



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA APLICACIÓN DE MATERIALES
COMPUESTOS ECUATORIANOS EN EL TABLERO DE INSTRUMENTOS DEL
VEHÍCULO PROTOTIPO AUTÓNOMO ANTA

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

AUTORES: WIDISON ANÍBAL PINEDA GUALAN

WILMER ALEXANDER YUMICEBA AUQUILLA

TUTOR: ING. ANDRÉS ESTEBAN ORDOÑEZ SEGARRA, MSc.

Cuenca - Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Widison Aníbal Pineda Gualan con documento de identificación N° 0106439060 y Wilmer Alexander Yumiceba Auquilla con documento de identificación N° 0707105078; 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.

Cuenca, 24 de julio del 2024

Atentamente,

Widison Aníbal Pineda Gualan

0106439060

Wilmer Alexander Yumiceba Auquilla

0707105078

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

Nosotros, Widison Aníbal Pineda Gualan con documento de identificación N° 0106439060 y Wilmer Alexander Yumiceba Auquilla con documento de identificación N° 0707105078, 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: “Estudio de factibilidad para la aplicación de materiales compuestos ecuatorianos en el tablero de instrumentos del vehículo prototipo autónomo ANTA”, 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.

Cuenca, 24 de julio del 2024

Atentamente,

Widison Aníbal Pineda Gualan

0106439060

Wilmer Alexander Yumiceba Auquilla

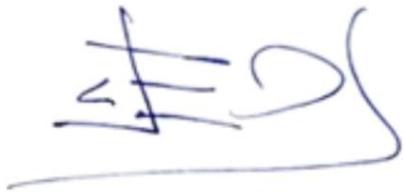
0707105078

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Andrés Esteban Ordoñez Segarra con documento de identificación N° 0103567863, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA APLICACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS ECUATORIANOS EN EL TABLERO DE INSTRUMENTOS DEL VEHÍCULO PROTOTIPO AUTÓNOMO ANTA, realizado por Widison Aníbal Pineda Gualan con documento de identificación N° 0106439060 y por Wilmer Alexander Yumiceba Auquilla con documento de identificación N° 0707105078, 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.

Cuenca, 24 de julio del 2024

Atentamente,



Ing. Andrés Esteban Ordoñez Segarra, MSc.

0103567863

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis queridos padres, Guillermo Yumiceba Y Ana Auquilla, cuyo amor incondicional, apoyo constante, y valores de esfuerzo y dedicación han sido mi mayor inspiración.

A mis hermanos, Guillermo y Dylan, con la esperanza de que este logro sirva como ejemplo y motivación para ellos.

A mi amada pareja, Evelyn Torres, por su apoyo constante.

Con cariño, a mi querida hija, Eliette, a quien dedico este esfuerzo con la esperanza de que encuentre en él una demostración de perseverancia, dedicación y un compromiso con su futuro.

A todos aquellos que, de una u otra manera, me brindaron su ayuda y apoyo durante estos años de formación académica.

Gracias a todos por ser parte de este logro.

Wilmer Alexander Yumiceba Auquilla

AGRADECIMIENTO

Primeramente, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, por iluminar mi camino y bendecirme con el amor y apoyo de mi familia.

A mis padres, por su respaldo incondicional y por ofrecerme el invaluable regalo de la educación, que ha hecho posible ver el fruto de mi esfuerzo y alcanzar este logro.

Agradezco profundamente a mi tutor, el Ing. Andrés Ordoñez Segarra por su asesoría experta y constante apoyo durante este proyecto. Su orientación ha sido clave para la culminación de esta etapa.

Wilmer Alexander Yumiceba Auquilla

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis queridos padres, Ángel Pineda y Rocío Gualan, quienes son el motivo para seguir adelante a pesar de que no estén a mi lado su apoyo emocional, siempre ha sido mi inspiración para seguir adelante.

Widison Anibal Pineda Gualan

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a Dios quien ha estado en todo momento de mi vida. También agradezco a nuestro tutor Ing. Andrés Ordoñez por su asesoría y disposición, el cual nos ayudó a proporcionar los recursos necesarios para llevar a cabo este proyecto.

Agradezco especialmente a mi familia por apoyo emocional y motivacional. Sus palabras de aliento fueron fundamentales en los momentos difíciles.

Widison Anibal Pineda Gualan

RESUMEN

Este estudio se enfoca en la caracterización y evaluación de un material compuesto de fibra de abacá para su uso en la industria automotriz. La caracterización se realizó mediante la preparación de probetas siguiendo las normas ASTM D3039-08, con configuraciones longitudinales (0°), inclinadas (45°) y aleatorias ($\pm 45^\circ$). Cada probeta consistió en dos capas de fibra y dos capas de resina en una proporción de 60% fibra y 40% resina. Se realizaron ensayos de tracción utilizando la máquina Shimadzu AGS-X 300 kN, obteniendo datos sobre módulo elástico, resistencia a la tracción, fallos y desplazamiento, así como gráficos de fuerza-desplazamiento y tensión-deformación. El análisis estadístico de los resultados indicó que las probetas longitudinales mostraron propiedades mecánicas superiores, con módulos elásticos entre 604.922 MPa y 2622.04 MPa. Posteriormente, se realizó una simulación del tablero de instrumentos utilizando ANSYS, analizando la deformación total, la deformación elástica equivalente y los factores de seguridad. Estas simulaciones respaldan la implementación potencial del material compuesto en el diseño tentativo del tablero de instrumentos del vehículo ANTA.

Palabras Claves: Material compuesto, Normativa ASTM D3039-08, Ensayos de tracción, , Simulación ANSYS, Vehículo autónomo ANTA.

ABSTRACT

This study focuses on the characterization and evaluation of an Abacá fiber composite material for use in the automotive industry. The characterization was achieved by preparing specimens with different configurations according to ASTM D3039-08 standards. The specimens were produced with longitudinal (0°), inclined (45°), and random ($\pm 45^\circ$) orientations, each consisting of two fiber layers and two resin layers in a 60% fiber to 40% resin ratio. Tensile tests were conducted using the Shimadzu AGS-X 300 kN machine, obtaining data on elastic modulus, tensile strength, failure, and displacement, as well as force-displacement and stress-strain graphs. Statistical analysis of the test results indicated that the longitudinal specimens exhibited superior mechanical properties, with elastic modulus values ranging from 604.922 MPa to 2622.04 MPa. Subsequently, an instrument panel simulation was performed using ANSYS software, analyzing total deformation, equivalent elastic strain, and safety factors. These simulations support the potential implementation of the composite material in the tentative design of the ANTA vehicle's instrument panel.

Keywords: Composite material, ASTM D3039-08 standard, Tensile tests, ANSYS simulation, ANTA autonomous vehicle.

ÍNDICE

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO	7
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUCCIÓN	19
2. PROBLEMA	21
2.1. Antecedentes	22
2.2. Importancia y Alcance	22
2.3. Delimitaciones	22
3. OBJETIVOS	23
3.1. Objetivo general	23
3.2. Objetivos específicos	23
4. CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	25
4.1. Materiales compuestos	27
4.2. Matriz	28
4.3. Tipos de matrices para fabricar materiales compuestos	29
4.3.1. Vidrio:	29
4.3.2. Cerámicas:	29
4.3.3. Metales:	30
4.3.4. Polímeros:	30
4.4. Materiales compuestos de matriz polimérica	30
4.4.1 Termoplásticos:	30
4.4.2. Termoestables:	30

4.4.3 Elastómeros:.....	31
4.5. Características de matrices en materiales compuestos	31
4.6. Refuerzo	32
4.7. Clasificación de los materiales compuestos.....	33
4.8. Materiales compuestos Reforzados por partículas	34
4.9. Elementos estructurales.....	35
4.10. Materiales compuestos reforzados con fibra	35
4.11. Tipos de orientación de las fibras	37
4.12. Fibra de Abacá	38
4.13. Clases de fibra de Abacá.....	39
4.14. Propiedades de la fibra de Abacá	41
4.14.1. Celulosa.....	42
4.14.2. Hemicelulosa	43
4.15. Características de la fibra de Abacá	43
4.16. Protocolo de pruebas aplicables a materiales compuestos.....	44
4.17. Normativas para la fabricación de probetas ASTM D3039-08	45
4.17.1. Tipo de fallos según la normativa ASTM D33039-08.....	46
4.17.2 Área de falla según las normativas ASTM D3039-08.....	46
4.17.3 Ubicación de fallo según la normativa ASTM D3039-08	47
5.CAPÍTULO 2: PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN	49
5.1 Fibra de Abacá.....	49
5.2 Selección del refuerzo: Fibra de Abacá	49
5.3 Selección de la Matriz: Resina Epoxi.....	50
5.4. Diagrama experimental.....	51
5.5. Equipos de medición.....	52

5.6.	Designación y Geometría de probetas	53
5.7.	Arquitecturas de las probetas	54
5.8.	Configuración de fibras longitudinales (0°)	55
5.9.	Procedimiento de elaboración de las probetas	55
5.10.	Realización de las capas de fibra	56
5.11.	Preparación de la resina	56
5.12.	Secado.....	57
5.13.	Curado.....	57
5.14.	Probetas longitudinales (0°) elaboradas.....	58
5.15.	Datos recopilados previo al análisis de cada probeta.....	59
5.16.	Ensayos de Tracción.....	60
5.17.	Identificación Cromática de Probetas Longitudinales.	61
5.18.	Análisis Gráfico fuerza-desplazamiento.....	62
5.19.	Análisis de tracción y desplazamiento máximo	63
5.20.	Análisis de la constante de rigidez desplazamiento elástico	65
5.21.	Cálculo del desplazamiento elástico.....	69
5.22.	Cálculo del esfuerzo de cada una de la probeta longitudinal.	70
5.23.	Configuración de probetas longitudinales	71
5.24.	Fracturas de las probetas en los ensayos de tracción.....	75
5.25.	Informe estadístico	76
5.26.	Configuración de probetas Inclínada a 45 grados.....	76
5.27.	Probetas Con orientación a 45 grados elaboradas	77
5.28.	Configuración de probetas longitudinales de dos capas por su modo de falla según la normativa ASTM D3039-08.....	87
5.29.	Configuración de fibras aleatoriamente ($\pm 45^\circ$)	92

6.	CAPITULO 3: MODELADO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS ...	108
	6.1. Probeta seleccionada con propiedades mecánicas óptimas	108
	6.2. Diseño del tablero de instrumentos	110
	6.3. Simulación en ANSYS	110
	6.4. Mallado del diseño	113
	6.5. Análisis de resultados	116
	6.6. Deformación Total.....	117
	6.7. Deformación elástica equivalente.....	118
	6.8. Factor de seguridad	119
7.	CONCLUSIONES	121
8.	RECOMENDACIONES	123
9.	Referencias Bibliográficas	124

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1	Ubicación Ups.....	23
Ilustración 2	Evoluciones de los materiales de ingeniería a lo largo del tiempo.	27
Ilustración 3	Configuración básica de un material compuesto.	28
Ilustración 4	Matrices que se pueden utilizar para la elaboración de un material compuesto.....	29
Ilustración 5	Materiales compuestos reforzados con partículas y reforzados con fibras.	33
Ilustración 6	Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de refuerzo. ...	34
Ilustración 7	Orientaciones de refuerzo en un material compuesto.	36
Ilustración 8	Orientación longitudinal de la fibra.	37
Ilustración 9	Orientación Transversal de la fibra.....	38

