



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ

“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO CON FIBRA DE
ABACÁ Y SU APLICACIÓN EN EL SECTOR AUTOMOTRIZ”

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: ANTONY RENE BRAVO LOPEZ

YAMIL XAVIER ABRAHAM TOUMA

TUTOR: ING. MARY JOSEFINA VERGARA PAREDES. PHD

Guayaquil – Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Yamil Abraham Touma con documento de identificación N° 027220988 y Antony René Bravo López con documento de identificación N°0925365520; manifestamos que: Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 02 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Yamil Xavier Abraham Touma

0927220988



Antony Rene Bravo López

0925365520

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Yamil Xavier Abraham Touma con documento de identificación N° 0927220988 y Antony René Bravo López con documento de identificación N° 0925365520, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Diseño y simulación de un material compuesto con fibra de abacá y su aplicación en el sector automotriz”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 02 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Yamil Xavier Abraham Touma

0927220988



Antony René Bravo López

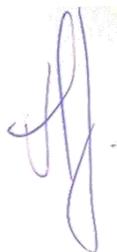
0925365520

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Mary Josefina Vergara con documento de identificación N° 1757970247, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO CON FIBRA DE ABACÁ Y SU APLICACIÓN EN EL SECTOR AUTOMOTRIZ”, realizado por Yamil Xavier Abraham Touma con documento de identificación N° 0927220988 y por Antony René Bravo López con documento de identificación N° 0925365520, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 02 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Ing. Mary Josefina Vergara Paredes. PHD

1757970247

DEDICATORIA

Dedicada principalmente a mi padre Samuel Abraham Moran y a mi madre Patricia Touma

Bacilio de Abraham, por ser mi principal motor para ser quien soy hoy en día.

Yamil Abraham

Este trabajo se lo dedico a mis padres, por ser mi motivación y ejemplo por seguir, siempre

alentándome a ser lo mejor en cada trabajo que realizo.

Antony Bravo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis compañeros que me brindaron su ayuda incondicional, a mi tutora Mary Vergara por estar siempre detrás para culminar nuestro proyecto y a la Universidad Politécnica Salesiana por ser la unidad impartidora de mis conocimientos adquiridos.

Yamil Abraham

Agradezco a mis padres por ser quienes me apoyaron en todo momento a lo largo de este camino universitario, a mi tutora Mary Vergara por darnos el privilegio de poder realizar este trabajo de titulación con su valiosa ayuda, a mis amigos universitarios que me apoyaron en la realización del trabajo y le agradezco a Dios por permitirme cumplir este objetivo.

Antony Bravo

Resumen

La investigación desarrollada tiene como objetivo caracterizar un material compuesto con fibra de Abacá y su uso en la industria automotriz motivando el desarrollo sostenible en Ecuador. Para esto, se han manufacturado tres lotes de probetas estandarizadas por la normativa ASTM 3029 para materiales compuestos: el lote uno y tres corresponden a fibras unidireccionales con cuatro y seis capas; mientras que el lote dos corresponde a una disposición de fibras aleatorias. El siguiente paso consiste en la ejecución de ensayos de tracción utilizando la máquina Shimatzu 300KN, para obtener propiedades mecánicas del material compuesto que se incorporaron a la librería del software para diseñar el material que servirá de base para desarrollar una simulación de la probeta y una tapa de volante con ANSYS. Un análisis final, especifica el comportamiento de la probeta unidireccional y módulo de elasticidad que presento grandes dispersiones, propias del comportamiento fibra-epoxi. Los resultados obtenidos muestran que la configuración con mayor esfuerzo de tensión es la correspondiente a fibras unidireccionales con seis capas, alcanzando una magnitud de 149 MPa y que, en el caso de las fibras aleatorias, la zona elástica presenta un comportamiento no lineal que exigió calcular el módulo elástico con el método de la secante. Además, se determinó que es posible implementar una simulación de la pieza seleccionada con el material compuesto, donde se determinó que la deformación obtenida con la mejor configuración de la fibra de Abacá es menor que la definida con el material original de la tapa del volante.

Palabras claves: Fibra de Abacá, Matriz Epoxi, simulación, automotriz, fibra vegetal

Abstract

This research aims to characterize a composite material with Abacá fiber and its use in the automotive industry, motivating sustainable development in Ecuador. For this, three batches of test tubes standardized by the ASTM 3029 standard for composite materials have been manufactured: batches one and three correspond to unidirectional fibers with four and six layers, while batch two corresponds to an arrangement of random fibers. The next step consists of the execution of tensile tests using the Shimatzu 300KN machine, to obtain mechanical properties of the composite material that are incorporated into the software library to design the material that will serve as the basis for developing a simulation of the test piece. Finally, a specific analysis of the behavior of the unidirectional specimen and the elasticity modulus was made and presents large dispersions, typical of the fiber-epoxy behavior. The results obtained show that the configuration with the highest tensile stress is the one corresponding to unidirectional fibers with six layers, reaching a magnitude of 149 MPa and that, in the case of random fibers, the elastic zone presents a non-linear behavior that required calculating the elastic modulus with the secant method. In addition, it will be concluded that it is possible to implement a simulation of the selected part with the composite material, where it will be concluded that the deformation obtained with the best configuration of the Abaca fiber is less than that defined with the original material of the steering wheel cover.

Keywords: Abaca fiber, Epoxy matrix, simulation, automotive, vegetable fiber

INDICE

Resumen.....	vii
Abstract.....	vii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Delimitación.....	4
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	6
2.1 Materiales compuestos	6
2.2 Fibras vegetales.....	8
2.3 Resinas	9
2.4 <i>Resistencia térmica</i>	9
2.5 <i>Resistencia a la corrosión</i>	9
2.6 <i>Uso como adhesivo</i>	9
2.7 Ensayos Mecánicos y simulación numérica	10
2.7.1 <i>Denominación de probeta</i>	10
2.7.2 <i>Esfuerzo máximo</i>	10
2.7.3 <i>Fuerza Máxima</i>	10
2.7.4 <i>Módulo de elasticidad</i>	10
2.7.5 <i>Deformación máxima</i>	10
2.7.6 <i>Desplazamiento:</i>	10
2.7.7 <i>Promedio:</i>	11
2.8 <i>Construcción de Probetas o moldes</i>	11
2.9 Normativa.....	12
2.10 <i>Herramientas computacionales para el apoyo del proceso de simulación</i>	15
2.10.1 Análisis por Elementos Finitos	15
2.10.2 <i>ANSYS Workbench</i>	15
2.10 Aplicaciones en el sector automotriz	16
2.11 <i>Fibra de Abacá</i>	17
2.12 <i>Fibra de abacá y sus características</i>	17
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	22

3.1 Diseño del material compuesto y manufactura de las probetas.....	26
3.2 Caracterización del material compuesto. Ensayo de tracción	45
3.2 Implementación en ANSYS del material alternativo con fibra de Abacá	50
3.4.1 Pieza a fabricar:	55
CAPÍTULO IV. PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS	63
4.1 Características geométricas de probetas.....	63
4.1.1 Configuración unidireccional 4 capas	63
4.1.2 Configuración aleatoria	65
4.1.3 Configuración unidireccional 6 capas	66
4.2 Ensayos de tracción.....	68
4.2.1 Propiedades mecánicas	68
4.2.1.1 Configuración unidireccional 4 capas:	68
4.2.1.2 Configuración aleatoria	69
4.2.1.4 Configuración unidireccional 6 capas:	73
4.2.2 Caracterización de fallas en probetas.....	74
4.2.2.1 Configuración unidireccional de 4 capas	75
4.2.2.2 Configuración aleatoria	78
4.2.2.3 Configuración unidireccional de 6 capas	81
4.3.1 Esfuerzos máximos.....	83
4.3.2 Graficas de contorno y de superficie	84
4.3.2.1 Esfuerzo vs Deformación:.....	84
4.3.2.2. Fuerza vs Desplazamiento	88
4.4 Simulación en Ansys.....	90
4.4.1. Simulación de probeta con Material compuesto	90
4.4.2 Simulación de pieza.....	92
4.4.2.1 Simulación en ABS	92
4.4.2.2 Simulación con material compuesto (Pieza)	94
4.5 Pieza funcional con el compuesto de fibra aleatoria.....	97
CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES.....	101
Referencias Bibliográficas	102
Anexos	104
Lote #1 a detalle PUA 1-6	104

Lote #2 a detalle:..... 105
Graficas Esfuerzo deformacion Lote#1 unidireccionales 4 Capas 106

LISTA DE FIGURAS

Fig. 2. 1 Abacá caracterizado como fibras extraídas del tallo	8
Fig. 2. 2 Clasificación de materiales compuestos. Modificado de (CASTILLO, 2007)	11
Fig. 2. 3 Creación de probetas con proceso de laminado.	12
Fig. 2. 4 Proceso de obtención de la fibra de abacá.....	17
Fig. 2. 5 Porcentaje de uso de plásticos en diferentes industrias (Mohammad (Khoirul Huda, 2015).....	19
Fig. 2. 6 Chasis de McLaren. Tomado de (Narita, 2018).....	21
Fig. 2. 7 Capó de Subaru. Tomado de (Narita, 2018).....	20
Fig. 2. 8 Abacá y su resistencia al calor. Tomado de (Shah, 2013).....	20
Fig. 3. 1 Protocolo inicial para elaboración de probetas con material compuesto.	24
Fig. 3. 2 Resultados gráficos de acuerdo con el protocolo establecido	25
Fig. 3. 3 Plantaciones de abacá.....	26
Fig. 3. 4 Proceso de “Tuxeado”. (Kaila, 2019).....	27
Fig. 3. 5 Tallo posterior al proceso de “Tuxeado”.....	27
Fig. 3. 6 Proceso de “Desfibrado”.	28
Fig. 3. 7 Proceso de “Secado”.	28
Fig. 3. 8 Fibra lista para comercialización.....	29
Fig. 3. 9 Fibra atada.	29
Fig. 3. 10 Fibra para seleccionar.....	30
Fig. 3. 11 Fibras seleccionadas.....	30
Fig. 3. 12 Preparación de capa.....	31
Fig. 3. 13 Elaboración de las capas.	32
Fig. 3. 14 Capa terminada.....	32
Fig. 3. 15 Peso de las capas.	33
Fig. 3. 16 Preparación de la resina.....	33
Fig. 3. 17 Grupos de fibra de abacá y resina epoxi pre-curado.	34
Fig. 3. 18 Ciclo de curado.....	34
Fig. 3. 19 Grupos de fibra de abacá y resina epoxi post-curado.....	35

Fig. 3. 20 Probetas unidireccionales de fibra de abacá.....	35
Fig. 3. 21 Molde (amarillo) y contraparte (Blanca) para probetas.	36
Fig. 3. 22 Fibras cortadas en longitudes aleatorias.....	37
Fig. 3. 23 Fibras aleatorias dentro del molde	37
Fig. 3. 24 Aplicación de desmoldante.	38
Fig. 3. 25 Preparación de resina	38
Fig. 3. 26 Aplicación del material compuesto al molde.	39
Fig. 3. 27 Ciclo de curado.....	40
Fig. 3. 28 Ciclo de curado.....	40
Fig. 3. 29 Corte de probetas.....	41
Fig. 3. 30 Probetas aleatorias terminadas.	41
Fig. 3. 31 Espesor de las capas de fibra.....	43
Fig. 3. 32 Secado del desmoldante en la superficie del molde.....	43
Fig. 3. 33 Aplicación de fibra y resina en molde.....	44
Fig. 3. 34 Ciclo de curado.....	44
Fig. 3. 35 Corte de los grupos.....	45
Fig. 3. 36 Probetas terminadas.....	45
Fig. 3. 37 Ensayo de tracción probeta aleatoria.....	47
Fig. 3. 38 Ensayo de tracción con extensómetro de probeta aleatoria.....	49
Fig. 3. 39 Selección de ACP (Pre).....	51
Fig. 3. 40 Creación de geometría.....	52
Fig. 3. 41 Creación de fibras.....	53
Fig. 3. 42 Creación de Fuerzas en la probeta.....	53
Fig. 3. 43 Creación de Conjuntos de selección orientados.	56
Fig. 3. 44 Tapa de volante	56
Fig. 3. 45 Vehículo escogido	56
Fig. 3. 46 Tapa de volante diseñada en inventor	57
Fig. 3. 47 Parte negativa del molde	57
Fig. 3. 48 Contraparte del molde	58
Fig. 3. 49 Contraparte del molde	58
Fig. 3. 50 Fibra cortada.....	59

Fig. 3. 51 Moldes con desmoldante.....	59
Fig. 3. 52 Preparación de la resina.....	60
Fig. 3. 53 Aplicación de resina y fibra	60
Fig. 3. 54 Inicio del ciclo de curado	61
Fig. 3. 55 Fin del ciclo de curado	61
Fig. 3. 56 Pieza terminada	62
Fig. 4. 1 Método de la secante para obtención de E y E50.....	70
Fig. 4. 2 Dispersión exacta de módulos.....	71
Fig. 4. 3 Esfuerzos Máximos	75
Fig. 4. 4 Nomenclatura de las fallas según normativa.....	75
Fig. 4. 5 PUA1 después de ensayo de tracción.....	75
Fig. 4. 6 PUA2 después de ensayo de tracción.....	76
Fig. 4.7 PUA3 después de ensayo de tracción.....	76
Fig. 4. 8 PUA4 Después de ensayo de tracción.....	76
Fig. 4. 9 PUA5 después de ensayo de tracción.....	76
Fig. 4. 10 PUA6 después de ensayo de tracción.....	77
Fig. 4. 11 Lote 1 después de ensayos de tracción.....	78
Fig. 4. 12 PAA1 después de ensayo de tracción.....	78
Fig. 4. 13 PAA2 después de ensayo de tracción.....	78
Fig. 4. 14 PAA4 después de ensayo de tracción.....	79
Fig. 4. 15 PAA5 después de ensayo de tracción.....	79
Fig. 4. 16 PAA6 después de ensayo de tracción.....	79
Fig. 4. 17 PAA7 después de ensayo de tracción.....	80
Fig. 4. 18 Lote 2 después de ensayos de tracción.....	80
Fig. 4. 19 PUA7 después de ensayo de tracción.....	81
Fig. 4. 20 PUA8 después de ensayo de tracción.....	81
Fig. 4. 21 PUA9 después de ensayo de tracción.....	81
Fig. 4. 22 PUA10 después de ensayo de tracción.....	82
Fig. 4. 23 PUA11 después de ensayo de tracción.....	82
Fig. 4. 24 PUA12 después de ensayo de tracción.....	82

Fig. 4. 25 Lote 3 después de ensayos de tracción.....	83
Fig. 4. 26 Grafica de contorno de Esfuerzo vs Deformación	85
Fig. 4. 27 Grafica de superficie de Esfuerzo vs Deformación.....	86
Fig. 4. 28 Grafica de caja de deformación en las probetas	87
Fig. 4. 29 Grafica de caja de esfuerzo en las probetas.....	88
Fig. 4. 30 Grafica de superficie de Fuerza Vs desplazamiento	89
Fig. 4. 31 Grafica de caja de fuerza en las probetas	90
Fig. 4. 32 Deformación Total	91
Fig. 4. 33 Esfuerzo de Von Mises.	91
Fig. 4. 34 Introducción de fuerza.....	92
Fig. 4. 35 Soporte Fijo	92
Fig. 4. 36 Esfuerzo de Von Mises ABS.....	93
Fig. 4. 37 Deformación máxima del ABS sometido a -15 N.....	94
Fig. 4. 38 Soportes fijos colocados en el contorno	94
Fig. 4. 39 Fuerza agregada de 15 N.....	95
Fig. 4. 40 Esfuerzo máximo aplicado distribuido en zonas.....	96
Fig. 4. 41 Deformación total con fibra de Abacá	96
Fig. 4. 42 Tapa de volante de fibra de abacá y resina epoxi ensamblado.....	97

ANEXOS

Anexo 1. 1 PUA1 a detalle	104
Anexo 1. 2 PUA2 a detalle	104
Anexo 1. 3 PUA3 a detalle	104
Anexo 1. 4 PUA4 a detalle	104
Anexo 1. 5 PUA5 a detalle	105
Anexo 1. 6 PUA6 a detalle	105
Anexo 1. 7 PAA1 a detalle	105
Anexo 1. 8 PAA2 a detalle	105
Anexo 1. 9 PAA3 a detalle	105
Anexo 1. 10 PAA1 E-D	107
Anexo 1. 11 PAA2 E-D	107
Anexo 1. 12 PAA4 ED	107
Anexo 1. 13 Plano de pieza terminada	107

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. 1 Porcentaje de plásticos en los vehículos. Modificado de (Center, 2020).....	3
Tabla 2. 1 Comparación de compuestos tradicionales y compuestos con resina. Modificado de (NC, 2022	7
Tabla 2. 2 Geometría de probetas recomendada. Modificado de (Standards., 2002).....	13
Tabla 2. 3 Tipos de falla de probetas mediante tracción, según la normativa ASTM D3039. Modificado de (Standards., 2002)	13
Tabla 2. 4 Área de fallo para probetas según la normativa ASTM D3039. Modificado de (Standards., 2002).....	14
Tabla 2. 5 Código localizador de falla de probetas mediante tracción, según la normativa ASTM D3039. Modificado de (Standards., 2002)	14
Tabla 2. 6 Características de la fibra de abacá, entre otras. Modificado de (Venkatesh Naik, 2021).....	18
Tabla 3. 1 Tabla de ensayos de tracción.....	50
Tabla 3. 2 Establecimiento de parámetros de la fibra de abacá.....	51
Tabla 3. 3 Agregar matriz polimérica.....	52
Tabla 4. 1 Características geométricas de las probetas unidireccionales de 4 capas sin resina	63
Tabla 4. 2 Características geométricas unidireccionales de las probetas con resina	64
Tabla 4. 3 Geométrica de probetas unidireccionales 4 capas.	65
Tabla 4. 4 Características geométricas aleatorias de grupos con resina.....	65
Tabla 4. 5 Características geométricas de las probetas aleatorias	66
Tabla 4. 6 Características geométricas de las probetas unidireccionales de 6 capas sin resina	66
Tabla 4. 7 Características geométricas de las probetas unidireccionales de 6 capas con resina ...	67
Tabla 4. 8 Características geométricas de las probetas unidireccionales 6 capas	68
Tabla 4. 9 Resultados mecanicos de las probetas unidireccionales 4 capas.....	69
Tabla 4. 10 Resultado de pruebas mecánicas (Probetas PAA).....	71
Tabla 4. 11 Módulo de Young por medio de la Secante	72

Tabla 4. 12 Resultados mecánicos Lote 2.	72
Tabla 4. 13 Resultado de pruebas mecánicas (Probetas PUA 6 capas).....	73
Tabla 4. 14 Nomenclatura de falla en probetas del lote 1 según normativa.....	77
Tabla 4. 15 Nomenclatura de falla en probetas del lote 2 según normativa.....	80
Tabla 4. 16 Nomenclatura de falla en probetas del lote 3 según normativa.....	83
Tabla 4. 17 Resumen estadístico de los datos obtenidos en los ensayos de tracción.	84
Tabla 4. 18 Caracterización del ABS.	93
Tabla 4. 19 Comparacion de esfuerzos y deformaciones	98
Tabla 4. 20 Presupuesto de la tapa del volante en fibra de abacá y resina epoxi	98

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El sector automotriz en Ecuador ha venido presentando un crecimiento sostenido durante los últimos años, incluyendo el periodo post pandemia. El ingreso y rápido auge de nuevas marcas asiáticas ha ayudado a su rápida proliferación en el mercado nacional con una notable participación de cerca del 30% del mercado automotriz para el 2021 y del 35% en la actualidad, según datos revelados por la AEDE (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador) (AEADE, 2016). Esto, según los expertos hace suponer la conveniencia de firmar acuerdos comerciales con estos países de Asia para no solo importar vehículos sino también para ensamblarlos en el país. De ahí que, para los años 2012 a 2017 se ha incentivado en el país la fabricación de chasis y otras partes automotrices de manera local para así abaratar el precio final de los autos. Empresas locales como METALTRONIC han diversificado su rubro de venta de autopartes no solo para estructuras externas como chasis de autos sino también para motos y motocarros, estos últimos muy populares en sectores considerados marginales y como única opción de transporte en áreas rurales. (Mata, 2012)

Los principales materiales que se utilizan para realizar la fabricación de partes para ensamblajes en Ecuador van desde acero, aluminio, fibra y plástico, siendo este último el de mayor impacto ambiental para el país, por lo que se estudian las formas de abandonar la dependencia de este material por otros con menor huella ambiental, pero con los mismos beneficios. (Mata, 2012).

En los años 60, se comienza a cultivar una planta nueva en Ecuador, esta tomo el nombre de abacá. Este tipo de planta originaria de Japón, también llamada Furukawa, pasó a tomar un gran papel en el país, ya que para el 2019 Ecuador se había convertido en el segundo país con mayor producción de abacá en el mundo. La fibra textil fue asentada por un grupo de japoneses pioneros en la provincia del Pichincha llamada el Diablo, la cual pertenece a Sto. Domingo de los Tsáchilas. Las áreas con características adecuadas son aquellas con un clima tropical húmedo con alta precipitación. El abacá es una fibra de hoja valorada por su gran resistencia mecánica, la cual a su vez mejora la capacidad de retención de agua del suelo ayudando así a prevenir inundaciones y deslizamientos de tierra. (Mulenga, 2021) Por estas características y según datos del tercer y último Censo Nacional Agropecuario, el abacá se suele concentrar en las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas, Esmeraldas y Manabí, aunque también hay provincias de parcelas productivas en Los Ríos. (Digital, 2020)

El abacá es importante para la economía del país, ya que, aunque representa menos del 0,01 % del total exportado, forma parte de los productos tradicionales, junto con el aceite, el cacao, el banano y el café. Actualmente se está ya usando el abacá como material blando para relleno de asientos y cojines en autos, pero dada su gran resistencia también puede usarse como material compuesto en aplicaciones más exigentes en cuanto a rigidez y componentes externos como sustituto de la fibra de vidrio logrando así reducir el peso de las partes elaboradas y con un mejor apego respetuoso al medio ambiente. (Mulenga, 2021)

La investigación propuesta tiene como objetivo el diseño y caracterización mecánica de la fibra de abacá, donde se realizarán probetas para someterlas a tracción y con los resultados obtenidos se implementará el nuevo material en la librería de Ansys. Así, se podrán desarrollar simulaciones que llevarán a un diseño conceptual de una pieza en el sector automotriz, la cual cumplirá con restricciones asociadas al peso y rigidez que indirectamente integre una disminución de costos o/y un mayor rendimiento.

1.1. Antecedentes

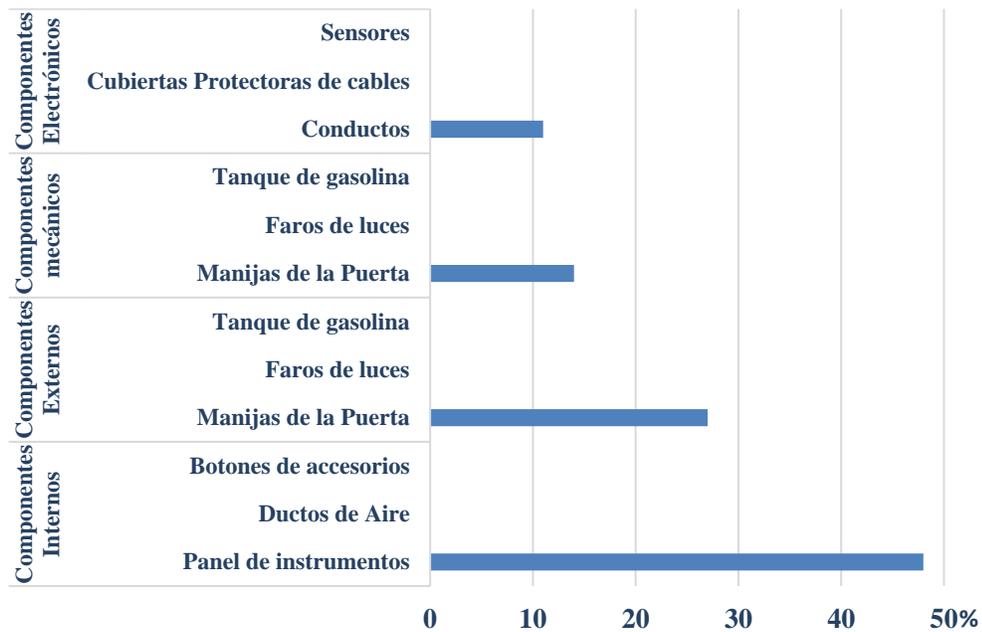
Dentro de la industria, son muchos los materiales utilizados para la fabricación de un vehículo, desde aleaciones de metales hasta polímeros, la selección de estos se hace en función de los requerimientos que la pieza demande, como lo son: las cargas a las que está sometida el material (peso) y la geometría. Sin embargo, materiales como los metales presentan inconvenientes, ya que en algunos casos la densidad de ellos impone pesos que desde el punto de vista del rendimiento energético del vehículo no es apropiado, apesar de que cumple con resistencias y elasticidades exigidas. Adicionalmente, los requisitos para el desarrollo sostenible que debe cumplir el sector automotriz que apuntan al cuidado con el medio ambiente, impulsa el uso de materiales degradables o con ciclos de vida controlados en cada de una de las etapas de uso hasta llegar a su desincorporación definitiva. (Mata, 2012)

Todo esto, lleva a buscar una alternativa en cuanto a materiales de fabricación para vehículos que pueda satisfacer los requerimientos de la industria automotriz en la actualidad y como un valor agregado que sea sustentable, ya que, los vehículos poseen una gran parte de componentes hechos de plásticos, lo que genera un alto grado de contaminación en la fabricación o al término de su vida útil, ya que quedan obsoletos y su tiempo de degradación es extenso. La Fig. 1. hace hincapié en los porcentajes exactos de plásticos que hay en cada sección de los vehículos.

