	78,57	5697,11
4	11,45	112,90	8	77,23	5557,22
5	10,34	101,95	8	77,59	5461,78
6	12,11	119,40	6,56	63,43	5251,99
7	9,01	88,84	6,34	62,33	5172,02
<b>Promedio</b>	10,95	107,95	7,41	71,70	5484,08
<b>Desv. Estándar</b>	1,031	10,162	0,896	8,154	227,802

En la figura 40 se muestran los valores de los esfuerzos máximos de los ensayos sometidos a flexión de la fibra unidireccional, siendo el valor máximo de la probeta número 1 con 0,7945 MPa y un valor mínimo de 0,6233 de la probeta número 7, con una diferencia del 17,12%.

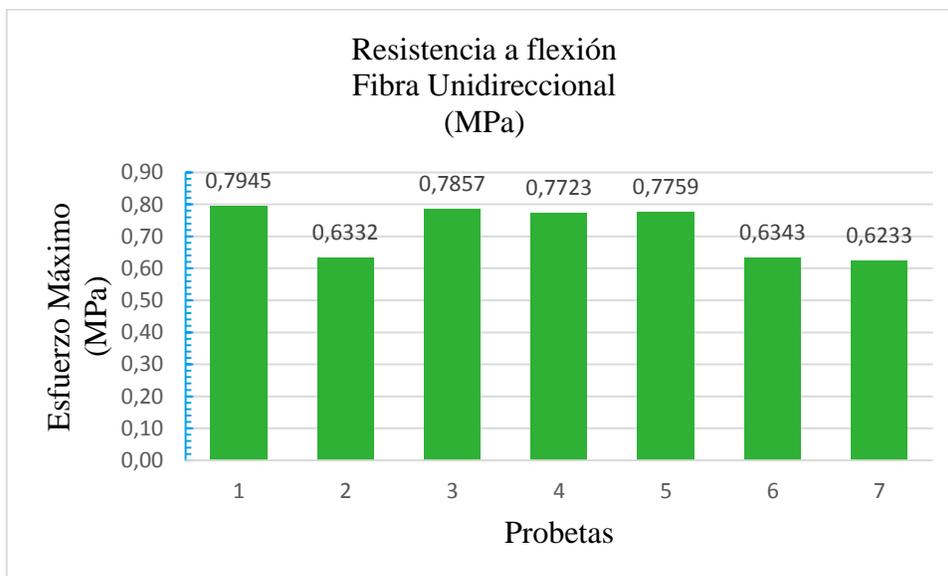


Figura 40. Esfuerzo máximo resistencia a flexión fibra unidireccional

En la figura 41 se muestra los valores de los módulos de flexión ubicándose en la probeta numero 2 un valor máximo de flexión de 5810,78 MPa y un valor mínimo de 5172 MPa correspondiente a la probeta número 7.

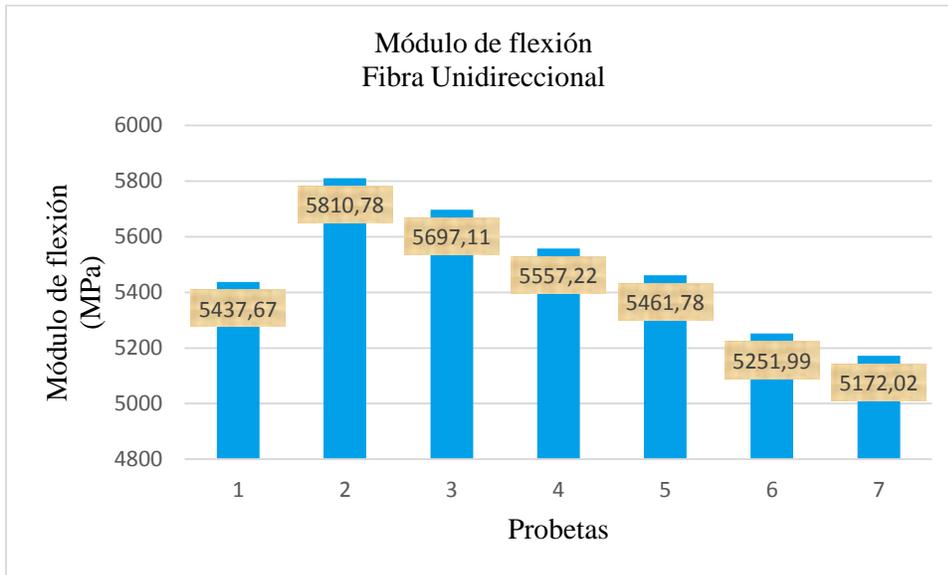


Figura 41. Módulo de flexión fibra Unidireccional

Con respecto al diagrama esfuerzo vs deformación de la figura 42 existe una diferencia del 17% de deformación entre el valor máximo 79,45 MPa y el valor mínimo 62.33 MPa.



Figura 42. Diagrama esfuerzo vs deformación fibra unidireccional

En la siguiente figura 43 se muestra los esfuerzos máximos alcanzados para la configuración de fibra larga unidireccional y fibra tejida sometidos a ensayo de flexión, comportándose de mejor manera la fibra unidireccional porque no existen picos inferiores como la fibra tejida de 0,8823 MPa.

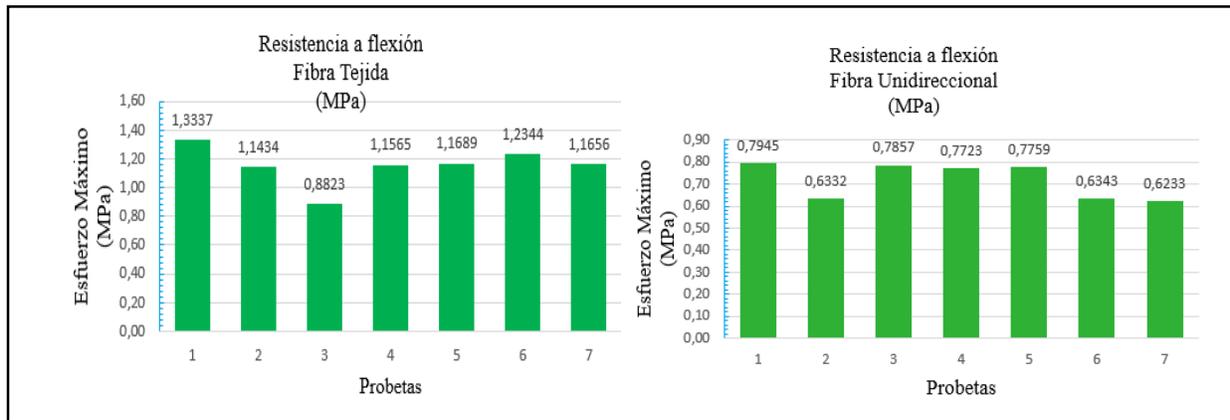


Figura 43. Esfuerzos máximos a flexión de cada configuración

En la figura 44 se muestran los módulos de elasticidad máximos alcanzados para la configuración de fibra larga unidireccional y fibra tejida sometidos a ensayo de flexión por medio de gráficos de barras existiendo variaciones en sus valores con un máximo de 7265,56 MPa en la configuración de la fibra larga unidireccional y un mínimo de 5172,02 MPa en la configuración de la fibra tejida.

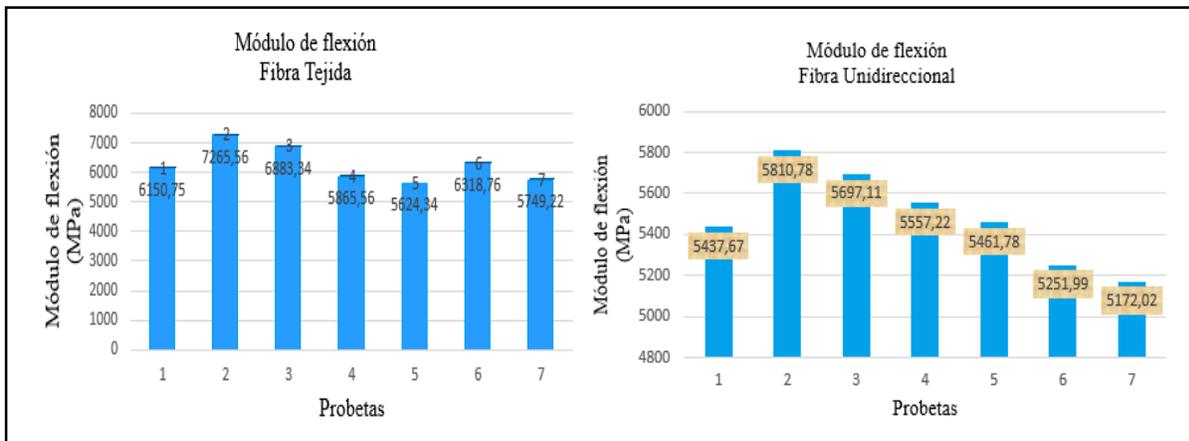
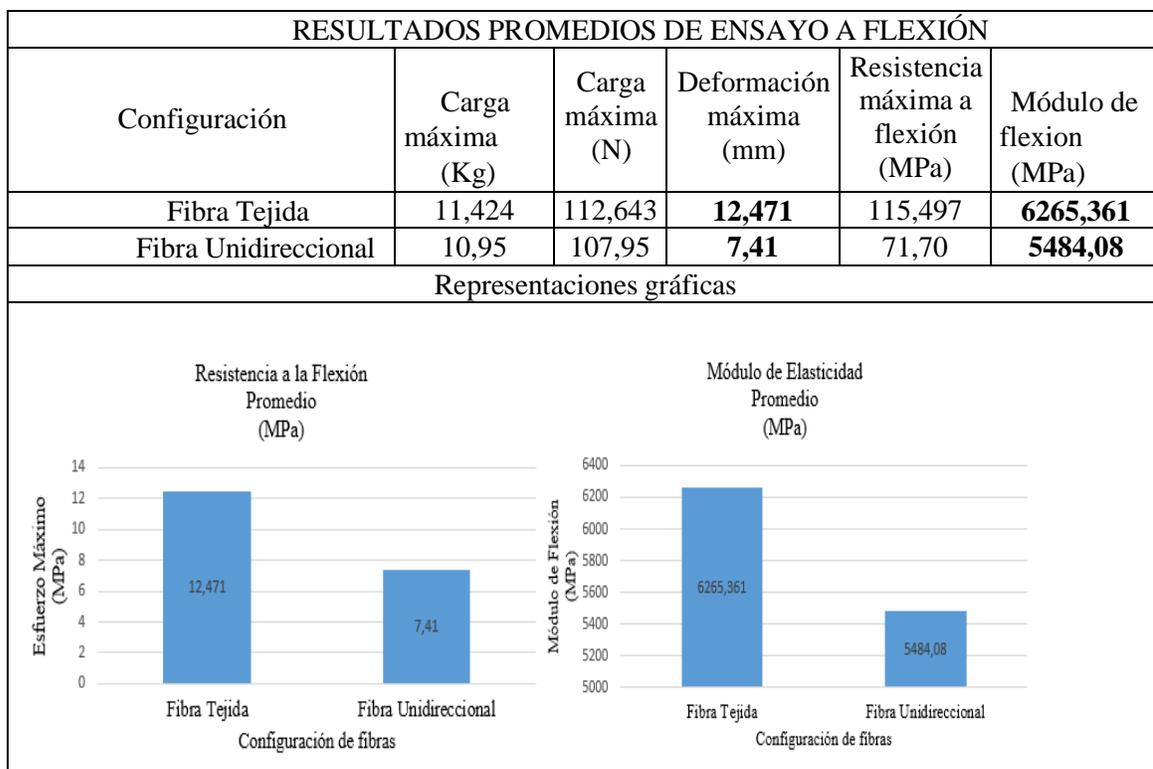


Figura 44. Módulo de elasticidad máximos de cada configuración

En la tabla 16 se muestran los resultados promedios del ensayo a flexión de las dos configuraciones, fibra tejida con una carga máxima de 11,424Kg o 112,643 N, fibra unidireccional con una carga máxima de 10,95 Kg o 107,95 N. Poseen una deformación máxima de 12,471 mm para la fibra tejida y 7,41 mm fibra unidireccional; existiendo una diferencia de 5,061 mm donde podemos asumir que la fibra unidireccional posee mayor resistencia a deformarse bajo fuerzas aplicadas y su módulo de flexión de 6265,361 MPa para la fibra tejida cual es la que soporta más elasticidad longitudinal dependiendo la dirección de la fuerza y 5484,08 para la fibra unidireccional.

Tabla 16.  
Resultados promedios de ensayos a flexión



En la figura 45 tenemos la representación de los datos promedio esfuerzo vs deformación de las dos configuraciones (fibra tejida de color amarillo y fibra unidireccional de color verde). Aquí se

puede observar lo que sucede con las dos configuraciones, comportándose de mejor manera la fibra tejida ya que se podría asumir que los hace de manera casi lineal, en el punto 10 eje de las x es el límite de proporcionalidad donde la curva empieza a desviarse de una línea recta, en el punto 12,7 eje de las x no se presentará ninguna deformación que afecte al material aunque no tiene la forma de una recta perfecta el material sigue siendo elástico.

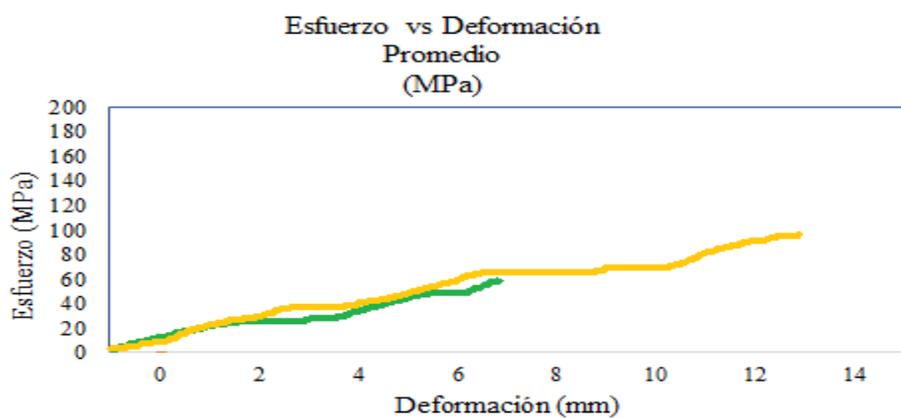


Figura 45. Grafica esfuerzo vs deformación ensayo a flexión fibra tejida y fibra unidireccional

Para elegir la configuración de fibra adecuada se utiliza intervalos LSD (método de la diferencia menos significativa) de Fisher para la comparación de medias de cada variante en este caso tenemos la fibra tejida y fibra unidireccional a una tasa de error del 5% (0.05) que es equivalente a un nivel de confianza del 95%, como se puede apreciar en la figura 46.