Ilustración 10 Fibra de Abacá.....	39
Ilustración 11 Planta de Abacá.....	39
Ilustración 12 Fibra de Abacá de clase I.....	41
Ilustración 13 Resina Epoxi Wesco Dura Quarz Cast-1.....	50
Ilustración 14 Diagrama experimental detallado para la elaboración de probetas.	52
Ilustración 15 Probetas con orientación longitudinal (0°).	55
Ilustración 16 Elaboración de las capas de fibra de Abacá.....	56
Ilustración 17 Proceso de secado.	57
Ilustración 18 Proceso de curado	58
Ilustración 19 Denominaciones de las probetas.....	59
Ilustración 20 Máquina Universal Shimadzu AGS-X 300 kN.....	61
Ilustración 21 Gráfica Fuerza-Desplazamiento de probetas longitudinales.....	63
Ilustración 22 Probetas longitudinales con resistencia máxima a la tracción.	64
Ilustración 23 Zona de elasticidad y plasticidad del material compuesto PL4.	65
Ilustración 24 Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción.	72
Ilustración 25 Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción.	72
Ilustración 26 Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción.	73
Ilustración 27 Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción.	73
Ilustración 28 Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción.	74
Ilustración 29 Probetas longitudinales fracturadas.	75
Ilustración 30 Probetas con orientación a 45 grados.....	77
Ilustración 31 Denominaciones de las probetas.....	78
Ilustración 32 Gráficas fuerza-desplazamiento de probetas con orientación a 45 grados.	80

Ilustración 33 Probetas inclinadas con orientación a 45 grados con resistencia máxima a la tracción.	81
Ilustración 34 Zona de elasticidad y plasticidad del material compuesto PL4.	82
Ilustración 35 Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción.	88
Ilustración 36 Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción PI2.	88
Ilustración 37 Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción PI3.	89
Ilustración 38 Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción PI4.	89
Ilustración 39 Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción PI5.	90
Ilustración 40 Fracturas de las probetas con orientaciones a 45 grados luego del ensayo de tracción.....	91
Ilustración 41 Probetas con orientación aleatoria.	92
Ilustración 42 Denominaciones de las probetas.	93
Ilustración 43 Gráficas fuerza-desplazamiento de las probetas aleatorias.....	95
Ilustración 44 Probetas aleatorias con resistencia máxima a la tracción.	96
Ilustración 45 Zona de elasticidad y plasticidad del material compuesto PA4.....	97
Ilustración 46 Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción PA1.....	103
Ilustración 47 Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción PA2.	103
Ilustración 48 Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción PA3.....	104
Ilustración 49 Fracturas de las probetas luego del ensayo de tracción PA4.	104
Ilustración 50 Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción PA5.....	105
Ilustración 51 Probetas Aleatorias fracturadas.....	106
Ilustración 52 Diseño del vehículo prototipo autónomo ANTA.....	108
Ilustración 53 Diseño Prototipo del tablero de instrumentos.....	110
Ilustración 54 Calidad de la malla ANSYS.	113
Ilustración 55 Soportes fijos en las partes inferior del tablero de instrumentos.	114

Ilustración 56 Soportes fijos ubicados en las partes laterales del tablero de instrumentos.	115
Ilustración 57 Fuerza aplicada ANSYS.	116
Ilustración 58 Resultados de la deformación total ANSYS.	117
Ilustración 59 Deformación elástica equivalente.	119
Ilustración 60 Factor de seguridad del tablero.	120

Índice de Tablas

Tabla 1 Propiedades mecánicas de diferentes tipos de Matrices.	31
Tabla 2 Composición química de la fibra de Abacá.	42
Tabla 3 Propiedades de la celulosa con respecto a la fibra natural.	42
Tabla 4 Propiedades químicas y mecánicas de la fibra de Abacá.	43
Tabla 5 Protocolos de pruebas convencionales aplicables en materiales compuestos. .	44
Tabla 6 Características y parámetros utilizados en los ensayos de tracción según la normativa ASTM D3039.	45
Tabla 7 Tipos de fallos normativa ASTM D3039	46
Tabla 8 Áreas de fallos	47
Tabla 9 Ubicación de fallo.	47
Tabla 10 Propiedades de la resina Wesco Dura Quarz Cast-11.	51
Tabla 11 Instrumentos de medición y sus especificaciones técnicas.	53
Tabla 12 Características de probetas según ASTM D3039-08 con orientaciones de fibra de abacá a 0°, 45° y $\pm 45^\circ$, impregnadas con resina epoxi (60% fibra de abacá, 40% resina).	54
Tabla 13 Dimensiones de las probetas.	59

Tabla 14 Designación Cromática de las Probetas Longitudinales sometidas a Ensayo de Tracción.....	62
Tabla 15 Valores de módulo de elasticidad.....	66
Tabla 16 Valores de las áreas calculadas.....	67
Tabla 17 Valores de la constante de rigidez calculados.	68
Tabla 18 Valores de desplazamiento elástico obtenidos.	69
Tabla 19 Valores de los esfuerzos últimos obtenidos.....	70
Tabla 20 Tipo de fallos de las probetas.	74
Tabla 21 Datos obtenidos en los ensayos de tracción.....	76
Tabla 22 Toma de datos de las diferentes probetas.	78
Tabla 23 Designación Cromática de las Probetas con orientación a 45 grados sometidas a Ensayo de Tracción.....	79
Tabla 24 Valores de módulo de elasticidad.....	83
Tabla 25 Valores de las áreas calculadas.....	83
Tabla 26 Valores de la constante de rigidez calculados.	84
Tabla 27 Valores de desplazamiento elástico obtenidos.	86
Tabla 28 Valores de los esfuerzos últimos obtenidos.....	87
Tabla 29 Tipo de fallos de las probetas PI#.....	90
Tabla 30 Datos obtenidos en los ensayos de tracción.....	91
Tabla 31 Toma de datos de las diferentes probetas.	93
Tabla 32 Designación Cromática de las Probetas aleatorias sometidas a Ensayo de Tracción.....	94
Tabla 33 Valores de módulo de elasticidad.....	98
Tabla 34 Valores de las áreas calculadas.....	99
Tabla 35 Valores de la constante de rigidez calculados.	100

Tabla 36 Valores de desplazamiento elástico obtenidos.	101
Tabla 37 Valores de los esfuerzos últimos obtenidos.....	102
Tabla 38 Tipo de fallos de las probetas PA.	105
Tabla 39 Datos obtenidos en los ensayos de tracción PA.	106
Tabla 40 Característica mecánica de la probeta PL5.....	109
Tabla 41 Propiedades mecánicas implementada en el software ANSYS.....	112

1. INTRODUCCIÓN

El sector automotriz a nivel mundial se ha caracterizado por su constante creciente reestructuración, ligado con una serie de factores que van desde avances tecnológicos hasta cambios en la demanda del mercado y competitividad. De acuerdo a la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE, 2023) la demanda de vehículos electrificados ha experimentado un notable crecimiento comercial que pasó de 5,1 % en 2022 a 9,3 % en 2023, posicionando a Ecuador entre los mercados en América Latina con un alto crecimiento en tecnologías automotrices. Esto ha generado a la impulsión de nuevas innovaciones debido al continuo progreso tecnológico en la industria automotriz a nivel mundial, lo cual ha despertado varias expectativas con respecto a la movilidad en perspectivas futuras, fomentando la creación de diversas iniciativas y soluciones enfocados en los vehículos autónomos (Londoño 2023). Además de la llegada de nuevas marcas y modelos de origen asiático en concreto China, que se ha posicionado como uno de los principales fabricantes de vehículos a nivel global, lo cual ha experimentado un aumento notable en sus exportaciones hacia mercados emergentes, abarcando América Latina y, en particular, Ecuador (Aguirre, 2024). En lo que respecta al ámbito Nacional, según los resultados estadísticos propiciados por la cámara de industria automotriz ecuatoriana (CINAE, 2024) durante el periodo de febrero a marzo del 2023, se vendieron un total de 35,046 unidades, mientras que en el mismo periodo del presente año se han comercializado 31,399 unidades. En contraste, en el año 2022 se registraron 29,881 unidades vendidas, este análisis refleja un incremento en las ventas de vehículos con respecto a periodos precedentes. El autor Hoyas (2022) establece que el mercado de importación de piezas y autopartes de automóviles han incrementado, empresas como CIAUTO que muy aparte de desarrollar proceso de ensamblajes de chasis, cabina y toda

línea de soldadura, ha generado un buen incremento en la comercialización de autopartes (CIAUTO, 2020).

Según Corwin (et al., 2016), hay varios aspectos que impulsan a la innovación de los vehículos autónomos, uno de ellos es el enfoque hacia nuevos materiales compuestos que cumplan con características resistivas y sean de peso ligero como parte de la estrategia para reducir el peso de los vehículos sin comprometer la seguridad de los pasajeros, además de promover el desarrollo sostenible y el bienestar de la comunidad. (Corwin et al., 2016). De acuerdo a Mulenga (2021), los materiales predominantes en la fabricación de componentes para ensamblaje incluyen acero, aluminio, fibra y plástico, siendo este último el más problemático en términos de impacto ambiental (Mulenga 2021), debido a esto, se están investigando activamente alternativas con menor huella ambiental que mantengan los beneficios de los materiales convencionales, con el objetivo de reducir la dependencia del plástico y mejorar la sostenibilidad en el país.

El plástico, específicamente el polipropileno (PP), que es un material ampliamente utilizado en la fabricación de diversas piezas automotrices, por su resistencia y durabilidad destacando su aplicación en los tableros de instrumentos de vehículos (Mendez, 2024). Sin embargo, unos de los aspectos negativos de este polímero es su baja degradabilidad y su impacto ambiental negativo (Majewski, 2016). Con el objetivo de destacar en la industria automotriz, se está llevando a cabo una búsqueda activa de materiales compuestos que ofrezcan propiedades altamente beneficiosas en los procesos de fabricación de autopartes. Esta búsqueda se enfoca en la utilización de un compuesto con fibra orgánica ecuatoriana. La fibra de Abacá, llamada también (Cañamo de Manila), es perteneciente a la familia del plátano y es originaria de filipina donde su cultivo fue a partir del siglo XVI. El mayor traductor a nivel mundial del abacá es filipina con aproximadamente un 80% (Pontón & Guerrero, 2010, p. 47). Según los autores Abraham

López (2022), en el año 2019 Ecuador se había convertido en el segundo país con mayor producción de abacá en el mundo (Abraham & López, 2022). Las zonas ecuatorianas de cultivo de Abacá están ubicadas en lugares como: Quinindé, Santo Domingo de los Tsáchilas, Quevedo y la Maná (Pontón & Guerrero, 2010, p. 47). Esta fibra textil es una de las fibras más resistentes debido a las buenas propiedades que poseen como su gran resistencia mecánica, flexibilidad, durabilidad, etc.

El objetivo de esta investigación es estudiar las características técnicas que nos ofrece la fibra de Abacá. Para ello, se elaborarán probetas que se someterán a pruebas de tracción. Posteriormente, se llevará a cabo un análisis de factibilidad utilizando el software ANSYS para evaluar la viabilidad de incorporar esta fibra natural en el tablero del vehículo prototipo autónomo ANTA.

2. PROBLEMA

El avance continuo en la industria automotriz está ligado con la diversificación de materiales utilizados en la fabricación de sus componentes, desde aleaciones metálicas hasta polímeros. Específicamente en el tablero de instrumentos de vehículos, ya que, para la elaboración de este componente se utiliza un polímero termoplástico que es el polipropileno (Muñoz, 2023). Por ello, en nuestro proyecto queremos realizar un estudio para analizar el grado de factibilidad que nos puede brindar al implementar un compuesto vegetal ecuatoriano como es la fibra de Abacá. Esto debido a que la fibra de Abacá es un material que presenta un alto grado de rigidez y una muy buena resistencia a la tracción, torsión y flexión (Gómez et al., 2023). Según el estudio realizado por Bravo & Abraham esta fibra vegetal presenta muy buenas propiedades mecánicas y es de peso ligero, por lo cual estas características son muy bien utilizadas para procesos de manufactura de autopartes (Bravo & Abraham 2022). Con las especificaciones técnicas previamente indicadas, se propone realizar un análisis de factibilidad enfocado en examinar la

viabilidad técnica al emplear el material compuesto con fibras orgánicas ecuatorianas en la fabricación del tablero de instrumentos del vehículo autónomo Anta.