Lo anterior, aporta la base para considerar el uso de compuestos con fibras vegetales, ya que, en la ubicación geográfica del Ecuador cuenta con una vegetación muy rica y variada.

Para el estudio planteado, se ha seleccionado la fibra de abacá que presenta propiedades mecánicas interesantes y de poco peso, por lo que se aprovecha estas características para ser usadas en la manufactura de autopartes que requieren de resistencias mecánicas moderadas con poco peso y en algunos casos de geometrías irregulares (Aguas-Díaz, 2021). Adicionalmente, se aprovecha el hecho de que el país es el segundo mayor productor de fibra de abacá del mundo, lo que le otorga una ventaja al poder reducir así costos de fabricación con las piezas que se requieran realizar, dándole a Ecuador la posibilidad de posicionarse de un lugar dentro del sector automotriz mundial ya que se podrían fabricar piezas de origen 100% ecuatoriano y de índole natural que podrían reducir considerablemente el impacto medioambiental que generan la producción de diversas partes automotrices. (Aguas-Díaz, 2021)

Tabla 1. 1 Porcentaje de plásticos en los vehículos. Modificado de (Center, 2020)



Por lo anterior, se propone un estudio previo de la fibra de abacá como material compuesto con matriz polimérica, el cual será caracterizado de acuerdo con ensayos de tracción que permitirá realizar simulaciones como parte de un diseño conceptual para el desarrollo de piezas automotrices.

1.2. Delimitación

Para obtener las probetas de tracción y de flexión, se utilizará el laboratorio de pruebas mecánicas de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil. El elemento que se analizará es la fibra de abacá. El procedimiento para la obtención de probetas es extenso ya que dependerá de la preparación de la fibra, y por lo tanto para poder obtener resultados de interés, se necesitará probetas con tejidos en diferente dirección, implementando un método semi-artesanal con un tipo de laminación por medio de la resina Epoxi para la construcción de las probetas. Los ensayos serán realizados en la máquina de tracción Shimadzu de 300kN del laboratorio de resistencia de la UPS sede Guayaquil.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Proponer, diseñar, simular e implementar partes automotrices fabricadas con un material compuesto con fibra de abacá para su posterior aplicación dentro de los procesos de manufactura de autopartes en el sector automotriz en el Ecuador.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar y determinar las propiedades mecánicas del material compuesto con fibra vegetal de abacá, utilizando ensayos de tracción con probetas según normadas
- Proporcionar a la base de datos de los materiales del software CAE los valores de las propiedades mecánicas del compuesto de abacá según los resultados de los ensayos de tracción, como aporte de un material alternativo propio de Ecuador.
- Realizar análisis para una simulación de una pieza automotriz construida a base del material compuesto de fibra de abacá bajo requerimientos de carga y geometría específicos.
- Comparar materiales usados en el sector automotriz de acuerdo con la pieza a realizar, con el material compuesto de fibra de abacá y matriz polimérica para determinar en función de

los valores obtenidos por los ensayos y simulaciones la aplicación idónea dentro de esta industria.

Finalmente, es importante definir la estructura del trabajo, el cual tiene cuatro capítulos. El primero es la Introducción. Esta muestra datos históricos del abacá para poder mostrar su importancia ya sea en la económica del Ecuador, como en el mundo. Después, el segundo define los conceptos a utilizar en el estudio de la fibra junto con datos de la máquina de tracción la cual será utilizada para la obtención de datos. Como tercer capítulo se encuentra la metodología, donde se encuentran los tres métodos utilizados para crear las probetas y el proceso para obtener la pieza automotriz creada a base de elementos compuestos entre resina epoxi y abacá. Por último, se encuentra el capítulo de análisis y resultados, en el que se desarrolla un análisis de las pruebas de tracción y las simulaciones realizadas para concluir con la pertinencia del material compuesto de abacá en el sector automotriz

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LA LITERATURA

Este Capítulo tiene como propósito compilar información previa para el análisis de la fibra de abacá mostrando conceptos necesarios junto con historia.

Las fibras naturales con refuerzos de polímeros se usan en diversas partes del mundo para la fabricación de autopartes dadas sus características de ligereza en peso, maleabilidad y propiedades mecánicas (dureza, ductilidad y tenacidad) con una amplia repercusión en la reducción de gases contaminantes gracias a la disminución de peso en las partes del vehículo lo que se traduce en ahorro de combustible y este a su vez en menos contaminación ambiental. (Ecuador, 2019)

Durante los años 60 se introdujo en Ecuador una empresa de producción de banano, de origen Japones llamada Furukawa. Ellos fueron los responsables de que la fibra de abacá se comenzara a comercializar no solo dentro del país, sino internacionalmente también. Actualmente, las mayores plantaciones dentro del Ecuador se encuentran en la provincia de Pichincha Parroquia Monterrey, la cual se encuentra localizada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas y conocida como la capital mundial del Abacá. (Ecuador, 2019) Bajo la luz de lo anterior, se considera presentar en esta sección los conceptos asociados a los materiales compuestos, acompañados de la caracterización mecánica como requisito en el diseño de autopartes. Dicha caracterización depende de datos y, por lo tanto, también se exploran algunos conceptos propios de la estadística descriptiva para la correlación de

datos. También añaden elementos a considerar en una simulación con elementos finitos, ya que se implementa un material en la librería de Ansys para utilizarlo como base en una simulación de una pieza automotriz, por lo que para finalizar se presentan diversas aplicaciones en el sector Automotriz de materiales alternativos. (Ecuador, 2019)

2.1 Materiales compuestos

La búsqueda por evitar contribuir en la creciente contaminación ambiental ha logrado conseguir la exploración de nuevos materiales para diseñar y construir partes y piezas no solo para el área

automotriz sino también en las áreas espaciales y navieras, favoreciendo aplicaciones en el sector manufacturero reemplazando fibras sintéticas por fibras naturales. Esto sumado a nuevas tecnologías como las de impresiones 3D adaptadas a casi cualquier material, han abierto la puerta y otorgados espacios a nuevas propuestas con un amplio alcance para varios sectores, desde los textiles hasta los de construcción pasando por los automotrices hasta los industriales reduciendo tiempos de fabricación, mejora en partes con geometrías complejas sin mayor problema y en general mejora de la calidad. (NC, 2022)

La composición de un material compuesto es de dos o más elementos, pero normalmente están formados por un refuerzo y una matriz. Esto quiere decir, que la fibra es el componente principal y aparte viene una capa de resina para poder mejorar el comportamiento del material principal brindándole características específicas, además de servir de matriz, donde se embebe esta. Los materiales compuestos con fibras naturales son beneficiosos para la industria automotriz, ya que ayudan a aligerar pesos, reduciendo el consumo de combustible y aparte su elaboración es menos costosa. En la tabla 1, se detallan los beneficios al utilizar materiales compuestos. (NC, 2022)

Tabla 2. 1 Comparación de compuestos tradicionales y compuestos con resina. Modificado de (NC, 2022)

	Materiales compuestos tradicionales	Materiales Compuestos Recycsite
Fibras	Fibras de carbono o de vidrio	Fibras naturales provenientes de los agro residuos
Resinas	Resinas de origen fósil (petróleo)	Bio-basadas (epoxi de aceite de lino)
Otros componentes		Huminas (subproducto de la fabricación de biopolímeros)
Reciclabilidad	No reciclable	Reciclable hasta 10 veces

2.2 Fibras vegetales

Se llaman fibras vegetales a todo tipo de material hecho fibra que ha sido extraído de plantas, ya sea en troncos de árboles, raíces o incluso en plantas que contengan este tipo de características, como se muestra en la Fig. 2. Este tipo de fibras contienen una subdivisión dependiendo del lugar donde fueron extraídas y pertenecen a las fibras de hoja por su grandureza y resistencia. (Ordoñez, 2015).

El origen de estas fibras es biológico y sus características químicas, físicas y mecánicas le confieren cualidades de resistencia y flexibilidad únicas que la hacen susceptible a diversos usos. Se dividen en:

- Fibras de frutas: Se caracterizan por ser peludas
- Fibras de tronco: proporcionan grandes características de fuerza a su lugar de origen
- Fibras extraídas de hojas: Son parte rugosa y resistentes



Fig. 2. 1 Abacá caracterizado como fibras extraídas del tallo

2.3 Resinas

Las resinas epoxi tienen características superiores a la de cualquier aglutinante. Es un polímero que se caracteriza por su dureza y brillo, estas actúan como pegamento, manteniendo siempre las fibras unidas y evita que se separen, se utiliza para diferentes trabajos industriales y como un potente adhesivo para manufacturar automóviles. Entre otras características:

2.4 Resistencia térmica.

La composición de esta resina permite que soporte temperaturas prolongadas de hasta 45° C y ocasionalmente de hasta 70° C. Este aglutinante es capaz de soportar temperaturas que superen los 45 grados centígrados, llegando a temperaturas máximas entre 70 y 80 grados, lo cual supera a su competencia. (Villa, 2018)

2.5 Resistencia a la corrosión.

La resina epoxi es uno de los recubrimientos que soportan una exposición más prolongada a agentes químicos corrosivos. Esto puede lograr a que las fibras naturales, en este caso el abacá pueda tener un mayor tiempo de vida sin que se degrade fácilmente por el uso o ya sea porque la fibra comience a perder propiedades. (Villa, 2018)

2.6 Uso como adhesivo.

La resina epoxi forma parte de adhesivos ingenieriles o de construcción. Su uso entra en la industria dentro de la reparación de vehículos, botes, motos, etc. Su coeficiente elástico es nulo, la adhesión de este será muy resistente. (Villa, 2018)

La resina utilizada es la EPOCAT 1100 Transparente. Esta es la más comercial dentro del Ecuador; **cuenta con:**

- Tiempo de Secado de: 24 a 48 horas
- Rendimiento teórico de 1.5 L/m²

2.7 Ensayos Mecánicos y simulación numérica

Los ensayos de tipo mecánicos son los encargados de hacer conocer las propiedades mecánicas de elementos o compuestos. El siguiente estudio va a realizar pruebas de tracción donde las probetas se destruyen arrojando datos importantes que ayudaran al estudio del comportamiento de la fibra de abacá

2.7.1 Denominación de probeta:

Es la denominación que se le dará al tipo de probetas realizada para diferenciar su comportamiento y características con otro tipo de pruebas.

2.7.2 Esfuerzo máximo:

Es la capacidad máxima de esfuerzo que un material puede soportar apartir de una carga suministrada.

2.7.3 Fuerza Máxima:

Esta es media en Newton y es la fuerza que soporta el elemento antes dellegar a una ruptura.

2.7.4 Módulo de elasticidad:

El módulo de Young o elasticidad es la razón del esfuerzo de tensión o compresión a la correspondiente deformación dentro del límite de proporcionalidad lineal del material (Espinosa, 2000)

2.7.5 Deformación máxima:

Es la capacidad máxima que tiene un elemento al deformarse y regresar a su estado original. Una vez hecha la prueba se puede medir cuanto fue la deformación que sufrió la fibra o elemento analizado durante el proceso. (Espinosa, 2000)

2.7.6 Desplazamiento:

El desplazamiento se entiende como el movimiento realizado por un cuerpo que se desplaza, que se traslada, de un lugar a otro. (Espinosa, 2000). También se utilizará los datos numéricos para por medio de estos para simular el comportamiento del compuesto:

2.7.7 Promedio:

Se realiza la suma de todos los datos anteriores para obtener un valor promedio de los resultados de las pruebas mecánicas.

2.8 Construcción de Probetas o moldes

Estos materiales compuestos de resina son perfectos para la fabricación de extrusiones, laminados y piezas maestras. Éstas son más baratas que las producidas con metal, maderay otros materiales más costosos. (VELASTEGUI, 2016)

Dentro de la clasificación de materiales compuestos (ver la Fig. 2). El elemento por analizar dentro de la clasificación es Reforzadas con Fibras. Cuando se trabaja con una fibra natural, el comportamiento de esta es anisotrópico, por lo tanto, estas no siguen un patrón exacto. Se puede llegar a un nivel donde todas tengan casi la misma dirección y forma, pero normalmente se opta por un procedimiento más artesanal.

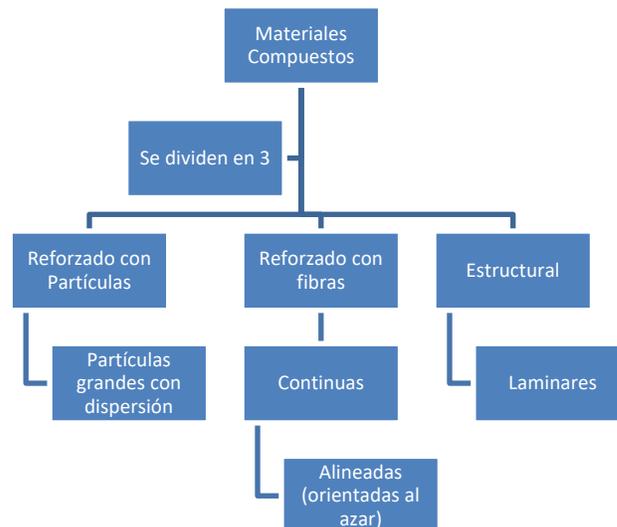


Fig. 2. 2 Clasificación de materiales compuestos. Modificado de (CASTILLO, 2007)

Un material compuesto laminado consta de láminas o placas con una dirección preferida de alta resistencia, apiladas y pegadas entre sí de manera que la dirección de la alta resistencia varía con cada capa sucesiva. Por lo tanto, para la elaboración de las probetas, como primera instancia se debe definir la dirección de las fibras y con qué grado se va a trabajar. Dentro de la investigación, se harán probetas unidireccionales, como la mostrada en la Fig. 4, para comprobar su respectivo comportamiento.

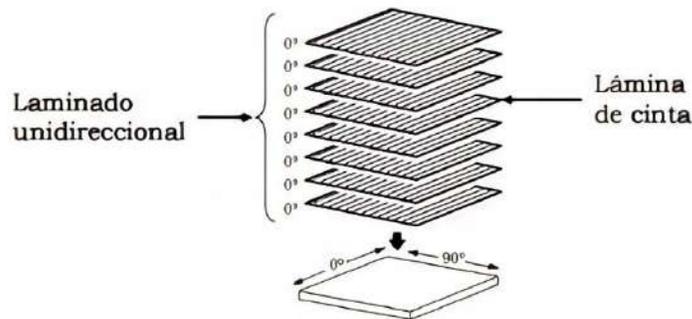


Fig. 2. 3 Creación de probetas con proceso de laminado.

2.9 Normativa

La normativa para utilizar para la elaboración de probetas se utilizará la norma ASTM D3039 Propiedades tensiles de polímeros en materiales compuestos. (Standards., 2002). Esta realiza ensayos mecánicos de tracción y flexión en probetas de materiales compuestos.

Las pruebas son realizadas en una máquina universal, en este caso en la maquina Shimatzu300 KN de la Universidad Politécnica Salesiana, donde se obtendrán diferentes valores utilizables para poder cargar los datos en el programa CAE. En la tabla 2, hace referencia con los parámetros establecidos por la norma D3039. (Standards., 2002) (VELASTEGUI,2016).

Tabla 2. 2 Geometría de probetas recomendada. Modificado de (Standards., 2002)

Orientación de la fibra	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Longitud de la pestaña (mm)	Grosor Pestaña (mm)
0° unidireccional	25 [0.98]	250 [10.0]	2.5 [0.098]	56 [2.25]	1.1 [0.062]

El material compuesto no se comporta de la misma manera, por lo tanto la normativa ASTM D3039, se encarga de la caracterización de las rupturas de las probetas mediante tracción y así poder clasificarlas de mejor manera.

La norma muestra 3 subdivisiones:

- Tipo de falla: este punto determina el cómo fue la falla. Si esta fue lateral, o fallo de explosiva, o si este ha tenido su ruptura dentro de los 3 ejes, etc.

Tabla 2. 3 Tipos de falla de probetas mediante tracción, según la normativa ASTM D3039. Modificado de (Standards., 2002)

Tipo de falla	
Angular	A
Delaminación del borde	D
Agarre	G
Lateral	L
Modo Multiple	M (XYZ)
División Larga	S
Explosiva	X
Otros	O

- Área de falla: Es cuando se determina el área total de ruptura de la pieza. Dependiendo del lugar donde se haya producido puede determinar varios factores tanto como de la maquina

utilizada como ambientales o humanos.

Tabla 2. 4 Área de fallo para probetas según la normativa ASTM D3039. Modificado de (Standards., 2002)

Área de Fallo	
Agarre interior	I
en el agarre	A
<1W desde el agarre	W
Calibrar	G
Áreas Múltiples	M
Varios	V
Desconocida	U

- Localización de la falla. En esta parte el código demuestra la parte exacta de donde se haya producido la falla.

Tabla 2. 5 Código localizador de falla de probetas mediante tracción, según la normativa ASTM D3039. Modificado de (Standards., 2002)

Localización de Fallo	
Inferior	B
Superior	T
Izquierda	L
Derecha	R
Medio	M
Varios	V
Desconocida	U

2.10 Herramientas computacionales para el apoyo del proceso de simulación

El desarrollo de herramientas computacionales para asistir diferentes procesos ha tenido un impacto considerable en muchas áreas. En particular la incorporación de paquetes CAD yCAE ha marcado una tendencia en la manera de diseñar, pues estas herramientas han facilitado tareas tediosas, dejando espacio para prestar mayor atención a parámetros más relevantes, por lo que para la simulación se utilizará un software de elementos finitos con las siguientes especificaciones.

2.10.1 Análisis por Elementos Finitos

Es un método numérico usado para resolver problemas de ingeniería del mundo real simplificándolos, en los cuales los modelados 3D de piezas son divididos en pequeños elementos y nodos; posteriormente las fuerzas distribuidas son aplicadas a cada nodo; mediante este método se dan resultados aproximados del comportamiento del modelo al ser sometidos a cargas para conocer aspectos importantes como deformaciones, esfuerzos, factor de seguridad entre otros. (Webber & Verma, 2016) y que en esta investigación será utilizado para el análisis del material compuesto diseñado a priori. (WEBBER, 2016)

2.10.2 ANSYS Workbench.

ANSYS es una compañía distribuidora de paquetes para simulación en Ingeniería. Dentro de su portafolio de productos está ANSYS Workbench, una plataforma que permite el análisis estructural de elementos basado en el Método de Elementos Finitos. Este software permitirá la simulación tanto del material diseñado y su comportamiento, así como también el análisis de una pieza con el material original con el que ha sido comercializada para realizar comparaciones con el material compuesto de fibra natural propuesto en este trabajo.

2.10 Aplicaciones en el sector automotriz

Las fibras han sido largamente usadas en las actividades diarias de las personas, la razón es su fuerza y tensión, sea para mover objetos pesados o incluso como cuerdas de pescar. De acuerdo con las normas ISO, las fibras pueden resultar de tres o más variaciones que en conjunto pueden crear estructuras o diámetros distintos.

En el siglo pasado, el desarrollo de diversas maquinarias llevó también a la implementación de diversos tipos de fibras que ayudaron a incrementar la velocidad de producción por su versatilidad y a reducir la mano de obra.

En los últimos años, la preocupación por el medio ambiente ha acarreado un mayor interés en productos “verdes”. El tema ecológico, el alza de precios del petróleo (materia prima para fibras sintéticas o plásticas) y altos costos de procesamiento han provocado mayor atención en los recursos renovables.

Las fibras naturales se derivan de plantas, animales y minerales, son amigables con el medio ambiente por sus propiedades biodegradables y tienen numerosas ventajas sobre las sintéticas, a su vez presentan costos relativamente bajos, son fáciles de fabricar y de conseguir. Las fibras de celulosa natural de origen vegetal son más beneficiosas que las fibras de origen animal. El abacá es una fibra natural con excelente fortaleza mecánica que es obtenido de la fibra celulosa de la planta de banana. A su vez, sus biocompuestos no son abrasivos ni tóxicos, con propiedades comparables a los compuestos de fibra sintética, y se utilizan en la actualidad ya en automóviles. Para el año 2000, el Parlamento Europeo instaba a una mejora en el manejo de residuos, esto luego de que, a partir de la postguerra, el reemplazo del metal por plásticos reforzados con fibras sintéticas como la fibra de vidrio o fibra de carbono se popularizó en el campo automotriz. Actualmente en Europa se generan de 8 a 9 millones de toneladas de residuos entre partes y piezas de autos. Otro de los motivos para introducir este tipo de fibras naturales es la reducción de alrededor del 10% de la masa (peso) con lo que se obtiene mejores propiedades mecánicas.

Actualmente, compañías como Johnson Controls que provee a nivel mundial piezas y partes para automóviles, reconocen que estos componentes deben ser competitivos en precio como en su implementación y a su vez cumplir con normas ambientales. Las partes más comunes en donde se aplican fibras naturales son en paneles de puertas delanteras y traseras, respaldos de asientos, cubiertas en cabeceras, cajuelas, entre otros. (MOREANO & ZAMBRANO ROMERO, 2016)

Se puede tomar como ejemplo, el modelo Clase S de Mercedes Benz, el primer auto con certificación ambiental. Este tiene 45 piezas de plástico reciclable y se busca que este número crezca y que su implementación se adopte por otras marcas. (ALVARADO, 2013)

2.11 Fibra de Abacá

La fibra de abacá es de naturaleza rígida pues proviene de la vaina de las hojas de la planta de banano, es conocida también como cáñamo de manila y es nativa de Las Filipinas, por su origen, crece muy bien en climas trópicos y húmedos.

El abacá ha sido largamente usado en la industria naviera para aparejos de barcos, cuerdas y redes, incluso para hacer papel de manila, pasando por la industria textil, ropas y demás. Uno de los usos más notables es en el papel moneda, pues el yen japonés contiene hasta un 30% de abacá (MOREANO & ZAMBRANO ROMERO, 2016).

La fibra de abacá se puede obtener de diversas partes del cáñamo lo que altera su color y textura. Su proceso de obtención es mayormente manual y se realiza por agricultores en 5 etapas claves: cosecha, tuxeado o clasificación del tallo, extracción de la fibra, secado y finalmente la limpieza.



Fig. 2. 4 Proceso de obtención de la fibra de abacá

2.12 Fibra de abacá y sus características

El contenido de celulosa y el ángulo de la fibra son factores que determinan la fuerza de las fibras naturales (Venkatesh Naik, 2021), de tal forma que cuanto mayor sea el contenido de celulosa, más fuerte será la fibra (ver la tabla 3). La estructura química de las fibras de refuerzo y la interfaz de unión determinan la resistencia del compuesto.

Las fibras naturales en forma tejida se han utilizado recientemente para reemplazar las fibras sintéticas en la fabricación de piezas de automóviles. Debido a su construcción tejida, los compuestos fabricados a partir de fibras textiles son muy flexibles y muestran propiedades mecánicas mejoradas.

Tabla 2. 6 Características de la fibra de abacá, entre otras. Modificado de (Venkatesh Naik, 2021)

#	Fibra Natural	Densidad (g/cm ³)	Fuerza Tensil (MPa)	Elongación %	Módulo Elástico (GPa)
1	Banana	0.5-1.5	711-789	2.4-3.5	4-32.7
2	Yute	1.3 a 1.5	385-850	1.1-3.3	25-81
3	Sisal	1.3 a 1.5	400-700	1.4-2.1	9-55.4
4	Abaca	1.5	430-815	1.2-1.5	31.1-33.6
5	Piña	1.56	150-1627	2.4	11,1 - -82
6	Bamboo	1.2 a 1.5	500-575	1.9-3.2	27-40
7	Algodón	1.6	200-800	2.1-12	5.5-15.1

Dentro de la industria automotriz cada vez más se han desarrollado nuevas ideas y estrategias para disminuir el peso del vehículo. Debido a esto, las fibras han sido una opción para tomar en cuenta, uniéndose con los termoplásticos. Estas, se han convertido en materiales de alta resistencia, lo que ha disminuido el uso de metales. Según la organización CAFÉ (Corporate Average Fuel Economy), la industria automotriz es una de las que más ha reducido sus niveles de uso de plásticos y contaminación al medio ambiente siendo la segunda que menos contamina, mientras que la industria de transporte o de empaquetadoras sobrepasa el a los automotrices por una gran diferencia.