Figura 46. Comparación de la media del esfuerzo máximo promedio por el método LSD de Fisher

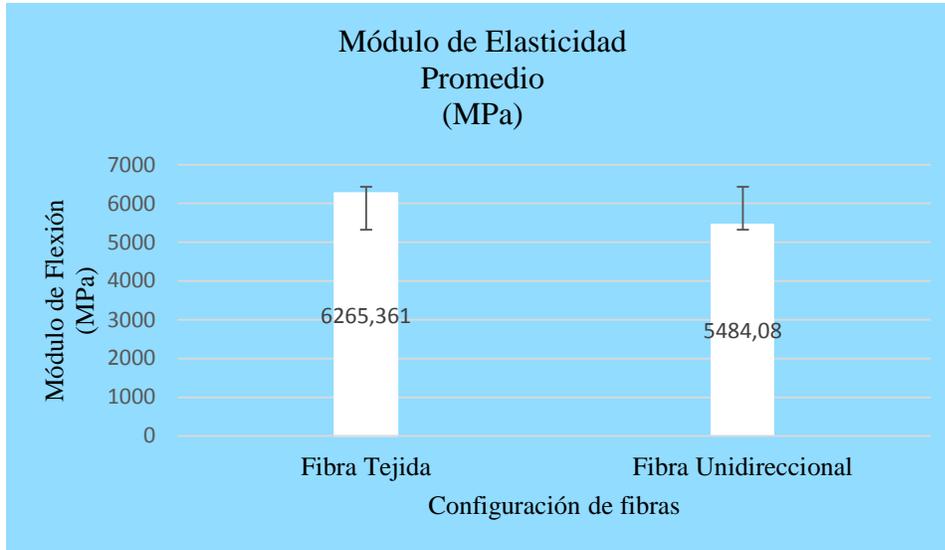


Figura 47. Comparación de la media del módulo de elasticidad promedio por el método LSD de Fisher

En la figura 46 se observa que la media del esfuerzo máximo de la fibra tejida supera a la fibra unidireccional, su diferencia es significativa entre los límites superiores e inferiores. En cuanto a la figura 47 los valores de la media del módulo de elasticidad se mantienen tanto para el límite superior como inferior.

En la tabla 17 se presenta los datos obtenidos en los ensayos a tracción de la fibra tejida bajo la normativa ASTM-D3039M0 mediante estratificación manual con una matriz de resina de poliéster a un 80% de fracción volumétrica y un refuerzo de fibras de agave de un 20% en las dimensiones 250 mm por 25 mm, para una temperatura de 24°C encontrándose el 4% de humedad siendo evaluadas siete probetas, cuyos informes se adjuntan a continuación:

### Ensayo a Tracción Fibra Tejida

Tabla 17.

Resultados ensayo a tracción fibra tejida

<b>Parámetros Del Ensayo</b>			
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM –D3039M-00
Matriz:	Resina Poliéster	Estratificación:	Manual
Refuerzo:	Hebras de Agave	Fracción Volumétrica:	80%
Capas Fibra:	1	Fracción Volumétrica:	20%
Dimensiones:	250mm*25mm*e	Número de Probetas:	7
4Temperatura:	24°C	Velocidad de ensayo:	10 mm/min
		Humedad:	4%

### Resultados

Probeta	Carga	Carga	Deformación	Esfuerzo	Elongación	
N°	Máxima (Kg)	máxima (N)	máxima (mm)	máximo (MPa)	(mm)	Módulo de elasticidad (MPa)
1	328,56	3345,27	0,714	25,56	0,02445	934,02
2	330,08	2452,02	0,724	25,45	0,03455	984,72
3	345,21	3332,45	0,734	26,78	0,02455	834,42
4	334,21	3061,98	0,756	25,92	0,02478	824,72
5	378,08	2112,93	0,655	24,92	0,03115	974,82
6	398,18	3452,92	0,672	23,34	0,03005	874,52
7	345,56	3445,98	0,812	24,78	0,02335	834,62
<b>Promedio</b>	351,411	3029,079	0,724	25,25	0,028	894,549
<b>Desv. Estándar</b>	26,597	535,236	0,052	1,073	0,004	69,061

En la figura 48 se muestra los valores de los esfuerzos máximos de los ensayos sometidos a tracción de la fibra tejida un valor máximo de 0,2678 MPa ubicado en el ensayo número 3 y un mínimo de 0,2334 MPa en el ensayo número 6.

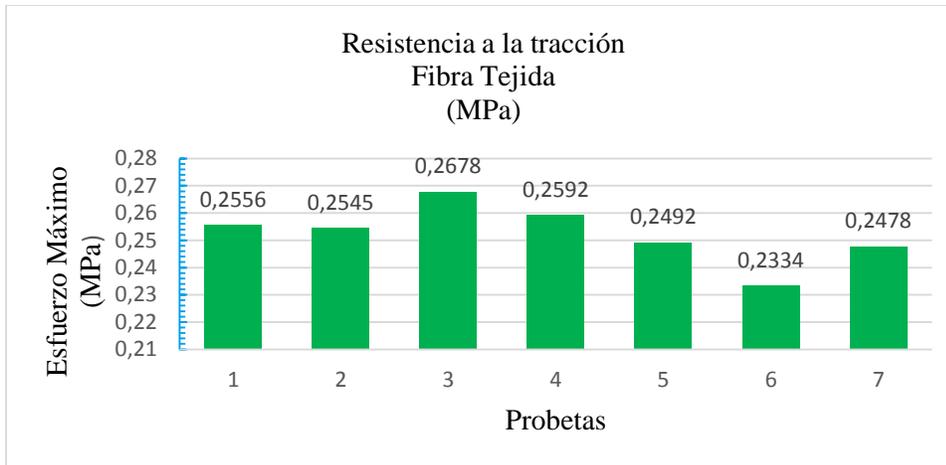


Figura 48. Esfuerzo máximo resistencia a la tracción fibra tejida

El módulo de elasticidad en cambio es lo contrario a los valores obtenidos de su esfuerzo porque en los ensayos 3 y 4 es donde son más críticos 834,42 MPa y 824,72 MPa además a esto se suma el ensayo número 7 que se encuentra en los mismos valores con 834,62 MPa. Y valores máximos en los ensayos 2 y 5 con 984,72 MPa, 974,82 MPa.

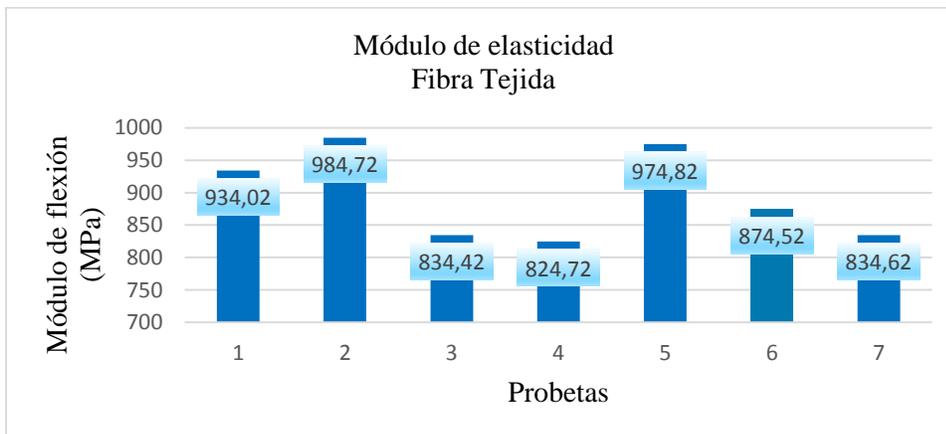


Figura 49. Módulo de elasticidad fibra Tejida

Por medio de un gráfico de líneas figura 50 se encuentra la representación del esfuerzo vs deformación del ensayo a tracción de la fibra tejida, mostrando un sobre pico de 26,78 MPa de deformación 0,734 mm como valor máximo y un valor mínimo de 0,672 mm de deformación a un valor de 23,34 MPa.

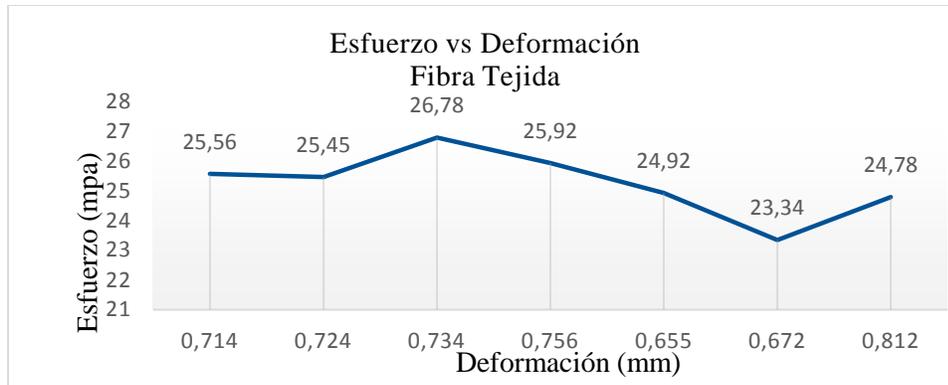


Figura 50. Diagrama esfuerzo vs deformación fibra tejida

Del ensayo a tracción de fibra unidireccional bajo la normativa ASTM-D3039M-00 mediante estratificación manual con una matriz de resina de poliéster a un 80% de fracción volumétrica y un refuerzo de fibras de agave de un 20% en las dimensiones 250 mm por 25 mm, para una temperatura de 24°C encontrándose el 4% de humedad siendo y una velocidad de ensayo de 10mm/ min evaluadas siete probetas, cuyos informes se adjuntan en la tabla 18.

### Ensayo a Tracción Fibra Unidireccional

Tabla 18.  
Resultados ensayo a tracción fibra unidireccional

<b>Parámetros Del Ensayo</b>			
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM –D3039M-00
Matriz:	Resina Poliéster	Estratificación:	Manual
Refuerzo:	Hebras de Agave	Fracción Volumétrica:	80%
Capas Fibra:	1	Fracción Volumétrica:	20%
Dimensiones:	250mm*25mm*e	Número de Probetas:	7
4Temperatura:	24°C	Velocidad de ensayo:	10 mm/min
		Humedad:	4%

### Resultados

Así su carga máxima promedio es de 135,89 Kg o 1339,89 N con una desviación estándar de 14,089 o 138,920; su deformación máxima 0,66 mm, su esfuerzo máximo 19,13

MPa; la elongación alcanzada promedio de 0,05 mm y módulo de elasticidad 712 MPa con una desviación estándar 175,226.

Probeta	Carga	Carga	Defor mación	Esfuerzo		Módulo de
N°	Máxima (Kg)	máxima (N)	máxima (mm)	máximo (MPa)	Elongación (mm)	elasticidad (MPa)
<b>1</b>	133,45	1315,817	0,677	19,67	0,05467	734,67
<b>2</b>	138,61	1366,6946	0,623	19,45	0,05671	784,98
<b>3</b>	139,5	1375,47	0,673	19,87	0,05932	794,34
<b>4</b>	132,97	1311,0842	0,678	18,91	0,03563	886,56
<b>5</b>	158,89	1566,6554	0,684	17,45	0,04286	830,78
<b>6</b>	110,87	1093,1782	0,676	18,87	0,05645	574,12
<b>7</b>	136,95	1350,327	0,629	19,67	0,03829	383,34
<b>Promedio</b>	135,89	1339,89	0,66	19,13	0,05	712,68
<b>Desv. Estándar</b>	14,089	138,920	0,025	0,834	0,010	175,226

En la figura 51 se muestra los valores de los esfuerzos máximos de los ensayos sometidos a tracción de la fibra unidireccional con valores en los ensayos número 1,2,3,4,6 y 7 manteniéndose en los rangos de 0,1967 MPa como valor máximo y mínimo de 0,1745 correspondiente al ensayo 5.

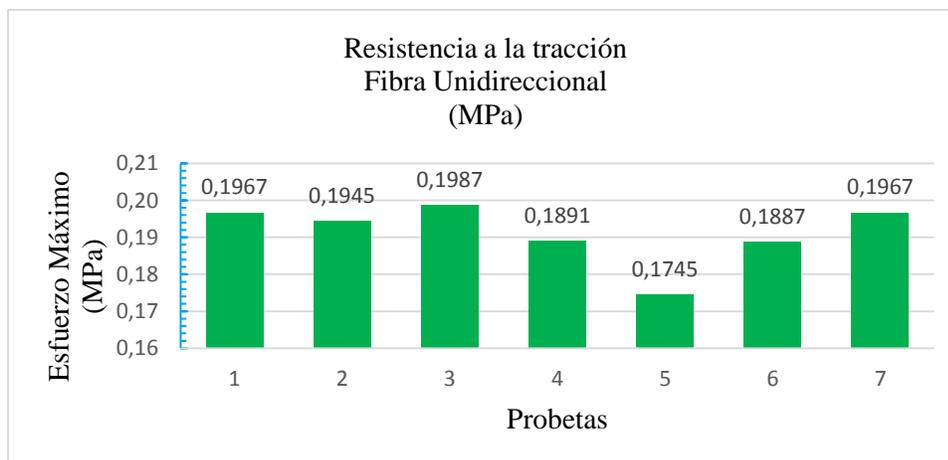


Figura 51. Esfuerzo máximo resistencia a la tracción fibra unidireccional.

Los módulos de elasticidad para este tipo de configuración de la fibra unidireccional bajo la normativa a tracción poseen dos puntos 5 y 6 donde la flexión tiende a disminuir debido a que en estos dos últimos ensayos se presentaron pequeñas grietas en la parte superior derecha que afectaron considerablemente a los resultados finales como podemos observar en la figura 52.

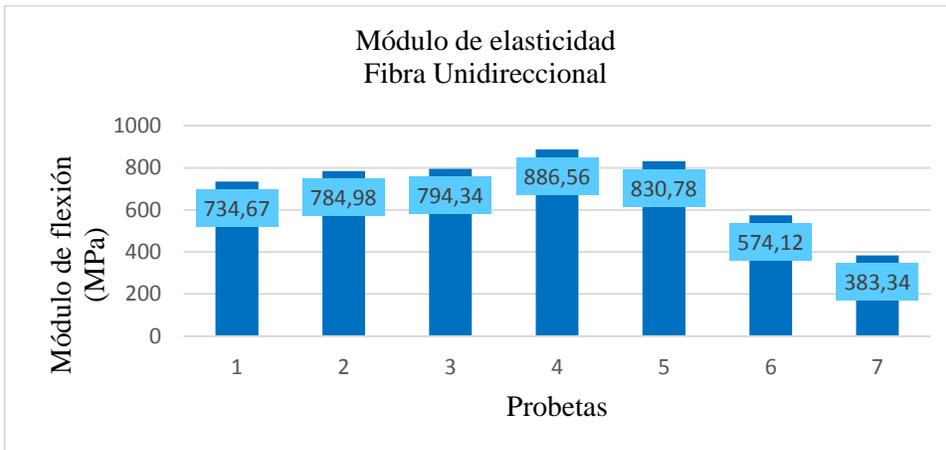


Figura 52. Módulo de flexión fibra Unidireccional

En el diagrama esfuerzo vs deformación en cambio es lo contrario en el ensayo número 5 su deformación es mínima 0,684 mm a 17,45 MPa, en relación de 0,673 mm a 19,87MPa como valor máximo como se muestra en la figura 53.