2.1. Antecedentes

En el contexto del desarrollo automotriz global, la innovación y la sostenibilidad han emergido como pilares fundamentales. Los materiales compuestos, que combinan dos o más materiales para aprovechar las propiedades de cada uno, se han convertido en un recurso crucial en la industria debido a su ligereza, resistencia y versatilidad. En Ecuador, la investigación y aplicación de materiales compuestos nacionales están en una etapa incipiente, pero con un potencial significativo para contribuir al crecimiento económico y tecnológico del país.

2.2. Importancia y Alcance

Para nuestra investigación se fabricarán probetas de ensayo usando la norma ASTM D3039-08 para ello se utilizará los laboratorios de pruebas mecánicas de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Para el procedimiento se considera la fibra de abacá con una laminación por medio de la resina epoxi, que nos ayudará a realizar los ensayos. Seguido a ello las diferentes pruebas se procederá en la máquina Shimadzu de 300kN del laboratorio de resistencia de la UPS sede Cuenca.

Es importante considerar la estructura del trabajo, el cual tiene capítulos, uno de ellos es la introducción, muestra datos de la evolución de los materiales compuestos incluyendo las diferentes fibras para poder evidenciar su importancia en la economía del Ecuador.

2.3. Delimitaciones

El presente proyecto se llevará a cabo en la ciudad de Cuenca, ubicada en la provincia del Azuay, al sur del Ecuador. Cuenca se encuentra a una altitud de 2500 metros

sobre el nivel del mar, abarca una extensión de 70,59 km² y cuenta con una población aproximada de 580,000 habitantes.

Ilustración 1

Ubicación Ups



Nota: En la siguiente ilustración podemos ver la ubicación del lugar en donde realizamos el proyecto de titulación (GoogleMaps).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Realizar un estudio de factibilidad para la implementación del tablero de instrumentos del vehículo autónomo ANTA mediante la utilización de compuestos ecuatorianos.

3.2. Objetivos específicos

- Realizar un análisis bibliográfico exhaustivo sobre la caracterización de los materiales compuestos ecuatorianos y los materiales de uso frecuente en tableros automotrices.

- Determinar las propiedades mecánicas del material compuesto con fibra natural de abacá mediante pruebas, utilizando la normativa correspondiente; a posterior se realizará simulaciones para obtener la data final.
- Analizar los resultados de las diferentes pruebas experimentales realizadas mediante simulaciones y proponer la implementación en el diseño tentativo del tablero de instrumento del vehículo ANTA.

4. CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

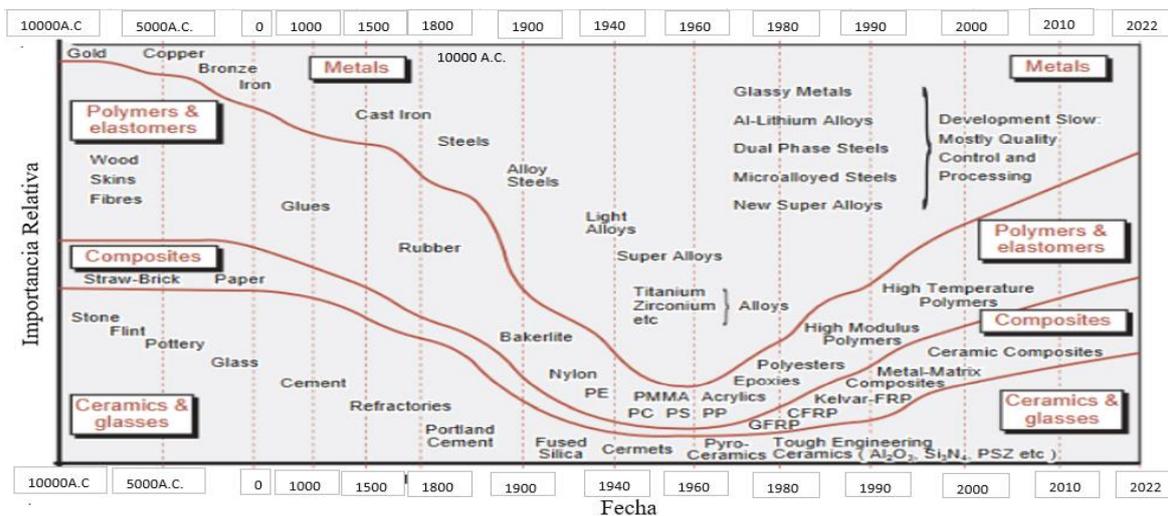
El propósito del presente capítulo es realizar una investigación eficiente para recopilar información destinada a evaluar la viabilidad técnica del uso de materiales compuestos con fibras orgánicas ecuatorianas, específicamente la fibra de Abacá en la implementación del tablero del vehículo ANTA.

El progreso continuo en la industria automotriz está estrechamente vinculado a la diversidad de materiales utilizados en la fabricación de sus componentes, que van desde materiales poliméricos hasta aleaciones metálicas. Los plásticos, en particular, han desempeñado un papel crucial, especialmente en la fabricación de tableros de instrumentos para vehículos (Muñoz, 2023). Según el autor Beltrán, para producir estos elementos, se emplean polímeros como el polipropileno (PP), el cual su proceso de fundición se da a una temperatura máxima de 140°C , y el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), que opera a temperaturas entre -20°C y $+80^{\circ}\text{C}$. Estos materiales se destacan por su resistencia, dureza, rigidez y densidad, que varía entre 0.9 y 2.3 g/cm^3 , así como por su conductividad térmica, que oscila entre 0.15 y 0.5 W/mK (Beltrán, 2011). Debido al avance de la ciencia y tecnología y a las buenas propiedades que nos ofrecen los materiales compuestos, se han convertido en sustitutos de diversos materiales sintéticos. En específico, la fibra de Abacá, musa textil perteneciente a la familia de las musáceas, reconocida mundialmente por las notables propiedades de su fibra, que se caracteriza por su alta resistencia y durabilidad (Yaguachi, 2024). Este material se destaca por sus excelentes propiedades químicas y mecánicas, además de ser un material biodegradable, presenta un esfuerzo a la tracción de 18.7 MPa y un esfuerzo máximo de flexión de 58.60 MPa (Sofía, 2019). Un estudio de Bravo y Abraham confirma que la fibra de Abacá es ligera y posee propiedades mecánicas superiores, haciéndola ideal para la fabricación de autopartes (Abraham & López, 2022).

En los últimos años, los plásticos y cerámicos han conservado una posición de predominio en los mercados industriales y automotrices. Esta supremacía se sustenta en el continuo aumento en el volumen de producción de dichos materiales, los cuales han experimentado mejoras significativas gracias al avance tecnológico. Sin embargo, este avance ha conllevado un aumento correlacionado en los niveles de contaminación asociados tanto con la producción como con la utilización de estos materiales. Según el autor Derek Hull la aplicación de los materiales compuestos ha reemplazado a los metales en peso y resistencia. A medida que avanza el tiempo, se planea una transición hacia el uso de materiales compuestos con el objetivo de sustituir progresivamente materiales como el acero y el aluminio, obteniendo así un menor impacto ambiental, siendo este muy importante en la industria del transporte (Hull, 1987). Según el estudio realizado por Iza, a lo largo de las últimas cinco décadas, la ciencia se ha focalizado en la combinación de propiedades de distintos tipos de materiales para generar compuestos con mejores propiedades estructurales (Iza, 2017).

Ilustración 2

Evoluciones de los materiales de ingeniería a lo largo del tiempo.



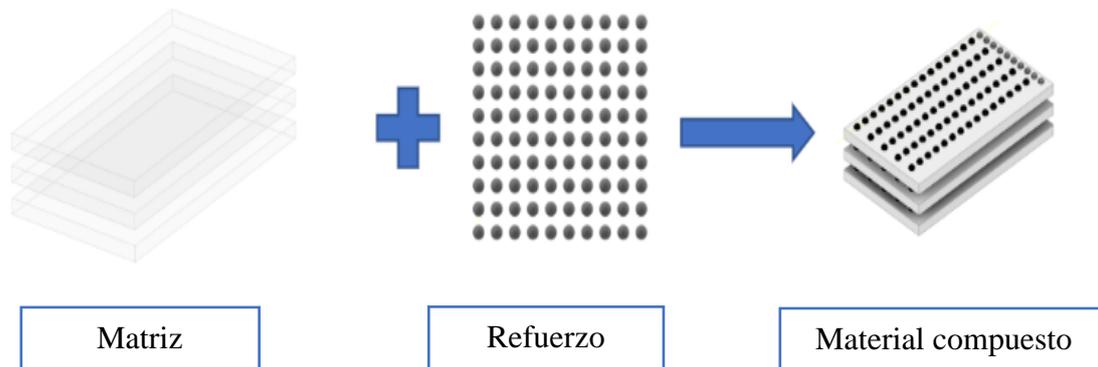
Nota: Esta tabla representa la importancia que han tenido los materiales compuestos en el transcurso del tiempo (Iza, 2017).

4.1. Materiales compuestos

Los materiales compuestos, son aquellos que se dan a partir de la formación o unión de dos o más elementos químicos o no químicos en dos fases distintas, cuya combinación nos proporciona propiedades diferentes y mejores a las de sus constituyentes, con mayor capacidad estructural (Peinado Seligrat, 2015). Su composición consta por una fase principal continua, conocida como matriz, que exhibe una predominancia en términos de peso, y una fase secundaria discontinua, llamada refuerzo, que presenta una proporción menor en peso (Cedeño, 2024). A continuación, en la ilustración 3 se presentan los elementos que forman un material compuesto.

Ilustración 3

Configuración básica de un material compuesto.



Nota: En la ilustración se muestran los componentes de un material compuesto según el autor (Cedeño, 2024).

Los autores Pontón y Guerrero, establecen que la matriz en los materiales compuestos determina una variedad de propiedades físicas, químicas, eléctricas y mecánicas. Por ejemplo, las propiedades mecánicas, como la resistencia a la tracción y la ductilidad, todas estas propiedades están influenciadas por el tipo de matriz y refuerzo utilizado (Pontón & Guerrero, 2010).

4.2. Matriz

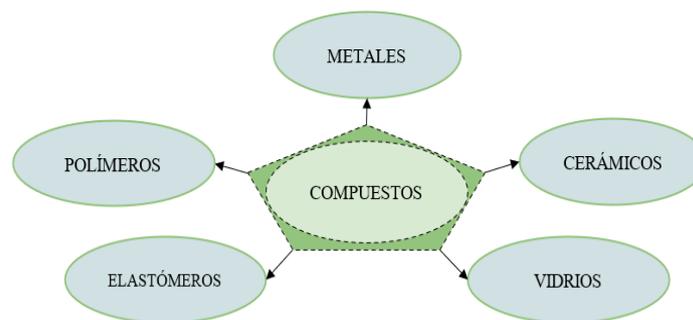
La matriz desempeña un papel crucial en un material compuesto, ya que facilita la transferencia de carga entre las fibras preservando la integridad estructural del compuesto, dando la capacidad al compuesto de soportar diferentes tipos de cargas, además de proteger al refuerzo del deterioro mecánico y químico del ambiente exterior. La matriz puede ser un material con una capacidad aislante o conductora dependiendo sus propiedades ya sea físicas, químicas, eléctricas y mecánicas (Arias & Vanegas, 2004).