A continuación, en la figura 6 se muestra la comparación entre las diferentes industrias. (CAFE, 2021)

Como se ha descrito antes, marcas de lujo como Mercedes Benz e incluso McLaren han implementado el uso de materiales compuestos con fibras en sus vehículos, pero también es cierto que no solo supermarcas tienen acceso a este material, sino que Lexus y Subaru, han sido las últimas dos en hacer un cambio de material en sus chasis e interiores. Como se observa, esta es una tecnología con futuro en la industria, ya que los materiales compuestos son resistentes y pueden hacer que los vehículos obtengan un mayor rendimiento, un ejemplo, de esto se observa en la figura 7 y 8.

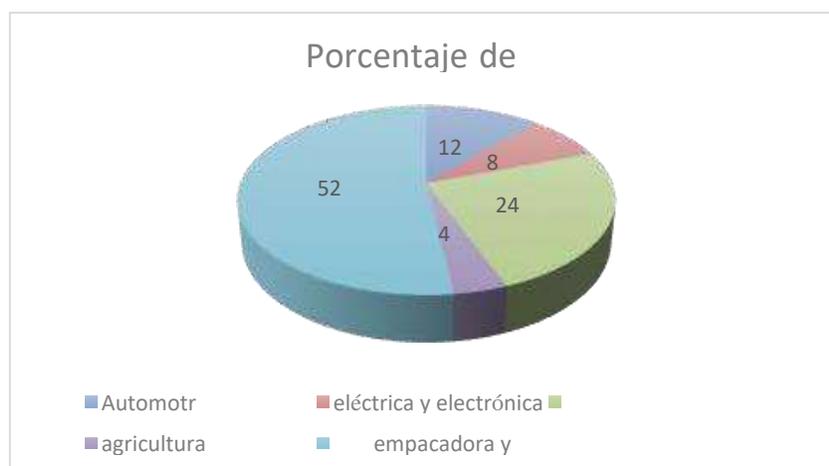


Fig. 2. 5 Porcentaje de uso de plásticos en diferentes industrias (Mohammad (Khoirul Huda, 2015))



Fig. 2. 6 Chasis de McLaren. Tomado de (Narita, 2018)



Fig. 2. 7 Capó de Subaru. Tomado de (Narita, 2018)

Estudios muestran que al someter el abacá a una diversa variación de micro arcilla se obtenía como resultado variaciones no solo en su resistencia y a la tensión sino también a su capacidad para resistir calor e incluso fuego directo. Este estudio demostró que, aunque a cierto punto con mayor cantidad de micro arcilla la resistencia y tensión decaían levemente, también se podía destacar una mayor resistencia al calor, esto los llevaba a concluir que, dada su versatilidad y economía, su aplicación para partes internas no solo en autos sino también en la industria aeronáutica era idónea por su ligereza y características biodegradables. (Shah, 2013)

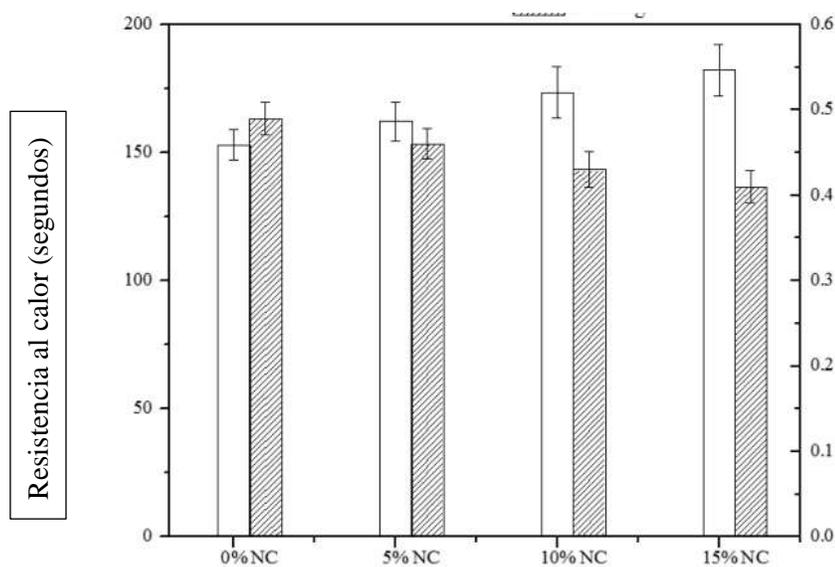


Fig. 2. 8 Abacá y su resistencia al calor. Tomado de (Shah, 2013)

Por otra parte, Alberto Llanes, en su estudio en su estudio con probetas concluyen que, aunque se pudo corroborar que la resistencia obtenida mediante la fibra de abacá es muy similar a la de cualquier otro material polímero, aún se debe experimentar con otros tipos de materiales que puedan generar mayor adherencia y a su vez mejorar su aplicación final en otras partes que no solo sean las internas de un vehículo, pues su bajo costo y la facilidad en cuanto a formas que se logran implementando su producción mediante tecnologías de impresión 3D le dan cierta ventaja sobre otros materiales que usen la misma tecnología. (Llanes-Cedeño, 2019)

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

La metodología que se desarrolla es experimental, teórica y con análisis de datos, por lo tanto, posee cuatro fases que comprenden el diseño del material y manufactura para las probetas para un ensayo de tracción con la normativa ASTM D3039 caracterización del material e implementación de las propiedades mecánicas en ANSYS para realizar simulaciones con geometrías asociadas a una autoparte. A continuación, se presenta el protocolo para posteriormente describir a detalle las cuatro fases de este capítulo.

3.1 Protocolo

Para la creación de un material compuesto se necesita un arduo trabajo de investigación y prueba. Para el caso de la fibra de abacá y sus tres lotes diferentes de probetas, los pasos de creación se asemejan, pero en ciertos aspectos estos se diferencian, ya sea en la utilización de moldes, método de fabricación, la propia configuración y otros aspectos que serán detallados luego de este apartado en las diferentes fases de la metodología. A continuación, se explicará el protocolo de creación de un material compuesto.

Creación de moldes: Una fibra vegetal es un material difícil de manejar, ya que, al ser desfibrado y empaquetado, este tiende a tener muchas deformaciones en su estructura y además no todas las fibras son de la misma longitud. Por lo tanto, primero se define un molde con las características dadas por la Normativa ASTM 3039 (Materiales Compuestos) para poder tener resultados óptimos.

Proceso de secado: Una vez realizado el molde, se debe verificar haciendo pruebas con las probetas que se van a realizar cual sería el proceso de secado óptimo para las mismas. Se obtuvo que debido a la resina epoxi utilizada, se debe curar cada lote un tiempo de 24 horas, ya que aquí aún no está solidificada completamente la pieza y se facilita la extracción de la misma del molde sin que se fracture.

Mecanizado: El mecanizado es darle acabado superficial a la pieza resultante. En el caso de las probetas, fueron cortadas y pulidos los extremos para que tengan un acabado liso y sin imperfecciones.

Pruebas de tracción: Con las probetas terminadas se lleva a cabo el punto de realizar pruebas de tracción en la máquina Shimadzu 300 N facilitada por la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil. Como primera instancia se creó un ensayo con la configuración dada por la normativa

mostrada anteriormente. Una vez listo se introduce la probeta en las mordazas y se procede a realizar la prueba.

Filtrado de Datos: La máquina de tracción al terminar los ensayos genera un informe de la prueba junto con un documento Excel con los datos de tiempo, desplazamiento y fuerza generada en la probeta. Con los datos obtenidos, se generan en el programa la deformación (Δ/L) y el esfuerzo (F/A), y así poder generar gráficas σ vs ϵ , además de la Fuerza vs desplazamiento.

Este procedimiento se hizo con los tres lotes, pero cabe recalcar que fue específicamente para obtener los módulos de elasticidad de las probetas PAA, ya que su comportamiento en la máquina de tracción mostro una gráfica no lineal. A continuación, se muestran las variables pertinentes para la obtención del módulo de elasticidad.

- Δ = Desplazamiento
- L = Longitud
- F = Fuerza
- A = Área

Caracterización Mecánica: Con los datos ya filtrados y las gráficas generadas, se procede a realizar el análisis de los datos de forma estadística, utilizando el Software Minitab para la elaboración de graficas de superficie y análisis de cajas. Finalmente, se obtienen tablas donde se muestran los datos para establecer las propiedades mecánicas necesarios que exige la normativa para caracterizar un material compuesto

Simulación: Con los datos generados se procede al análisis mediante simulación para comprobar los resultados. Estos datos obtenidos fueron introducidos en Ansys generando tres simulaciones diferentes: Probeta analizada con ABS que es el material original de la pieza a crear, Simulación con fibra de abacá y Simulación de la pieza con fibra de Abacá

Creación del Elemento final: Una vez verificados los datos de la simulación, se procede al paso final que ya es la elaboración de la pieza, en este caso una tapa para volante de un Suzuki Forza.

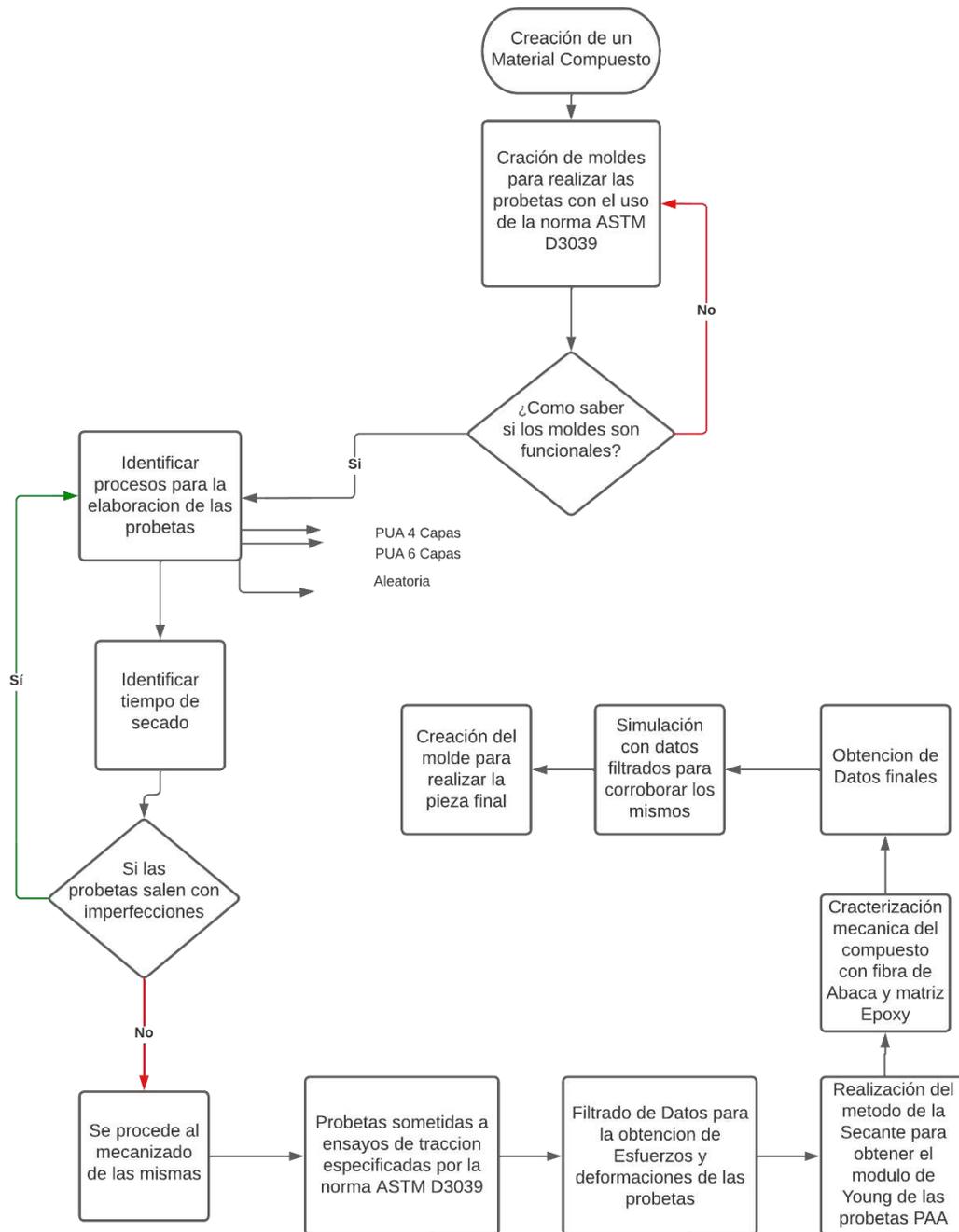


Fig. 3. 1 Protocolo inicial para elaboración de probetas con material compuesto.

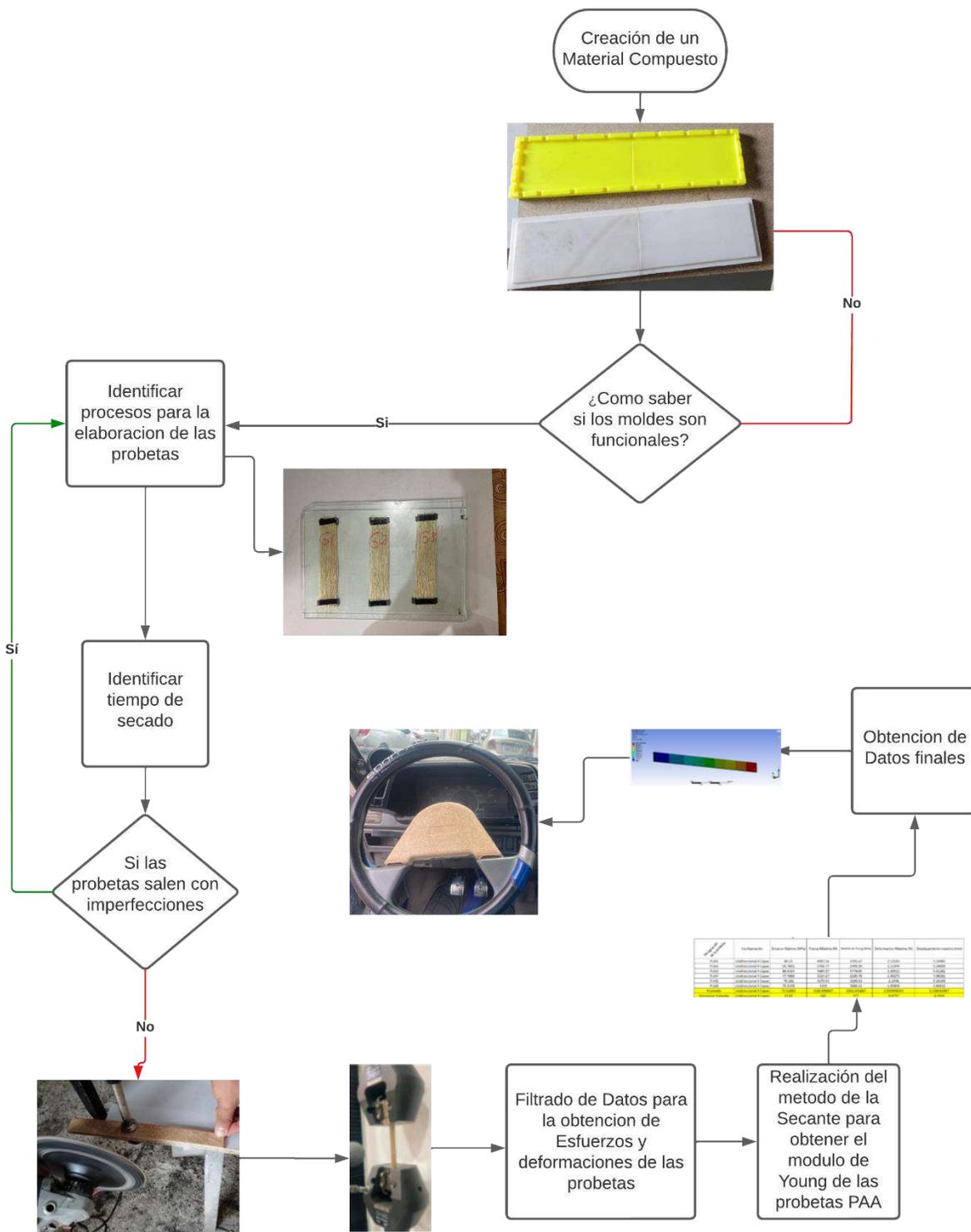


Fig. 3. 2 Resultados gráficos de acuerdo con el protocolo establecido

3.1 Diseño del material compuesto y manufactura de las probetas.

En esta primera etapa se asentarán las bases de la configuración del compuesto con fibra de abacá que tendrán tanto las probetas con la pieza a analizar, mediante un proceso de manufactura semi-artesanal, donde se obtendrá el material cultivado y desfibrado, listo para comenzar el proceso de fabricación de probetas a través de los procesos de laminación y de compactación explicados más adelante, y como resultado tendremos las probetas listas para los ensayos de tracción.

Esta etapa se desarrolla para dos configuraciones, de tres lotes diferentes (dos unidireccionales de cuatro y seis capas y una configuración aleatoria), todas tienen en común el proceso de obtención de las fibras que se describe a continuación:

3.1.1 Obtención de la fibra:

Una vez que el fruto está listo para cosechar empieza con el proceso de obtención de las fibras:

- a. **Talado:** Una persona denominada localmente como “tallero” se encarga de talar y agrupar entre cuatro a cinco tallos en un determinado sitio.

En figura 3.3 a continuación se puede observar las plantaciones de abacá en la provincia de Santo Domingo-Ecuador.



Fig. 3. 3 Plantaciones de abacá

- b. Tuxeado:** Posteriormente otra persona denominada “Tuxero” recoge cada uno de los tallos y empieza a sacar finas capas del tallo separando estas en las distintas calidades de la fibra que van desde la numero uno que es la de mejor calidad y de color blanco (hablando de coloración y textura de la fibra), hasta la numero 5 que tiene un tono más amarillo oscuro.



Fig. 3. 4 Proceso de “Tuxeado”. (Kaila, 2019)

Una vez terminado el proceso de tuxeado, la persona amarra a las fibras de una manera específica llamada “Tonguillos”, esto con el fin de facilitar la movilización del tallo a la zona donde está ubicada la desfibradora, para continuar con el proceso de la fibra.



Fig. 3. 5 Tallo posterior al proceso de “Tuxeado”.

Desfibrado: Se trasladan los “tonguillos” hacia los desfibradores donde se separan las capas del tallo y toman de 3 a 4 de estas para introducirlas en las maquinas que posteriormente

eliminar el exceso y sacar la fibra, este proceso se repite de 2 a 3 veces hasta obtener el material bien desfibrado.



Fig. 3. 6 Proceso de "Desfibrado". Tomada de (Ecuador, 2019)

Secado: Este paso del proceso varía mucho en el tiempo y esto se debe a que está en función de las condiciones climáticas, con un día soleado debe ser suficiente 1 hora para poder secar por completo las fibras, pero con días nublados demora de 3 a 4 horas en secarse, tener en cuenta que al momento de secar en el sol, las fibras se pueden sentir calientes pero no necesariamente estar secas, cuando esto sucede se invierten las fibras para que el secado sea uniforme y el tiempo de secado se acorte.



Fig. 3. 7 Proceso de "Secado".

Recolección y envío: Una vez que las fibras están totalmente secas, se las recolecta del tendadero y se las envuelve para posteriormente pesarla y venderla, ya sea para la fabricación de artesanías o la importación de la fibra.



Fig. 3. 8 Fibra lista para comercialización.

3.1.2. Fabricación de las probetas

Para la fabricación de las probetas y al igual que para la obtención de la fibra, todas las configuraciones tienen un proceso previo en común al que se denominará: **“Selección de la fibra”** y se describirá a continuación:

Este proceso previo a la fabricación de las probetas se lo realiza debido a que las fibras llegan amarradas casi que unas con otras, por lo que empiezan a formarse nudos que complican la manufactura de la fibra, por eso previamente se debe desenredar, seleccionar y separar las mejores fibras tomando aspectos de continuidad de la fibra y que no se haya doblado lo suficiente como para romperse.

El proceso empieza soltando las fibras de como vienen amarradas, para así poder observarlas, en la figura a continuación se aprecia las fibras atadas, listas para trabajar.



Fig. 3. 9 Fibra atada.

Luego se toma una muestra de la fibra y se la extrae. Esto con el objetivo de tener una selección minuciosa y precisa de las fibras.



Fig. 3. 10 Fibra para seleccionar.

Por ultimo las fibras seleccionadas se separan para continuar con el proceso en cada una de las configuraciones



Fig. 3. 11 Fibras seleccionadas.

3.1.2.1 Configuración unidireccional (4 Capas)

Esta configuración tiene como nomenclatura “PUA#” Donde la primera letra “P” significa probeta, “U” significa unidireccional que vendría a ser la dirección de las fibras en la probeta donde todas tendrían la misma dirección y está sería en la misma dirección de la fuerza a la que estará sometida en el ensayo de tracción, “A” Significa antigua y esto debido a que las fibras tienen aproximadamente 8 meses después de su cosecha hasta el proceso de fabricación de las probetas y “#” es el número de la probeta.

Proceso de fabricación:

Las fibras separadas se cortan a 30 cm para empezar el proceso.

Preparación de las capas de fibra: En primer lugar en esta etapa del proceso de fabricación se prepara el lugar donde estarán situadas las fibras en una misma dirección. En un pedazo de madera se dibuja un rectángulo de 30 cm de largo y 6 cm de ancho ya que las fibras estarán cortadas en esa longitud. Encima de ese rectángulo se pone una cinta que sostendrá las fibras.



Fig. 3. 12 Preparación de capa.

Elaboración de las capas de fibra: Una vez que el espacio está preparado se procede a pegar las fibras una junta de la otra sobre las cintas, esto para darle la dirección deseada a la fibra, hasta los 6 cm que es el ancho de la capa.



Fig. 3. 13 Elaboración de las capas.



Fig. 3. 14 Capa terminada.

Medición de las capas: Para poder medir las proporciones entre resina y fibra se debe hacer mediciones previas y para ello se toman las capas de las fibras y se las agrupa una encima de otra hasta llegar al espesor requerido (En este caso cuatro capas de fibra de abacá forman aproximadamente 2,2 mm de espesor), una vez que se conoce esto, se procede a pesar esas cuatro capas de fibra para encontrar la proporción correcta con la resina. Las cuatro capas de fibra tienen un peso de aproximadamente 15 gramos.

Para lograr realizar seis probetas se realizaron tres grupos de cuatro capas cada una, como se puede observar en la figura 24, las capas totales (cuatro) de esta configuración se pesan para su caracterización.



Fig. 3. 15 Peso de las capas.

Preparación de la resina: Para la preparación de la resina se toma en cuenta como se estableció previamente el peso de la fibra que se utilizara, que serían el peso de la fibra es decir 15 gramos más la mitad de ese peso (7.5 gramos) en total 22,5 gramos de resina por cada grupo. Debido a que en este proceso existe un poco de desperdicio de resina se utilizó finalmente 100 gramos de resina por todos los grupos.



Fig. 3. 16 Preparación de la resina.

Aplicación de la resina y Fibra en el molde: Lo primero que se debe aplicar en el molde de vidrio que se utilizó, es el desmoldante, el cual sirve para que posteriormente la pieza no se adhiera al molde y dificulte su extracción, la aplicación se realiza con una esponja y se deja evaporar durante unos 20 minutos. Luego de haber mezclado en una proporción de 3:1 la resina y batido durante aproximadamente tres minutos, se procede a aplicar la resina en el molde de vidrio, una capa en

cada uno de los lugares donde estarán situados los grupos, luego se aplica una capa de fibra y se vierte más resina encima de esta capa hasta que se aprecie que está totalmente embebida en resina y así repetimos el proceso hasta terminar con las cuatro capas en cada grupo, por ultimo colocamos otro vidrio como contraparte del molde para compactar mejor la fibra con la resina.



Fig. 3. 17 Grupos de fibra de abacá y resina epoxi pre-curado.

Ciclo de curado: Al iniciar el ciclo de curado se colocó encima un tablero y un tambor de un bus urbano de un peso de aproximadamente 80 Kg, esto se realizó con la finalidad de compactar las fibras con la resina, El ciclo de curado tuvo una duración de 15 horas.



Fig. 3. 18 Ciclo de curado.

Extracción de los grupos: Una vez finalizado el ciclo de curado, se retira el tabor y el tablero, luego con dos desarmadores se empuja hacia arriba el vidrio superior para que quedar en contacto con los grupos de fibra, cuando el vidrio superior se haya retirado, con una espátula

y un mazo de goma empujamos los grupos hacia arriba para que estos puedan extraerse del molde.



Fig. 3. 19 Grupos de fibra de abacá y resina epoxi post-curado.

Corte y obtención de las probetas: Cuando ya se obtuvieron los 3 grupos, se dibujaron los cortes que se deben realizar para la obtener las probetas, en cada grupo tuvimos dos probetas que nos da un total de 6 probetas unidireccionales con denominación “PUA” Explicada al inicio de este proceso, se utilizó las zonas centrales de cada grupo ya que era ahí donde se compacto mejor la fibra y la resina. Como se presenta en la figura, las probetas listas para los ensayos de tracción.