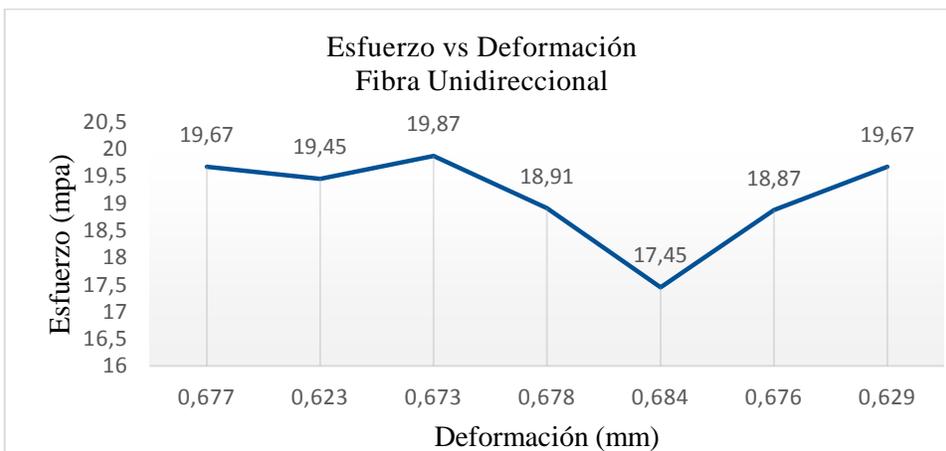


Figura 53. Diagrama esfuerzo vs deformación fibra unidireccional

En la figura 54 se muestran los esfuerzos máximos alcanzados para la configuración de fibra larga unidireccional y fibra tejida sometidos a ensayo de tracción. Observando que las dos configuraciones tienen picos mínimos ninguna de ellas se mantiene de forma lineal.

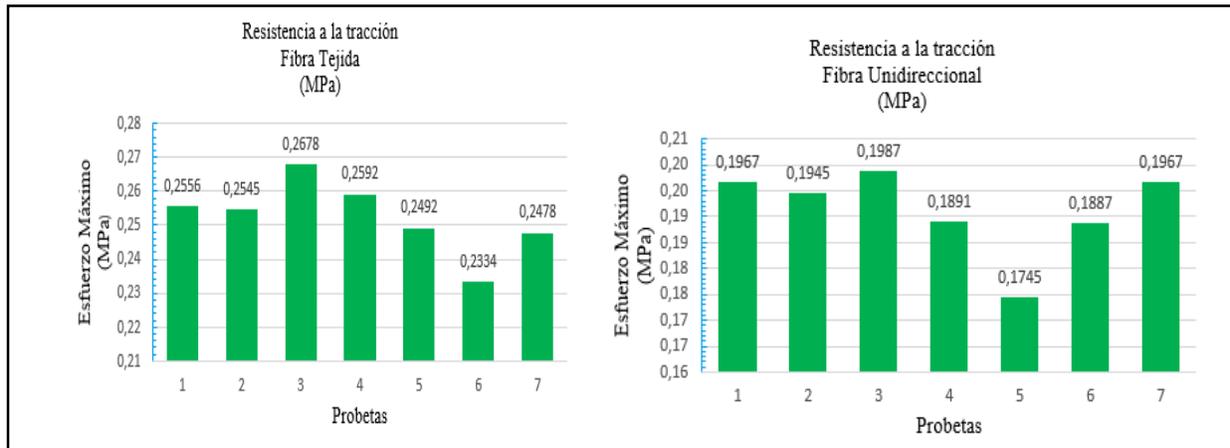


Figura 54. Esfuerzos máximos a tracción de cada configuración fibra tejida y fibra unidireccional

En la siguiente figura 55 se muestran los módulos de elasticidad máximos alcanzados para la configuración de fibra larga unidireccional y fibra tejida sometidos a ensayo de tracción, donde la fibra unidireccional es la más adecuada debido a su comportamiento.

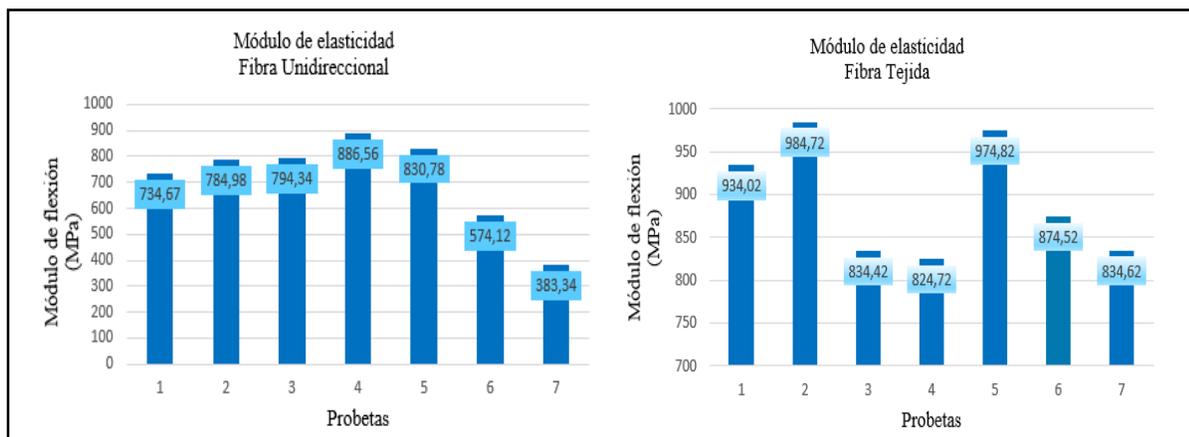
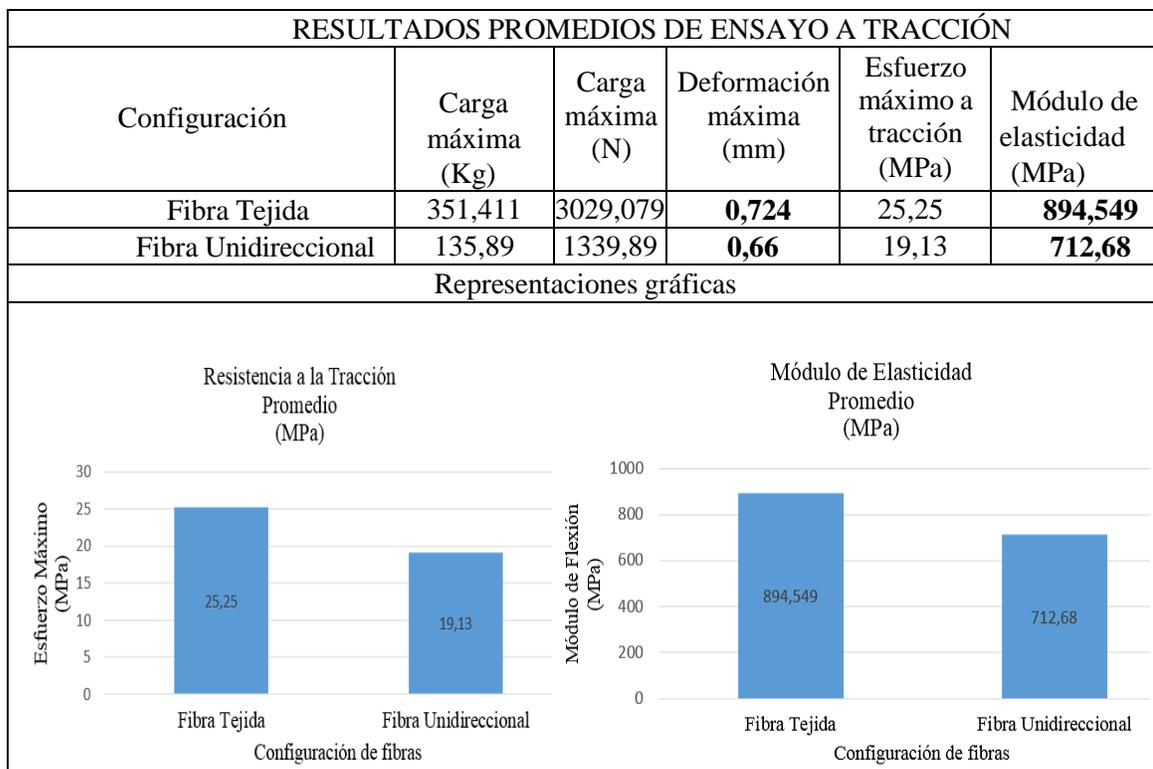


Figura 55. Módulo de elasticidad máximos de cada configuración fibra tejida y fibra unidireccional

En la tabla 19 se muestran los resultados promedios del ensayo a tracción de las dos configuraciones, fibra tejida con una carga máxima de 351,411Kg o 3029,079 N, fibra unidireccional con una carga máxima de 135,89 Kg o 1339,89 N. Poseen una deformación máxima de 0,724 mm para la fibra tejida y 0,66 mm fibra unidireccional; existiendo una diferencia de 0,064 mm donde podemos asumir que la fibra unidireccional posee mayor resistencia a deformarse bajo fuerzas aplicadas y su módulo de elasticidad de 894,549 MPa para la fibra tejida cual es la que soporta más elasticidad longitudinal dependiendo la dirección de la fuerza y 712,68 para la fibra unidireccional.

Tabla 19.  
Resultados promedios de ensayos a flexión



En la figura 56 tenemos la representación de los datos promedio esfuerzo vs deformación de las dos configuraciones (fibra tejida color amarillo y fibra unidireccional de color verde), las dos configuraciones tienen su punto de origen donde describen la forma de una recta lineal,

existiendo una diferencia en sus deformaciones debido a los esfuerzos que fueron sometidos los ensayos, la fibra tejida es aquella que más se deforma pero se mantiene estable hasta el punto 0,6 mm donde luego pasa a la zona elástico plástica.

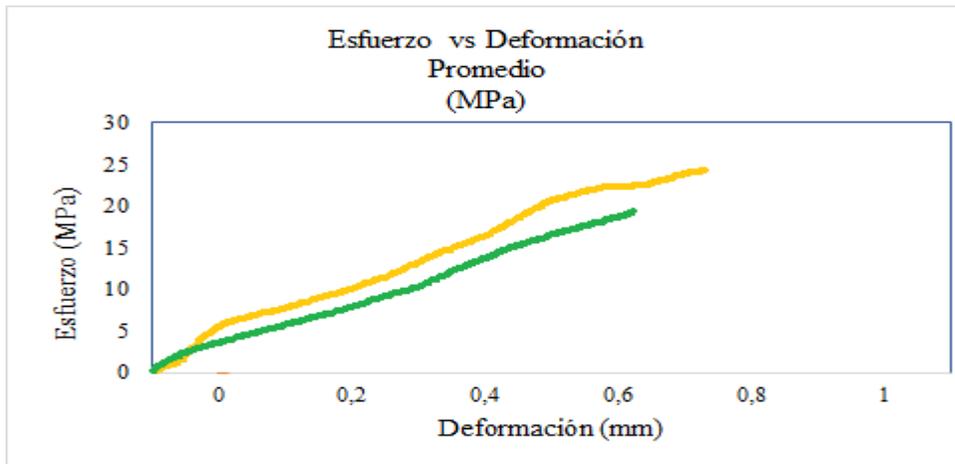


Figura 56. Grafica esfuerzo vs deformación ensayo a flexión fibra tejida y fibra unidireccional

Para elegir la configuración de fibra adecuada se utiliza intervalos LSD (método de la diferencia menos significativa) de Fisher para la comparación de medias de cada variante en este caso tenemos la fibra tejida y fibra unidireccional a una tasa de error del 5% (0.05) que es equivalente a un nivel de confianza del 95%, como se puede apreciar en la siguiente figura

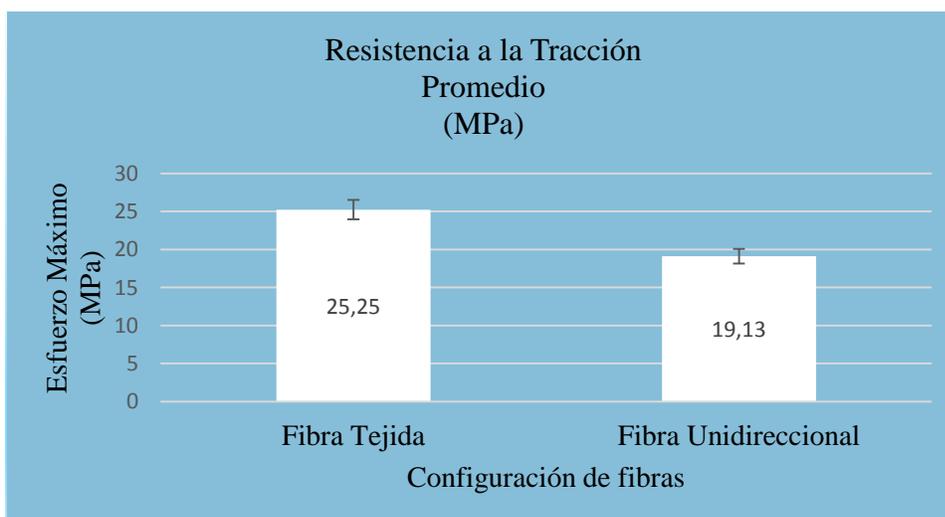


Figura 57. Comparación de la media del esfuerzo máximo promedio por el método LSD de Fisher

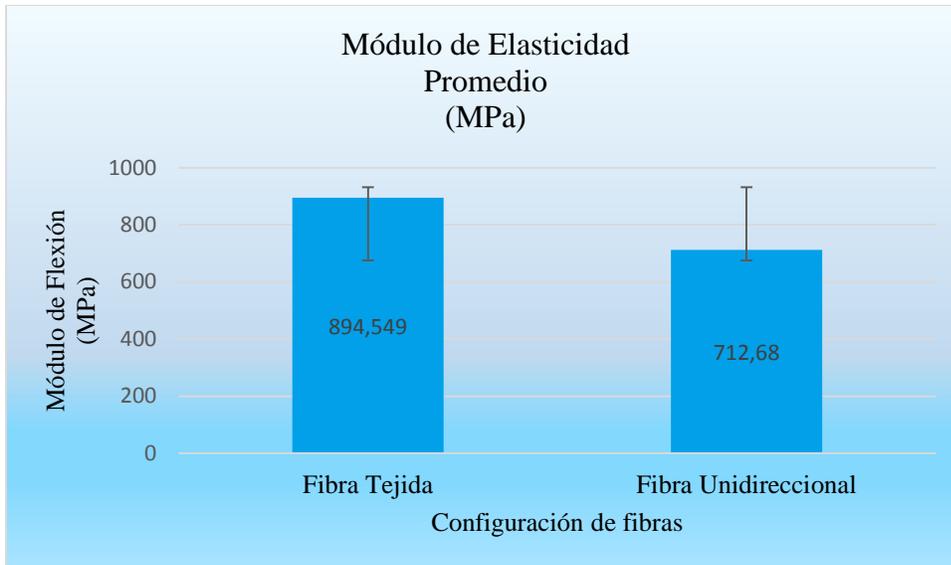


Figura 58. Comparación de la media del módulo de elasticidad promedio por el método LSD de Fisher

En la figura 57 se observa que la media del esfuerzo máximo de la fibra tejida supera a la fibra unidireccional, su diferencia es significativa entre los límites superiores e inferiores. En cuanto a la figura 58 los valores de la media del módulo de elasticidad se mantienen tanto para el límite superior como inferior.