4.3. Tipos de matrices para fabricar materiales compuestos

La obtención de un material compuesto implica la combinación de dos materiales diversos, como metales, cerámicos, polímeros, etc. Dependiendo del estudio o análisis específico que se esté llevando a cabo (Edil da Costa et al., 2000).

Ilustración 4

Matrices que se usa para la elaboración de un material compuesto.



Nota: Tipos de matrices que se pueden emplear para la fabricación de un material compuesto. Fuente: (Edil da Costa et al., 2000).

4.3.1. Vidrio: La función principal de esta matriz es brindar protección a las fibras o partículas del ambiente exterior, además de distribuir y transmitir las cargas aplicadas de los elementos de refuerzos (Edil da Costa et al., 2000)

4.3.2. Cerámicas: Los materiales compuestos con esta matriz están diseñados para mejorar las características de los materiales cerámicos, centrándose especialmente en la capacidad de resistir altas temperaturas sin comprometer la resistencia estructural. Los refuerzos pueden consistir en fibras continuas, discontinuas o refuerzos con partículas (Besednjak, 2009).

4.3.3. Metales: Estos materiales se basan en la incorporación de refuerzo con fibras continuas, fibras discontinuas, y en la adición de partículas. El rango de temperatura de uso de esta matriz es moderado: oscila entre los 300 a 500 °C (Balart, 2010).

4.3.4. Polímeros: Estas matrices denominadas orgánicas, son la base de los Polymer Matrix Composites. Esta matriz tiene buenas características como facilidad de proceso, amplio rango de propiedades y adaptabilidad a diversos procesos de transformación de materiales, estas matrices alcanzan un rango de temperatura de trabajo cercanos a 200-300 °C (Balart, 2010).

4.4. Materiales compuestos de matriz polimérica

Los materiales compuestos de matriz polimérica se subdividen en tres: Termoplásticos, Termoestables y Elastómeros.

4.4.1 Termoplásticos: estas matrices se utilizan en la construcción de piezas de tamaño reducido, trabajan prestaciones térmicas elevadas y a grandes presiones para su moldeo, lo que hace que los moldes tengan un coste elevado (Besednjak, 2009)

4.4.2. Termoestables: Este tipo de matriz no necesita exponerse a temperaturas elevadas ya que la mayoría de resinas que forman parte de esta matriz polimérica se procesan a temperatura ambiente, entre las principales características de los termoestables están: Alta rigidez, bajo peso, alta estabilidad dimensional, alta estabilidad térmica, resistencia a la deformación bajo carga, etc. Dentro de la categoría de materiales compuestos, se destacan las matrices epoxi, ampliamente reconocidas por su versatilidad y rendimiento superior en aplicaciones de alto rendimiento. Estas matrices son altamente recomendadas para entornos de alta temperatura, demostrando una excepcional estabilidad térmica de hasta 250 °C (Besednjak, 2009)

4.4.3 Elastómeros: Este polímero, conocido también como caucho termoplástico, específicamente es un copolímero o una mezcla física de polímeros. La particularidad de los elastómeros es que pueden ser estirados muchas veces su propia longitud y luego recuperar su forma original sin sufrir deformación permanente. Entre los polímeros elastómeros se encuentran el polisopreno o caucho natural, el polibutadieno, el polisobutileno y los poliuretanos (Juárez et al., 2012).

Tabla 1

Propiedades mecánicas de diferentes tipos de Matrices.

Propiedades mecánicas	Metálico	Polímero (PP)
Módulo de Young (Gpa)	70.6	1.1-1.6
Elongación (%)	14	-----
Resistencia a la Tensión (MPa)	10-35	30-40
Densidad (g/cm3)	2.7	0.89-0.92
Resistencia a la tracción (MPa)	50-90	9.0-80.0

Nota: En la siguiente tabla podemos visualizar las diferentes características mecánicas de los diferentes tipos de materiales. Fuente: (Loor, 2023).

4.5. Características de matrices en materiales compuestos

Las matrices de un material compuesto juegan un papel crucial en determinar sus propiedades y rendimiento. Cada tipo de matriz, ya sea polimérica, cerámica o metálica, presenta características únicas que afectan la resistencia, flexibilidad y durabilidad del compuesto final. En esta sección, exploraremos las distintas características de las matrices en materiales compuestos y cómo influyen sus aplicaciones y comportamientos bajo diversas condiciones (Hernández & García, 2010)

- **Polimérica:** Resistencia a la oxidación, Bajo peso y Ductilidad
- **Cerámica:** Estos materiales se basan en la utilización de nitruro de silicio, óxido de silicio y óxido de aluminio, estos materiales trabajan en condiciones térmicas de hasta 1700°C
- **Metálica:** Este tipo de matrices son muy utilizados incorporan una gran variedad de refuerzos como matrices, por ejemplo:

Magnesio reforzado con grafito: Utilizado en la fabricación de estructuras satelitales.

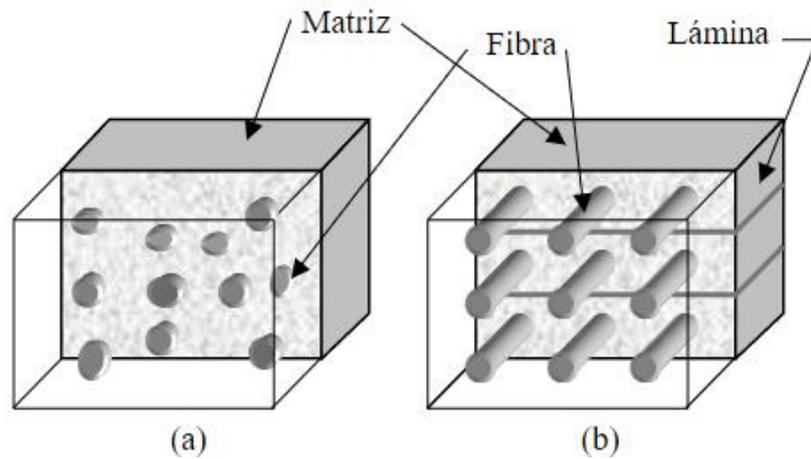
Aluminio reforzado con carburo de silicio: Utilizado para partes de motores de combustión interna (Hernández & García, 2010).

4.6. Refuerzo

El concepto de refuerzo en los materiales compuestos es la adición de elementos que mejoran las propiedades y características de una matriz determinada. Estos refuerzos pueden manifestarse en forma de partículas, fibras o elementos estructurales, cada uno destinado a fortalecer y potenciar las cualidades inherentes del material base (Pontón & Guerrero, 2010). El refuerzo puede ser en forma de partículas o fibras. Cuando las partículas son más pequeñas, la distribución se vuelve más homogénea. De manera similar, al aumentar la relación longitud/diámetro de las fibras, se logra una distribución más uniforme. La mayor parte de fibras son resistentes, rígidas y de peso liviano. Pueden ser continuas o discontinuas; las continuas son muy largas ofreciendo un camino continuo donde la parte compuesta puede llevar la carga y las discontinuas son de longitudes cortas (Iza, 2017).

Ilustración 5

Materiales compuestos reforzados con partículas y reforzados con fibras.



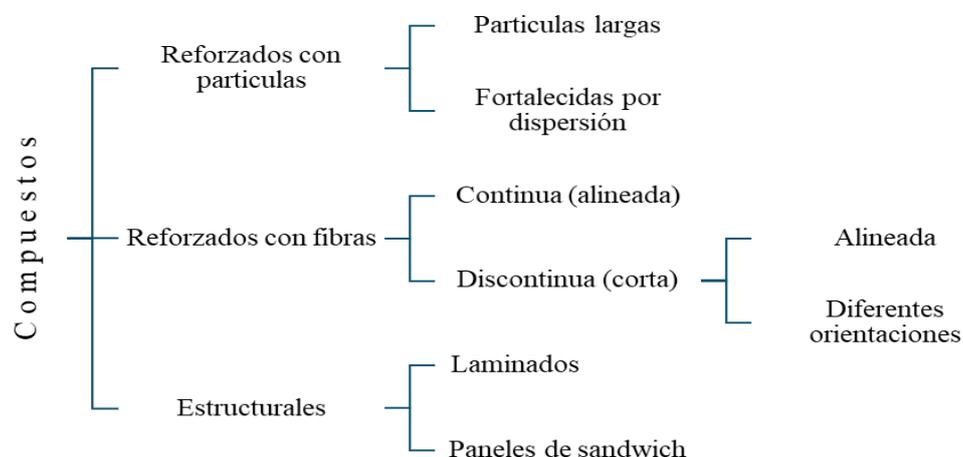
Nota: En la ilustración a), podemos observar un compuesto con refuerzo de partículas, mientras que en la ilustración b), se muestra un compuesto con refuerzo de fibra. Fuente: (Arias & Vanegas, 2004).

4.7. Clasificación de los materiales compuestos

De manera general los materiales compuestos se pueden clasificar según el tipo de refuerzo y matriz. Como se mencionó anteriormente un material compuesto de tipo matriz puede ser: metálica, cerámica y polimérica.

Ilustración 6

Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de refuerzo.



Nota: En la ilustración, se observa la clasificación de los materiales compuestos según el tipo de refuerzo presentes en las diferentes aplicaciones. Fuente: (Pontón & Guerrero, 2010)

4.8. Materiales compuestos Reforzados por partículas

Las partículas de refuerzo tienen la tendencia de limitar el movimiento de la matriz en la cercanía de cada partícula. En consecuencia, la matriz transfiere una porción del esfuerzo aplicado a las partículas, las cuales asumen una fracción de la carga.

Es importante destacar que, debido a la dispersión aleatoria de los materiales de refuerzo, estos compuestos exhiben una mayor isotropía en comparación con los reforzados por fibras (Iza, 2017). Según los autores Pontón y Guerrero, los compuestos reforzados con partículas largas (grandes) es más dura y rígida que la matriz. Por lo que, la matriz en parte transfiere esfuerzo a las partículas las cuales soportan la carga. Sin embargo, esta va a depender mucho de la adhesión matriz-partículas. Estos compuestos

son utilizados con matrices cerámicas, metálicas, poliméricas que se habían mencionado anteriormente (Pontón & Guerrero, 2010).

Por otro lado, a diferencia de los compuestos con partículas grandes, los de dispersión suelen ser de tipo metálico (óxidos metálicos). En estos casos, las interacciones entre las partículas y la matriz ocurren a nivel atómico o molecular. En contraste, con partículas grandes, es la matriz la que soporta la mayor parte de la carga aplicada (Pontón & Guerrero, 2010).

4.9.Elementos estructurales

Este material se compone de elementos compuestos por regiones homogéneas, cuyas propiedades no sólo están determinadas por sus constituyentes individuales, sino también por la configuración y geometría del diseño adoptado por el componente a formar. Entre las variantes estructurales más prevalentes se encuentran las laminadas y las estructuras de tipo sándwich. Un compuesto laminar está formado por láminas con diferentes direcciones preferenciales de alta resistencia de tal manera que la orientación va en cada capa (Salinas & Mesias, 2020).

Los materiales que tienen capas delgadas de recubrimiento unidas a un material ligero de relleno, se le conoce compuesto tipo sándwich como una espuma de polímero (Salinas & Mesias, 2020).