Fig. 3. 20 Probetas unidireccionales de fibra de abacá.

3.1.2.2. Configuración aleatoria

Esta configuración tiene como nomenclatura “PAA#” Donde la primera letra “P” significa probeta, “A” significa aleatoria que vendría a ser la dirección de las fibras en la probeta donde todas tendrían distintas direcciones, “A” Significa antigua y esto debido a que como a la anterior configuración las fibras tienen aproximadamente 8 meses después de su cosecha hasta el proceso de fabricación de las probetas y “#” es el número de la probeta.

Para la fabricación de esta configuración ya no se utiliza el vidrio como molde, en lugar de eso se utilizó un molde de impresión en 3D, que fue diseñado en el software Autodesk Inventor, esto con el objetivo de garantizar la compactación de las probetas y la adhesión entre la fibra y la resina.



Fig. 3. 21 Molde (amarillo) y contraparte (Blanca) para probetas.

Proceso de fabricación

Corte de fibras: Luego de que las fibras pasaran por el mismo proceso previo que la configuración descrita anteriormente, estas se agrupan y se empiezan a recortar en medidas aleatorias que van desde 5mm a 20 mm de longitud, y se recolectan en un recipiente.



Fig. 3. 22 Fibras cortadas en longitudes aleatorias.

Medición de peso de la fibra: Una vez que realizamos el corte de las fibras se alista el molde, debido a que tiene 4 partes, se lo ensambla y se procede a llenar el molde de la fibra, esto con la intención de saber cuánta fibra se utilizara, y con esto podremos determinar la cantidad de resina que se usara.



Fig. 3. 23 Fibras aleatorias dentro del molde

Preparación del molde: El molde está compuesto por cuatro partes, dos amarillas y dos blancas, donde la parte amarilla compone el molde, donde se sitúa la resina mezclada con la fibra y una contraparte, la blanca que, servirá para compactar al material compuesto y obtener el espesor requerido (2.5mm). Para esto se deben ensamblar la parte blanca al igual que la amarilla, una vez realizado esto se aplica el desmoldante en toda la superficie del molde, también se aplica en menor cantidad el desmoldante a la superficie donde se asienta el molde y a la tabla donde se ejercerá presión en la parte superior, a todo esto se deja secando durante 20 minutos.



Fig. 3. 24 Aplicación de desmoldante.

Preparación de la resina: Así como en el proceso anterior se utilizó como referencia el peso de la fibra que se utilizara en el molde para determinar la cantidad de resina que usaremos, así mismo en una proporción de 3:1, en el caso de esta configuración se utiliza por cada grupo 20 gramos de fibra y 172 gramos de resina (150 ml), en el caso de la utilización de este método (Con molde) Se utiliza mucha resina extra para garantizar así la compactación, debido a que la resina sobrante se retirara y quedara lo necesario para la cantidad de fibra utilizada, esto será explicado en los siguientes pasos del proceso de fabricación de las probetas.



Fig. 3. 25 Preparación de resina

Aplicación de la resina y fibra: Luego de que se haya preparado la resina, aplicado desmoldante al molde y se haya determinado la cantidad de resina y fibra a utilizarse, se debe aplicar una capa

de resina encima del molde, luego ir tomando pequeñas cantidades de fibras del recipiente y colocarlas aleatoriamente dentro del molde y por encima de la resina aplicada, repetimos este procedimiento hasta que la fibra haya llegado de extremo a extremo del molde y que haya sobrepasado la altura del mismo, una vez culminado se debe asegurar que haya exceso de resina para que la fibra quede totalmente embebida dentro de la resina, luego se aplica otra capa de resina ahora encima de la contraparte (blanca) y finalmente se tapa el molde con la contraparte, asegurándose de que el contorno de la contraparte encaje dentro del molde y así pueda presionar al material compuesto.



Fig. 3. 26 Aplicación del material compuesto al molde.

Ciclo de curado: El ciclo de curado empieza una vez se haya tapado el molde con la contra parte y para compactarlo se utiliza la ayuda de una tabla de “MDF” y unas prensas dos prensas tipo “C”, una vez que la contraparte se situó encima del material que está dentro del molde, se coloca la tabla por encima de todo y se trata de presionar con la mano para verificar que todo el contorno se sellara bien, luego de esto se colocan las prensas en ambos extremos y se las empieza a cerrar progresivamente, haciendo pausas en este proceso para obtener la menor cantidad de aire dentro de la mezcla, cuando se está realizando esto el exceso de resina empezara a salir por los costados del molde, misma resina que se desperdiciara pero que al mismo tiempo garantizara que la fibra quede embebida en su totalidad por la resina y así mismo que ambos materiales estén compactados al momento en que se seca la resina, cuando la fuerza aplicada a la prensa ya no empuje más la contraparte contra el molde se habrá finalizado la construcción de las probetas y se compactara durante 15 horas.



Fig. 3. 27 Ciclo de curado.

Extracción de los grupos: Cuando el proceso de curado se haya terminado, se retiran las prensas, luego la tabla de la parte superior, luego con una espátula y un mazo se golpea las esquinas del molde para que se despeguen en los extremos, posteriormente se dirige la espátula de un extremo al centro del molde para que se siga despegando de un lado y se repite del otro lado, una vez que sacamos un lado de la contraparte, se realiza el mismo proceso con el otro lado de la contraparte para retirar está en su totalidad, luego con la misma espátula se levanta el molde de la superficie donde se asentaba y por último se separa el molde del grupo obteniendo así el resultado final.



Fig. 3. 28 Ciclo de curado.

Corte y obtención de las probetas: Para finalmente obtener las probetas se utilizó al igual que la configuración anterior la parte central de los grupos, se dibujaron los espacios de cada probeta, que en este caso por cada grupo obteníamos dos probetas y luego con la ayuda de la herramienta de corte, se obtiene cada una de las probetas, como se detalla en la figura 3.29.



Fig. 3. 29 Corte de probetas.

Debido a que el molde no podía producir más de dos probetas por sus dimensiones, todo el proceso de la configuración aleatoria se repitió 3 veces, quedando de la siguiente manera:



Fig. 3. 30 Probetas aleatorias terminadas.

3.1.2.3 Configuración unidireccional (6 Capas)

Esta configuración es unidireccional como las probetas iniciales, pero se aumentaron dos capas de fibras más, ya que en esta nueva configuración se cambió el proceso de fabricación y se utilizó el mismo proceso de la configuración aleatoria, utilizando el molde y el proceso de compactación más preciso, lo que garantiza el espesor otorgado por la normativa, ya que en el proceso con el molde la compactación es más controlada.

En esta configuración se utilizó la nomenclatura “PUA#” y tiene el mismo significado que la primera configuración, pero se realizó una continuación en la numeración, es decir las probetas de esta configuración están enumeradas desde la PUA7 hasta la PUA12 dando un total de 6 probetas fabricadas en este proceso.

Proceso de fabricación:

Este proceso de fabricación comparte pasos de ambos procesos anteriores, tanto de la unidireccional de 4 capas como de la configuración aleatoria, por ello a continuación se describirá el orden del proceso de fabricación y con qué proceso comparten cada paso y se detallará el único paso que se combinan los dos procesos.

Los primeros 4 pasos se comparten con el proceso de fabricación de la fibra unidireccional de 4 capas ya que estos son parte de la preparación de la fibra antes de ingresar al molde y por ende se necesita replicarlos, el paso 5 pertenece al proceso de la configuración aleatoria, el 6 es una combinación de ambos y el resto de los pasos son iguales a la configuración aleatoria. Y están descritos a continuación:

A. Preparación de fibra

B. Elaboración de capas de fibra: En este caso se realizaron 18 capas debido a que son 6 capas por grupos y en cada grupo se obtienen 2 probetas.

C. Medición de capas: Se utilizó el mismo proceso de medición con calibrador, pero ahora se le agregaron dos capas más de fibras unidireccionales.



Fig. 3. 31 Espesor de las capas de fibra

- D. **Preparación de resina:** Este paso se repite en todas las configuraciones, y depende directamente de la cantidad de fibra que se utilice.
- E. **Preparación del molde:** Al igual que en las anteriores configuraciones se prepara el molde y las piezas que se utilizarán para la fabricación de las probetas con la ayuda del desmoldante.



Fig. 3. 32 Secado del desmoldante en la superficie del molde

- F. **Aplicación de la resina y fibra:** Este paso se combinan ambos procesos ya que la resina y la fibra se aplican en el molde como la configuración aleatoria, pero se lo hace capa a capa como la configuración unidireccional, al final cuando se obtienen las 6 capas y la fibra está totalmente embebida con la resina, se procede a sellar el molde para continuar con el siguiente paso.



Fig. 3. 33 Aplicación de fibra y resina en molde

- G. **Ciclo de curado:** El proceso de curado en el caso de la configuración unidireccional 6 capas, tiene una duración de 24 horas.



Fig. 3. 34 Ciclo de curado

- H. **Extracción de los grupos:** Para la extracción se utiliza una espátula como herramienta principal, donde se separa la pieza del molde.
- I. **Corte y obtención de las probetas:** En este paso, igual que en las otras configuraciones, se dibujó el espacio de las probetas en la zona central y luego con la ayuda de la herramienta de corte, se extrajeron las probetas.



Fig. 3. 35 Corte de los grupos



Fig. 3. 36 Probetas terminadas

3.2 Caracterización del material compuesto. Ensayo de tracción

Una vez que se manufacturan las probetas se procede a realizar los ensayos de tracción donde se obtendrán valores de esfuerzo (σ), deformación (ϵ), módulo de elasticidad (E) como resultado de las fuerzas aplicadas en la máquina de ensayos. Posteriormente con esos resultados se proporciona al programa CAE los valores promedio de las variables representativas de cada material, configurando un nuevo material alternativo producido netamente en el país disponible

para la simulación de autopartes.

Los ensayos de tracción se realizaron en cinco días con cinco grupos de probetas diferentes, mezclando probetas aleatorias con unidireccionales, el proceso para realizar los ensayos es igual para todas las probetas pero 6 de las 19 probetas se ensayaron con extensómetro para verificar los datos obtenidos con deformaciones verdaderas. Se describe a continuación primero el proceso de las probetas sin extensómetro, posterior se explica el proceso para ensayos de tracción con extensómetro:

3.2.1 Procedimiento de Ensayo de tracción para probetas sin extensómetro

Este procedimiento describe punto a punto lo desarrollado para las probetas mencionadas.

- a) **Verificar las condiciones según normativa:** Al entrar al laboratorio de la máquina de ensayo, se debe verificar que la temperatura de la habitación sea de 23° grados Celsius y posteriormente poner las probetas a esa temperatura.
- b) **Encender la máquina de ensayos:** Se debe poner en “ON” el interruptor de la parte posterior de la máquina y hacer lo mismo con el botón de la parte frontal.
- c) **Encender el computador:** Una vez que se enciende la máquina de ensayos, se debe encender el computador y abrir el programa de la máquina de ensayos, se lo hace en este orden para que el programa pueda reconocer a la máquina, caso contrario el programa no leerá a la máquina encendida.
- d) **Calibrar la Máquina de ensayos:** Cuando se abre el programa se debe calibrar la máquina de ensayos, esto se realiza desde los mandos de la maquina donde esta se calibra automáticamente tanto la fuerza como el desplazamiento, si se obvia este paso la maquina no podrá realizar ningún ensayo.
- e) **Crear un nuevo ensayo:** Luego de realizar la calibración, se ingresa en el programa los datos en un nuevo ensayo que realizaremos, estos datos son: la geometría de la probeta, el nombre del material, la velocidad a la que se aplicara la fuerza y los resultados que se espera obtener con los ensayos, así como también las gráficas que se desean analizar.
- f) **Colocar la probeta:** En este paso se verifica la geometría específica de la probeta que se ensayara posteriormente se toma la probeta y se la centra entre las mordazas, verificando que estas estén en el punto de inicio del ensayo y que la probeta se centre en todas las marcas que tienen las mordazas, y se aprieta la probeta con las mordazas una vez este

centrada.

- g) Inicio del ensayo de tracción:** Una vez que se coloca la probeta se procede a iniciar el ensayo, esto se lo hace desde el programa al presionar “Iniciar ensayo” y se deberá esperar a que la probeta rompa, en una duración aproximada de 5 minutos, si no es el caso se procederá a romperla manualmente desde los mandos de la máquina de ensayos.
- h) Retirar la probeta:** Para retirar la probeta se debe verificar que la fuerza que marca en ese momento el ensayo es negativa o que se aproxime a 0 N, en el caso de que la probeta no rompa y tenga una carga existente se deberá romperla manualmente al subir el cabezal de la máquina hasta que este rompa la probeta, si esto se omite podría llegar a ocasionar accidentes. Una vez que se confirma que la fuerza esta lo más próxima a 0 N o negativa se suelta las dos partes de la probeta de la mordaza superior e inferior y con cuidado se la retira, priorizando que la zona donde se generó la ruptura no se contamine. Cuando se retira la probeta se debe retornar los cabezales a su punto de origen para empezar un nuevo ensayo.



Fig. 3. 37 Ensayo de tracción probeta aleatoria

3.2.2 Procedimiento para ensayo de las probetas con extensómetro

- i. Verificar las condiciones según normativa:** Al entrar al laboratorio de la máquina de ensayo, se debe verificar que la temperatura de la habitación sea de 23° grados Celsius y posteriormente poner las probetas a esa temperatura.
- ii. Conectar extensómetro:** Se debe conectar el amplificador del extensómetro tanto en la máquina de ensayos como a la computadora, esto se realiza para que se reconozca al equipo.

- iii. **Encender la máquina de ensayos:** Se debe poner en “ON” el interruptor de la parte posterior de la máquina y hacer lo mismo con el botón de la parte frontal.
- iv. **Encender el computador:** Una vez que se enciende la máquina de ensayos, se debe encender el computador y abrir el programa de la máquina de ensayos, se lo hace en este orden para que el programa pueda reconocer a la máquina, caso contrario el programa no leerá a la máquina encendida.
- v. **Calibrar la Máquina de ensayos:** Una vez que se ingresa al programa se debe calibrar la máquina de ensayos, esto se realiza desde los mandos de la máquina y se realiza manualmente para calibrar tanto la fuerza como el desplazamiento, si se obvia este paso la maquina no podrá realizar ningún ensayo.
- vi. **Crear un nuevo ensayo:** Luego de realizar la calibración, se ingresa en el programa los datos en un nuevo ensayo que realizaremos, estos datos son: la geometría de la probeta, el nombre del material, la velocidad a la que se aplicara la fuerza y los resultados que espero obtener con los ensayos, así como también las gráficas que se desean analizar y adicional en este caso se debe colocar e informar al programa que se utilizara un extensómetro biaxial.
- vii. **Colocar la probeta:** En este paso se verifica la geometría específica de la probeta que se ensayara posteriormente se toma la probeta y se la centra entre las mordazas, verificando que estas estén en el punto de inicio del ensayo y que la probeta se centre en todas las marcas que tienen las mordazas, y se aprieta la probeta con las mordazas una vez este centrada.
- viii. **Colocar el extensómetro:** Debido a que es un dispositivo bastante sensible se requiere de la presencia de dos personas para el montaje en la probeta, y se realiza con mucho cuidado, verificando que la sujeción a la probeta sea la correcta.
- ix. **Inicio del ensayo de tracción:** Una vez que se colocó la probeta se procede a iniciar el ensayo, esto se lo hace desde el programa al presionar “Iniciar ensayo” y se deberá esperar a que la probeta rompa, en una duración aproximada de 5 minutos, si no es el caso se procederá a romperla manualmente desde los mandos de la máquina de ensayos.
- x. **Retirar Extensómetro:** El extensómetro al ser muy sensible no debe estar durante todo el ensayo, por eso se toma un rango estimado de desplazamiento previamente analizado con los anteriores ensayos ya realizados y se lo monta hasta alcanzar el límite de

desplazamiento, para retirarlo se debe parar el ensayo desde el programa y presionar el botón “Retirar extensómetro” dos veces para que deje de tomar datos tanto en el eje “X” como en “Y”, por último se retira físicamente el extensómetro de la probeta y se deja continuar el ensayo hasta la ruptura de la probeta.

- xi. Retirar la probeta:** Para retirar la probeta se debe verificar que la fuerza que marca en ese momento el ensayo es negativa o que se aproxime a 0 N, en el caso de que la probeta no rompa y tenga una carga existente se deberá romperla manualmente al subir el cabezal de la máquina hasta que este rompa la probeta, si esto se omite podría llegar a ocasionar accidentes. Una vez que aseguramos que la fuerza esta lo más próxima a 0 N o negativa se suelta las dos partes de la probeta de la mordaza superior e inferior y con cuidado se la retira, priorizando que la zona donde se generó la ruptura no se contamine. Cuando se retira la probeta se debe retornar los cabezales a su punto de origen para empezar un nuevo ensayo.



Fig. 3. 38 Ensayo de tracción con extensómetro de probeta aleatoria

Las probetas fueron ensayadas de la siguiente manera:

Tabla 3. 1 Tabla de ensayos de tracción

Fecha	28/6/2022	8/7/2022	14/7/2022	21/07/2022	4/8/2022
Probetas	PUA1	PAA1	PAA6 (E)	PUA3 (E)	PUA9
	PUA2	PAA2			PUA10(E)
	PUA4	PAA5	PAA7 (E)	PUA5 (E)	PUA11(E)
	PAA3	PUA6			
	PAA4	PUA7 PUA8			PUA12

3.2 Implementación en ANSYS del material alternativo con fibra de Abacá

Con los nuevos datos de las propiedades del nuevo material dentro de ANSYS, y un diseño previo de una pieza se puede simular la misma con el nuevo material y de acuerdo con los requerimientos tanto de carga como de geometría se podrá analizar en la simulación el comportamiento del compuesto sometido a diferentes cargas.

Después de haber realizado las probetas se procede a la elaboración de simulaciones con Ansys Workbench para obtener los campos de desplazamiento, esfuerzo y deformación.

A continuación se detalla el procedimiento a seguir.

a) **Seleccionar ACP (pre).**

Esta opción nos permite crear un elemento en la biblioteca de Ansys. Al seleccionar, se despliega un menú de 4 opciones. Después se abre “Engineering Data”. Luego se abrirá una pestaña mostrada a continuación en la Fig.3.39.

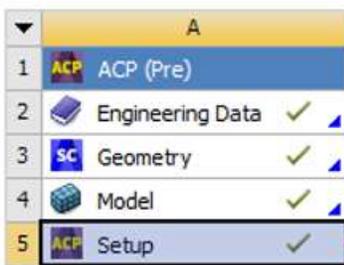


Fig. 3. 39 Selección de ACP (Pre)

b) Establecer las magnitudes de las propiedades mecánicas conocidas mediante el ensayo

Se despliega el cuadro de elementos, donde se agrega el nombre del elemento a crear. Después se agrega las variables que debe tener la fibra. En este caso se agrega: Densidad, esfuerzo ultimo de tensión y esfuerzo máximo de tensión, Elasticidad Isotrópica donde se despliega el módulo de Young, coeficiente de Poisson, módulo de corte y de volumen. Cabe recalcar que los dos últimos se agregan predeterminadamente dependiendo del módulo de Young utilizado.

Tabla 3. 2 Establecimiento de parámetros de la fibra de abacá

Isotropic Elasticity	
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	4,6405e+09 Pa
Poisson's Ratio	0,35000
Bulk Modulus	5,1561e+09 Pa
Shear Modulus	1,7187e+09 Pa
Tensile Ultimate Strength	600,00 Pa
Tensile Yield Strength	1,025e+08 Pa

c) Agregar matriz polimérica

Como se está trabajando con una matriz polimérica, se debe agregar el segundo material al utilizar. En este caso, se identifica dentro de la biblioteca de elementos la resina Epoxi que ya está predeterminada y se la suma en el análisis

Tabla 3. 3 Agregar matriz polimérica

Isotropic Elasticity	Resina Epoxi
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	3,78e+09 Pa
Poisson's Ratio	0,35000
Bulk Modulus	4,2e+09 Pa
Shear Modulus	1,4e+09 Pa
Tensile Yield Strength	5,46e+07 Pa

- d) Para el siguiente paso se retoma la tabla que aparece en la Fig. 3.40 donde se muestra los 4 pasos de la simulación:

En el apartado de geometría, se abre el simulador Space Claim donde se procede a crear la probeta con las medidas indicadas en la figura.47.

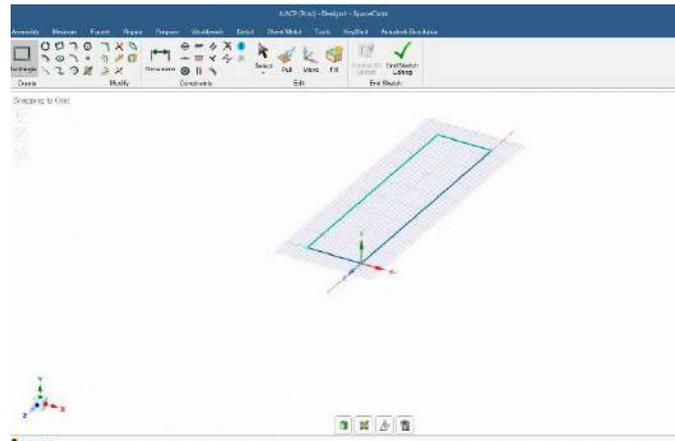


Fig. 3. 40 Creación de geometría

- e) Creación del filamento

Dentro del SpaceClaim, se crea la fibra donde se le debe especificar las características de esta. Como son varias fibras utilizadas y no todas cuentan con el mismo espesor, se pone un valor predeterminado por Ansys de 1 micra.

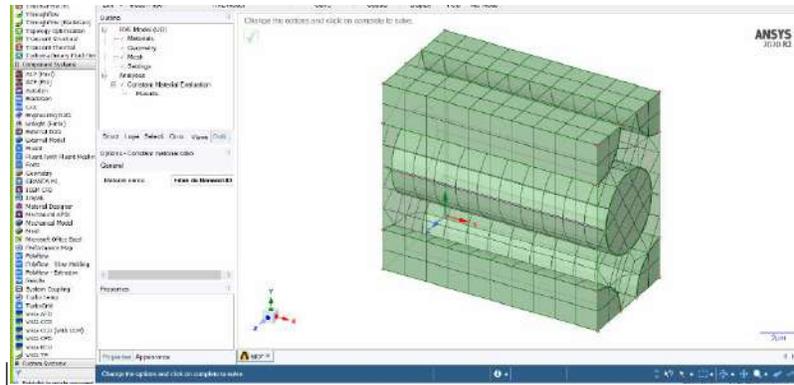


Fig. 3. 41 Creación de fibras.

f) Abrir Model

El siguiente paso para seguir después de tener los parámetros establecidos, se debe abrir la tercera opción de la Fig. (Model) en esta opción se coloca en primera instancia, la malla de trabajo. Esta se puede moldear si se quiere especificar el análisis en un área determinada, pero en este caso se analizó todo el cuerpo por igual. Después se determina la fuerza que este va a soportar en la parte superior y en la inferior se coloca el soporte fijo que representa a la mordaza de la máquina de tracción.

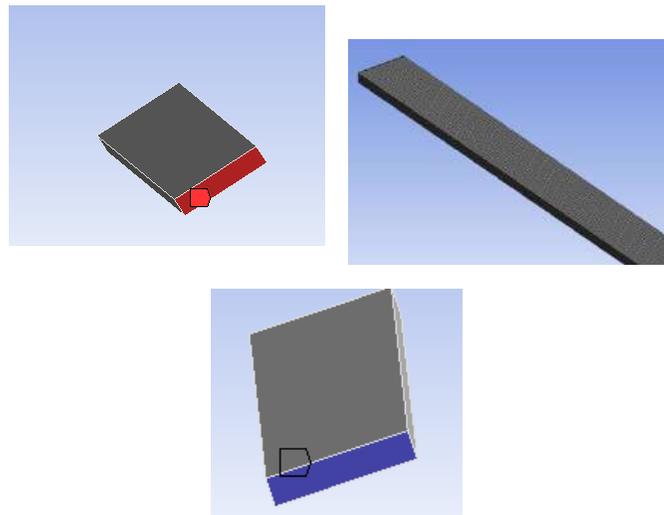


Fig. 3. 42 Creación de Fuerzas en la probeta

g) Abrir Resultados

Como penúltimo paso, se procede a abrir el último de las 4 opciones para determinar todos los valores pendientes. En la parte derecha se despliega una lista de comandos. Para este caso en particular se debe abrir Material Data, para ingresar la configuración de los dos elementos que contienen las probetas. Después se hace uso de la opción Rosettes y conjuntos de selección orientados. Estas dos opciones sirven para darle la orientación en el plano a la pieza. Dentro de los valores en x se pone 90 grados, y=0, z=0.