### **Simulación de datos fender flares con resina de poliéster**

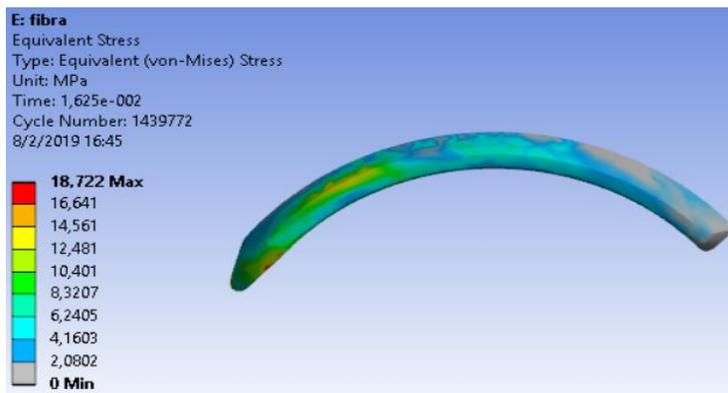
A continuación se presenta los datos de la simulación dinámica del fender flares con material de resina de poliéster, la energía interna figura 59, el esfuerzo máximo de Von Mises figura 60, la deformación total figura 61.

En la figura 59 se puede apreciar la simulación de la energía interna con un valor mínimo de 0 J/kg y un máximo de 7289,8 J/kg en un tiempo aproximado de 1,625e-002 segundos durante un número de 1439772 ciclos.



*Figura 59.* Simulación energía interna fender flares, resina de poliéster

El esfuerzo máximo se puede apreciar en la figura 60, es de tipo Von-Mises con su valor mínimo de 0 MPa ubicado en su parte final, se puede evidenciar que a partir del centro hacia la derecha casi no existe ninguna afectación y un máximo de 18,722 MPa en un tiempo de 1,625e-002 segundos, durante 1439772 ciclos, los puntos críticos son su punta de sujeción al material metálico porque por su moldura que tiene no es redonda sino ovalada tiende producirse mayores daños.



*Figura 60.* Simulación esfuerzo máximo fender flares, resina de poliéster

El punto límite de resistencia del material es cuando alcanza 1550519 ciclos en un tiempo de 1,75e-002 segundos con un valor máximo de 173,14 MPa, donde se produce la rotura total del fender flares.

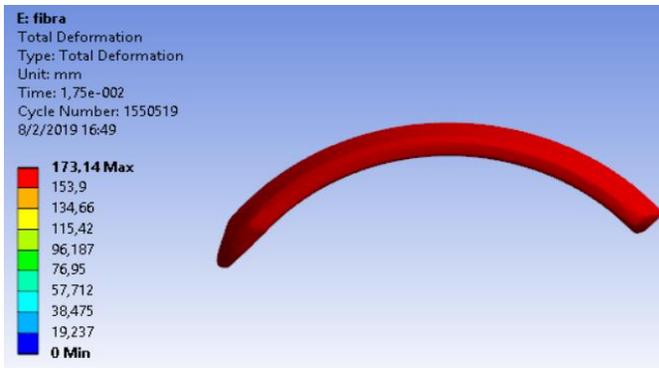


Figura 61. Simulación deformación total fender flares, resina de poliéster

### Simulación de datos fender flares material ABS

Se presentan los datos de la energía interna figura 62, el esfuerzo máximo de Von Mises figura 63, la deformación total figura 64.

En cuanto con la simulación del fender flares con material original que sale de fábrica en este caso de material ABS figura 62 su energía interna ya no tiene un mínimo de 0 J/kg sino que inicia en 0,11761 J/kg y un máximo valor de 6621,6 J/kg en un tiempo de 1,625e-002 segundos en 50356 ciclos, no presenta puntos críticos sino lo que hace es mejorar la absorción de energía durante un impacto.

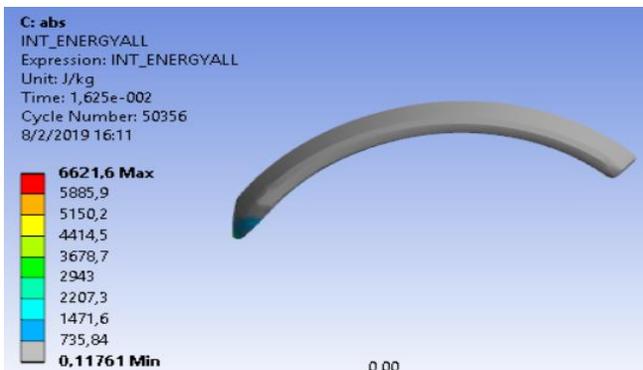


Figura 62. Simulación energía interna fender flares, material ABS

El esfuerzo máximo se puede apreciar en la figura 63, mediante Von-Mises con un valor mínimo de 0,048117 MPa y un máximo de 16,761 MPa durante 54233 ciclos en un tiempo promedio de 1,75e-002 segundos, existen puntos críticos ubicados ya en toda la superficie.



Figura 63. Simulación esfuerzo máximo fender flares, material ABS

La deformación figura 64 que percibe la moldura no es en su parte inicial sino al final debido a que este material internamente sus moléculas están íntimamente unidas lo que hace es transmitir la energía de impacto, como ya no tiene por donde más desplazarse es ahí donde produce la rotura. Su deformación se produce a los 1,625e-002 segundos de haber iniciado el impacto con un valor mínimo de 1,8816 mm hasta llegar a un valor máximo de deformación de 119,67 mm en un tiempo de 1,625e-002 segundos en 50356 ciclos.

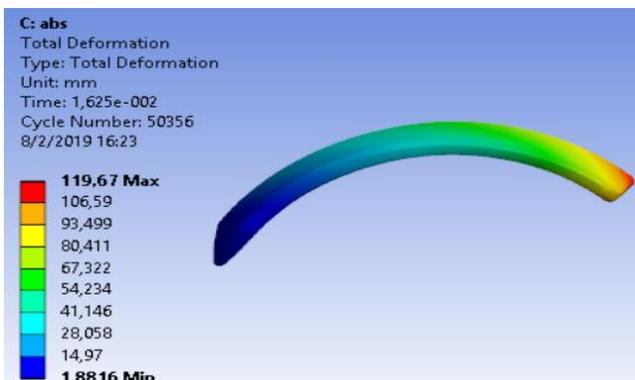


Figura 64. Simulación deformación total fender flares, material ABS

### Simulación de datos fender flares material mixto resina de poliéster y fibras de agave

Se presentan los datos de la energía interna figura 65, el esfuerzo máximo de Von Mises figura 66, la deformación total figura 67 del material mixto de resina de poliéster y fibras de agave (compuesto mixto).

Al utilizar la resina de poliéster y las fibras de agave para mejorar al material original en este caso plástico ABS, sus propiedades mecánicas ayudan a enlazarse por medio de químicos con la fibra es de ahí que se obtiene ya un material mejorado donde su energía interna tiene como valor mínimo 0,017813 J/kg y un valor máximo de 4369,7 J/kg, durante 49611 ciclos en un tiempo de 2, e-002 segundos.

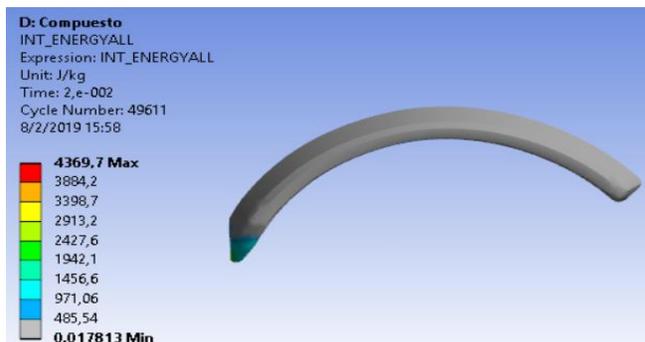


Figura 65. Simulación energía interna fender flares, material mixto resina de poliéster y fibra de agave

Mediante el análisis de Von-Mises figura 66 se puede apreciar que el material soporta los esfuerzos máximos, con un valor mínimo de 0,037748 MPa y un valor máximo de 12,101 MPa, realizado el cálculo durante 1,625e-002 segundos en 40310 ciclos, no existen zonas donde se vaya a producir deformaciones sino al contrario soporta las condiciones de impacto bajo la normativa EURO NCAP.

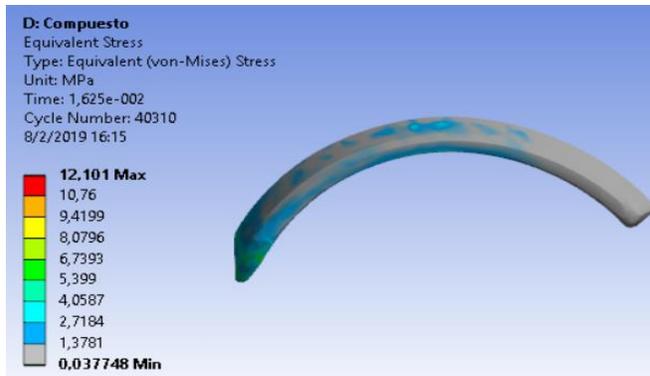


Figura 66. Simulación esfuerzo máximo fender flares, material mixto resina de poliéster y fibra de agave

En la figura 67 se muestra su deformación total, al ser un material compuesto la energía de impacto viaja internamente hasta producirse la deformación, el material se contrae en 1,625e-002 segundos un valor máximo de 102,73 mm en 40310 ciclos.

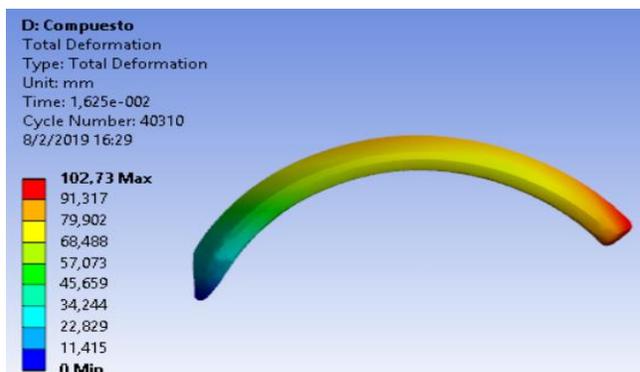


Figura 67. Simulación deformación total fender flares, material mixto resina de poliéster y fibra de agave

Como se puede observar una vez realizadas las simulaciones para cada tipo de configuraciones de material compuesto y material original sus valores son totalmente distintos pero se mantienen bajo un rango considerable.

### Costos

Costo es el gasto económico que representa la fabricación de un producto o la prestación de un servicio (Porto., 2008).

### Costo de Materiales

El costo de materiales empleados para la fabricación de la autoparte automotriz se detalla a continuación tabla 20.

Tabla 20.  
*Costo de materiales para la fabricación del fender flares*

<b>C</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo/u (USD)</b>	<b>Costo total (USD)</b>
Resina de poliéster Basf Palatal A430	1	8,50	8,50
Octoato de cobalto	1	4,770	4,70
Peróxido MEK,	1	3,80	3,80
Estireno	1	3,80	3,80
Cera desmoldeante	1	7,40	7,40
Brochas con cerdas sintéticas mango de madera tipo plana 2½ "	1	2,20	2,20
		<b>Subtotal</b>	<b>30,4</b>

### Materiales adicionales

Tabla 21.  
*Costo de Materiales adicionales para la fabricación del fender flares*

<b>Concepto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo/u (USD)</b>	<b>Costo Total</b>
Disco corte	1	2,35	2,35
Juego de brocas	1	6,60	6,60
Pintura	1	3,35	3,35
Thinner	1	1	1
Guantes	1	1,25	1,25
Lima triangular	1	1	1
Juego llaves boca mixta	1	8,30	8,30
Llave inglesa 10"	1	25	2
		<b>Subtotal</b>	<b>25,8</b>

### Costo de fabricación

Aquí se detallan las horas empleadas para la construcción de los fender flares.

Tabla 22.

*Horas empleadas por cada autoparte automotriz*

<b>Total horas</b>	<b>Costo/u (USD)</b>	<b>Costo total (USD)</b>
3	5	15

**Costo total de fabricación**

Tabla 23.

Costo total de fabricación del par de fender flares

<b>Sistema</b>	<b>Costo total</b>
Costo de materiales	30
Materiales adicionales	25,85
Costo de fabricacion	30
Otros materiales	10
<b>Total</b>	<b>96,24</b>

**Tasa de descuento**

La tasa de descuento es un coeficiente matemático utilizado para calcular el valor actual de una renta o capital futuros, mediante el cálculo de la función del tipo de interés y del número de años de descuento.

La tasa de interés establecida por el Banco Nacional de Fomento para proyectos de desarrollo es del 5 % de interés generado al capital propio.

Tabla 24.

*Tasa de descuento*

<b>TASA DE DESCUENTO</b>			
Descripción	valor	%	Tasa ponderante
Inversión	96,24	100	5%

**Tasa de rendimiento medio**

$$TRM = (1 + TP) \times (1 + IF) - 1$$

Donde:

(13)

TD = Tasa de descuento

TP = Tasa Ponderante

IF = Índice de inflación (5,41%)

Reemplazando los valores tenemos lo siguiente:

$$TRM = (1 + 0,05) \times (1 + 0,0541) - 1$$

$$TRM = 0,107$$

$$TRM = 10,7 \%$$

### **Valor actual neto (V.A.N.)**

Nos permite calcular el valor presente de un número de flujos de caja futuros, que son originados por una inversión, para esto utilizamos la siguiente ecuación.

$$VAN = \sum U_n (1 + cp)^{-m} \quad (14)$$

Donde:

VAN = Valor actual neto

$\sum U_n$  = Sumatoria de los saldos de caja para cada periodo

n = Periodo de análisis por año.

cp = costo del capital (10,7 %)

m = 1,2,3.... Etc, año de operación

Dependiendo de este indicador económico se establecerá si la presente inversión es o no factible, para eso tenemos la siguiente tabla 25 de evaluación.