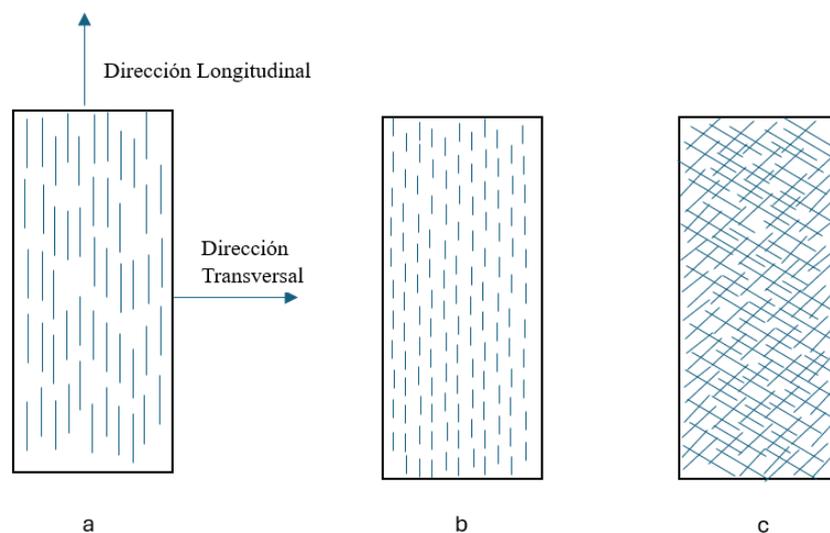
4.10. Materiales compuestos reforzados con fibra

Los materiales reforzados con fibra larga tienen la ventaja que estos adquieren una gran resistencia a la tracción al estar conformados por filamentos muy delgados. Cabe recalcar que en varios casos las fibras son las encargadas de soportar cargas. La forma, tamaño, orientación y distribución de las fases usadas como refuerzos son aspectos importantes para controlar la propiedad del compuesto (Radeva, 2006).

Conforme a las investigaciones de (Rocha-Hoyos et al., 2019), mencionan que las propiedades definitivas de los materiales compuestos están intrínsecamente ligadas a las características de sus componentes primarios: la matriz, la interfaz y el refuerzo. En este último aspecto, se considera la forma, tamaño, orientación y distribución del refuerzo. Asimismo, se destaca que una de las principales combinaciones de materiales compuestos son los reforzados con fibra, debido a que presentan notables propiedades mecánicas, resistencia a la tracción y un elevado módulo específico (Rocha-Hoyos et al., 2019). En la siguiente ilustración 7, presentamos las orientaciones de un material compuesto.

Ilustración 7

Orientaciones de refuerzo en un material compuesto.

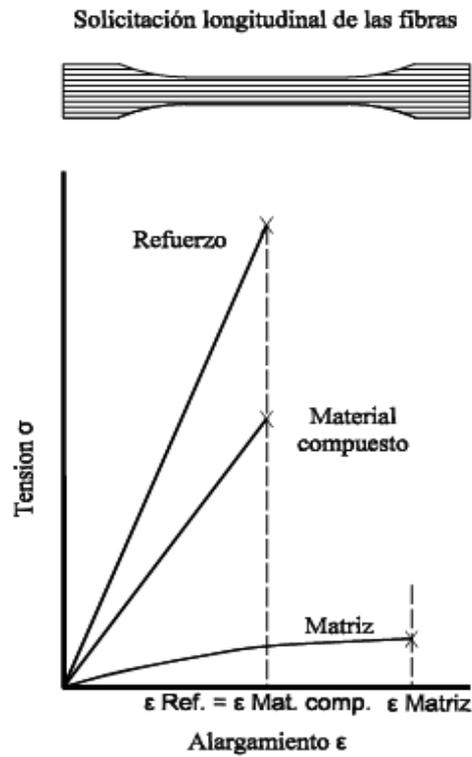


Nota: posibles orientaciones de refuerzos en un material compuesto: a) fibras continuas y alineadas, b) fibras discontinuas y alineadas, c) fibras discontinuas ubicadas de manera aleatoria. Fuente: (Rocha-Hoyos et al., 2019)

4.11. Tipos de orientación de las fibras

Ilustración 8

Orientación longitudinal de la fibra.

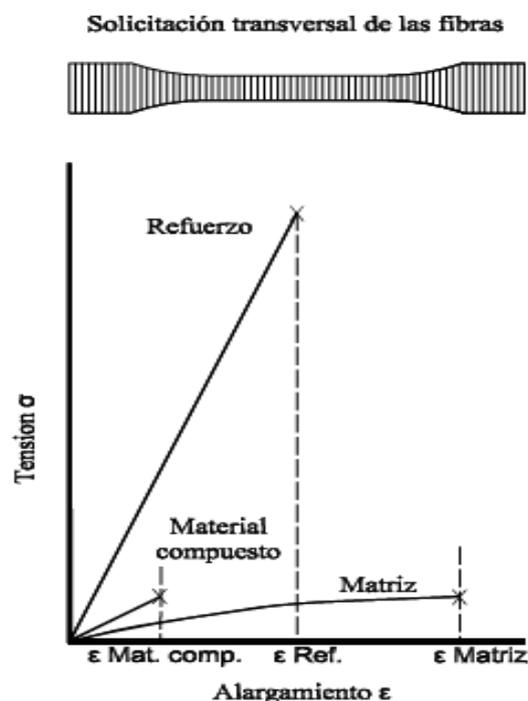


Nota: Orientación longitudinal de la fibra. Fuente: (Besednjak, 2009).

En la ilustración con orientación longitudinal, podemos ver que está constituida por refuerzos unidireccionales y sometidos a tracción en el sentido de las fibras de refuerzo, sin embargo, la resistencia de las fibras de refuerzos va ligeramente disminuyendo.

Ilustración 9

Orientación Transversal de la fibra.



Nota: Orientación transversal de la fibra. Fuente: (Besednjak, 2009).

En el diagrama presentado por la ilustración con orientación transversal de la fibra, se somete al material a un esfuerzo de tracción transversal a la dirección de las fibras. Observamos que, en esta disposición, las propiedades de resistencia del nuevo material muestran una disminución significativa.

4.12. Fibra de Abacá

En La fibra natural utilizada como materia prima para la elaboración de las probetas es el Abacá. Como se mencionó anteriormente, esta fibra presenta una resistencia a la flexión específica comparable a la de las fibras de vidrio y una resistencia a la tracción superior a la del nailon y el rayón.

Ilustración 10*Fibra de Abacá*

Nota: Este material fibroso constituye la materia prima empleada en la fabricación de las probetas. Fuente: Autores.

4.13. Clases de fibra de Abacá

Según el estudio realizado por Peña, la planta de abacá ofrece cinco distintas clases, cada una con características únicas, la fibra se extrae del tallo de la planta de Abacá. Tras el procesamiento adecuado, este tallo se transforma en fibra vegetal, disponible en diversas calidades que se detallarán a continuación (Anchundia, 2014).

Ilustración 11*Planta de Abacá*

Nota: Planta de la familia del plátano (Cáñamo de Manila), de donde se extrae la fibra de Abacá. Fuente: (Peña, 2014)

Clase I: Esta fibra se origina de las vainas situadas más cerca del centro del tallo. Su color oscila entre un marfil claro y un ocre claro, a menudo mezclado con tonos de marfil blanco.

Clase II: Esta fibra se origina de las vainas adyacentes al tallo. Sin embargo, su color se distingue por variar entre un amarillo claro y un marrón claro.

Clase III: Esta fibra se origina de las vainas adyacentes a las ubicadas en el centro del tallo. Se distingue por su color, que varía entre un ocre claro y un marrón claro, con un leve matiz de rojo o morado claro.

Clase IV: La fibra de esta calidad se origina de las vainas adyacentes a las vainas externas. Su color generalmente es una mezcla de blanco sucio o marrón claro, con manchas de verde claro o marrón opaco.

Clase V: Esta fibra se origina en las vainas externas del tallo, y su color puede variar entre rojo oscuro, morado o marrón oscuro. A partir de esto, se infiere que la fibra utilizada en este proyecto pertenece a la clase I, como se muestra en la ilustración 2 que describe la calidad de la fibra.

Ilustración 12

Fibra de Abacá de clase I.



Nota: Se ilustra la calidad de la fibra utilizada para la elaboración de las probetas.

Fuente: Autores.

4.14. Propiedades de la fibra de Abacá

La fibra de Abacá, es de origen de las Filipinas, su producción se acopla a los climas trópicos húmedos, esta fibra se obtiene de la vaina de la hoja compuesta por células largas y delgadas, su color es habano claro, fino y brillante, posee gran valor económico para la industria textil gracias a sus propiedades de resistencia mecánica, flotabilidad, resistencia al daño por agua salada y gran longitud. Las buenas propiedades de la fibra de Abacá como: la resistencia mecánica, el brillo, la flexibilidad y la durabilidad y debido a todas sus excelentes propiedades que nos ofrecen se vuelven fácilmente reemplazables con las diferentes fibras sintéticas (Araya Gutierrez et al., 2023).

Según el autor Páez las fibras están constituidas por celulosa, hemicelulosa y lignina. Su estructura se encuentra formada por proteínas, ceras, resinas y algunos productos orgánicos. Esto va a variar según el tipo de especie de planta (Páez, 2007).

Tabla 2*Composición química de la fibra de Abacá*

Componente	proporción (Peso %)
Celulosa	63-68
Hemicelulosa	19-20
Lignia	5-6
Grasa y cera	<1
Solubilidad en agua	1-2

Nota: en la presente tabla nos proporcionan datos referentes a la composición química de la fibra de abacá. Fuente: (Araya Gutiérrez et al., 2023).

4.14.1. Celulosa

La celulosa se encuentra en las paredes celulares de las plantas y es uno de los componentes principales de la fibra vegetal. Está formada por largas cadenas de glucosa y proporciona rigidez y resistencia a las células vegetales, permitiendo la estructura y el soporte de la planta. Estas cadenas de celulosa cumplen la función de microfibras, filamentos largos y delgados con una orientación determinada (Salazar, 2010).

Tabla 3*Propiedades de la celulosa con respecto a la fibra natural.*

Fibra con alto contenido de celulosa	
Ventajas	Desventajas
Mayor capacidad de absorción de humedad	Baja resiliencia
Soportar altas temperaturas	Daños por ácidos minerales y orgánicos

Bajo volumen	Alta flamabilidad
Buen conductor de la electricidad	Resistencia moderada a la luz solar

Nota: en la presente tabla nos proporcionan ventajas y desventajas de la celulosa con respecto a la fibra natural. Fuente: (Salazar, 2010).

4.14.2. Hemicelulosa

La hemicelulosa se encuentra en las paredes celulares de las plantas, junto con la celulosa. A diferencia de la celulosa esta es de menor masa molecular. La hemicelulosa también puede tener funciones de almacenamiento de energía y ayudar en la absorción de agua también presenta mayor facilidad para su extracción y descomposición (Páez, 2007).

4.15. Características de la fibra de Abacá

Tabla 4

Propiedades químicas y mecánicas de la fibra de Abacá.

Propiedades de la fibra de Abacá	
Densidad (g/cm ³)	1.5
Resistencia a la tracción (MPa)	400-1300
E- modulo (GPa)	45.000
Modulo específico (E/densidad)	30
Maxima Flexión (MPa)	100
Elongación a rotura	2.7

Nota: Esta tabla nos brinda información de las propiedades químicas y mecánicas que posee la fibra de abacá. Fuente: (Araya Gutiérrez et al., 2023).

4.16. Protocolo de pruebas aplicables a materiales compuestos

Tabla 5

Protocolos de pruebas convencionales aplicables en materiales compuestos.