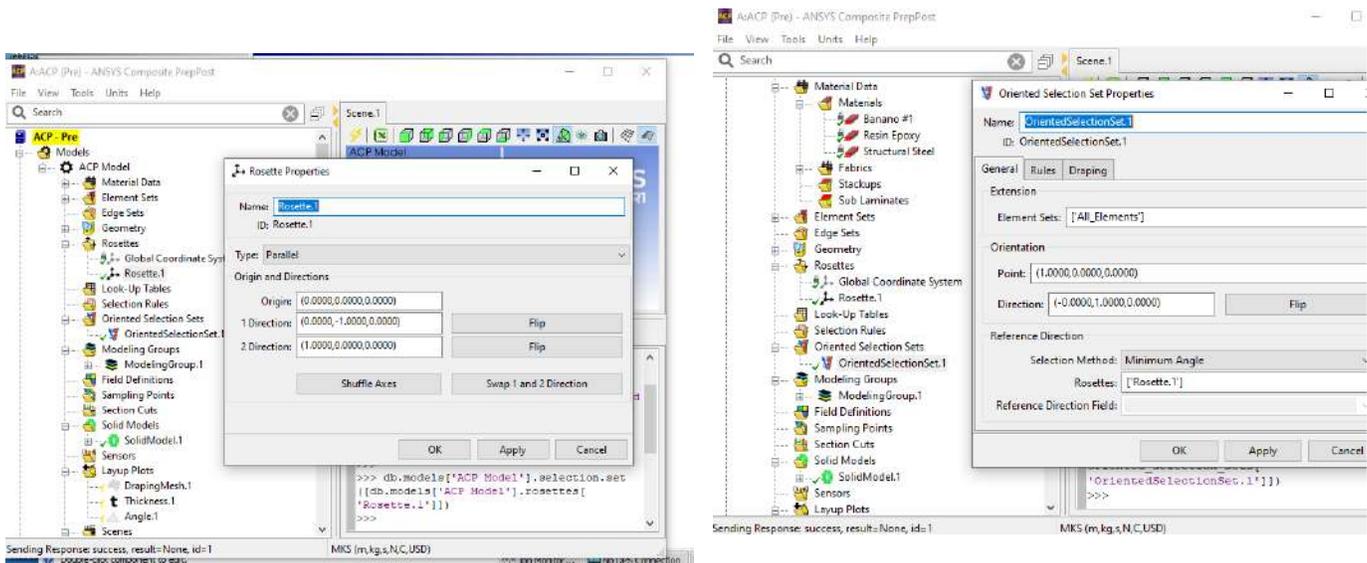


Fig. 3. 43 Creación de Conjuntos de selección orientados.

3.4 Implementación del material desarrollado en el diseño conceptual de una pieza automotriz

En esta última etapa una vez realizados los ensayos y simulaciones del material que se estudiará, se realizará un análisis de la aplicación idónea del material en la industria automotriz en función de las características mecánicas y físicas presentada por el nuevo material obtenidas de los ensayos de tracción y de la simulación.

En primera instancia dentro de este apartado de la metodología se debe hacer un estudio de cuál es la pieza idónea para fabricar, tomando en cuenta las siguientes variables:

- Geometría de la pieza
- Esfuerzo al que está sometida la pieza
- Tamaño de la pieza

- Condiciones ambientales a la que este expuesta la pieza

Todas estas variables están ligadas a las propiedades del material, tanto físicas como mecánicas, ya que al ser un material que en el medio no se utiliza para la fabricación de piezas automotrices y como se describió en la manufactura de las probetas, su proceso de fabricación presenta muchas dificultades y requiere de un tiempo bastante prolongado, se debe optar por una pieza donde su geometría sea relativamente simple y que el tamaño no sea excesivamente grande, esto se debe a que se carece de los medios y maquinaria necesaria para poder producir en serie piezas con fibra de abacá y resina epoxi, lo que reduciría el tiempo de fabricación, simplificaría el trabajo y bajaría los costos de producción. Por otro lado, se deberá también escoger la pieza en función de los resultados obtenidos en la máquina de tracción, ya que inicialmente el objetivo del material es remplazar piezas que no estén sometidas a grandes esfuerzos mecánicos (partes del habitáculo) y por último sus condiciones ambientales, y esto vienen ligado al tipo de resina el cual se utilice. A continuación, se describirá la pieza que se escogió y de que vehículo y posteriormente el proceso de fabricación que se utilizó para la realización de la pieza.

3.4.1 Pieza a fabricar:

La pieza que se escogió para fabricar es la tapa del volante de un Suzuki Forza 1 de 1991 (ver en figura 3.44 y 3.45), los esfuerzos que soporta están relacionados por la presión ejercida por el conductor al momento de accionar la bocina, que no supera los 46kgf , provocando campos de esfuerzos pequeños y que según los ensayos de tracción previstos, es posible de resistir por el material en una configuración aleatoria, también se puede mencionar que la geometría de la pieza no es compleja por lo que el material se podría acoplar sin problemas a las curvas de la pieza, y por ultimo como se utiliza una pieza que está dentro del habitáculo del vehículo, específicamente debajo del parabrisas, está expuesta al sol, por lo que la degradación de la fibra natural se ve suavizada por el comportamiento de la resina, ya que esta presenta propiedades contra los rayos UV, lo que pude hacer que se mejore la respuesta del compuesto.



Fig. 3. 44 Tapa de volante



Fig. 3. 45 Vehículo escogido

3.4.2 Proceso de fabricación de la pieza

Para el proceso de fabricación se utilizó una configuración aleatoria y el proceso de compactación, se optó por esta metodología debido a que es un método más rápido y sin muchas dificultades, ya que la fibra se recorta y se mezcla con la resina dentro del molde que se compone de dos partes y estas garantizan la compactación de los dos materiales, la desventaja de este método y como se dijo anteriormente en el proceso de fabricación de probetas, es que se desperdicia alrededor del 25 % de la resina que se aplica.

Diseño de la pieza y moldes: Lo primero que se realizó fue el diseño de la pieza en el software CAD Autodesk Inventor, se tomaron mediciones de la tapa real para diseñarla.

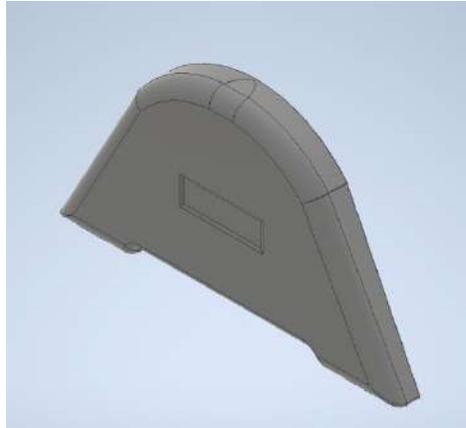


Fig. 3. 46 Tapa de volante diseñada en inventor

Una vez diseñada la tapa en inventor se procedió a sacar las dos partes del molde, tanto la parte negativa como la parte que compacta el material compuesto, todo esto dentro del programa inventor, para su posterior impresión de los moldes para la fabricación de la pieza.

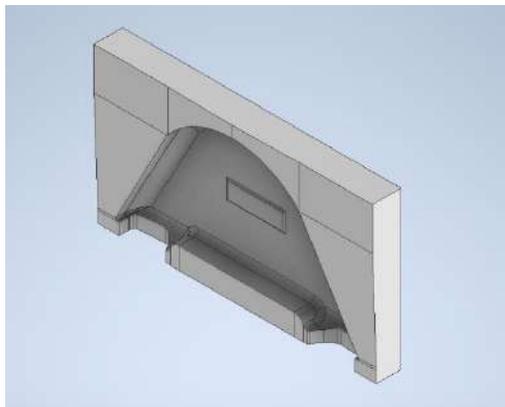


Fig. 3. 47 Parte negativa del molde

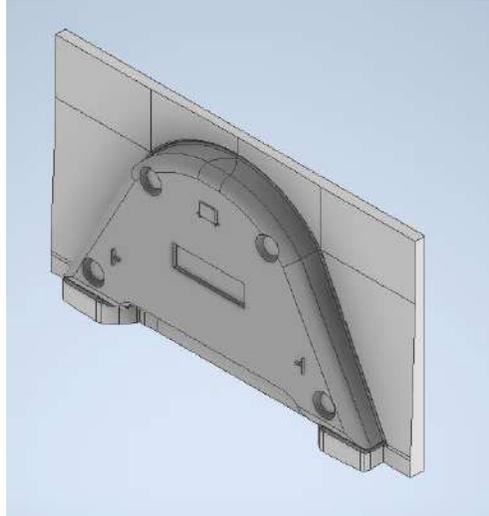


Fig. 3. 48 Contraparte del molde

Impresión en 3D de las dos partes del molde: Luego de haber diseñado las dos partes del molde, se procede transformarlo a un archivo STEP para poder imprimir ambas partes.

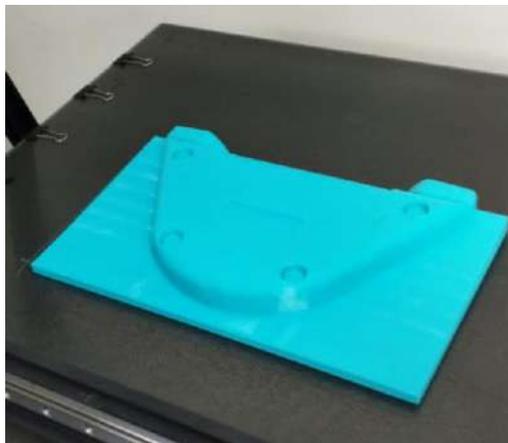


Fig. 3. 49 Contraparte del molde

Preparar la Fibra: Al igual que en el proceso de fabricación de probetas con configuración aleatoria, se procedió a seleccionar y a cortar las fibras de manera aleatoria hasta llegar a 40 g de fibra cortada que es aproximadamente lo que entra de fibra en el molde.



Fig. 3. 50 Fibra cortada

Preparación del molde: Se procedió a colocar desmoldante en toda la superficie del molde, y también en las partes donde tendrá contacto la resina como es el soporte de madera que se utilizó, se lo dejó secar y simultáneamente se procedió al siguiente paso.



Fig. 3. 51 Moldes con desmoldante

Preparación de resina: Este paso es igual que en los anteriores procesos de fabricación de las probetas, con la única diferencia en la variación del peso ya que como el molde es más grande que el de las probetas se utilizó más fibra y por ende más resina, en total se utilizó alrededor de 150 g de resina.

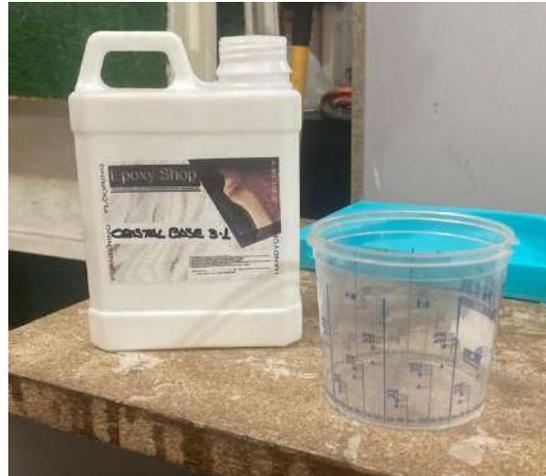


Fig. 3. 52 Preparación de la resina.

Aplicación de la resina y fibra: Posteriormente se aplicó la resina y la fibra de forma progresiva tratando de llenar todos los espacios del molde para que la fibra se adhiera a la resina y así tome la forma del molde.



Fig. 3. 53 Aplicación de resina y fibra

Inicio del ciclo de curado: Una vez que se aplicaron la resina y a la fibra se debe compactar el material y esto se hace con la contra parte del molde, donde se la coloca sobre el material compuesto y luego con la ayuda de unos soportes de madera se compacta el material con las prensas que se presionan progresivamente hasta lograr compactar todo el material, y así inicia el ciclo de curado, que tiene una duración de 24 horas.



Fig. 3. 54 Inicio del ciclo de curado

Fin del ciclo de curado: Finalizado el ciclo de curado de 24 horas, se procede a retirar los moldes de la pieza, se lo realiza con la ayuda de una espátula, donde al igual que el proceso de fabricación de probetas, se va separando las dos partes del molde, primero se retira la contraparte y segundo se extrae la pieza final.



Fig. 3. 55 Fin del ciclo de curado

Preparación de pieza: Una vez que se retira la pieza del molde, se realizaron los cortes del exceso de resina y molde y por último se realizaron un proceso de acabado superficial.



Fig. 3. 56 Pieza terminada

CAPÍTULO IV. PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

En este capítulo nos centraremos en presentar los datos y resultados obtenidos de los ensayos en la máquina de tracción, también se mostrarán los resultados geométricos obtenidos con la metodología aplicada para la fabricación de las probetas, a su vez se describirán, datos estadísticos, caracterización de las fallas, la pieza terminada y por último los resultados de la simulación.

4.1 Características geométricas de probetas.

En este primer apartado del capítulo se describen las características geométricas de las probetas distribuidas por lotes que se clasifican según la configuración a la que pertenecen.

4.1.1 Configuración unidireccional 4 capas

A continuación se describen los resultados obtenidos al realizar el proceso de fabricación de probetas.

Tabla 4. 1 Características geométricas de las probetas unidireccionales de 4 capas sin resina

Características Geométricas de grupos unidireccionales sin resina				
Grupo	Espesor	Peso	Alto	Ancho
1	2,3mm	15 g	300mm	60mm
2	2,3mm	14 g	300mm	60mm
3	2,3mm	15 g	300mm	60mm

En esta tabla se observan las características geométricas de los grupos de fibras unidireccionales que se obtienen luego de agrupar las capas de fibra unidireccionales y antes de agregarle la resina epoxi, se puede observar que todas comparten la misma geometría y que el del peso varía ligeramente el grupo 1 con respecto a los demás grupos. Cabe mencionar que todos los grupos tienen 4 capas de fibra de abacá, ya que pertenecen al primer lote.

La tabla a continuación describe las características geométricas que se obtuvieron de los grupos de las fibras unidireccionales una vez concluido el ciclo de curado y ya combinada con la resina epoxi.

Como se puede observar en este caso los grupos mantuvieron las dimensiones del área (alto y ancho) pero se modificaron los espesores y peso, esto se debe a que la resina que es la matriz del material compuesto tiene su propio peso y espesor una vez que se ha secado mientras está en contacto con la fibra de abacá, en el caso del espesor aumento ligeramente, y así entrando dentro de los rangos de las tolerancias de la normativa y en el caso del peso si aumento considerablemente, ya que la fibra por si sola mucho más liviana que la resina epoxi seca.

Tabla 4. 2 Características geométricas unidireccionales de las probetas con resina

Características Geométricas unidireccional de grupos con resina				
Grupo	Espesor	Peso	Alto	Ancho
1	2,43mm	43 g	300mm	60mm
2	2,40mm	36 g	300mm	60mm
3	2,43mm	36 g	300mm	60mm

En la tabla a continuación se describen los resultados obtenidos luego de haber cortado los 3 grupos de fibras unidireccionales, cada uno de los grupos se divide en dos probetas que nos servirán para los ensayos de tracción y se desechan las partes sobrantes de los grupos, quedando así un peso que va desde los 12 gramos hasta los 15 gramos, y los espesores que van desde los 2,23 mm hasta los 2,36 mm, nuevamente cumpliendo con los rangos de tolerancia dados por la normativa utilizada

Tabla 4. 3 Geométrica de probetas unidireccionales 4 capas.

Nomenclatura	Peso	Espesor	Alto	Ancho
PUA1	15 g	2,33mm	251mm	25mm
PUA2	13 g	2,33mm	252mm	27mm
PUA3	15 g	2,29mm	250mm	25mm
PUA4	12 g	2,23mm	250mm	26mm
PUA5	12 g	2,36mm	250mm	25mm
PUA6	13 g	2,29mm	252mm	26mm

4.1.2 Configuración aleatoria

En el caso de esta configuración se obtuvieron dos tablas debido a que las fibras aleatorias no se podían agrupar en capas como las unidireccionales pero el peso de todos los grupos que se utilizaron, como fue mencionado en la sección de metodología fue de 20 gramos.

En la tabla descrita a continuación se puede observar las geometrías y pesos de los grupos de probetas combinados con resina epoxi una vez finalizado el ciclo de curado y en comparación con las unidireccionales, estas presentan un aumento considerable en el peso y en el espesor, debido en el proceso de manufactura de estos grupos se priorizo la compactación de los materiales.

Tabla 4. 4 Características geométricas aleatorias de grupos con resina

Características Geométricas de grupos aleatorios con resina				
Grupo	Espesor	Peso	Alto	Ancho
1	2,74mm	82 g	300mm	60mm
2	2,62mm	80 g	300mm	60mm
3	2,5mm	84g	300mm	60mm

La siguiente tabla representa las características geométricas de las probetas aleatorias, en el caso de esta configuración y al igual que los grupos presentan un aumento de peso y un aumento en las dimensiones del espesor, y como se explicó anteriormente se debe a que en este proceso se priorizo la compactación del material.

Tabla 4. 5 Características geométricas de las probetas aleatorias

Nomenclatura	Peso	Espesor	Alto	Ancho
PAA1	16 g	2,74mm	250mm	25mm
PAA2	16 g	2,78mm	250mm	25mm
PAA4	17 g	2,61mm	250mm	25mm
PAA5	18 g	2,92mm	250mm	25mm
PAA6	18 g	2,59mm	250mm	25mm
PAA7	18 g	2,51mm	250mm	25mm

4.1.3 Configuración unidireccional 6 capas

En este apartado se presentan las características geométricas obtenidas en el último lote de probetas que corresponden nuevamente a una configuración unidireccional pero ahora de 6 capas y que se mejoró el proceso de fabricación, lo que se vio evidenciado estéticamente en las probetas.

A continuación se presenta una tabla donde tenemos los valores de geometría y peso de las 6 capas agrupadas previo a su combinación con la resina.

Tabla 4. 6 Características geométricas de las probetas unidireccionales de 6 capas sin resina

Características Geométricas de grupos unidireccionales sin resina				
Grupo	Espesor	Peso	Alto	Ancho
1	2,3mm	18 g	340mm	80mm
2	2,27mm	17 g	340mm	80mm
3	2,63mm	20 g	340mm	80mm

En la próxima tabla 4.7 se muestran los resultados de los grupos de configuración unidireccional de 6 capas y combinada con la resina, donde podemos ver un notable aumento en el peso de los grupos y esto se debe a que se utilizó un molde donde se sellaron por completo y se garantizó la compactación de la fibra, lo que redujo de manera considerable la aparición de grietas en la parte superficial de las probetas y burbujas de aire en la mezcla, y aunque se agregaron dos capas más de fibras unidireccionales en esta configuración, lo que en teoría debería aumentar el espesor, gracias de nuevo al molde y al proceso de fabricación utilizado, se logró mantener un espesor al obtenido en las probetas unidireccionales de 4 capas.

Tabla 4. 7 Características geométricas de las probetas unidireccionales de 6 capas con resina

Características Geométricas de grupos unidireccionales con resina				
Grupo	Espesor	Peso	Alto	Ancho
1	2,4mm	69 g	340mm	80mm
2	2,4mm	65 g	340mm	78mm
3	2,35mm	69 g	341mm	80mm

Luego del corte de los grupos para la obtención de las probetas se obtuvieron los siguientes datos geométricos y de peso de la probeta, donde al igual que la comparativa de ambas configuraciones en los grupos se puede evidenciar un ligero aumento en el peso de la probeta, los espesores se mantienen relativamente iguales pero el acabado de las probetas mejoro notablemente debido nuevamente a la utilización del molde y el proceso de fabricación.

Tabla 4. 8 Características geométricas de las probetas unidireccionales 6 capas

Nomenclatura	Peso	Espesor	Alto	Ancho
PUA7	15 g	2,33mm	253mm	25mm
PUA8	15 g	2,3mm	252mm	25mm
PUA9	15 g	2,3mm	250mm	25mm
PUA10	14 g	2,45mm	250mm	25mm
PUA11	14 g	2,44mm	250mm	25mm
PUA12	15 g	2,44mm	250mm	25mm

4.2 Ensayos de tracción

A continuación se describirán los resultados que tienen que ver con la parte de ensayos de tracción, tanto las propiedades mecánicas como también una caracterización de la falla de cada probeta.

4.2.1 Propiedades mecánicas

En esta parte del capítulo se presentarán los resultados obtenidos en los ensayos de la máquina de tracción tanto de esfuerzo máximo, fuerza máxima, módulo de Young, deformación y desplazamiento máximos de cada probeta fabricada de acuerdo con su configuración, en total son 3 tablas de 6 probetas cada una con un promedio de todos los valores por configuración al final de cada tabla.

4.2.1.1 Configuración unidireccional 4 capas:

En la tabla 4.9 se observan los máximos esfuerzos mecánicos obtenidos en los ensayos de tracción de la configuración unidireccional de 4 capas donde se especifican los valores en el esfuerzo máximo entre 47 y 88 MPa siendo un valor a considerar tomando en cuenta la vejez de la fibra y el error en el cálculo de las proporciones de la resina que paso de ser una resina 3:1 a una 2:1, siendo la probeta con mayor resistencia la “PUA3”, teniendo un promedio de 7 2.52 Mpa, por otro lado las fuerzas máximas van desde los 3324 hasta 4907 N, dando un promedio de 4182.69N siendo en este caso la “PUA1” la de mayor fuerza máxima de todo el

lote.

Tabla 4. 9 Resultados mecánicos de las probetas unidireccionales 4 capas

Designación de la probeta. Lote 1	Esfuerzo Máximo (MPa)	Fuerza Máxima (N)	Modulo de Young (MPa)	Deformacion Máxima (%)	Desplazamiento maximo (mm)
PUA1	84.250	4907.560	3705.670	2.125	5.335
PUA2	59.780	3760.770	2349.390	2.119	5.341
PUA3	88.932	4684.070	4778.850	2.005	5.013
PUA4	47.490	3324.270	2100.780	1.993	4.982
PUA5	79.182	4170.510	3290.630	2.105	5.262
PUA6	75.538	4249.000	3589.330	1.958	4.896
Promedio	72.529	4182.697	3302.442	2.051	5.138
D.E	15.820	582.000	977.000	0.074	0.192

4.2.1.2 Configuración aleatoria

Por otro lado la configuración aleatoria y sus propiedades mecánicas descritas a continuación nos dan resultados menores en comparación a la resistencia del primer lote, cabe recalcar que el tiempo de la fibra es el mismo en todas las configuraciones.

Se presentan los datos obtenidos de la máquina de tracción en base a los ensayos descritos en la metodología, aquí se puede apreciar los valores de esfuerzo máximo que van desde 2,90 MPa en la probeta “PAA2” y en su valor máximo de 19,45 MPa en la probetas PAA7 teniendo un promedio de esfuerzo máximo de 12,29 MPa, siendo un valor bajo debido a la configuración de las fibras, así en las fuerzas máximas siguen este mismo comportamiento donde la probeta “PAA2” es la de menor valor, pero ahora la probeta “PAA6” es la probeta con mayor valor de fuerza máxima, teniendo un promedio de fuerza máxima de 834,78 N. Como se puede observar las probetas “PAA1” y “PAA2” son las de menores valores de resistencia y esto se debe a que la mezcla de la resina en este grupo en particular, donde salieron estas probetas tuvo un cambio en la proporción de los componentes de la resina (se

trabajó con un límite inferior de la resina) lo que redujo significativamente las propiedades mecánicas del material. Lo que no sucedió con el resto de las probetas donde se usó una proporción mayor.

4.2.1.3 Obtención de su módulo de elasticidad mediante el método de la secante PAA

Al ser traccionadas, las probetas PAA dan una gráfica que no es lineal en la zona elástica, por lo tanto, no se puede estimar con la tangente su módulo de Young. Para esto se utiliza el método de la secante. Este es utilizado mayormente en polímeros, donde se obtiene el módulo establecido considerando el esfuerzo máximo y su magnitud con un esfuerzo a la mitad (E50). Para esto, se debe determinar el valor máximo de Esfuerzo junto con su deformación, y se realiza el mismo esquema para el E50.

De los resultados obtenidos se puede observar que existe una dispersión considerable de los esfuerzos que se repite para las magnitudes del módulo de elasticidad E. Esto se puede visualizar en las figuras 67 y 68.

La unión de los puntos color naranja representa E50 y la azul E. Como resultados se obtuvo que las primeras probetas PAA1-2-4 tienen módulos relativamente relacionados, pero la dispersión mayor se da en las siguientes probetas. Esto se debe a la aleatoriedad de la fibra en el molde, ya que no se puede establecer un relleno óptimo, debido a que las fibras son de aproximadamente un cm de largo y no llevan un orden específico.