Tabla 25.

*Indicador económico para la aceptación del proyecto*

Valor	Significado	Decisión a tomar
<b>VAN &gt; 0</b>	La inversión produciría ganancias	El proyecto puede aceptarse
<b>VAN &lt; 0</b>	La inversión produciría pérdidas	El proyecto debería rechazarse
<b>VAN = 0</b>	La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas	El proyecto es analizado para aceptarse o rechazarse

**Nota:** Fuente (Fontalvo Herrera, 2012)**Tasa interna de rentabilidad (T.I.R.)**

Es la tasa de descuento con la que el valor actual neto (VAN) es igual a cero, su cálculo se lo realiza por medio de la siguiente ecuación 15.

$$I = \sum U_n(1 + TIR)^{-m} \quad (15)$$

Donde:

I = Inversión inicial del proyecto

 $\sum U_n$  = Sumatoria de los saldos de caja para cada periodo

n = Periodo de análisis en años

TIR = Tasa interna de rentabilidad

m = -1,-2,-3 etc. Año de operación

Los criterios de evaluación son los siguientes:

TIR &gt; costo del capital, se acepta el proyecto.

TIR &lt; costo del capital, se rechaza el proyecto.

**Relación beneficio costo**

Podemos estimar el impacto financiero acumulado por cada dólar invertido en el proyecto.

La fórmula para calcular la relación beneficio costo es la siguiente:

$$Beneficio\ costo = \frac{\sum Ingresos / (1+i)^n}{\sum Costos / (1+i)^n} \quad (16)$$

Donde:

i = Tasa de descuento

n = Año de operación

De esta manera el costo total de las dos autopartes está en el promedio de \$96,24 dólares americanos, el costo en el mercado nacional es de \$140 por lo que existe una diferencia de \$43,76 dólares americanos

### **Análisis y Discusión de Resultados**

De esta manera se procede al análisis de resultados obtenidos mediante la caracterización de materiales compuestos de diferentes configuraciones de fibra sometidos a ensayos de tracción, flexión bajo las normas ASTM para elegir el material idóneo en la construcción de la autoparte, las simulaciones dinámicas de impacto entre la pieza mecánica y la barrera de impacto utilizando un software de análisis en este caso ANSYS bajo la normativa EURO NCAP.

#### **Ensayo a flexión**

En la figura 68 se muestra la comparación de la resistencia a la flexión de las dos configuraciones fibra tejida y fibra unidireccional, de las siete probetas analizadas su deformación promedio oscila en los 12,471 mm, a una carga máxima de 112,643 N y para la fibra unidireccional su deformación promedio es de 7,41 mm a una carga máxima de 107,95 N, su diferencia es de 5,061 mm de deformación. Según Quesada (2013) manifiesta que la variación de los desplazamientos no debe superar los 4 a 5 mm de deformación de material compuesto. Por lo que el valor obtenido está dentro de los parámetros establecidos. Gallegos (2011) manifiesta que la resina de poliéster más la fibra de mocora poseen una tasa de error del 5,5% por medio del método de la diferencia menos significativa (LSD), en cuanto la resina de poliéster más la fibra de agave su tasa de error no superan los 5,061 %, por lo que si realizamos una comparación de las tasas de error su diferencia es de 0,439%.

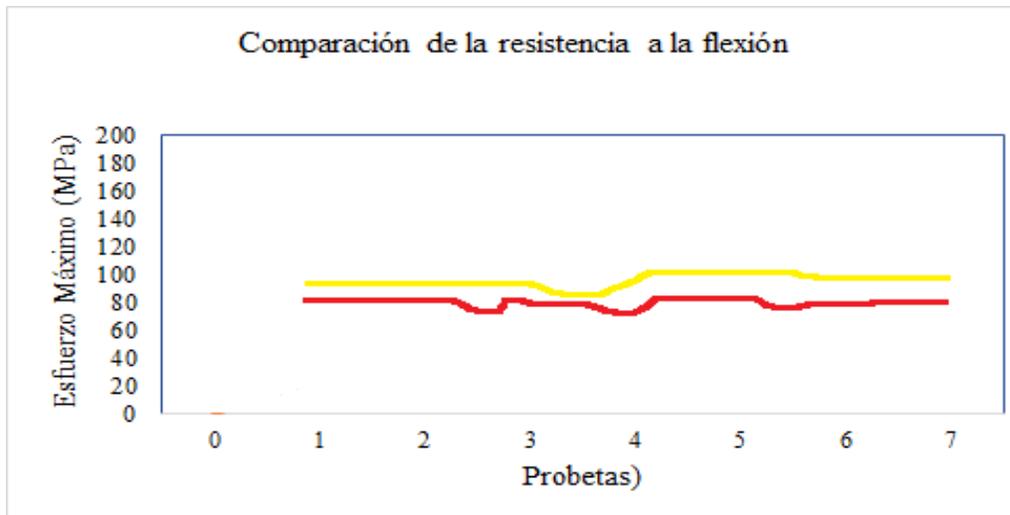


Figura 68. Resultados promedio de la resistencia a la flexión del compuesto de fibra tejida (color amarillo) y fibra unidireccional (color rojo)

El módulo de flexión figura 69 de las dos configuraciones fibra tejida es de 6265,361 MPa y para la fibra unidireccional es de 5484,08 MPa, su diferencia de los módulos de flexión es de 781,281 MPa. Según Estrada (2010), manifiesta que la relación de sus módulos de flexión en comparación con otros materiales que tengan como matriz compuesta resina de poliéster debe estar dentro de los promedios de 300 MPa hasta 1000 MPa, por lo que el valor obtenido está dentro del rango establecido. Salvador (2008) hace una comparación de los valores de las masas a 32,451 °C, la fibra unidireccional más la fibra tejida con resina de poliéster han perdido 3.886% de su masa mientras que la fibra de mocora en las mismas condiciones fibra tejida y unidireccional alcanzan un 0.8% de su masa, lo que podemos concluir que la fibra de mocora es más resistente.

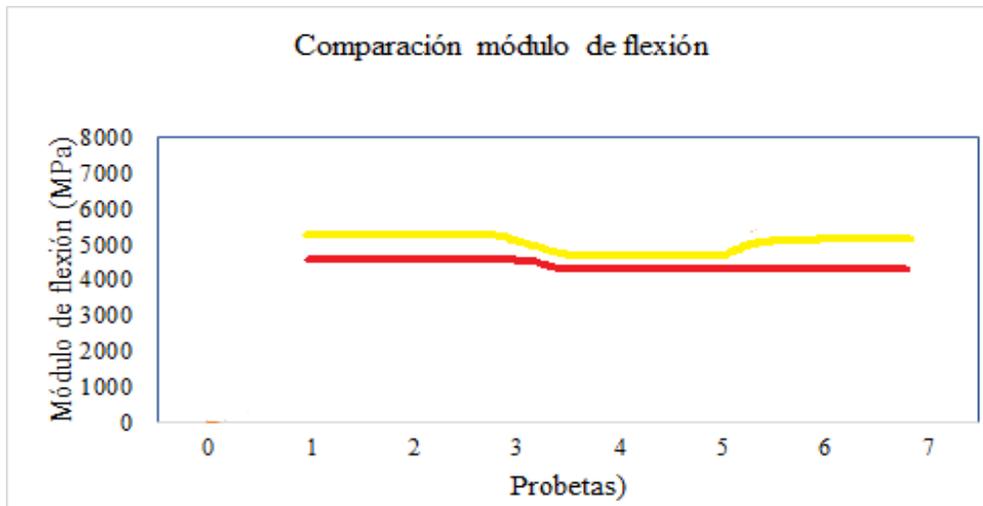


Figura 69. Resultados promedio de la comparación del módulo de flexión del compuesto de fibra tejida (color amarillo) y fibra unidireccional (color rojo)

Del análisis que se presenta en los siguientes resultados figura 68 se aprecia que la fibra tejida es aquella donde la resistencia a la flexión es superior, en la figura 69 de igual manera el módulo de flexión supera a la fibra unidireccional esto depende porque las probetas poseen fracturas cercanas a la zona donde se realizó el estudio aplicando la fuerza perpendicular.

### Ensayo a tracción

En cuanto a la figura 70 representa la comparación de la resistencia a la tracción de las fibras tejida y unidireccional sometidas a una carga de 3029,079 N generando un esfuerzo a la tracción de 25,25 MPa y en las fibras unidireccionales con una carga de 1339,89 N generando un esfuerzo a la tracción de 19,13 MPa. Según Salvador (2008), Los valores nominales correspondientes a esfuerzos de tracción varían dependiendo de la carga, estos están dentro de los rangos 0 MPa hasta 50 MPa, por lo que los resultados obtenidos cumplen esa condición de análisis.

Según Renato (2017) manifiesta que la concentración volumétrica del 70 % y refuerzo de totora del 30%, favorecen en los resultados de resistencia a la tracción a las configuraciones de fibra tejida y unidireccional con valores de 19.71 (MPa) y 28.16 (MPa) respectivamente, de igual

manera para el módulo de elasticidad con valores de 691.39 (MPa) para fibra unidireccional, 943.33 (MPa) para fibra tejida. Encambio en los datos obtenidos de ensayo a tracción de fibra tejida y unidireccional con un factor volumétrico del 80% y refuerzo de fibra de agave del 20% son un esfuerzo máximo de 25,25 MPa fibra tejida y 19,13 MPa fibra unidireccional respectivamente, su módulo de elasticidad oscila entre 712,68 MPa y 894,549 MPa observándose que los valores varíen en un 4,5% debido a los refuerzos del material agregado.

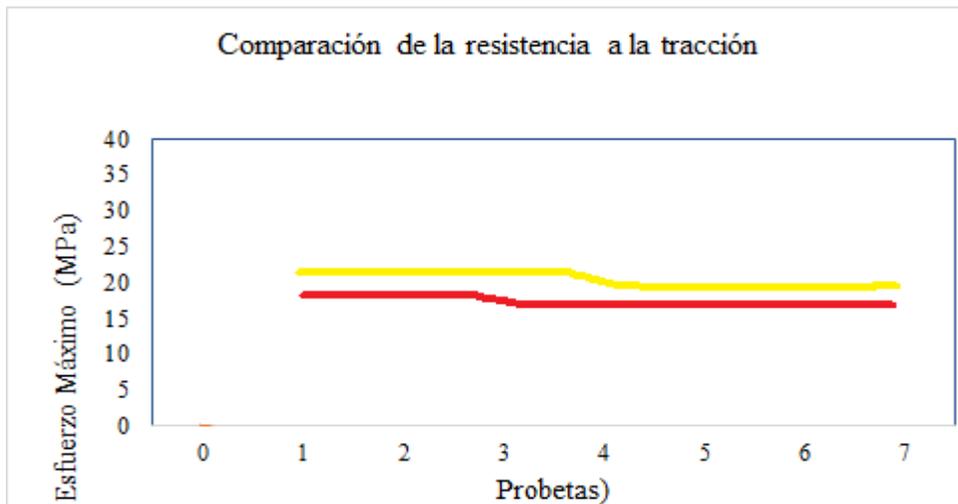


Figura 70. Resultados promedio de la resistencia a la tracción del compuesto de fibra tejida (color amarillo) y fibra unidireccional (color rojo)

En la figura 71 se muestra la comparación del módulo de elasticidad a la tracción de las fibras tejida y unidireccional sometidas a una carga máxima de 3029,079 N generando un módulo de elasticidad de 894,549 MPa y para la fibra unidireccional bajo una carga de 1339,89 N presenta un módulo de elasticidad de 712,68 MPa. Pontón y Guerrero (2010) aseguran que el refuerzo de fibra de abacá con una matriz de resina de poliéster tiene una buena elasticidad dentro de los 800 a 900 MPa cuando esta se encuentra en una fracción volumétrica de hasta el 35%, pero como podemos darnos cuenta el estudio de esta investigación está realizada a una fracción volumétrica del 20% donde su elasticidad es de 850 a 900 MPa, por lo que la comparación está dentro de los resultados obtenidos.

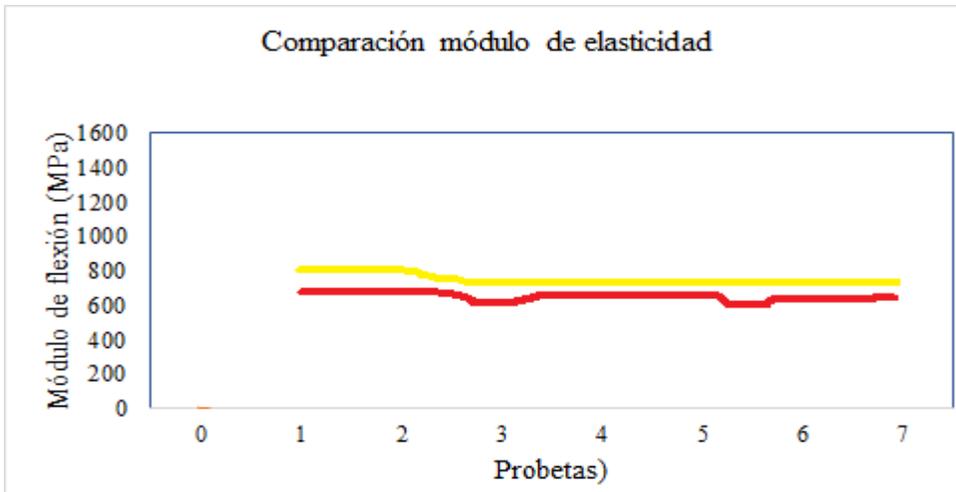


Figura 71. Resultados promedio de la comparación del módulo de elasticidad a la tracción del compuesto de fibra tejida (color amarillo) y fibra unidireccional (color rojo)

Del análisis de las configuraciones de los dos compuestos presenta su módulo de elasticidad mayor la fibra tejida debido a la ausencia de la zona plástica antes de la fractura.

#### **Análisis de resultados de simulación**

A continuación se efectúa el análisis de datos de los resultados por medio de simulación ANSYS de los tres tipos de materiales ABS, Compuesto Mixto (Resina de poliéster y fibras de agave) y resina de poliéster insaturada bajo un tiempo de 5 segundos a una distancia de 77 metros y una velocidad de  $15,5 \frac{m}{s}$ .

Este análisis lo he realizado de la siguiente manera, establezco las condiciones iniciales y verifico su velocidad como se muestra en la siguiente figura 72.