Normativas	Especificaciones
ASTM D790	Método de ensayo estándar para propiedades de flexión de plásticos no reforzados, reforzados y materiales eléctricos.
ASTM D2344/ D2344 M	Método de ensayo estándar para la resistencia al corte de haz corto de materiales compuestos de matriz polimérica y sus laminados.
ASTM D3039- 08/D3039 M	Método de ensayo estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica.
ASTM D3410/D 3410 M	Método de ensayo estándar para propiedades de compresión de materiales compuestos de matriz polimérica con sección de calibre no soportado por carga de corte.
ASTM D3479/D 3479 M	Método de ensayo estándar para la fatiga tensión-tensión de materiales compuestos de matriz polimérica
D 4255/D 4255 M	Guía estándar para probar las propiedades de corte en el plano de los laminados compuestos.

Nota: Se presentan los diferentes métodos de ensayos que se pueden realizar en materiales compuestos (Villa Rosero, 2018).

4.17. Normativas para la fabricación de probetas ASTM D3039-08

Debido a que los materiales compuestos no se comportan de la misma manera, para la elaboración de las probetas optamos por la normativa ASTM D3039-08, el cual, esta se encarga de determinar los valores característicos elásticos. Esta normativa específica procedimientos para realizar ensayos de tracción en materiales laminados por lo cual es crucial para determinar propiedades como la resistencia a la tracción y modulo elástico (Designation, 2007).

En la tabla 6, presentamos los parámetros utilizados en los ensayos según la normativa ASTM D3039 (Cadena Paspuezán, 2023).

Tabla 6

Características y parámetros utilizados en los ensayos de tracción según la normativa ASTM D3039.

Características - Parámetros	Valor
Medidas y tolerancias establecidas de las probetas	Ancho: $25 \pm 1\%$ [mm] Largo: 250 [mm] Espesor: $2,5 \pm 4\%$ [mm]
Distancia establecida para medir deformación	50 [mm]
Velocidad de ensayo	2 [mm/min]

Nota: Esta tabla nos indica las características y parámetros que se utilizan para realizar ensayos de tracción, según la normativa ASTM D3039. Fuente: (Cadena Paspuezán, 2023).

En materiales compuestos el comportamiento difiere significativamente, por lo que la normativa ASTM D3039 también se enfoca en caracterizar las rupturas de las

probetas mediante ensayos de tracción, lo que nos permite una mejor clasificación de sus propiedades.

4.17.1. Tipo de fallos según la normativa ASTM D33039-08

El tipo de fallo se refiere a la manera en que una probeta o material se fractura o falla bajo una carga específica, indicando la naturaleza y el mecanismo de la fractura. En ensayos de tracción, el tipo de fallo es crucial para entender las propiedades mecánicas del material y su comportamiento ante fuerzas aplicadas.

Tabla 7

Tipos de fallos normativa ASTM D3039

Primera letra	Código
Angular	A
Borde Delaminacion	D
Mordaza/tab	G
Lateral	L
Modo multiple	M(xyz)
A lo largo	S
explosivo	X
Otro	O

Nota: Códigos de los tipos de fallo de materiales compuestos mediante ensayos de tracción según la normativa ASTM D3039-08. Fuente: (Villa Rosero, 2018).

4.17.2 Área de falla según las normativas ASTM D3039-08

El área de fallo es la región dentro de una probeta de ensayo donde se produce la fractura cuando se somete a una carga de tracción. Esta área es de especial interés porque suele

ser el punto de mayor concentración de tensiones, donde las propiedades mecánicas del material, como la resistencia y la ductilidad, son puestas a prueba.

Tabla 8

Áreas de fallos

Primera letra	Código
Dentro de la mordaza	A
En mordaza/tab	D
1W desde mordaza/tab	G
Zona de calibracion	L
Múltiples áreas	M(xyz)
Varios	S
Desconocidos	X

Nota: Códigos de las áreas de fallo de materiales compuestos mediante ensayos de tracción según la normativa ASTM D3039-08. Fuente: (Villa Rosero, 2018).

4.17.3 Ubicación de fallo según la normativa ASTM D3039-08

La normativa ASTM D3039 requiere que se registre la posición exacta de la falla en relación con la longitud de la probeta. Esto se hace para asegurar que la fractura no ocurra en una zona con defectos preexistentes o anomalías geométricas.

Tabla 9

Ubicación de fallo

Primera letra	Código
Dentro de la mordaza	A

En mordaza/tab	D
1W desde mordaza/tab	G
Zona de calibracion	L
Múltiples áreas	M(xyz)
Varios	S
Desconocidos	X

Nota: Códigos de las ubicaciones de fallo de materiales compuestos mediante ensayos de tracción según la normativa ASTM D3039-08. Fuente: (Villa Rosero, 2018).

5.CAPÍTULO 2: PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN

En el presente capítulo se describe el procedimiento para la fabricación de probetas compuestas de fibra de Abacá y resina epoxi. Además, se detallarán las pruebas de tracción realizadas en los laboratorios de ensayos destructivos en la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca.

5.1 Fibra de Abacá

La materia prima empleada para la elaboración de las probetas es la fibra natural de Abacá. Anteriormente se ha señalado que esta fibra posee una resistencia específica a la flexión que es comparable con las fibras de vidrio y una resistencia a la tracción superior a la del nylon y rayón.

5.2 Selección del refuerzo: Fibra de Abacá

La Fibra de Abacá se clasifica en cinco categorías distintas, cada una con características singulares, como se detalló en el capítulo anterior. La fibra se obtiene a partir del tallo de la planta de Abacá mediante un proceso meticuloso que incluye varias etapas. Primero, se procede el talado del tallo, seguido del tuxeado o selección del tallo. Luego, se lleva a cabo el desfibrado, un proceso crítico para obtener un material de calidad al eliminar el exceso de residuos. Posteriormente, la fibra pasa por un proceso de secado y curado, asegurando su preparación para la etapa final de comercialización y adecuado para múltiples usos en el mercado.

A partir de esto, se infiere que la fibra empleada en este proyecto pertenece a la clase I debido a sus características distintivas que posee.

5.3 Selección de la Matriz: Resina Epoxi

La matriz empleada para la fabricación de las probetas es la resina Epoxi Wesco Dura Quarz Cast-1, en la siguiente imagen se muestra la resina a implementar.

Ilustración 13

Resina Epoxi Wesco Dura Quarz Cast-1.



Nota: Resina Epoxi, compuesto químico polimérico empleado en la fabricación de las probetas. Fuente: Autores.

Esta matriz polimérica pertenece a la familia de los termoestables, lo que implica que su forma final se determina mediante una reacción química y no puede revertirse a su estado original. Por lo tanto, se considera no reciclable. A continuación, presentaremos las propiedades que nos brinda este compuesto.

Tabla 10*Propiedades de la resina Wesco Dura Quarz Cast-11.*

Marca	WESCO DURA QUARZ CAST-11
Apariencia	transparente
Relación de mezcla (% v/v)	1:1
Tiempo de trabajo de la resina (min)	30-35 min a 25 °C
Tiempo de curado (h)	3-4 min a 25 °C
Tiempo de secado (h)	12-14 a 25 °C
Espesor máximo de aplicación (cm)	1-2 cm
Dureza (shore D)	84
Densidad (g/cm ³)	1.1
Viscosidad de la mezcla (cp)	2000 a 3000 a 25 °C

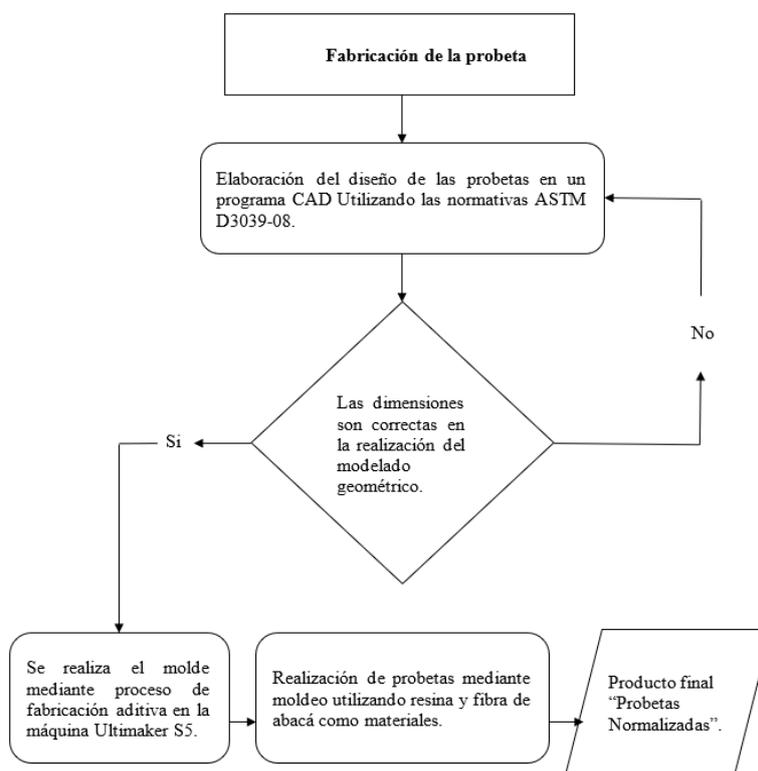
Nota: En la siguiente tabla nos indica las propiedades que nos brinda la resina Wesco Dura Quarz Cast-11 Fuente: Autores.

5.4. Diagrama experimental

El diagrama experimental muestra los procedimientos para la elaboración de probetas utilizando un material compuesto ecuatoriano. Resaltando la importancia de cada paso para asegurar la calidad y consistencia del material final.

Ilustración 14

Diagrama experimental detallado para la elaboración de probetas.



Nota: El presente diagrama de flujo nos indica el proceso para la elaboración de probetas utilizando fibra de abacá y resina epoxi. Fuente: Autores.

5.5. Equipos de medición

El Laboratorio de Ensayos Destructivos de la Universidad Politécnica Salesiana proporcionó equipos específicos para la caracterización dimensional de las probetas en el estudio de materiales compuestos. Se incluyen instrumentos especializados para la determinación precisa de dimensiones como longitud, anchura, espesor y masa de cada probeta normalizada. A continuación, se detallan los instrumentos utilizados.

Tabla 11*Instrumentos de medición y sus especificaciones técnicas.*

Equipos de medición	Especificaciones	Técnicas
Calibrador digital Insize 1108-200	Producto	Digital Caliper
	Modelo	1108-200
	Rango máximo y mínimo de medición	0 mm- 200mm/0 in- 8 in
	Resolución	0.01 mm
Flexómetro Tough Case 3m	Marca	Stanley
	Modelo	STHT 30504
	Precisión	1 mm
Balanza de precisión Trumax Mix One- Mix zero	Marca	Trumax
	Modelo	Mix one
	Capacidad	3000 g
	Carga mínima	2 g
	Unidades de medición	Pcs/g/kg

Nota: A continuación, se presentan los equipos de medición utilizados, acompañados de sus especificaciones técnicas detalladas. Fuente: Autores.

5.6.Designación y Geometría de probetas

Se fabricaron quince probetas con diversas geometrías constructivas conforme a la normativa ASTM D3039-08, que especifica geometrías estándares para ensayos de tracción en materiales compuestos. Las probetas se prepararon con orientaciones longitudinales (0°), inclinadas (45°) y aleatorias ($\pm 45^\circ$). Cada capa de fibra de abacá se impregnó uniformemente con resina epoxi en una proporción de 60% de fibra de abacá y

40% de resina. A continuación, se presenta en la siguiente tabla las designaciones y geometrías de las probetas.

Tabla 12

Características de probetas según ASTM D3039-08 con orientaciones de fibra de abacá a 0°, 45° y ±45°, impregnadas con resina epoxi (60% fibra de abacá, 40% resina).