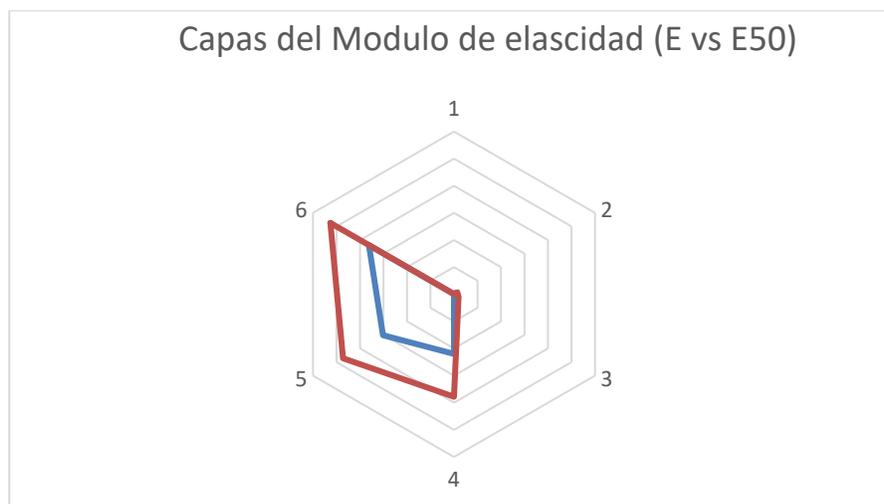


Fig. 4.1 Método de la secante para obtención de E y E50

En la figura.4.2 se observa más a detalle los módulos obtenidos. En el eje x aparecen la numeración de las probetas y en el eje Y del Min al Max módulos de elasticidad de la secante. Al ser más a detalle existe ya un panorama más claro de la dispersión de módulos al principio. La fibra de abacá al ser vegetal tiende a comportarse con este tipo de dispersiones ya que no tiene un comportamiento establecido como otros materiales, sino que hay variaciones tanto ambientales y dependerá también del tratamiento que tenga la misma. Una particularidad es que las PAA1 y PAA2 fueron realizadas con menor cantidad de resina por lo tanto esto influye en su comportamiento.

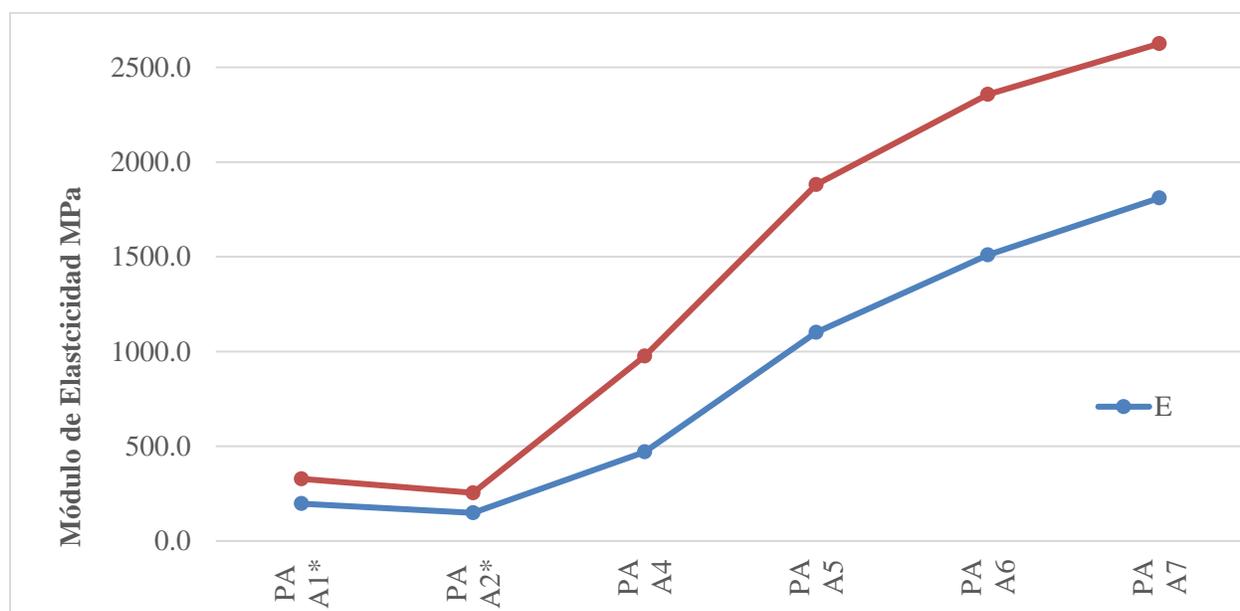


Fig. 4. 2 Dispersión exacta de módulos.

Finalmente se establece la Tabla. 4.11. con los valores finales ya con los módulos de elasticidad de PAA:

Tabla 4. 10 Módulo de Young por medio de la Secante

Config.	smax	e	E	smax/2	e	E50	ϵ
PAA1*	3.49	0.01770	197.2	1.75	0.00532	328.0	5.33E-01
PAA2*	2.90	0.01950	148.5	1.45	0.0057	254.2	0.0057
PAA4	12.09	0.02571	470.1	6.04	0.00619	975.7	0.00612
PAA5	16.52	0.01500	1101.2	8.26	0.00439	1881.3	4.39E-03
PAA6	19.33	0.01280	1509.8	9.66	0.00410	2356.8	4.11E-03
PAA7	19.37	0.01070	1810.5	9.69	0.00369	2625.0	3.65E-03

Tabla 4. 11 Resultados mecánicos Lote 2.

Designación de la probeta. Lote 2	Esfuerzo Máximo (MPa)	Fuerza Máxima (N)	Módulo de Young E50 (Mpa)	Deformacion Máxima (%)	Desplazamiento máximo (mm)
PAA1*	3.494	239.372	328.0075	1.818	4.544
PAA2*	2.895	201.225	254.1859	1.984	4.960
PAA4	12.089	788.784	975.6822	2.337	5.842
PAA5	16.518	1205.830	1881.333	1.505	3.763
PAA6	19.326	1352.790	2356.768	1.258	3.144
PAA7	19.454	1220.700	2624.965	1.069	2.672
Promedio	12.296	834.784	1403.490	1.662	4.154
D.E	7.540	512.000	1029.000	0.474	1.185

4.2.1.4 Configuración unidireccional 6 capas:

En la última tabla de la sección se presentan los resultados obtenidos en los ensayos realizados en la máquina de tracción donde se puede evidenciar una notable mejoría en los valores mecánicos de la fibra en comparación a las otras dos configuraciones, siendo esta la mejor, tomando en cuenta que se repite la configuración unidireccional, pero se mejoraron 3 aspectos principalmente, el primero es que se le aumentaron 2 capas adicionales, lo que en teoría se creía aumentaría su resistencia a la tracción, el segundo fue la proporción de la resina, donde se realizó la mezcla exacta de 3:1 lo que le apporto rigidez al material y por último el proceso de fabricación y molde, donde se utilizó un proceso parecido al que se usó en la configuración unidireccional y por ende se garantizó la compactación del material y mejoro el área superficial. Cabe recalcar que estas fueron hechas en un molde realizado con material PETG.

Tabla 4. 12 Resultado de pruebas mecánicas (Probetas PUA 6 capas)

Designación de la probeta. Lote 3	Esfuerzo Máximo (MPa)	Fuerza Máxima (N)	Modulo de Young (MPa)	Deformación Máxima (%)	Desplazamiento máximo (mm)
PUA7*	103.800	6098.270	4490.390	1.917	4.793
PUA8*	113.345	7934.140	3760.320	2.158	5.395
PUA9	131.940	7586.530	7491.710	1.699	4.248
PUA10	140.972	8634.520	7667.490	1.802	4.504
PUA11	149.287	9106.490	7633.790	2.056	5.140
PUA12	119.008	7259.510	4827.400	1.981	4.953
Promedio	126.392	7769.910	5978.517	1.936	4.839
D.E	17.340	1063.000	1808.000	0.167	0.419

Los valores de esfuerzo máximo van desde los 103 a los 149 MPa dando como promedio de 126.39Mpa y la probeta que obtuvo el valor de esfuerzo máximo fue la “PUA11”, por otro lado, las fuerzas máximas alcanzadas por la máquina para romper las probetas rondaron los 6098 hasta los 9106 N dando como promedio un valor de 7769.91 N y una vez más la probeta “PUA11” fue la que obtuvo el mayor valor de fuerza máxima.

Finalmente, se muestra un gráfico comparativo entre los esfuerzos máximos de los lotes uno, dos y tres donde se observa la dispersión de estos.

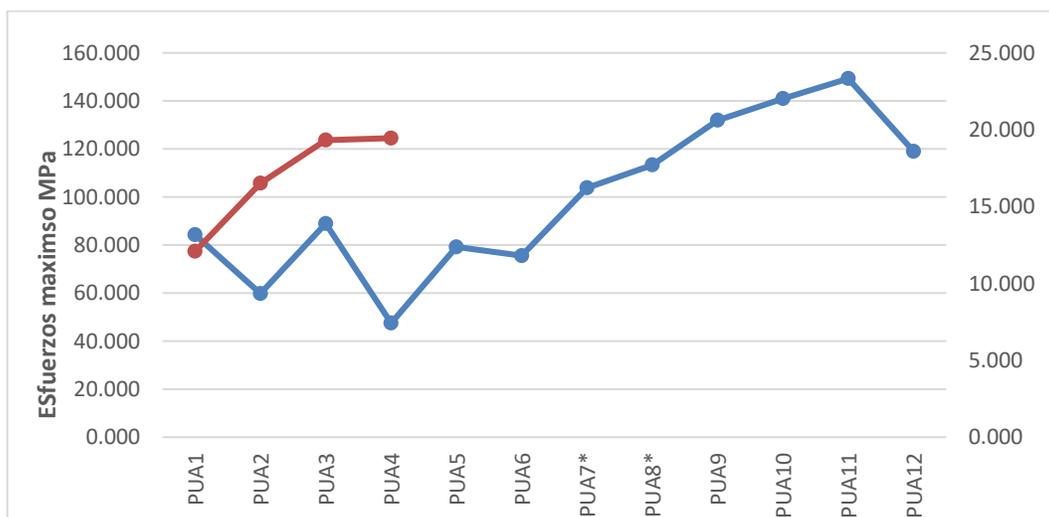


Fig. 4. 3 Esfuerzos máximos

4.2.2 Caracterización de fallas en probetas

Se darán a conocer los tipos de falla según normativa que presentaron las probetas, designando una nomenclatura de 3 letras en función de la falla característica ocasionada en la probeta y por último de esta parte del capítulo, se expondrá una tabla con todas las probetas y sus respectivas nomenclaturas de la caracterización de la falla.

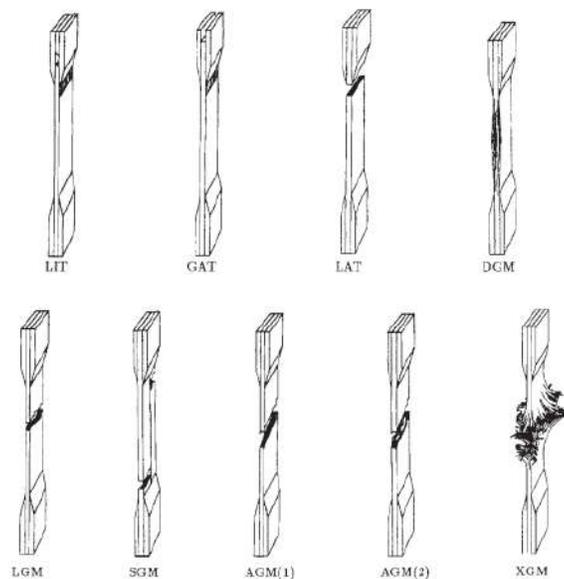


Fig. 4. 4. Nomenclatura de las fallas según normativa

4.2.2.1 Configuración unidireccional de 4 capas

PUA1:

Tiene como designación de la “GWB” debido a que tiene una falla que arranca muy cerca de la mordaza inferior y se mantiene en ese lugar.



Fig. 4. 5 PUA1 después de ensayo de tracción.

PUA2:

Tiene como designación “GWT” y esto como en el caso anterior también empezó desde la mordaza y la falla se quedó en ese lugar, su única diferencia es que en esta probeta la falla se produjo en la parte superior



Fig. 4.6 PUA2 después de ensayo de tracción.

PUA3:

Tiene como designación “SGM” debido a que su fallo se hizo en la zona de calibración, en la parte media y a lo largo de la probeta.



Fig. 4.7 PUA3 después de ensayo de tracción.

PUA4:

Tiene como designación “GWB” y repite el patrón de la probeta PUA1 ya que ambas fallas se ocasionaron en esa zona.



Fig. 4.8 PUA4 Después de ensayo de tracción.

PUA5:

Tiene como designación “GWT” y también repite patrón, pero con la PUA2 ya que proporcionaron fallas en la parte superior e iniciando por la mordaza.



Fig. 4.9 PUA5 después de ensayo de tracción.

PUA6

Tiene como designación “GWB” ya que comparte la falla con las probetas PUA1 y PUA4.



Fig. 4. 10 PUA6 después de ensayo de tracción

Como se puede apreciar en la tabla 4.14 a continuación las probetas de este lote presentan en su mayoría una falla característica que es cerca de la mordaza, ya sea en la parte superior como en la parte inferior, y tan solo la probeta “PUA3” se originó la falla en el centro y casi a lo largo de la probeta.

Tabla 4. 13 Nomenclatura de falla en probetas del lote 1 según normativa

Denominación	Lote	Tipo de falla
PUA1	1	GWB
PUA2	1	GWT
PUA3	1	SGM
PUA4	1	GWB
PUA5	1	GWT
PUA6	1	GWB



Fig. 4. 11 Lote 1 después de ensayos de tracción

4.2.2.2 Configuración aleatoria

PAA1:

La nomenclatura del tipo de falla de esta probeta es “XGM” ya que es de tipo explosivo, y se generó en la zona de calibración de la probeta.

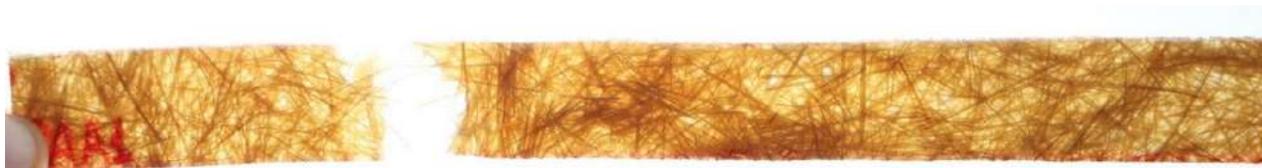


Fig. 4. 42 PAA1 después de ensayo de tracción.

PAA2:

En este caso su nomenclatura de falla es “XWB” ya que esta falla es de tipo explosiva pero ahora su ubicación es desde la mordaza en la parte inferior.

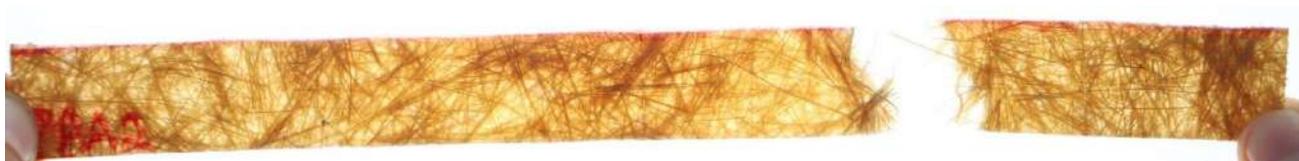


Fig. 4. 5 PAA2 después de ensayo de tracción.

PAA4:

Ahora en esta probeta tiene como nomenclatura “LGM” ya que tiene una falla lateral y en la zona media de calibración.

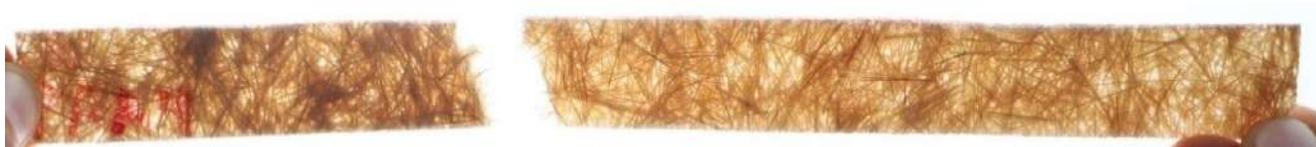


Fig. 4. 6 PAA4 después de ensayo de tracción.

PAA5:

La nomenclatura es “XWB” ya que como se puede notar es una falla de tipo explosiva localizada en la parte inferior de la probeta, cerca de la mordaza.



Fig. 4. 15 PAA5 después de ensayo de tracción.

PAA6:

La nomenclatura en esta probeta es “XGM” ya que también se presenta el caso de explosión, pero, ahora se produjo en la zona de calibración.

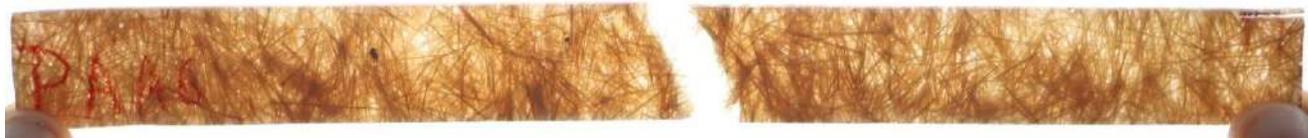


Fig. 4. 16 PAA6 después de ensayo de tracción.

PAA7:

En el caso de esta probeta su nomenclatura es “AGM” debido a que su fallo es angular y se generó en la zona de calibración.

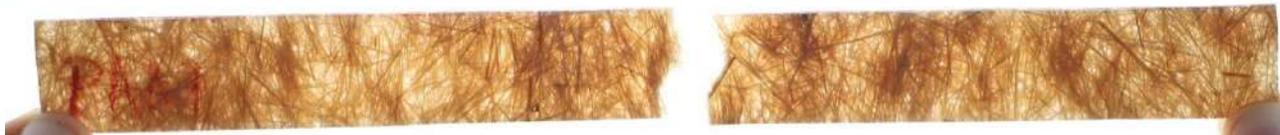


Fig. 4. 7 PAA7 después de ensayo de tracción.

Como se puede observar en este segundo lote predomina la falla de tipo explosiva en la zona de calibración de la probeta, y dos excepciones de prueba que fueron lateral y angular.

Tabla 4. 14 Nomenclatura de falla en probetas del lote 2 según normativa

Denominación	Lote	Tipo de falla
PAA1	2	XGM
PAA2	2	XWB
PAA4	2	LGM
PAA5	2	XWB
PAA6	2	XGM
PAA7	2	AGM



Fig. 4. 18 lote 2 después de ensayos de tracción

4.2.2.3 Configuración unidireccional de 6 capas

PUA7:

En la figura a continuación se muestra la probeta “PUA7” donde se muestra su falla que tiene como nomenclatura “AWB” ya que tiene una falla de tipo angular cerca de la zona de la probeta de abajo.

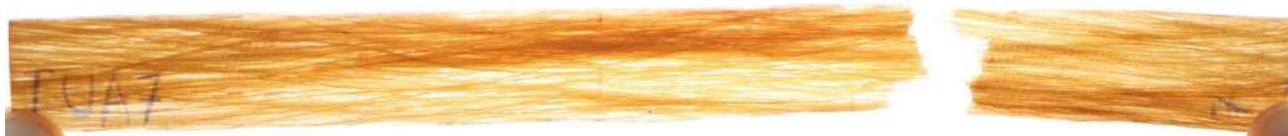


Fig. 4. 19 PUA7 después de ensayo de tracción.

PUA8:

La siguiente figura describe la nomenclatura de la falla según la normativa que es “LWB” y esto se debe a que tiene una falla lateral en la parte inferior, cerca de la mordaza.



Fig. 4. 8 PUA8 después de ensayo de tracción.

PUA9:

Esta probeta presenta una falla tipo “AWT” y esto se debe a que tiene una falla angular que empieza cerca de la mordaza de la parte de arriba.



Fig. 4. 9 PUA9 después de ensayo de tracción.

PUA10:

En la figura.87 a continuación podemos apreciar una falla tipo “LWT” debido a que esta probeta presenta una falla lateral que está cerca de la mordaza superior.



Fig. 4. 10 PUA10 después de ensayo de tracción.

PUA11:

La imagen presentada a continuación muestra la probeta con un tipo de falla “AWB” debido a que presenta una falla angular que empieza cerca de la mordaza de la parte inferior.

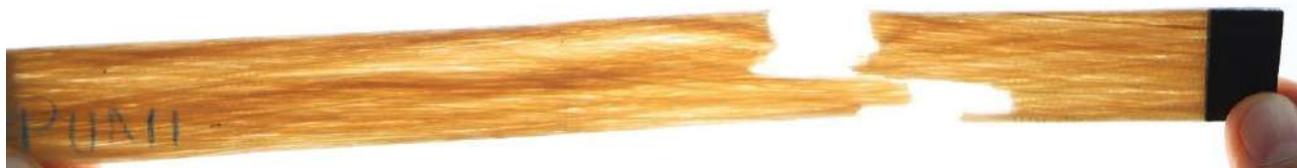


Fig. 4. 11 PUA11 después de ensayo de tracción.

PUA12:

En esta probeta se presenta un tipo de falla “SGM” debido a que presenta la falla a lo largo de toda la zona media de calibración de la probeta.



Fig. 4. 12 PUA12 después de ensayo de tracción.

En este último lote de probetas que son unidireccionales de 6 capas, se presenta una constante donde las probetas rompen cerca de la mordaza ya sea inferior o superior, pero solo la “PUA12” tuvo una falla característica distinta al resto de este lote donde presenta un tipo de falla a lo largo de la probeta

Tabla 4. 15 Nomenclatura de falla en probetas del lote 3 según normativa

Denominación	Lote	Tipo de falla
PUA7	3	AWB
PUA8	3	LWB
PUA9	3	AWT
PUA10	3	LWT
PUA11	3	AWB
PUA12	3	SGW



Fig. 4. 13 Lote 3 después de ensayos de tracción

4.3 Comportamiento mediante con análisis estadístico

En este apartado se compilan los datos estadísticos de las pruebas, donde se analizarán los datos y gráficas, para poder entender lo que se obtuvo de los ensayos de tracción.

4.3.1 Esfuerzos máximos

En la tabla a continuación se presenta el resumen de los valores estadísticos de los esfuerzos

máximos alcanzados por los distintos lotes de probetas tanto unidireccionales como aleatorias, y como podemos observar tenemos promedios, máximos y mínimos muy dispersos si se analizaría globalmente el material, es decir que todas las configuraciones entren en una sola compilación estadística, pero debido a que dependiendo de la configuración yo obtengo ciertas características, se separó por lotes los valores de esfuerzo máximo y gracias a esto, se pudo obtener valores de desviación estándar bajos en las probetas unidireccionales de 6 capas donde se mejoró el proceso de fabricación, lo que hizo más homogéneas las pruebas. Así también se puede apreciar que el coeficiente de variación es más bajo en el 3er Lote y es por la misma razón ya mencionada, los datos de la unidireccional de 6 capas son más representativos ya que su dispersión es la menor de todas.

Tabla 4. 16 Resumen estadístico de los datos obtenidos en los ensayos de tracción.

Configuración de probetas	Promedio Esfuerzo Máximo (Mpa)	Desviación Estandar	Coefficiente de Variación (%)	Mínimo	Máximo
PUA (4 Capas)	72.52	15.82	21.79	47.5	88.93
PAA (Aleatorio)	12.29	17.34	33.89	2.9	19.4539
PUA (6 Capas)	126.39	7.54	13.72	103.8	149.28

4.3.2 Graficas de contorno y de superficie

Se describirán las gráficas de contorno y de superficie, donde se analizarán los valores de esfuerzo y deformación y de fuerza vs desplazamiento, así poder determinar las características de las diferentes configuraciones.

4.3.2.1 Esfuerzo vs Deformación:

Grafica de contorno:

La grafica de contorno a continuación muestra a los lotes uno (unidireccional cuatro capas), dos (aleatorias) y tres (unidireccional seis capas) por colores que van desde el verde claro que representa a los rangos del lote uno hasta el dos, subiendo la tonalidad hasta llegar al verde oscuro que va desde el lote dos al tres, y donde gráficamente se puede observar los rangos de deformación que sufren las diferentes configuraciones y cuanta resistencia tienen, y se puede apreciar que el lote tres es el que mayor resistencia, pero su porcentaje de deformación es muy bajo, lo que se

puede deducir que esta configuración se comporta como un material más rígido, que tiene alta resistencia a la tracción pero que su elasticidad es muy baja, por otro lado, la que le sigue en baja medida a ese comportamiento es el lote 1 que presenta valores menores de esfuerzo máximo y ahora su porcentaje de deformación es un poco más alto, esto se debe a la mezcla de la resina epoxi que se combinó en una baja proporción, lo que hizo que la matriz polimérica pierda rigidez y que su elasticidad se aumente, y por último el lote 2 es el que mayor valor de deformación tiene y menor valor de resistencia, y esto se debe a la configuración, ya que al estar las fibras en direcciones aleatorias, tiene menos resistencia a la dirección de la fuerza que aplica la máquina de tracción y en algunas de las probetas de este lote tienen al igual que el primer lote una baja proporción de la resina epoxi, lo que también ocasiona su comportamiento que se apega más a un elastómero, donde no se llega a tener valores de esfuerzo muy altos.