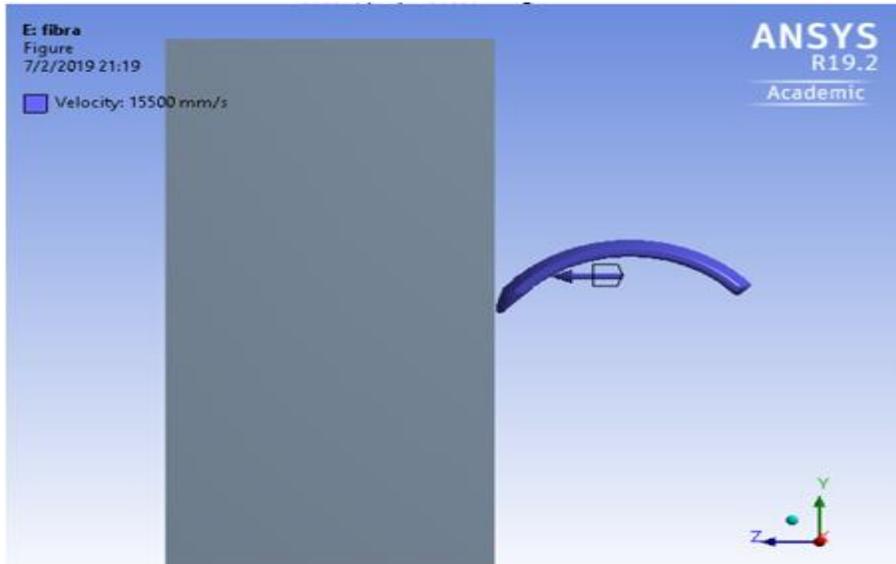


Figura 72. Velocidad de impacto del fender flares con respecto a la barrera

Cundo empieza el material hacer contacto con la barrera de prueba se observa que inicia a deformarse el material y absorber energía, no siempre pasa esto también existe pérdidas de energía, con forme pasa el tiempo como se muestra en la figura 73, si nos basamos en el principio fundamental de la física “la energía no se crea, ni se destruye sino se transforma”, durante la colisión parte de la energía es absorbida en este caso por el vehículo (fender flares), transformándose en energía de deformación y parte por el objeto golpeado (barrera).



Figura 73. Visualización en el momento que empieza a deformarse el material

Es ahí donde inicia a cambiar su desplazamiento así como se muestra en la figura 74.

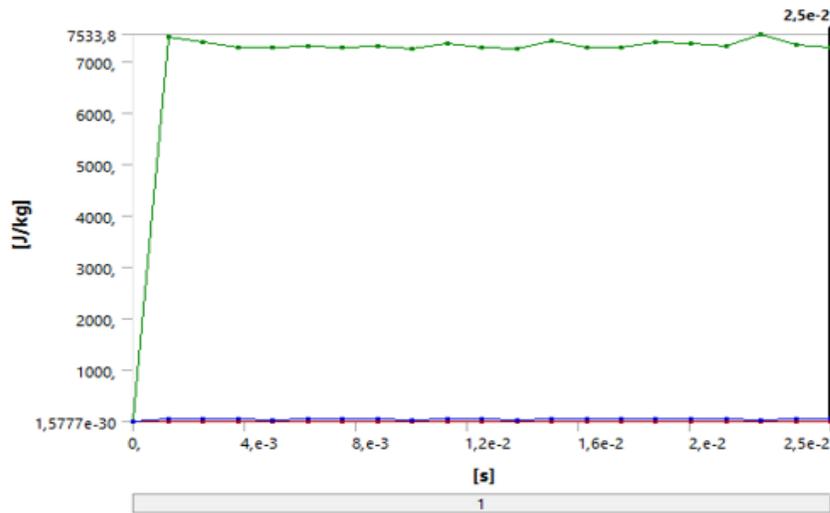


Figura 74. Desplazamiento al inicio del impacto

Hasta llegar a su total deformación figura 75, por ende cambia su temperatura, esto se puede visualizar después de 61961 ciclos tabla 26.

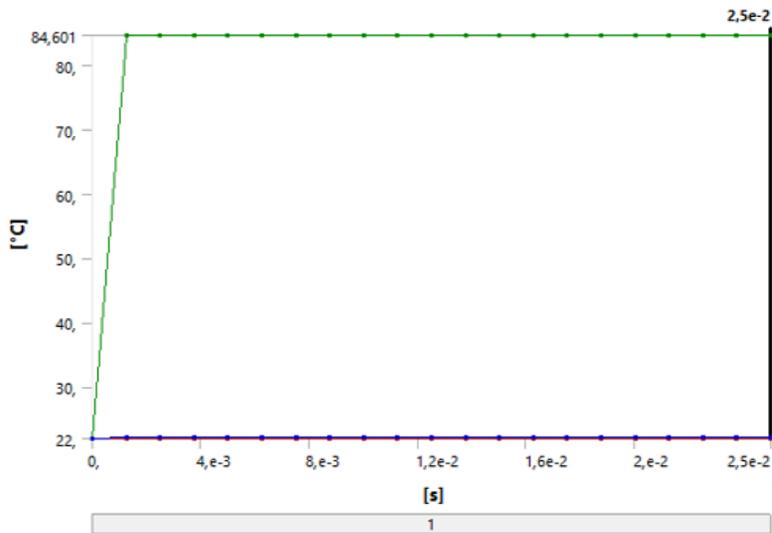


Figura 75. Deformación total después del impacto

Como se puede apreciar en la tabla 26 existe dos etapas de análisis antes y después del impacto, los valores mínimos de energía interna que se producen son de 0 J/kg a una temperatura

de 22°C y un valor máximo de energía interna de 0,21874 J/kg en la misma temperatura. Ahora el análisis de los resultados desde el momento que se produce el impacto de igual manera se producen un valor mínimo de energía interna en un tiempo de 0 J/kg y un máximo de 4401 J/kg correspondiente a una temperatura de 32,451°C esta variación de temperatura es debido a que empieza almacenar energía la autoparte en un tiempo de 2,5e-002 segundos, con un numero de ciclos de 61961.

Tabla 26.

*Resultados de variación de temperatura en el impacto*

<b>Resultados</b>			
Mínimo	1,8941e-002 J/kg	830,48 kg/m <sup>3</sup>	22, °C
Máximo	4373,9 J/kg	846,6 kg/m <sup>3</sup>	32,451 °C
Promedio	129,95 J/kg	840,11 kg/m <sup>3</sup>	22,293 °C
<b>Valor Mínimo en el Tiempo</b>			
Mínimo	0, J/kg	829,71 kg/m <sup>3</sup>	22, °C
Máximo	0,21874 J/kg	840, kg/m <sup>3</sup>	22, °C
<b>Valor Máximo en el Tiempo</b>			
Mínimo	0, J/kg	840, kg/m <sup>3</sup>	22, °C
Máximo	4401, J/kg	856,33 kg/m <sup>3</sup>	32,451 °C
<b>Información</b>			
Tiempo	2,5e-002 s		
Conjunto	21		
Número de Ciclos	61961		

**Nota.** Fuente: Simulación de impacto en la interfaz de ANSYS, análisis de la variación de temperatura.

Se utiliza el software de Matlab R2017a para validar los datos de la simulación obtenida por medio de ANSYS, dando los siguientes resultados:

M. Young(N/mm<sup>2</sup>):\_800  
 Coeficiente de Poisson:\_>> 0.18  
 Volumen del refuerzo (%):\_20  
 Tensión unitaria Tensor X-X:\_0.0045  
 Tensión unitaria Tensor Y-Y:\_0.0043  
 Tensión unitaria Tensor Z-Z:\_0.0044  
 Tensión unitaria Tensor X-Y:\_0.0003  
 Tensión unitaria Tensor Y-Z:\_0.0014

Tensión unitaria Tensor X-Z: \_0.0028

Módulo Elástico

Et =

5.2666e+003

Relación de Poisson

Pt =

0.3230

Matriz de Strain-Stress Relations

M1 =

1.0000	-0.3570	-0.3570	0	0	0
-0.3570	1.0000	-0.3570	0	0	0
-0.3570	-0.3570	1.0000	0	0	0
0	0	0	3.5141	0	0
0	0	0	0	3.5141	0
0	0	0	0	0	3.5141

Resultado Matriz de Strain Stress Relations

SSR =

**7240,2**

**18,534**

**169,12**

Estos datos obtenidos son correspondientes al material de resina de poliéster, de igual manera se realiza para el material ABS y material compuesto de resina de poliéster y fibras de agave, los valores se encuentran en la tabla 27 y en comparación con los obtenidos por el software ANSYS.

Tabla 27.

*Resultados de los tres materiales analizados mediante software de ANSYS y Matlab*

<b>Material Resina de Poliéster</b>		
	ANSYS	Matlab
Energía Interna (J/kg)	7289,8	7240,2
Esfuerzo Máximo (MPa)	18,722	18,534
Deformación Total (mm)	173,14	169,12
<b>Material ABS</b>		
	ANSYS	Matlab
Energía Interna (J/kg)	6621,6	6612,4
Esfuerzo Máximo (MPa)	16,761	16,761
Deformación Total (mm)	119,67	119,6
<b>Material Compuesto (Resina de poliéster y fibra de agave)</b>		
	ANSYS	Matlab
Energía Interna (J/kg)	4369,7	4372,5
Esfuerzo Máximo (MPa)	12,101	12,101
Deformación Total (mm)	102,73	102,73

De acuerdo a la tabla 27 se puede apreciar que el material de resina de poliéster en comparación de su energía interna por medio del software ANSYS es de 7289,8 J/kg y en el software de Matlab es de 7240, 2 J/kg por lo que existe una diferencia de 49,6 J/kg que significa un 2,3% de variación de su energía, está dentro del rango moderado. Su esfuerzo máximo de 18,722 MPa a 18,534 con una diferencia de 0,188 lo que es menor del 1% y en cuanto a su deformación total es de 173,14 mm y de 169,12 mm existiendo una diferencia de 4,02 mm equivalente al 6% de su valor original.

En consecuente al material ABS existente en el mercado local con los datos obtenidos mediante ensayos a tracción y flexión su energía interna es de 6621,6 J/kg por medio del entorno de simulación ANSYS y en el software de Matlab es de 6612, 4 J/kg, siendo su diferencia de 9,2

J/kg equivalente al 7,3% de su energía total. En cuanto a su esfuerzo máximo sus valores son equivalentes a 16,761 MPa manteniéndose sin ninguna variación, pero su deformación total varia en un 0,07 mm correspondiente al 0,56%.

Y por último tenemos al material compuesto de resina de poliéster y fibra de agave, su energía interna aumenta en el software de Matlab en un 2,8 J/kg, con un 3,2% de variación, su esfuerzo máximo se mantiene constante, no varía en módulo 12,101 MPa y lo mismo sucede en la deformación total sus valores son iguales a 102,73 mm.

Una vez con los resultados claros se procede a simular con los tres materiales obteniéndose las siguientes tablas y figuras.

Tabla 28.

Deformación después del impacto para los tres materiales establecidos para su análisis dinámico.

	COMPUESTO ABS		RESINA
Tiempo [s]	Máximo [mm]	Máximo [mm]	Máximo [mm]
1,18E-38	0	0	0
1,25E-03	19,376	19,359	7,5933
2,50E-03	39,188	40,449	19,025
3,75E-03	56,338	56,452	32,133
5,00E-03	79,229	85,058	44,462
6,25E-03	101,25	100,94	57,576
7,50E-03	112,96	94,204	70,194
8,75E-03	117,66	90,04	83,325
1,00E-02	120,46	82,018	95,992
1,13E-02	117,46	76,712	109,1
1,25E-02	111,28	85,755	122,76
1,38E-02	105,13	99,561	134,48
1,50E-02	101,71	113,43	147,39
1,63E-02	102,73	119,67	160,56
1,75E-02	105,05	113,29	173,14
1,88E-02	105,25	106,24	186,66
2,00E-02	103,88	103,38	198,87
2,13E-02	100,73	109,15	212,15
2,25E-02	98,673	113,29	224,92
2,38E-02	97,004	124,64	237,73
2,50E-02	96,403	139,89	251,1

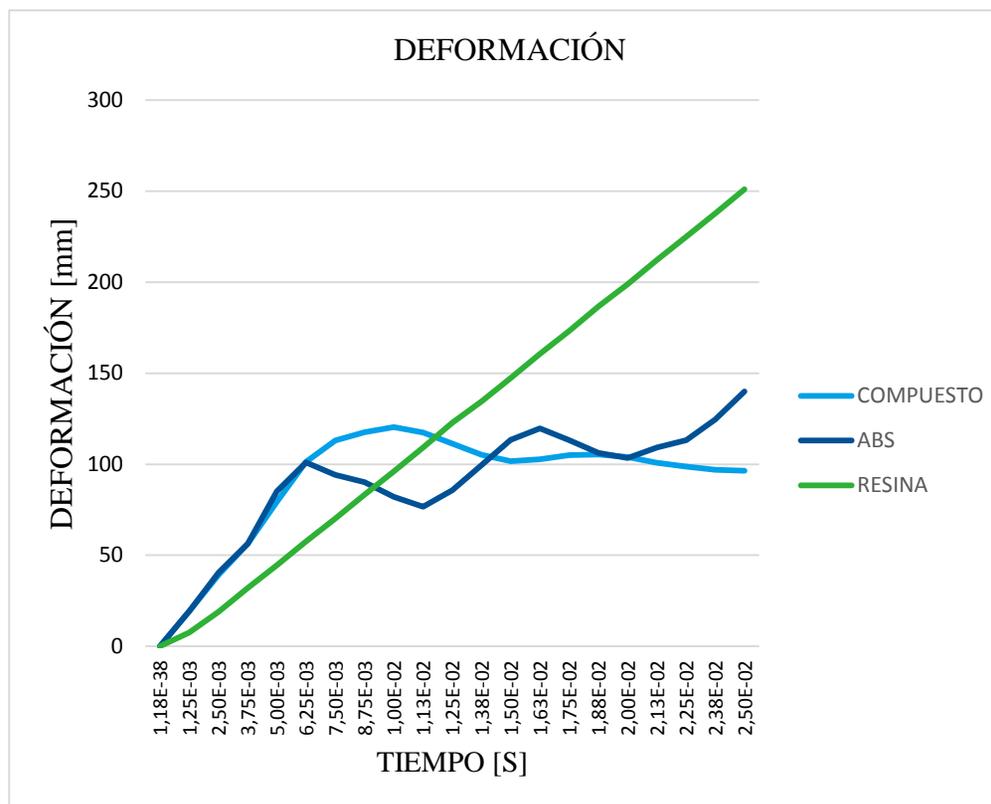


Figura 76. Deformación vs tiempo de los tres materiales establecidos para su análisis dinámico

Tabla 29.