Designación	N° de capas	Orientación (grados)	Fracción volumétrica del refuerzo (v/v)	Fracción volumétrica de la matriz (v/v)	Cantidad de probetas (unidades)
PL#	2	0°	60%	40%	5
PI#	2	45°	60%	40%	5
PA#	2	±45°/	60%	40%	5

Nota: La tabla presenta las características precisas de las probetas fabricadas conforme a ASTM D3039-8, especificando las orientaciones de fibra de abacá (0°, 45°, ±45°) y la proporción de resina epoxi utilizada (60% fibra de abacá, 40% resina). Fuente: Autores.

5.7.Arquitecturas de las probetas

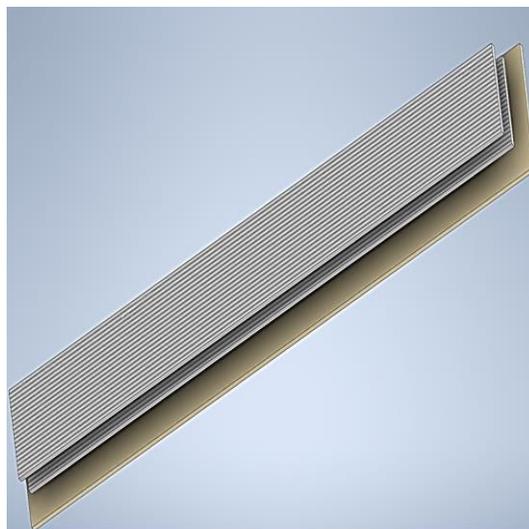
Las arquitecturas de las probetas abarcan configuraciones estructurales y geométricas específicas, como la orientación controlada de las fibras de abacá y la distribución uniforme de la resina epoxi. Estas variables determinan directamente propiedades mecánicas clave como la resistencia, rigidez y tenacidad del material compuesto.

5.8. Configuración de fibras longitudinales (0°)

Para el análisis de las probetas, se opta por una nomenclatura que facilita la interpretación precisa de datos y resultados, minimizando errores. La configuración de "PL#" designa: "P" para probeta, indicando la muestra específica destinada a ensayos; "L" para longitudinal, señalando la orientación de las fibras de refuerzo de abacá en la dirección principal; y "#" como un número único que identifica individualmente cada probeta, facilitando la identificación y la organización de cada probeta de manera detallada y ordenada durante los ensayos de tracción.

Ilustración 15

Probetas con orientación longitudinal (0°).



Nota: Probetas con orientación longitudinal. Fuente: Autores.

5.9. Procedimiento de elaboración de las probetas

Estructuración para realizar las capas de fibra: Como etapa inicial del proceso de fabricación, se prepara el área adecuada para la creación de las probetas en diversas direcciones. Se dimensiona el lugar donde van ubicada las fibras, formando un rectángulo

de 250 mm de largo y 25 mm de ancho. Posteriormente, se coloca la cinta aislante invertida en dos lados transversales. Para finalizar el proceso, se fijan los cuatro extremos con cinta y luego se procede a adherir la fibra.

5.10. Realización de las capas de fibra

Una vez que el área ha sido preparada y dimensionada, procedemos a orientar las fibras en dirección longitudinal a 0° , el proceso se realiza de forma manual y esta sería en la misma dirección de la fuerza a la que estará sometida en el ensayo de tracción.

Ilustración 16

Elaboración de las capas de fibra de Abacá.



Nota: Se colocó las fibras de Abacá de manera longitudinal en el espacio dimensionado.
Fuente: Autores.

5.11. Preparación de la resina

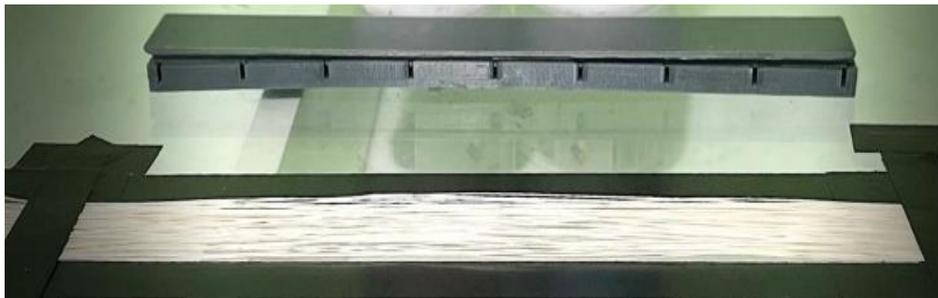
Para la formulación de la resina, se utilizaron 3.8 gr de resina A y 3.8 gr de resina B, sumando un total de 7.6 gr de resina por cada probeta. Después de mezclar homogéneamente estos dos componentes, la resina se aplicó uniformemente sobre cada lámina de fibra de abacá a una proporción de 60% de fibra y 40% de resina.

5.12. Secado

El secado se refiere al proceso de eliminar la humedad de las fibras de abacá antes de su uso en la fabricación de materiales compuestos. Es esencial que las fibras estén completamente secas para asegurar una buena adherencia de la resina epoxi y evitar defecto en el material compuesto final. La temperatura ambiental juega un papel crucial en el proceso de secado, ya que fluctúa considerablemente con el tiempo. En el caso de la muestra expuesta a las condiciones ambientales de la ciudad de Cuenca, la temperatura de secado osciló entre 14 °C y 18 °C. Inicialmente, se requerían 48 horas para alcanzar un secado completo de la fibra. Sin embargo, debido a las bajas temperaturas registradas, el tiempo de secado se extendió hasta 78 horas.

Ilustración 17

Proceso de secado.



Nota: Se colocaron las probetas en los moldes, con la finalidad de que se compacten bien las fibras, el tiempo de secado tuvo una duración de 12 horas. Fuente: Autores.

5.13. Curado

El curado es el proceso químico mediante el cual la resina experimenta una transformación molecular. La resina epoxi endurece y se convierte en una matriz sólida

y rígida. Para lograr un curado adecuado, la mezcla entre los dos agentes químicos debe ser homogénea. El tiempo necesario para el curado varía según el tipo de resina, en este caso, se requiere un reposo de 12 horas a una temperatura ambiente aproximadamente de 14 °C a 18 °C. Durante el curado, la resina epoxi reacciona químicamente formando enlaces cruzados que proporcionan la rigidez y resistencia necesaria para el material compuesto.

Posteriormente a este proceso, se retiran las fibras sobrantes utilizando un estilete y se colocan en los moldes previamente preparados.

Ilustración 18

Proceso de curado



Nota: Proceso de secado de probeta fabricada con resina epoxi y fibra de Abacá. Fuente: Autores.

5.14. Probetas longitudinales (0°) elaboradas.

Se presentan las cinco probetas longitudinales elaboradas, identificadas como "PL#". Como se muestra en la imagen adjunta, las probetas han sido preparadas meticulosamente para los ensayos de tracción, siguiendo los estándares ASTM D3039-08.

Ilustración 19

Denominaciones de las probetas.



Nota: *Probetas longitudinales de fibra de abacá. Fuente: Autores.*

5.15. Datos recopilados previo al análisis de cada probeta

Previo a la ejecución de los ensayos de tracción, se procedió a la recopilación de datos dimensionales de las probetas, teniendo en cuenta su longitud, ancho, espesor y peso. Este proceso es crucial para establecer condiciones de trabajo óptimas, asegurar la calidad, precisión y consistencia de los resultados obtenidos en el laboratorio. Además, facilita la calibración adecuada de la máquina de ensayos de tracción, asegurando mediciones confiables y comparables durante todo el proceso experimental.

Tabla 13

Dimensiones de las probetas.

Denominación	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	espesor Gr)
PL1	240.53	23.92	2.98	18.25
PL2	250	23.73	3.06	18.14

PL3	250	24.13	2.97	17.02
PL4	240.8	24.15	2.8	14.46
PL5	250	25.1	3.1	17.14

Nota: Se realizó una toma de datos de las diferentes probetas previo a los ensayos de tracción. Fuente: Autores.

5.16. Ensayos de Tracción

Mediante este ensayo, se determinarán las propiedades mecánicas esenciales de las probetas fabricadas, tales como las fuerzas máximas resistivas y la elongación máxima. El ensayo se llevó a cabo utilizando la máquina Universal Shimadzu AGS-X300 kN en la Universidad Politécnica Salesiana, asegurando la correcta precisión de los resultados. A continuación, presentaremos una serie de pasos específicos en los ensayos realizados.

a) Verificar las condiciones según la normativa: De acuerdo a la normativa ASTM D3039-08 es importante tener en cuenta la temperatura ambiente antes de colocar las probetas. Esto asegurará condiciones estables para los ensayos, permitiendo una evaluación precisa de las propiedades mecánicas de los materiales utilizados.

b) Calibración la Máquina de ensayos:

Para llevar a cabo los ensayos de tracción, se configuró la máquina Shimadzu AGS-X 300 kN con parámetros específicos para garantizar la precisión de los resultados. Se estableció una velocidad de 5 mm/min y una carga aplicada de 400 Newton.

c) Montaje de las probetas: Finalmente, las probetas fueron posicionadas entre las mordazas en el rango de la longitud calibrada que es de 140 mm, y sus puntos de sujeción fueron de 55 mm tanto en la mordaza superior e inferior, garantizando su

centrado y alineación precisa para mitigar cualquier posibilidad de desviación durante la aplicación de la carga. Este procedimiento es crucial para asegurar la precisión de los resultados obtenidos durante los ensayos de tracción.

Ilustración 20

Máquina Universal Shimadzu AGS-X 300 kN.



Nota: Los ensayos de tracción se realizaron en la máquina universal Shimadzu AGS-X 300 kN. Fuente: Autores.

5.17. Identificación Cromática de Probetas Longitudinales.

Se asigna un color específico para cada una de las probetas longitudinales (0°) destruidas en los ensayos de tracción, facilitando la organización y el análisis de los resultados obtenidos. Esta práctica permite una comparación visual precisa, mejorando la interpretación y comprensión de los datos. Cabe mencionar que para las probetas con orientaciones inclinadas (45°) y aleatorias ($(\pm 45^\circ)$), se seguirán esquemas similares de colores que se detallarán en las tablas correspondientes.

Tabla 14

Designación Cromática de las Probetas Longitudinales sometidas a Ensayo de Tracción.

Designación	Orientación Longitudinal	Color	
PL1	0°	Verde	
PL2	0°	Azul	
PL3	0°	Rojo	
PL4	0°	Amarillo	
PL5	0°	Negro	

Nota: Se designaron colores específicos a cada una de las probetas longitudinales sometidas a ensayos de tracción, según la designación cromática establecida. Fuente: Autores.

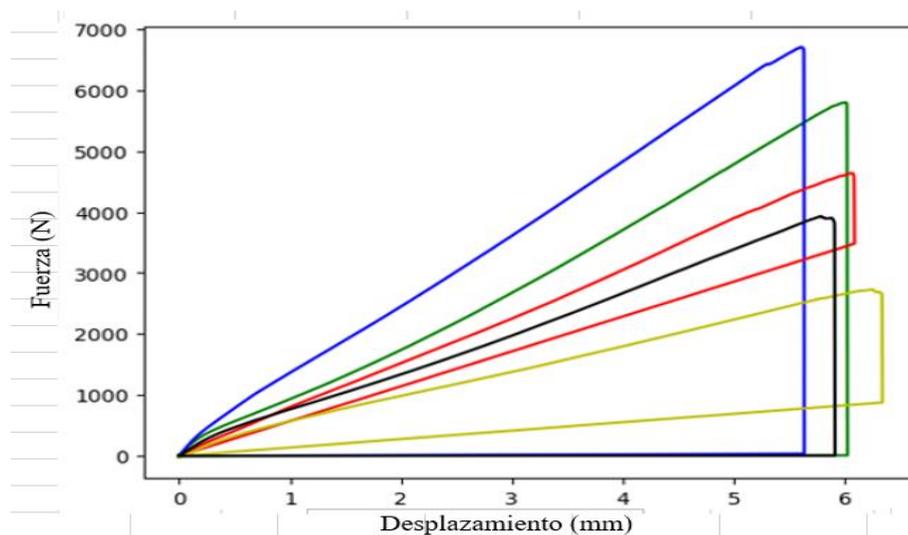
5.18. Análisis Gráfico fuerza-desplazamiento.