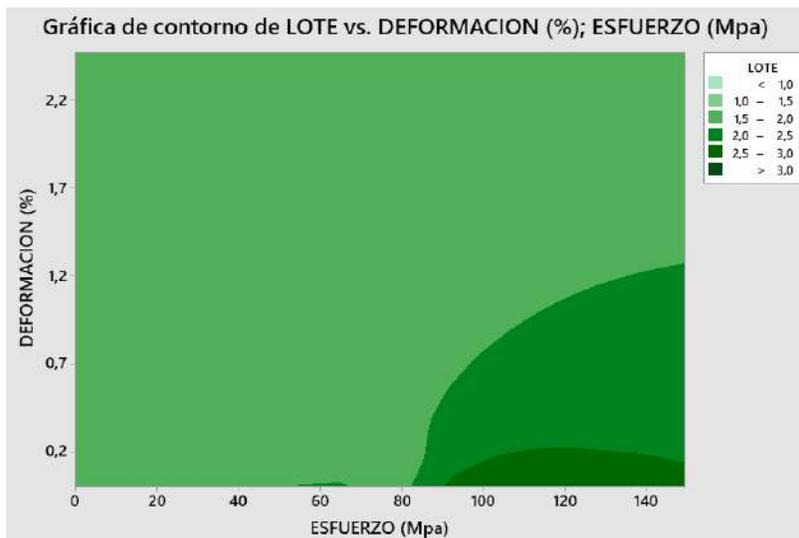


Fig. 4. 14 Grafica de contorno de Esfuerzo vs Deformación

Gráfica de superficie:

La grafica descrita a continuación tiene 3 ejes donde se pueden observar en el eje “X” la deformación porcentual de los lotes en los ensayos, en el eje “Y” las diferentes configuraciones representadas por lotes y en el eje “Z” se ubica el esfuerzo que logró cada una de las probetas

ensayadas en las diferentes configuraciones.

Se puede observar la gráfica empieza con el lote 1 (unidireccional 4 capas) donde tiene valores desde los 47.5 Mpa de esfuerzo hasta los 88,93 Mpa, siendo valores de esfuerzo razonables tomando en cuenta el proceso de fabricación de este lote y la baja proporción de la resina, luego en la zona central de la gráfica donde se ubica el segundo lote se puede observar un valle bastante pronunciado, y esto se debe a que los valores de esfuerzo en esta configuración son muy bajos comparados con los otros dos lotes, y los valores de esfuerzo máximo aquí van desde los 2.90 Mpa hasta los 19.45 Mpa que son valores relativamente pequeños en comparación a los otros dos lotes. Por último en el lote 3 vemos un crecimiento abrupto desde los valores del lote 2 hasta el 3 y esto debido a que en los ensayos mecánicos, este lote fue el que mejor comportamiento tuvo, y los valores de esfuerzo máximo son bastante altos y van desde los 103.8 Mpa hasta los 149.28 Mpa.

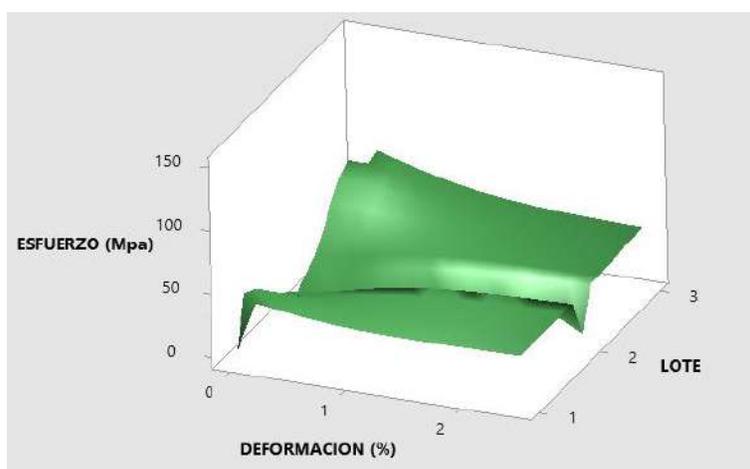


Fig. 4. 27 Gráfica de superficie de Esfuerzo vs Deformación

Gráfica de cajas de deformación:

En la gráfica mostrada a continuación, se puede observar los 3 lotes (Lote 1 unidireccional 4 capas, Lote 2 aleatoria, Lote 3 unidireccional 6 capas) representados por cajas, donde se puede observar que el lote 2 presenta valores más altos de deformación en la probeta antes de generarse la rotura, y esto se debe a la configuración de la fibra, ya que las fibras al estar en todas las direcciones no puede aplicar resistencia a la dirección de la fuerza, lo que se transfiere directamente a la resina, y en el caso de la resina usada en este trabajo, su deformación es más

alta, lo que no pasa con los lotes 1 y 2 ya que al ser unidireccionales en la configuración de la fibra, la fuerza aplicada se transmite al refuerzo directamente, es decir a las fibras que se comportan como un material más rígido, donde su deformación es menor antes del momento de la falla, y en una comparativa de las dos unidireccionales, el lote 3 presenta aún menos deformación y esto se debe a que en el lote 1 se hizo una mala combinación de la resina lo que hizo que el material perdiera rigidez.

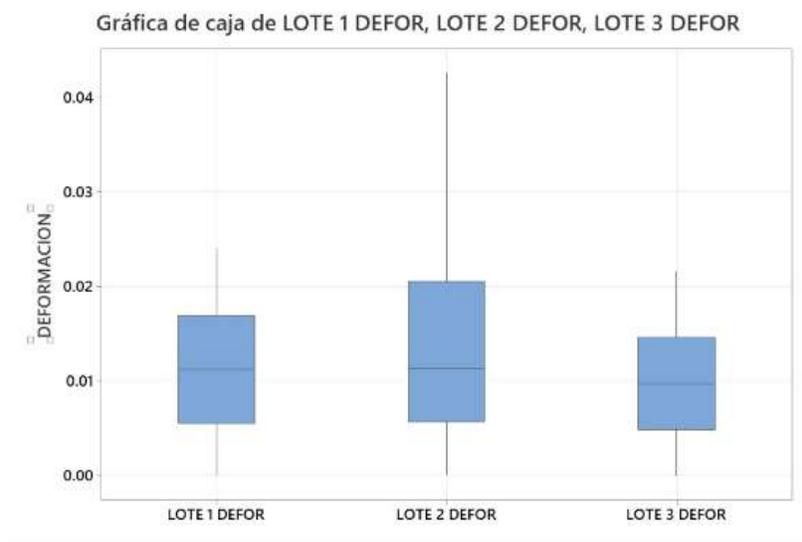


Fig. 4. 15 Gráfica de caja de deformación en las probetas

Gráfica de cajas de esfuerzo:

En la gráfica a continuación se exponen los valores de esfuerzo que se obtuvieron en las pruebas de tracción de los lotes de configuraciones de las probetas, donde se puede observar que los valores más pequeños de esfuerzo se alcanzaron con la configuración aleatoria, perteneciente al Lote 2, y su explicación es la misma del porque esta configuración tiene altos valores de deformación en comparación a los otros dos lotes de probetas, Por otro lado, el lote 1 presenta valores de resistencia mucho más altos y esto se debe a la configuración de la fibra que está orientada en dirección de la fuerza aplicada, por último el lote 3 tiene valores aún más grandes de esfuerzo y esto tiene que ver con dos factores específicos, el primero es que se aumentó en

número de capas de fibras unidireccionales en este lote y el segundo es que se utilizó la mezcla correcta entre los componentes A y B de la resina, esto le aporó rigidez al material compuesto.

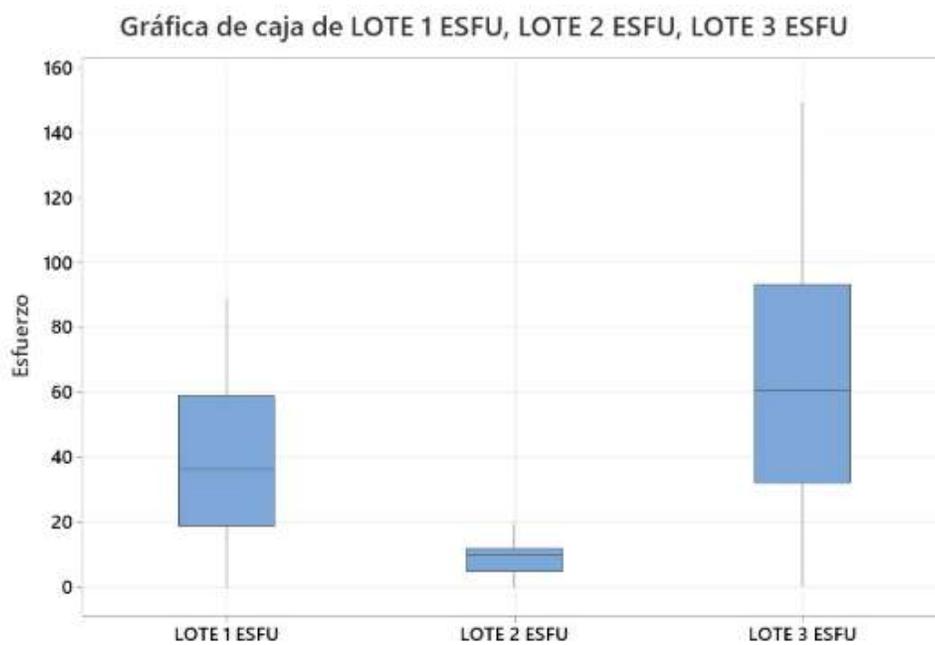


Fig. 4. 16 Gráfica de caja de esfuerzo en las probetas

4.3.2.2. Fuerza vs Desplazamiento

Grafica de superficie:

La grafica describe a la fuerza y el desplazamiento para los distintos lotes donde así mismo como la gráfica anterior se utilizó para el eje “X” los desplazamientos, para el eje “Y” los lotes y por último en el eje “Z” se representa la fuerza, es una gráfica parecida a la anterior de esfuerzo y deformación, ya que así mismo los valores de fuerza del grupo 1 son relativamente altos para el caso del lote 2 donde de nuevo la gráfica presenta un valle, ya que los valores de fuerza en el lote dos son bajos y por último en el lote 3 se encuentran los valores de fuerza más grandes.

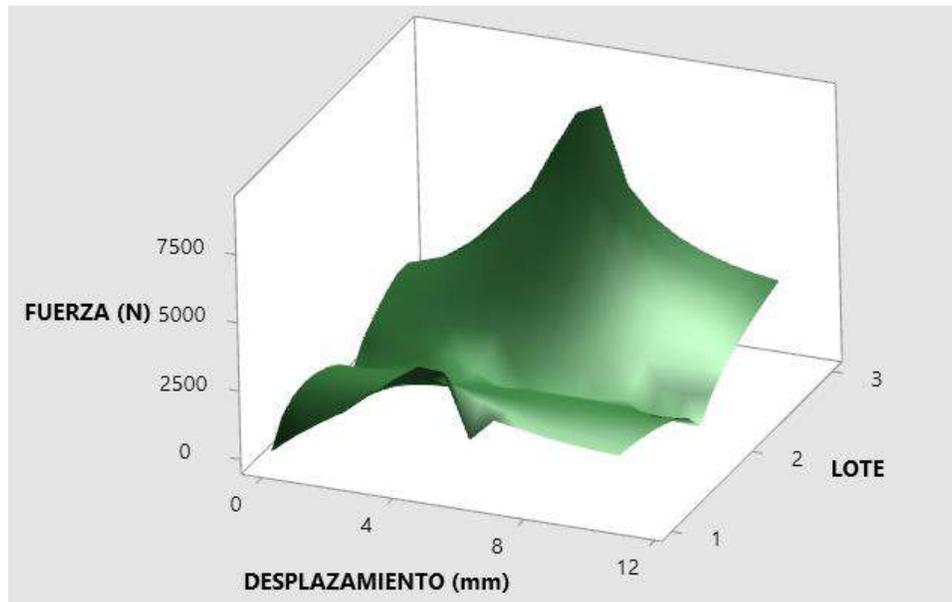


Fig. 4. 30 Grafica de superficie de Fuerza Vs desplazamiento

Grafica de cajas de fuerza:

En la siguiente grafica se puede apreciar los valores de fuerza obtenidos de los ensayos en la máquina de tracción para los distintos lotes, en ella se puede observar que siguen el mismo patrón que la gráfica de cajas de esfuerzo ya que los valores más pequeños de fuerza se lograron con el lote dos, y que el lote 1 lo superaba al ser fibras unidireccionales ya, y los valores más altos de fuerza se los lograba con la configuración unidireccional 6 capas que pertenece al lote 3.

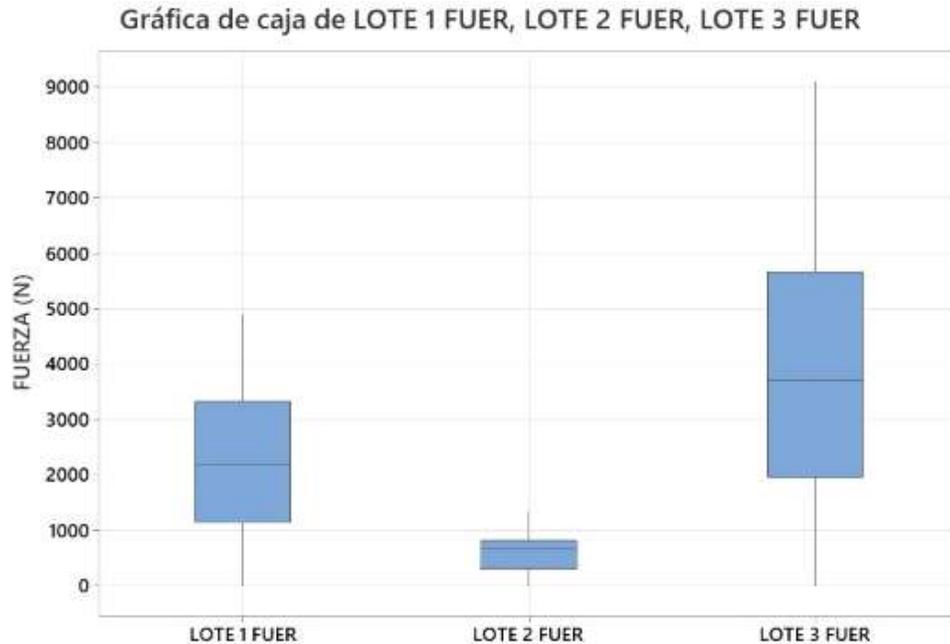


Fig. 4. 17 Grafica de caja de fuerza en las probetas

4.4 Simulación en Ansys

4.4.1. Simulación de probeta con Material compuesto

Después de hacer los pasos previos mostrados en el capítulo anterior, se agrega lo que se debe simular. En este caso se agregó el esfuerzo de Von mises y los desplazamientos totales. Aquí se obtuvo un desplazamiento total de 0.569999 mm

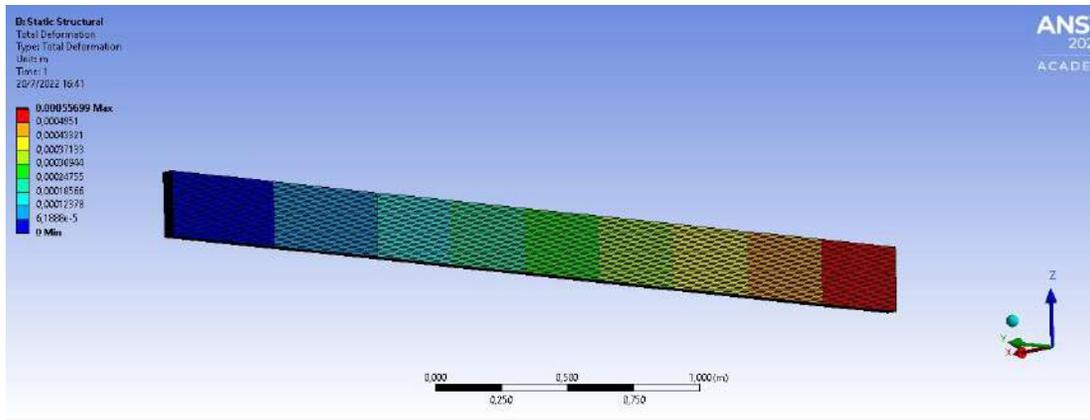


Fig. 4. 18 Deformación Total

En el esfuerzo de Von Mises con la fuerza aplicada de -6860 N obtuvimos un valor de $6.1186 \times 10^5\text{ Pa}$. Los valores están aproximados dentro de los esfuerzos de tracción realizados anteriormente. Dentro de la figura de deformación también muestra el punto exacto donde se observa el tipo de falla. En el caso particular de esta probeta dio como Resultado SGM. Esto se puede corroborar en la Fig.4.32

S= a lo largo. La falla fue justo en la parte superior de la probeta

G= en la zona de calibración. La falla se dio justo en la zona de calibración por debajo de la mordaza

M= medio. Lugar donde se localizó la falla

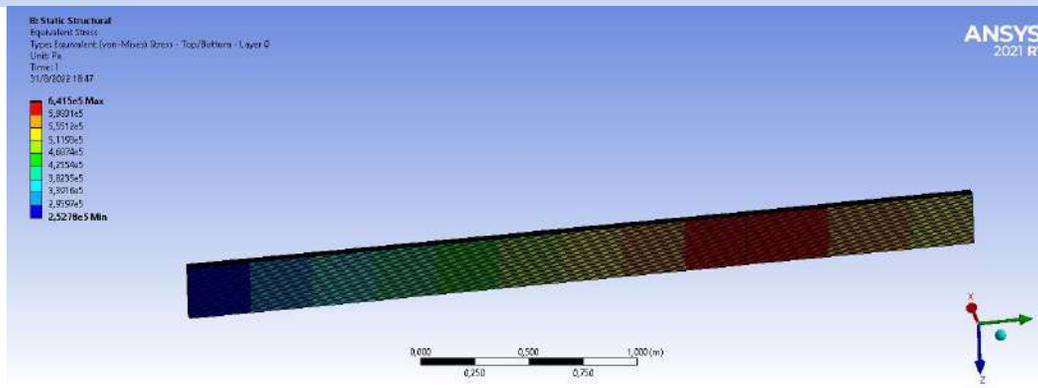


Fig. 4. 19 Esfuerzo de Von Mises.

4.4.2 Simulación de pieza

Para la comparación de esfuerzo y deformaciones se tomará en el análisis un elemento de ABS y otro con la fibra de abacá con 0.5 de espesor.

4.4.2.1 Simulación en ABS

Para la siguiente simulación se puso a prueba el material original de la pieza realizada, el cual es ABS. Para proceder con la simulación se introdujo un soporte fijo en los bordes traseros y una carga justo en el medio simulando el uso de la pieza.

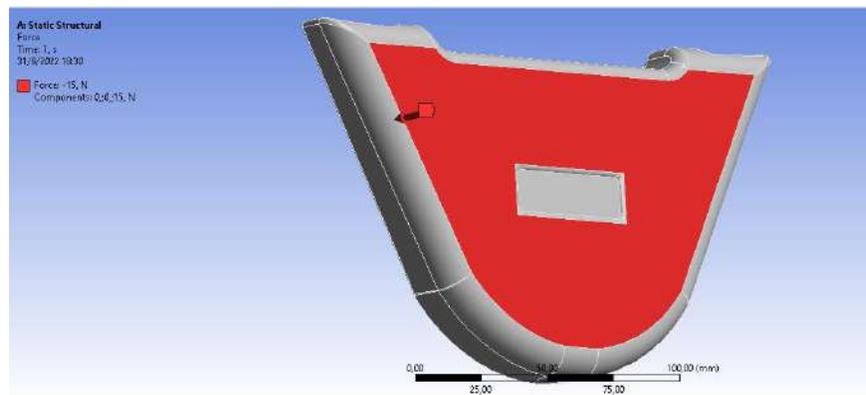


Fig. 4. 20 Introducción de fuerza

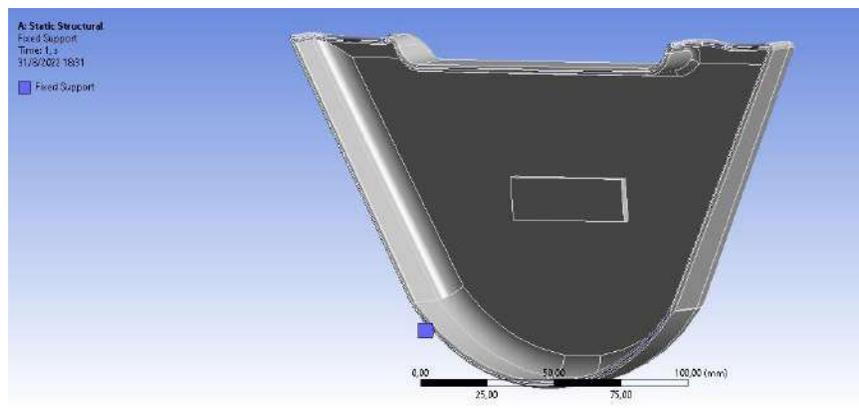


Fig. 4. 21 Soporte Fijo

En la Tabla.23. Se muestra sus características mecánicas.

Tabla 4. 17 Caracterización del ABS.

<i>Isotropic Elasticity</i>	
<i>Derive from</i>	Young's Modulus and Poisson's Ratio
<i>Young's Modulus</i>	1628,0 MPa
<i>Poisson's Ratio</i>	0,40890
<i>Bulk Modulus</i>	2978,4 MPa
<i>Shear Modulus</i>	577,76 MPa
<i>Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion</i>	0,00018400 1/°C
<i>Tensile Ultimate Strength</i>	36,260 MPa
<i>Tensile Yield Strength</i>	27,440 MPa

Este siendo un polímero de buena resistencia, el resultado que se obtuvo fue de esfuerzo máximo de 738.08 MPa. Este valor se encuentra distribuido en las zonas donde se ejerce la fuerza, ya sea justo en el medio o en los extremos donde la pieza se deforma al ser impactada con la fuerza de -15 N

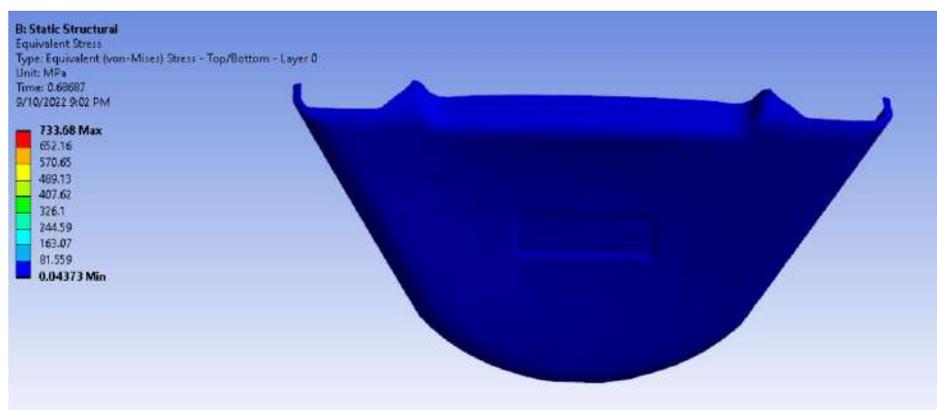


Fig. 4. 22 Esfuerzo de Von Mises ABS.

Próximamente se obtiene la deformación total del elemento. Se observa que la mayor deformación con la carga aplicada se genera justo en el medio con un valor de 10.3729 mm. En color celeste se

pude percibir una deformación menor, pero si se analiza a futuro este material tiende a deformarse constantemente.

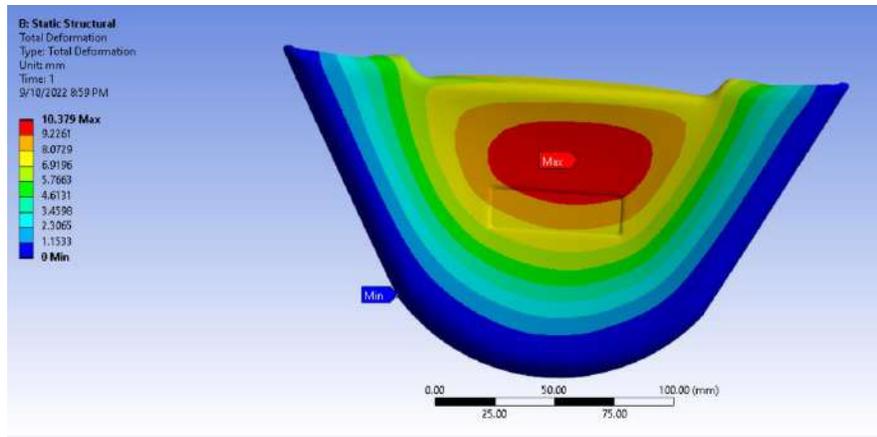


Fig. 4. 23 Deformación máxima del ABS sometido a -15 N.

4.4.2.2 Simulación con material compuesto (Pieza)

Como primera instancia de la simulación de la pieza con el material compuesto, se colocó un soporte fijo en los contornos de esta para que esta pueda permitir colocar una fuerza que produzca la deformación deseada.