*Esfuerzo máximo después del impacto para los tres materiales establecidos para su análisis dinámico.*

	COMPUESTO	ABS	RESINA
Tiempo [s]	Máximo [MPa]	Máximo [MPa]	Máximo [MPa]
1,18E-38		0	0
1,25E-03	11,623	35,538	34,858
2,50E-03	12,025	26,808	49,628
3,75E-03	10,936	24,976	40,573
5,00E-03	12,111	24,774	26,242
6,25E-03	12,282	23,876	30,771
7,50E-03	11,744	20,574	52,092
8,75E-03	12,334	30,071	66,814
1,00E-02	12,825	23,965	38,674
1,13E-02	11,117	26,121	22,879
1,25E-02	9,5593	28,72	17,376
1,38E-02	9,695	17,361	20,899
1,50E-02	10,912	18,985	26,376
1,63E-02	12,101	15,711	18,722
1,75E-02	10,006	16,761	22,345
1,88E-02	7,0557	21,533	51,851
2,00E-02	7,4169	21,101	67,053
2,13E-02	8,5322	21,154	52,963
2,25E-02	7,1329	22,892	32,727
2,38E-02	7,955	19,121	19,968
2,50E-02	8,9051	18,337	28,041

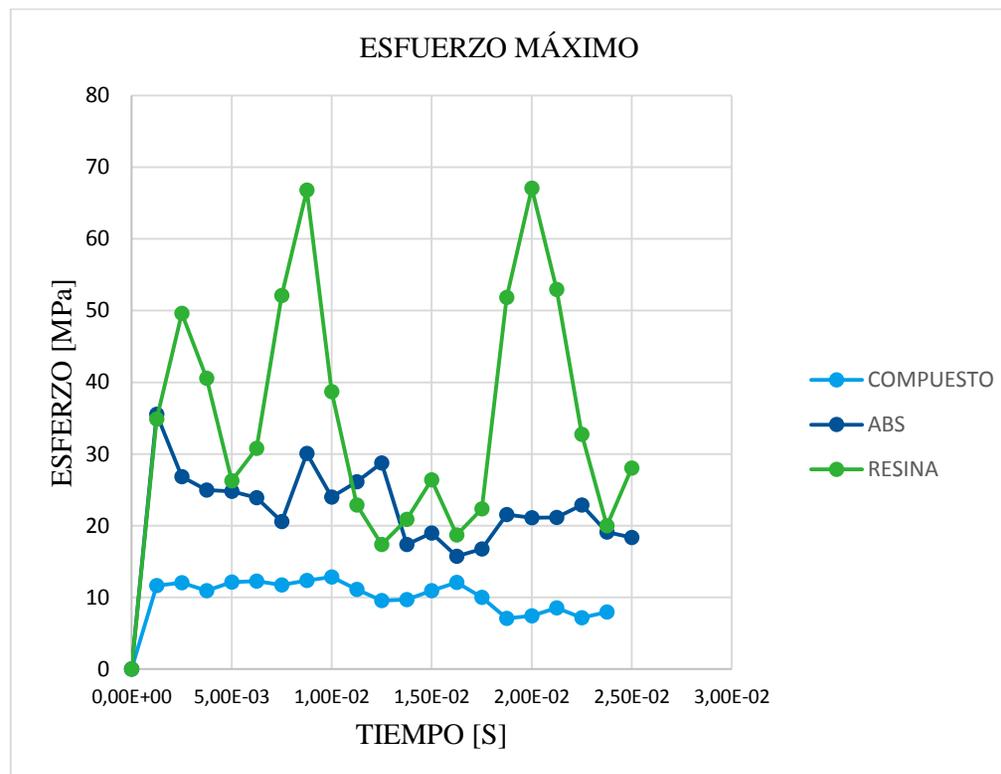


Figura 77. Esfuerzo máximo vs tiempo de los tres materiales establecidos para su análisis dinámico

De acuerdo a la tabla 28 la deformación máxima del compuesto mixto de resina de poliéster y fibra de agave ocurre en el tiempo de  $1,00E-02$  segundos con una deformación de 120,46 mm; el material ABS logra su deformación máxima en  $2,50E-02$  segundos con un desplazamiento de 139,89 mm y el material de resina de poliéster al 100% se deforma en un tiempo de  $2,38E-02$  segundos con un desplazamiento de 237,73 mm. En cuanto a la figura 75 deformación vs tiempo, la resina de poliéster presenta una gráfica lineal debido a que con forme pasa el tiempo el material se deforma uniformemente, lo que no ocurre con el material mixto cuando llega a un tiempo de  $8,75e-03$  sobrepasa el rango elástico y desde el tiempo  $1,38e02$  se mantiene en el rango plástico, el material ABS presenta deformaciones máximas y mínimas porque con el pasar del tiempo tiende a contraerse y expandirse así como un resorte. De acuerdo a Guerrero (2010) ” manifiesta un material compuesto mientras siga comportándose como la gráfica esfuerzo vs deformación es aceptable para actuar como material de construcción de molduras vehiculares.

El esfuerzo máximo debido al impacto justo antes de que se produzca la deformación, para que no se altere el material o sufra cambios de forma física ocurre con el material mixto según la tabla 29 su valor es de 12,825 MPa en un tiempo de  $1,00E-02$  segundos, lo que no sucede con el material ABS necesita más tiempo  $1,25E-03$  segundos para llegar a 35,538 MPa y el material de resina de poliéster lo hace en  $8,75E-03$  segundos con un valor de 66,814 MPa como se puede observar en la figura 76 mostrando más puntos de absorción de energía altos y bajos. El material compuesto de color azul es el que menores esfuerzos posee en los mismos tiempos por lo que el material exhibe una deformación permanente y una aproximación al límite elástico, pero no sobre pasa el 2% establecido para plásticos ABS o cualquier material a fin.

Tabla 30.

Energía interna después del impacto para los tres materiales establecidos para su análisis dinámico.

	COMPUESTO ABS		RESINA
Tiempo [s]	Máximo [J/kg]	Máximo [J/kg]	Máximo [J/kg]
1,18E-38	0	0	0
1,25E-03	3356,8	6865,8	7481,6
2,50E-03	3937,8	6628	7390,5
3,75E-03	3900,7	6529,5	7269,5
5,00E-03	3973,1	6526,2	7270,5
6,25E-03	4133	6450,7	7295,5
7,50E-03	4111	6331,2	7270,3
8,75E-03	4140,2	6956	7304,6
1,00E-02	4343,8	6798,1	7256,8
1,13E-02	4339,5	6720,4	7363,8
1,25E-02	4262,8	6728,9	7273,4
1,38E-02	4297,4	6647,7	7257,5
1,50E-02	4319,8	6662,6	7417,4
1,63E-02	4401	6621,6	7289,8
1,75E-02	4391,6	6614,5	7272,1
1,88E-02	4351	6732,1	7389,6
2,00E-02	4369,7	6675	7360,8
2,13E-02	4391,9	6714,4	7295,2
2,25E-02	4393,6	6772,7	7533,8
2,38E-02	4360,7	6710,6	7323,8
2,50E-02	4373,9	6703,6	7266,9

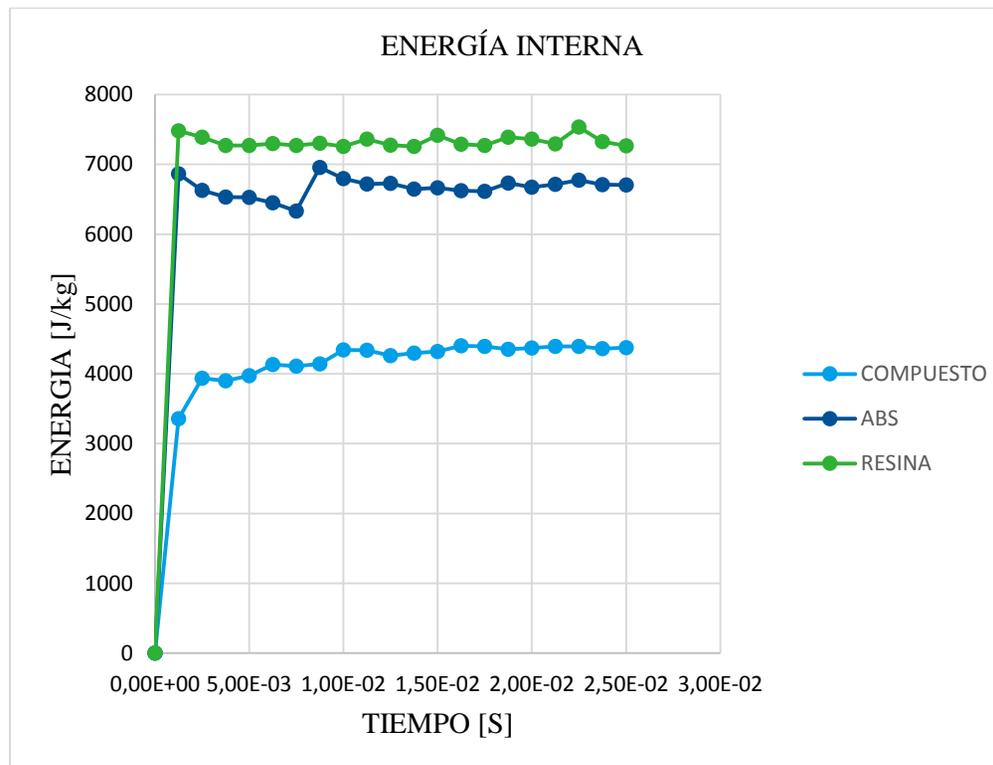


Figura 78. Energía interna vs tiempo de los tres materiales establecidos para su análisis dinámico

Tabla 31.

Tensión plástica equivalente después del impacto para los tres materiales establecidos para su análisis dinámico.

	COMPUESTO	ABS	RESINA
Tiempo [s]	Máximo [mm/mm]	Máximo [mm/mm]	Máximo [mm/mm]
1,18E-38	0	0	0
1,25E-03	0,23267	0,18987	0,0019642
2,50E-03	0,24965	0,19218	0,0019642
3,75E-03	0,24978	0,19218	0,0019642
5,00E-03	0,25079	0,19218	0,0019642
6,25E-03	0,2551	0,19218	0,0019642
7,50E-03	0,2551	0,19218	0,0019642
8,75E-03	0,25534	0,19607	0,0019642
1,00E-02	0,2609	0,1975	0,0019642
1,13E-02	0,26253	0,1975	0,0019642
1,25E-02	0,26253	0,19718	0,0019642
1,38E-02	0,26217	0,19672	0,0019642
1,50E-02	0,26153	0,19672	0,0019642
1,63E-02	0,25971	0,19672	0,0019642
1,75E-02	0,25925	0,19672	0,0019642
1,88E-02	0,25925	0,19672	0,0019642
2,00E-02	0,25925	0,19672	0,0019642
2,13E-02	0,25925	0,19672	0,0019642
2,25E-02	0,25925	0,19672	0,0019642
2,38E-02	0,25909	0,19672	0,0019642
2,50E-02	0,25879	0,19672	0,0019642

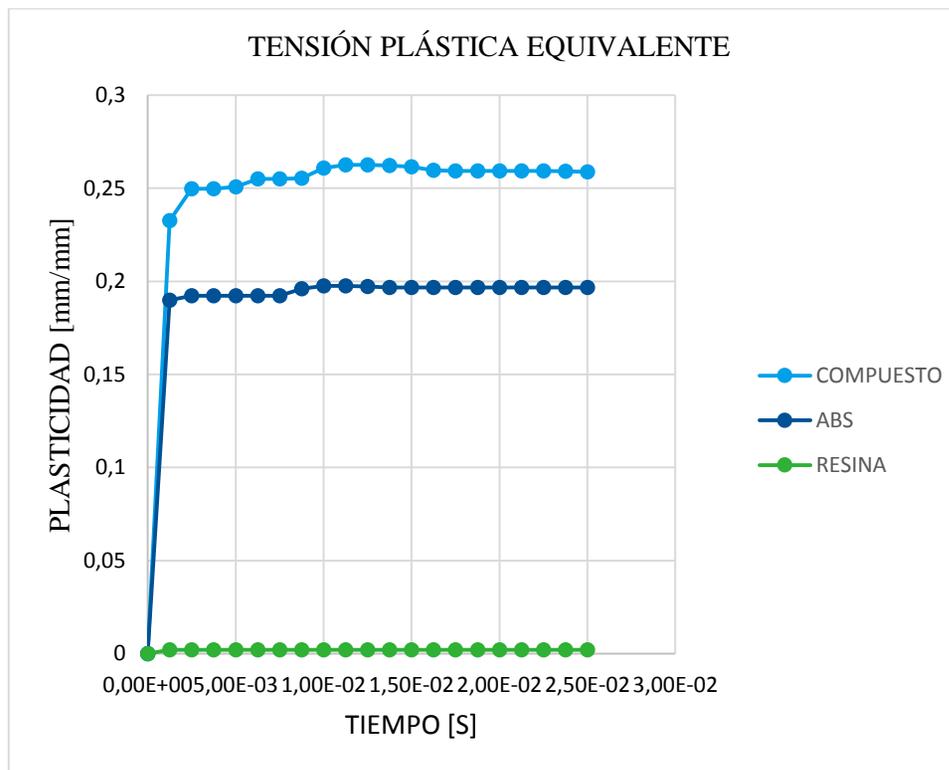


Figura 79. Tensión plástica equivalente vs tiempo de los tres materiales establecidos para su análisis dinámico

De esta manera la energía interna tabla 30 del compuesto mixto es de 4393,6 J/kg en un tiempo de  $2,25E-02$  segundos debido a que la energía cinética produce un desorden en las moléculas, el comportamiento del material ABS es de 6865,8 J/kg en un tiempo de  $1,25E-03$  segundos absorbe más energía en menor tiempo por su posicionamiento de moléculas internamente, y la resina de poliéster posee un valor de 7481,6 J/kg en un tiempo de  $1,25E-03$  segundos mucho mayor que todos como se puede apreciar en la figura 77, sus factores pueden ser al momento de realizar los ensayos a tracción y flexión es sometido a fuerzas externas (compresión) para su secado durante las 6 horas que lleva su proceso de solidificación.

De los materiales ya anteriormente descritos el que menor energía interna de almacenamiento tiene es el material compuesto mixto a base de resina de poliéster y fibras de agave, según Gómez (2011) manifiesta que si no absorbe energía lo suficiente el material es más frágil al impacto, produciendo roturas totales del material, mayores daños a la estructura del vehículo.

En la tabla 31 se muestran valores de la tensión plástica equivalente para el material compuesto con un valor máximo de 0,26253 mm/mm en un tiempo de  $1,13E-02$  segundos esta supera a los dos materiales propuestos para su análisis porque al momento de producirse un impacto su cambio es irreversible, lo que no sucede con el material ABS donde su valor máximo es de 0,1975 mm/mm en un tiempo de  $1,13E-02$  segundos; cabe destacarse que se mantiene el tiempo pero su tensión plástica es menor; y por último tenemos resina de poliéster donde casi no muestra tensión plástica como se refleja en la figura 78.

## Conclusiones

- De los resultados obtenidos mediante ensayos sometidos a tracción y flexión bajo las normativas ASTM D 3039 M -00 y ASTM D 7264 M – 15, con un factor volumétrico del 20% sus valores máximos promedios de ensayos a flexión de fibra tejida alcanza una deformación máxima de 12,471mm en referencia de la fibra unidireccional que es de 7,41mm con una diferencia de 5,061 mm. Mostrando un módulo de flexión de 6265,361 MPa versus 5484,08 MPa por lo que en este tipo de ensayo la fibra ganadora es la tejida. En cambio en los otros resultados de igual manera la fibra tejida es la que predomina, presenta una deformación máxima de 0,724mm versus 0,66mm de fibra unidireccional por ende su módulo de elasticidad es 894,549 MPa sumamente superior a 712,68 MPa con una diferencia de 181,869 equivalente al 42%.
- Mediante la simulación con ANSYS R19.2 Academic se obtuvieron resultados del material de resina de poliéster donde su energía interna es de 7289,8 J/kg y en la validación de resultados mediante el software Matlab su valor numérico es de 7240,2 J/kg existiendo una diferencia de 49,6 J/kg con un valor porcentual del 7,2% que está dentro del rango establecido, para el material ABS su esfuerzo máximo y su deformación total se mantienen iguales, 16,761 MPa y 119,6 mm; lo mismo ocurre para el material compuesto de resina de poliéster y fibra de agave de 12,101 MPa de esfuerzo máximo y 102,73 mm en la deformación total, esto conlleva a verificar que los resultados están bien realizados.
- El refuerzo de resina de poliéster y fibra de agave marginata logran aumentar hasta un 45% la energía absorbida, mostrando un comportamiento exponencial con la adición

del número de capas en el curado de las probetas, esto demuestra que al producirse un choque su deformación es considerable, toma un valor de 173,14 mm.

- Al realizar una simulación por elementos finitos (FEM) se necesita de un procesador que satisfaga las necesidades, en este caso cada simulación en ANSYS se demoraba un promedio de 6 horas a un mallado de 10206 nodos con 8788 elementos, donde requiere mucho tiempo para ajustar los detalles de la geometría.
- Al elaborar el prototipo mediante el método de estratificación manual se evidencia una reducción en peso del 15%, pero presenta defectos como mala fusión del refuerzo con la matriz, los espesores no son uniformes en el prototipo, dificultad de moldeo.

## 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.
- 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.

## Bibliografía

- Álvarez, V. d. (2016). Diseño y desarrollo de productos a base de compuestos formados por residuos de fibra de agave y bioplástico. *Academia Journals*, 76.
- Álvarez, V. (s.f.). Diseño y desarrollo de productos a base de compuestos formados por residuos de fibra de agave y bioplástico.
- Antigüedad, G. M. (03 de 11 de 2008). Procesado y caracterización de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con nanofibras de carbono para aplicaciones tecnológicas. *Memoria para optar al grado de doctor, Universidad Complutense de Madrid*. Obtenido de [https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/7038/mod\\_resource/content/1/materia\\_comp/tema-7-materiales-compuestos-de-matriz-metalica.pdf](https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/7038/mod_resource/content/1/materia_comp/tema-7-materiales-compuestos-de-matriz-metalica.pdf)
- Arellano, D., Vargas, E., & Hernández, H. (2008). Medición de Fracciones Volumétricas en Materiales Compuestos C-Ep y G-Ep por Digestión y Calcinación de Resina . *Refereo*, 59.
- AutoCAD (.dwg)*. (2018). Obtenido de [https://www.the-blueprints.com/vectordrawings/show/13927/hyundai\\_creta/](https://www.the-blueprints.com/vectordrawings/show/13927/hyundai_creta/)
- Banco Central del Ecuador. (2016). *Cifras del sector Petrolero Ecuatoriano No. 116*. Quito.
- Barroso Castillo, J. (2013). *¿Que es Octanaje?* Obtenido de Cultura Científica: [http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/rmro/2906019/sem06/QUE\\_ES\\_OCTANAJE.pdf](http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/rmro/2906019/sem06/QUE_ES_OCTANAJE.pdf)
- Berrocal, O. (07 de Enero de 2018). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia.org: [https://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo\\_de\\_tracci%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_de_tracci%C3%B3n)
- Bizarro, M. (21 de Junio de 2018). <http://www.iim.unam.mx/mbizarro/Materiales>. Obtenido de [www.iim.unam.mx](http://www.iim.unam.mx): <http://www.iim.unam.mx/mbizarro/Materiales%20compuestos.pdf>
- Bledzki, A. K. (2006). Cars from bio-fibres. *Macromolecular Materials and Engineering*. 291(5), 449-457.
- Bonilla, O., Trujillo, H., & Guerra, S. (2009). Extracción y Caracterización de la fibra de la hoja de la Lengua de Suegra (*Sansevieria trifasciata*). *Revista Politécnica*, 167-178.

Bosch. (2015). *Sistemas de Encendido*. Bosch.

Cactus Art Nursery. (12 de Enero de 2017). *Agave Americana Marginata Aurea*. Obtenido de Agave

Americana Marginata Aurea Web site: [http://www.cactus-](http://www.cactus-art.biz/schede/AGAVE/Agave_americana/Agave_americana_marginata/Agave_americana_marginata.htm)

[art.biz/schede/AGAVE/Agave\\_americana/Agave\\_americana\\_marginata/Agave\\_americana\\_marginata.htm](http://www.cactus-art.biz/schede/AGAVE/Agave_americana/Agave_americana_marginata/Agave_americana_marginata.htm)

Callister, W. R. (2009). Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. En C. W., *Materiales Compuestos* (pág. 224). Mexico: Limusa-Wiley.

Camara de la Industria Automotriz Ecuatoriana. (2017). *Anuario de la Industria Automotriz Ecuatoriana*.

Quito: CINAIE.

Carrera, M. A. (2017). *Extracción y Caracterización de la Fibra de Agave Americana Lineé*. Quito:

Universidad Internacional SEK.

Castillo, D., & Reyes, J. T. (Octubre 2013). Propiedades Fisico-Mecanicas de la fibra de agave de cinco procedencias bajo plantaciones. 123.

CEPAL. (2008). *"Tablero de comando" Para la promocion de los biocombustibles en el Ecuador*. Quito: Naciones Unidas.

COMPOSITES, G. G. (23 de Octubre de 2013). *Gazechim Composites Ibérica*. Obtenido de Gazechim.es:

<http://www.gazechim.es/blog/131-resina-poliester1.html>

Copyright. (2015). *La Revista Infomática.com*. Obtenido de

<http://www.larevistainformatica.com/DISENO-ASISTIDO-COMPUTADORA.HTML>

Costa, R., & Sodré, J. (2009). Hydrous ethanol vs. gasoline-ethanol blend: Engine performance and emissions. *Fuel*, 287-293.

Díaz, I. (04 de Julio de 2015). *Culturas Populares*. Obtenido de Dcgpobulares:

<https://twitter.com/dgcpobulares/status/606504183978561536>

ECE. (2010). *Sistema COPERT Subcategorias*. Obtenido de Emisia:

[emisiam.com/sites/default/files/COPERT4\\_v7\\_0.pdf](http://emisiam.com/sites/default/files/COPERT4_v7_0.pdf)

Ecured. (23 de Junio de 2018). Obtenido de

[https://www.ecured.cu/Dise%C3%B1o\\_asistido\\_por\\_computadora](https://www.ecured.cu/Dise%C3%B1o_asistido_por_computadora)

Escobar, M. M. (22 de Junio de 2018). Full position as Researcher Seniors at National Council for

Scientific and Technological Research - CONICET. Rubber Center of National Institute of

Industrial Technology). *Professor of Materials Technology. National University West*, pág. 1.

España, A. (09 de Febrero de 2014). *Academia.edu*. Obtenido de ELABORACIÓN DE HILO Y ARTESANÍAS

DE FIBRA DE CABUYA:

[http://www.academia.edu/11191709/ELABORACION\\_DE\\_HILO\\_Y\\_ARTESANIAS\\_DE\\_FIBRA\\_DE\\_CABUYA](http://www.academia.edu/11191709/ELABORACION_DE_HILO_Y_ARTESANIAS_DE_FIBRA_DE_CABUYA)

Fontalvo Herrera, T. D. (2012). Aplicación de análisis discriminante para evaluar el mejoramiento de los

indicadores financieros en las empresas del sector alimento de Barranquilla-Colombia. *Revista*

*chilena de ingeniería*, 20(3), 320-330. Obtenido de Aplicación de análisis discriminante para

evaluar el mejoramiento de los indicadores financieros en las empresas del sector alimento de

Barranquilla-Colombia.

G.Dolores, O., Omar, J. A., & Omar, M. E. (2015). Caracterización de un proceso de manufactura para la

obtención de compuestos de fibra de agave unidireccional resina epóxica y poliéster . *Ciencia*,

293.

Gharagozlou, Y. (12 de Febrero de 2018). *Instron*. Obtenido de instron.com:

<http://www.instron.com.ar/es-ar/our-company/library/glossary/f/flexure-test>

Guerrero, & Dávila. (2011). Aimplas. *Tipos de materiales compuestos*, 60-63.

INEN. (2009). *NORMA NTE 2 478:2009*. Obtenido de Servicio Ecuatoriano de Normalización :

<http://www.normalizacion.gob.ec/>

*Ingemecánica*. (13 de Abril de 2016). Obtenido de Tutorial 114:

<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn114.html>

INKANAT. (23 de 06 de 2018). *El Agave: Planta con muchas propiedades*. Obtenido de

<http://www.inkanat.com/es/arti.asp?ref=agave-sirope-prebiotico-gastritis>

Jaranda. (s.f.). *RESINAS DE POLIESTER Y FIBRA DE VIDRIO. (ESTRATIFICADO)*. Obtenido de Usuaris.tinet:

[http://usuaris.tinet.cat/jaranda/Poliester\\_archivos/Page396.htm](http://usuaris.tinet.cat/jaranda/Poliester_archivos/Page396.htm)

Jiménez, C., & Rubén, S. (25 de Mayo de 2018). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Agave\\_americana](https://es.wikipedia.org/wiki/Agave_americana)

Linares, K. (12 de 04 de 2009). *Materiales de matriz polimérica*. Obtenido de

<https://www.monografias.com/trabajos94/materiales-matriz-polimerica/materiales-matriz-polimerica.shtml>

Martínez, & Flores, R. &. (2003). Nuevas Investigaciones Linguisticas. En Martínez, & R. &. Flores, *Nuevas Investigaciones Linguisticas* (pág. 119). España: Universidad Cantabria.

Materiales, D. G. (4 de Junio de 2018). *Tecnología de los materiales*. Obtenido de

<https://sites.google.com/site/dedgoyaetp materiales/clasificacion-de-los-materiales-compuestos>

Materiales, U. (2 de Mayo de 2017). *www.upv.es/materiales*. Obtenido de upv.materiales:

[https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/pfcm15\\_9\\_2.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/pfcm15_9_2.html)

Mazón Ortiz, G. E. (08 de Enero de 2017). Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales . *Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato*. Obtenido de

<http://slideplayer.es/slide/10263881/>

Mimenza, O. C. (09 de Junio de 2017). *Los 15 tipos de investigación (y características)*. Obtenido de Psicología y Mente: <https://psicologiymente.net/miscelanea/tipos-de-investigacion>

Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2015). *Balance Energético Nacional*. Quito: Sectores Estratégicos.

Morocho Toaza, V. E. (2013). Estudio del comportamiento a fatiga mecánica de polímeros compuestos con fibra natural y su incidencia en la aplicación para la fabricación de accesorios de la industria carrocería. *Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.*

Naevarez, M. (2013). Characterization of Space Radiation Effects on Composite Overwrapped Pressure Vessels for the International Space Station. *Research Gate*, 14.

NCAP, E. (Marzo de 2004). *EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME*. Obtenido de [http://www.unit.eu/cours/ingenierie\\_crash/Complements\\_pdf/EuroNCAP-protoV4/EuroNC-LatV4-uk.pdf](http://www.unit.eu/cours/ingenierie_crash/Complements_pdf/EuroNCAP-protoV4/EuroNC-LatV4-uk.pdf)

Olsen, T. (2019). *Direct Industry*. Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/tinius-olsen/product-29300-127425.html>

Organizacion Mundial de la Salud. (2015). *OMS*. Obtenido de OMS: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>

Pintulac. (1984 - 2018). *Pintulac*. Obtenido de Pintulac: <https://www.pintulac.com.ec/imprieox-blanco-con-catalizador-4-1-monto>

PINTULAC. (2018). *PINTULAC*. Obtenido de PINTULAC: <https://www.pintulac.com.ec/>

Porto., J. P. (2008). *Definición de Costo*. Obtenido de <https://definicion.de/costo/>

PRO ECUADOR. (2013). *BIOCOMBUSTIBLES*. GRUPO SPURRIER.

QUIMINET.COM. (Lunes de Febrero de 2007). *Resinas, Tipos de resinas y aplicaciones*. Obtenido de Quiminet: <https://www.quiminet.com/articulos/resinas-y-sus-aplicaciones-18432.htm>

Ramírez, J. S. (2013 - 2014). Influencia de pretratamientos en la Bioconversión Enzimática de fibras de pencas de Agave. *Facultad Nacional de Agronomía*, 888 - 884. Obtenido de

<https://www.vicepresidencia.gob.ec/vicepresidenta/>

Reserved., C. ©. (2017). *Soporte de Minitab 18*. Obtenido de Minitab.com:

<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/data-concepts/what-is-the-standard-deviation/>

SENAE. (Lunes de Abril de 2018). *Senae del Ecuador 2018*. Obtenido de Aduana del Ecuador SENAE:

<https://www.aduana.gob.ec/>

Shah, P. R., & Ganesh, A. (2016). A Comparative Study on Influence of Fuel Additives with Edible and Non-Edible Vegetable Oil Based on Fuel Characterization and Engine Characteristics of Diesel Engine. *Applied Thermal Engineering*, 28-46.

Sperber, A. K. (2008). Comportamientos recientes y Aplicaciones de Polímeros Rellenos de Fibra Natural. *CIBIM 8*, 400.

Taborda-Rios, J. A., Cañas-Mendoza, L. A., & Trisancho-Reyes, o. L. (2017). Estudio comparativo de las propiedades mecánicas de la resina poliéster reforzada con fibra de bambú, como material sustituto de la fibra de vidrio. *DYNA*, 35-41.

*Tecnología de los Plásticos*. (11 de Julio de 2011). Obtenido de Blog dedicado a los materiales plásticos, características, usos, fabricación, procesos de transformación y reciclado:

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/materiales-compuestos.html>

Valero, E. F. (2004). Aportaciones al estudio de las máquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del método de elementos finitos. *Departamento de Ingeniería Eléctrica UPC*, 111.

Vidal, A. (10 de Agosto de 2015). *Ensayos de impacto: Charpy e Izod*. Obtenido de Mecatronica S1:

<http://mecatronica-ipn-s1.blogspot.com/2015/08/ensayos-de-impacto-charpy-e-izod.html>

## **ANEXOS**