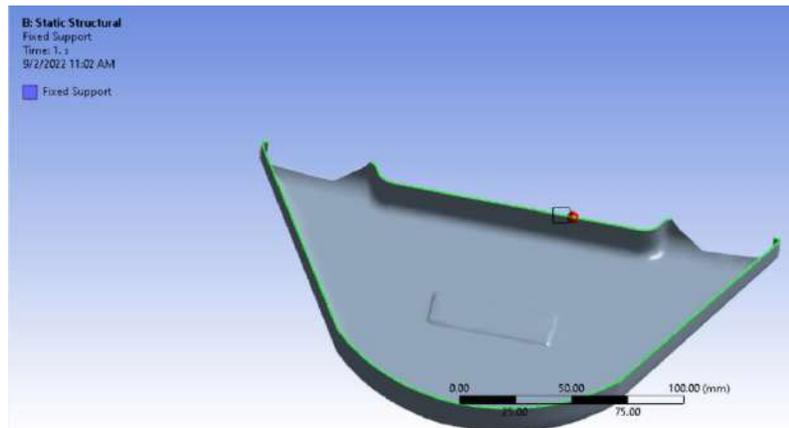


Fig. 4. 24 Soportes fijos colocados en el contorno

Después, se colocó la fuerza. Como la simulación muestra valores teóricos en este caso particular, se tuvo que buscar un valor de fuerza que con el mismo pueda dar un factor de seguridad igual o mayor a 1.

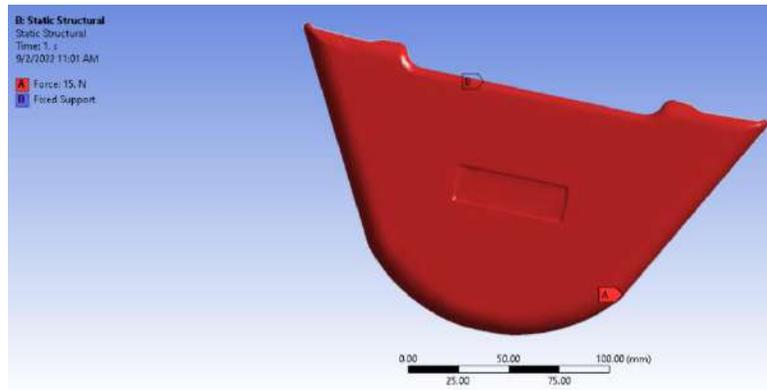


Fig. 4. 25 Fuerza agregada de 15 N.

Para la siguiente simulación se puso a prueba el material original de la pieza realizada, el cual es ABS. Siendo un polímero de buena resistencia, el resultado que se obtuvo fue de esfuerzo máximo de 20 MPa. Este valor se encuentra distribuido en las zonas donde se ejerce la fuerza, ya sea justo en el medio o en los extremos donde la pieza se deforma al ser impactada con la fuerza de -15 N

La fuerza máxima ejercida por la mano para apretar es de 46 KG/F o 451.5 N. En este caso particular, el espesor máximo de la pieza era de 5 mm, pero por problemas con la versión del software solo se realizó un análisis de prueba con 0.5 mm de espesor donde se pudo visualizar en la figura. con 15 N.

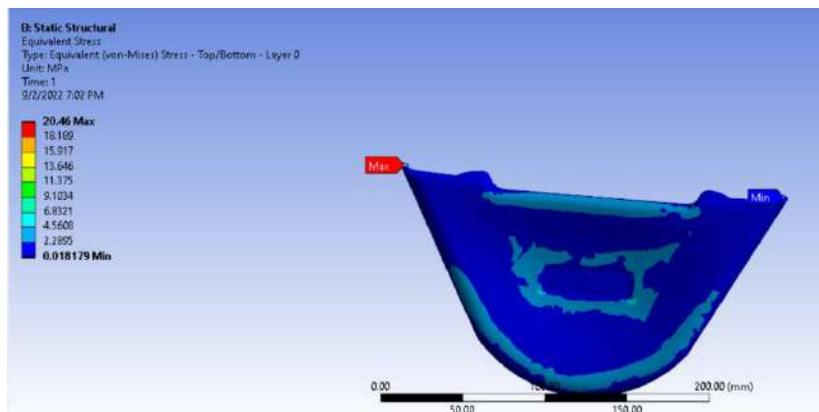


Fig. 4. 40 Esfuerzo máximo aplicado distribuido en zonas.

En la deformación se observa que en la zona roja hay un máximo de 1.4891 mm, teniendo un 0,5 mm de espesor.

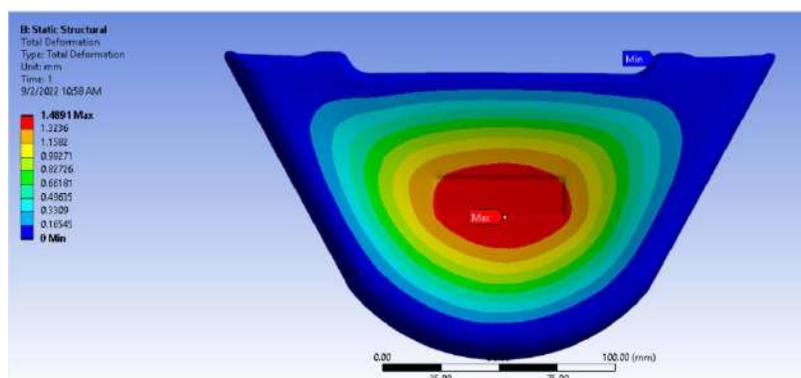


Fig. 4. 261 Deformación total con fibra de Abacá

Con todos los datos obtenidos de la tabla.4.19, se demuestra que el ABS tiene una mayor deformación que el material compuesto analizado, por lo tanto la fibra de abacá tiene una mayor rigidez obteniendo una deformación de 1.489 mm

Tabla 4. 19. 18 Comparación de esfuerzos y deformaciones

Resultados		
Variables	ABS (0.5 mm)	ABACA (0.5 mm)
Deformacion (mm)	10.379	1.489

Esfuerzo (MPa)	733.680	20.460
----------------	---------	--------

4.5 Pieza funcional con el compuesto de fibra aleatoria.

En este apartado, se presenta la pieza escogida para el estudio del material compuesto, lista y ensamblada en el vehículo, como se puede observar, presenta una estética natural, ya que es lo que en parte se desea transmitir, un biomaterial compuesto que pueda suplantar materiales contaminantes como es el plástico en los vehículos, adicionalmente en anexos se presentan los planos de la pieza para que se conozcan las medidas de la misma.



Fig. 4. 27 Tapa de volante de fibra de abacá y resina epoxi ensamblado.

Por último, se presenta a continuación en la tabla 4.19 el presupuesto del valor del costo de fabricación de esta pieza, tomando en cuenta factores como el precio de la fibra de abacá al momento de su compra, la cantidad de fibra y resina que se utilizó para la fabricación de la pieza

y los insumos correspondientes utilizados en el proceso de la fibra, cabe recalcar que el valor total de fabricación, es relativamente alto ya que se realizó una sola pieza, por lo que haciendo una producción por volumen, se podría reducir este valor final.

La pieza original se vende en conjunto con el volante, no se comercializa sola y su valor ronda entre los \$50 a \$80, dependiendo el estado del mismo, ya que al ser un modelo de vehículo antiguo, las piezas del habitáculo son escasas y las que mayormente se comercializan son usadas, lo que representaría una ventaja para el material compuesto de fibra de abacá, ya que se puede fabricar cualquier tipo de pieza que en el mercado ya no se encuentre disponible, otorgándole un plus a dicha pieza ya que está hecha de un material de origen natural.

Tabla 4. 20. Presupuesto de la tapa del volante en fibra de abacá y resina epoxi

Materiales	Precio por unidad
Diseño	\$20
Fibra de abacá	\$0,20
Resina Epoxi	\$2,5
Insumos	\$15
Moldes	\$45
Total	\$82,7

CONCLUSIONES

- Se logró proponer, diseñar y simular diferentes procesos con una metodología que permite trabajar el material compuesto de fibra de abacá con resina epoxi, desde su diseño, simulación y construcción para la fabricación de partes automotrices, que inicialmente no estén sometidos a grandes esfuerzos mecánicos, debido a que, dependiendo de la configuración se puede obtener diferentes resistencias. Así, en algunos casos el compuesto diseñado sirve para piezas estéticas del vehículo, con un material vegetal que es extraído en territorio ecuatoriano y esto permite dar una alternativa en materiales del sector automotriz en el país.
- Se determinó las propiedades mecánicas del material de fibra de abacá con resina epoxi a través de ensayos de tracción para tres configuraciones: unidireccionales 4 capas, aleatorias y unidireccionales 6 capas, bajo ensayos de tracción con condiciones específicas de la normativa ASTM D3039, donde se pudo demostrar que la orientación de la fibra influye directamente a la resistencia del material dando valores más altos en las probetas con configuración unidireccional debido a que las fibras se encuentran en la misma dirección que la fuerza aplicada, y valores más bajos para tracción en la configuración aleatoria, siendo la configuración unidireccional de 6 capas la que posee un valor de resistencia más alto debido a que tiene un número de capas mayor, lo que le aporta muchas más resistencia a la tracción.
- En base a los resultados obtenidos por los ensayos de tracción en las diferentes configuraciones, se proporcionó a la base de datos de los materiales del software CAE los valores y la información necesaria en la configuración unidireccional para poder realizar simulaciones con el material compuesto de fibra de abacá y resina epoxi.
- Después de haber realizado la simulación de prueba se obtuvo que mediante la simulación se llega exactamente al mismo tipo de fallo que la probeta tuvo al momento de ser sometida a tracción. Con el uso de 6860 N de fuerza que fue el promedio de fuerza utilizado, la simulación hizo el Corte SEG, el cual fue exactamente el tipo que sucedió en la prueba de tracción.
- La simulación de la pieza automotriz con materiales compuestos demostró tener una deformación menor al ABS, ya que el abacá tuvo una deformación máxima de 1.489,

mientras que el ABS tuvo 10.379 llegando a concluir que el compuesto tiene mayor rigidez, por lo tanto, su durabilidad aumenta.

- Bajo la luz de lo anterior, se pudo mostrar que el módulo de elasticidad de la fibra de Abacá varía considerablemente de acuerdo no solo con la posición de las fibras sino con la mezcla de resina que sirve de matriz. Lo que, produjo que los módulos de elasticidad sean muy dispersos según los análisis, dando valores por debajo de 1 GPa las 3 primeras PAA y las siguientes dando esfuerzos más altos alcanzando 470 MPa.

RECOMENDACIONES

- Se debe realizar una cantidad de ensayos mayor, para mejorar la confiabilidad de los datos de falla obtenidos para las diferentes configuraciones de compuestos propuestos en esta investigación.
- Cuando se esté realizando las pruebas de tracción hay que considerar factores climáticos dentro del área de trabajo, ya que los materiales compuestos con fibras vegetales suelen afectarse principalmente por este motivo, así que se debe llevar a cabo lo que la normativa dicta.
- Hacer filtrado de datos antes de realizar la deformación de las probetas, ya que se suelen aparecer valores negativos ocasionados por el inicio de la prueba y la condición de sensibilidad de la máquina de tracción.
- Para realizar la simulación de material compuesto en Ansys Workbench, siempre tomar solo la superficie del sólido para generar el mallado, ya que después no será posible añadir las capas de material.

Referencias Bibliográficas

- AEADE. (2016). *Anuario 70 años*. QUITO: Asociación de empresas automotrices en el Ecuador.
- Aguas-Díaz, C. J. (2021). *Matriz de resina poliéster y fibra natural de Chonta en piezas internas automotrices*. Venezuela: Fundación Koinonía.
- ALVARADO, A. A. (2013). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL SECTOR EXPORTADOR DEL ABACA EN EL ECUADOR*. GUAYAQUIL: Universidad Católica Santiago de Guayaquil.
- CAFE. (23 de Septiembre de 2021). *corporate average fuel economy*. Obtenido de nhtsa: <https://www.nhtsa.gov/laws-regulations/corporate-average-fuel-economy>
- Center, D. (23 de Diciembre de 2020). *Contenido de plástico en Automóviles*. Obtenido de mexicoindustry.com: <https://mexicoindustry.com/noticia/crecera-el-contenido-de-plastico-en-la-industria-automotriz>
- Digital, G. (20 de Agosto de 2020). El abacá: sus repercusiones económicas y laborales. *UNA FIBRA APETECIDA EN LOS MERCADOS MUNDIALES*, pág. 2.
- Ecuador, C. A. (2019). *Breve historia de la Cooperativa Abacá Ecuador*. Santo Domingo: Cooperativa Abaca Ecuador.
- Kaila, E. (2019). *Making Abaca Fiber*. London: WordPress.
- Llanes-Cedeño, E. A. (2019). *CARACTERIZACIÓN MECÁNICA A FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS CON MATRIZ FOTOPOLIMÉRICA REFORZADOS CON FIBRAS DE ABACÁ Y CABUYA MEDIANTE IMPRESIÓN 3D*. Guayaquil: Universidad Internacional SEK, Ecuador.
- Mata, J. (2012). *Optimización del Proceso de Emsamble de rieles y chasis de vehículos en la empresa Metaltronics de la ciudad de Quito*. Chimborazo: ESPOCH.
- Mohammad Khoirul Huda, I. W. (2015). *Natural Fiber Reinforced Polymer in Automotive Application: A Systematic Literature Review*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

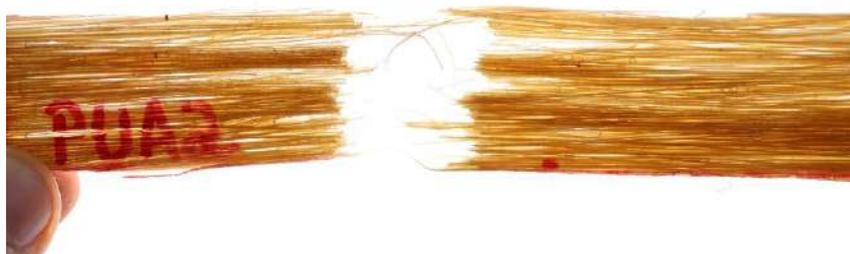
- MOREANO, D. J., & ZAMBRANO ROMERO, D. (2016). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PARACHOQUES DELANTERO Y POSTERIOR DE UN VEHÍCULO CHEVROLET OPTRA AÑO 2008 A PARTIR DE FIBRA NATURAL DE LA PLANTA DE ABACÁ*. Latacunga, Ecuador: ESPE.
- Mulenga, T. K. (2021). *Techniques for Modelling and Optimizing the Mechanical Properties of Natural Fiber Composites: A Review*. Botswana: Botswana International University of Science and Technology.
- Narita, D. (2018). *Modelling of Thin Structural Polymer Composites for Use of Automobiles - Review*. Sapporo: Hokkaido University of Science Junior College.
- NC. (20 de Enero de 2022). *navalcomposites*. Obtenido de [navalcomposites.com](https://www.navalcomposites.com): <https://www.navalcomposites.com/materiales-compuestos>
- Shah, A. u. (2013). *Tensile and fire retardant properties of nanoclay reinforced Abaca/Polypropylene composite*. Islamabad, Pakistan: International Conference on Aerospace Science & Engineering (ICASE).
- VELASTEGUI, J. S. (2016). *ESTUDIO, DISEÑO Y ANÁLISIS PARA EL DESARROLLO DE MATERIALES COMPUESTO CON FIBRA DE COCO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS EN EL SISTEMA DE AIRBAG*. Quito: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL: FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS.
- Villa, M. N. (2018). *Caracterizacion de las propiedades tensiles de un material*. Cuenca: Universidad Politecnica Salesiana Cuenca.

Anexos

Lote #1 a detalle PUA 1-6



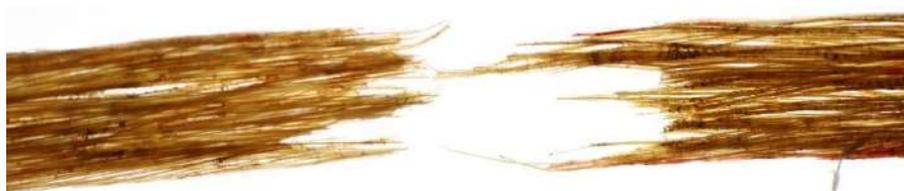
Anexo 1. 1 PUA 1 a detalle



Anexo 1. 2 PUA2 a detalle



Anexo 1. 3 Pua3 a detalle



Anexo 1. 4 PUA4 a detalle

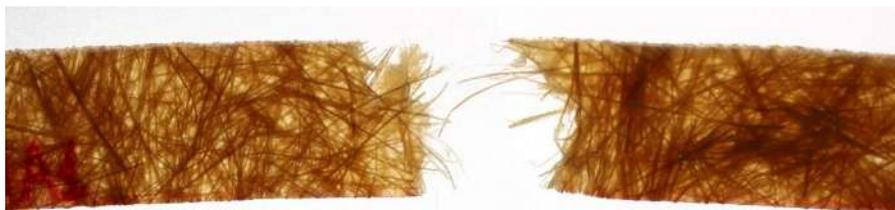


Anexo 1. 5 PUA 5 a detalle

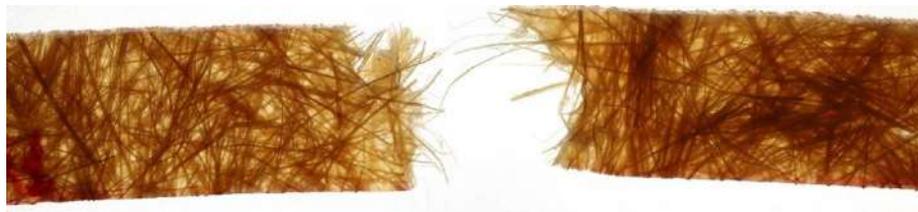


Anexo 1. 6 PUA 6 a detalle

Lote #2 a detalle:



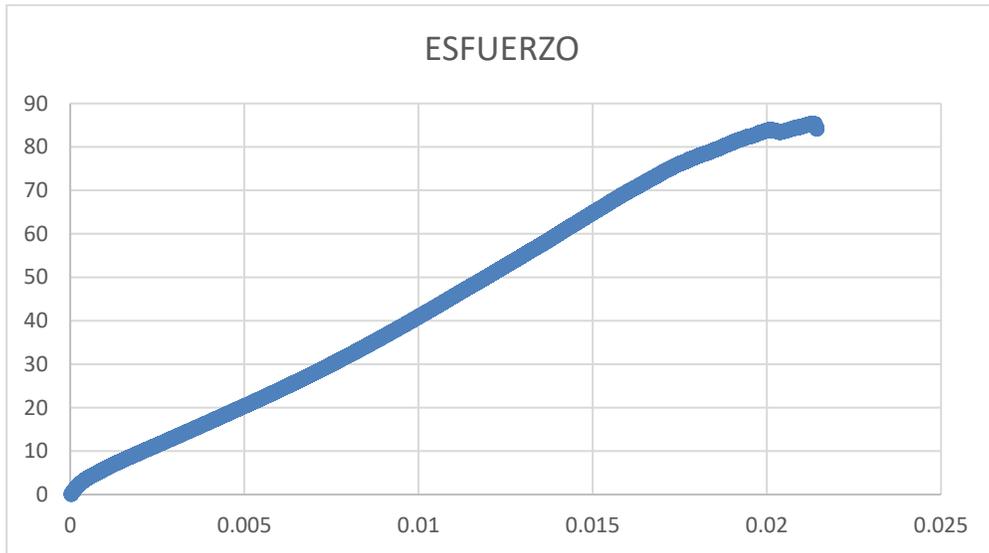
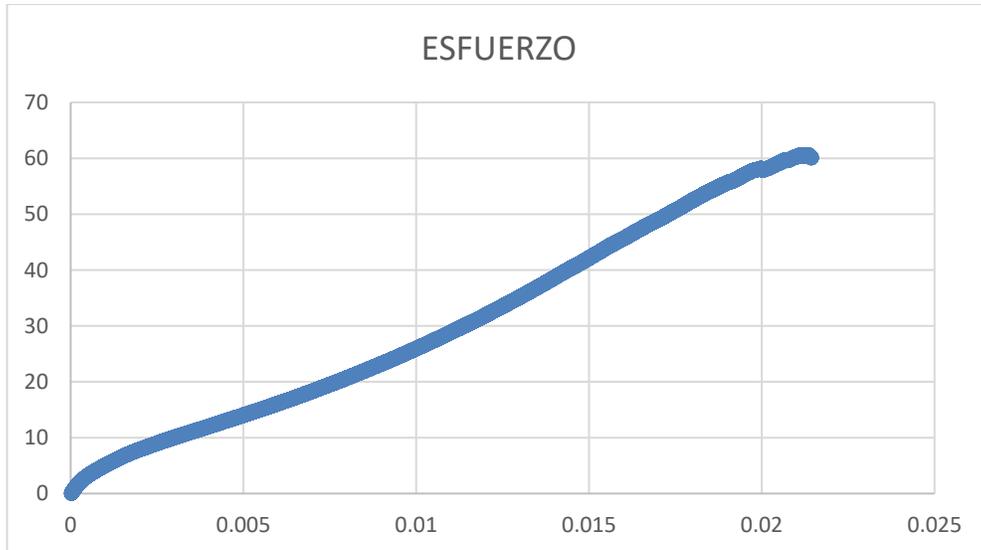
Anexo 1. 7 PAA1 a detalle

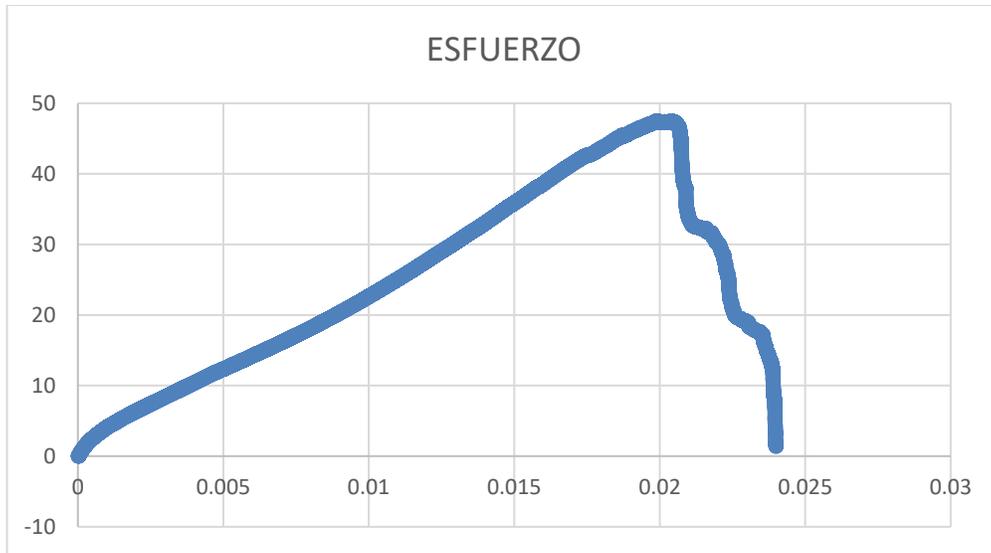


Anexo 1. 8 PAA2 a detalle

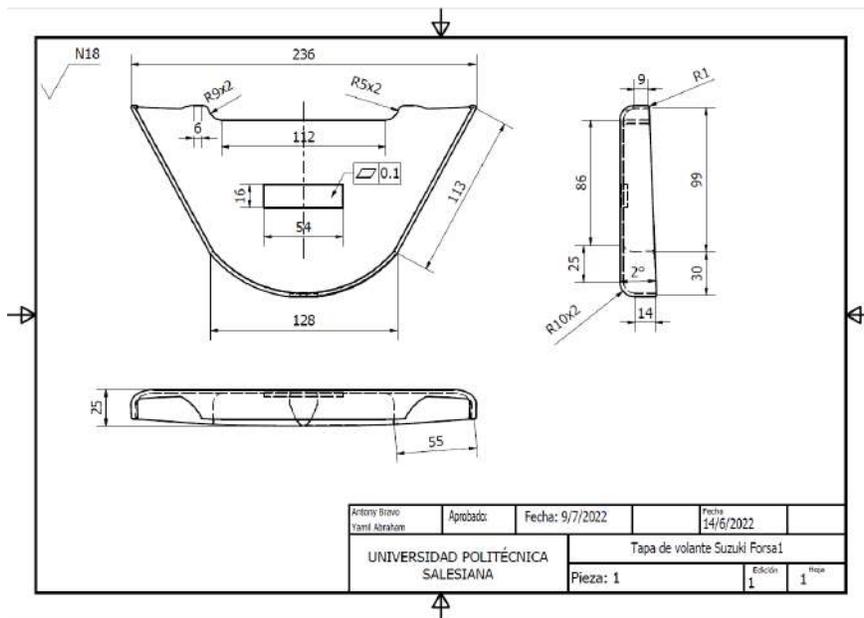


Anexo 1. 9 PAA3 a detalle

Graficas Esfuerzo deformacion Lote#1 unidireccionales 4 Capas*Anexo 1. 10 PUA 1 E-D**Anexo 1. 11 PUA 2 E-D*



Anexo 1. 12 PUA 4 E-D



Anexo 1. 13 planos para realización de la pieza automotriz