Las pruebas de tracción realizadas en probetas con diferentes orientaciones han proporcionado gráficas de fuerza-desplazamiento que son fundamentales para caracterizar el comportamiento mecánico del material bajo carga uniaxial. Estas curvas permiten discernir claramente entre las fases elástica y plástica del material: inicialmente, la relación lineal entre la fuerza aplicada y el desplazamiento refleja su comportamiento elástico, donde el módulo de elasticidad inicial indica la rigidez estructural del material. Posteriormente, en la fase plástica, se observa una deformación permanente del material sin un aumento significativo en la fuerza aplicada, lo cual es crucial para evaluar su capacidad de deformación antes de la fractura. El análisis de estas curvas no solo identifica la resistencia máxima a la tracción del material, sino que también proporciona información detallada sobre su capacidad para resistir cargas extremas. En estas gráficas,

la fuerza se representa en el eje de las ordenadas en Newtons (N) y el desplazamiento en el eje de las abscisas en milímetros (mm). En siguiente ilustración, se presenta la gráfica resultante del ensayo de tracción realizado en las cinco probetas longitudinales.

Ilustración 21

Gráfica Fuerza-Desplazamiento de probetas longitudinales.



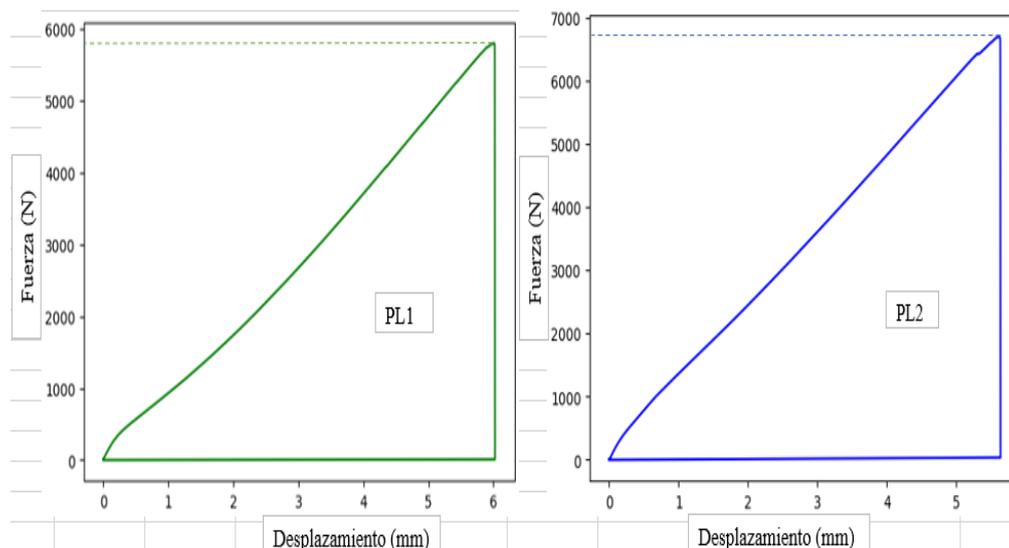
Nota: Gráfica Fuerza-desplazamiento obtenidas en los ensayos de tracción de probetas longitudinales (0°). Fuente: Autores.

5.19. Análisis de tracción y desplazamiento máximo

En la evaluación de las cinco probetas longitudinales, se pueden observar la variabilidad de los diferentes puntos de carga. Analizando el punto de carga de la probeta PL2, nos muestra un esfuerzo de tracción máximo de 6800N con un desplazamiento de 5.8 milímetros. Comparando con los otros puntos como PL1, que resistió 5300 N con 6.2 mm de desplazamiento, lo que indica que estos materiales tienen una alta rigidez y resistencia inicial del material. En la siguiente imagen se puede observar la resistencia máxima a la tracción obtenida tanto para PL1 como PL2.

Ilustración 22

Probetas longitudinales con resistencia máxima a la tracción.



Nota: En la imagen se ilustra las probetas con mayor esfuerzo alcanzado. Fuente: Autores.

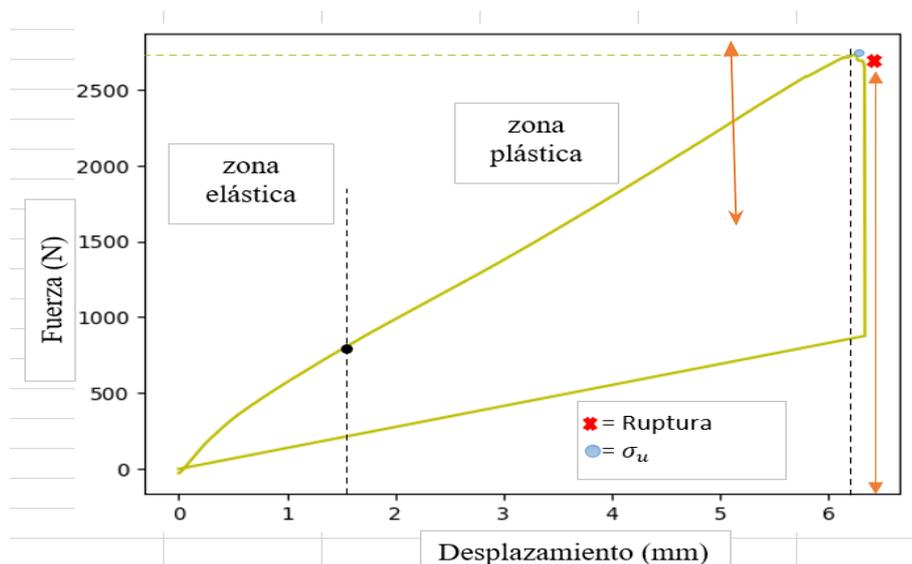
En cuanto a la probeta PL4, la cual presentó un desplazamiento superior de 6.5 mm en comparación con las demás probetas, y soportó la menor carga de 2800 N, se determinó que el material exhibe un mayor porcentaje de ductilidad.

En este material compuesto, la región elástica comienza a partir de 1.5 mm de desplazamiento y 800 Newton de fuerza, caracterizada por una curva de deformación lineal y pronunciada, indicativa de una alta resistencia inicial. Por otro lado, la región plástica abarca desde 1.5 mm de desplazamiento y 800 Newton de fuerza hasta el punto de fractura a 6.4 mm de desplazamiento y 2800 Newton de fuerza. Esta región muestra una considerable capacidad de deformación permanente antes de la fractura, evidenciando la capacidad del material para deformarse plásticamente hasta cierto punto. Finalmente, el punto de ruptura del material se determinó en $\sigma_b = 2600$ Newton y un desplazamiento de 6.4 mm.

A continuación, se presenta el gráfico que muestra las regiones elástica y plástica de la probeta PL4, así como su punto de fractura.

Ilustración 23

Zona de elasticidad y plasticidad del material compuesto PLA.



Nota: En la gráfica se identifican las regiones de comportamiento elástico y plástico del material, además de determinarse su carga última y resistencia a la ruptura. Fuente: Autores.

5.20. Análisis de la constante de rigidez desplazamiento elástico.

El análisis de la constante de rigidez, medida en newton/milímetro, y el desplazamiento elástico, medido en milímetros, proporciona información crucial sobre el comportamiento mecánico de los materiales compuestos. La constante de rigidez permite la evaluación de la capacidad del material para mantener su forma estructural y resistir deformaciones significativas bajo carga. Por otro lado, el desplazamiento elástico indica la capacidad del material para recuperar su forma original después de la aplicación de

cargas, lo cual es fundamental para asegurar su durabilidad y rendimiento a lo largo del tiempo.

Estos parámetros son cruciales para identificar cualquier inconsistencia en el material durante el proceso de manufactura, como problemas en la impregnación de la resina, la orientación de las fibras, o posibles defectos de fabricación.

Para analizar la constante de rigidez de cada una de las probetas se las obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$k = \frac{E \cdot A}{L} \quad (1)$$

En donde:

- K= Constante de rigidez (N/mm)
- E= Módulo elástico (MPa)
- A= Área de la sección transversal (mm^2)
- L=Longitud (mm)

Primero se obtiene el módulo elástico, resultados obtenidos en los ensayos realizados de las diversas muestras longitudinales.

Tabla 15

Valores de módulo de elasticidad.

Probetas normalizadas	PL1	PL2	PL3	PL4	PL5
Módulo elástico (N/mm²)	604.922	887.217	1962.73	1769.61	2622.04

Nota: En la tabla se presentan los valores de módulo elástico obtenidos en las pruebas de ensayos de tracción. Fuente: Autores.

Con la siguiente ecuación calculamos el área de las diferentes muestras longitudinales.

$$\text{Área} = \text{Base} \cdot \text{Altura} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (2)$$

A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 16

Valores de las áreas calculadas.

Probetas	PL1	PL2	PL3	PL4	PL5
normalizadas					
<i>Área (mm²)</i>	71.282	72.614	71.67	67.620	77.81

Nota: Área calculada para cada una de las probetas normalizadas. Fuente: Autores.

Finalmente, se procede con el cálculo de la constante de rigidez para las diversas muestras longitudinales.

$$K_{L1} = \frac{E \cdot A}{L}$$

$$K_{L2} = \frac{E \cdot A}{L}$$

$$K_{L1} = \frac{604.922 \cdot 71.282}{240.53}$$

$$K_{L2} = \frac{887.217 \cdot 72.614}{250}$$

$$K_{L1} = 179.271 \text{ N/mm}$$

$$K_{L2} = 257.698 \text{ N/mm}$$

$$K_{L3} = \frac{E \cdot A}{L}$$

$$K_{L3} = \frac{1962.73 \cdot 71.67}{250}$$

$$K_{L3} = \mathbf{562.675 \text{ N/mm}}$$

$$K_{L4} = \frac{E \cdot A}{L}$$

$$K_{L4} = \frac{1769.61 \cdot 67.620}{240.8}$$

$$K_{L4} = \mathbf{474.154 \text{ N/mm}}$$

$$K_{L5} = \frac{E \cdot A}{L}$$

$$K_{L5} = \frac{2622.04 \cdot 77.81}{250}$$

$$K_{L5} = \mathbf{816.084 \text{ N/mm}}$$

Tabla 17

Valores de la constante de rigidez calculados.

PL1	k = 179.27 N/mm
PL2	k = 257.7 N/mm
PL3	k = 562.64 N/mm
PL4	k = 517.51 N/mm
PL5	k = 816.08 N/mm

Nota: Constante de rigidez obtenidas de las diferentes probetas longitudinales. Fuente: Autores.

De acuerdo a los resultados. PL1 y PL2 presentan una menor rigidez entre todas las probetas evaluadas, lo que sugiere una menor capacidad de resistir deformaciones bajo

carga. Mientras tanto, PL5 exhibe la mayor rigidez entre todas las probetas evaluadas. Esto indica una sección transversal grande o un material extremadamente rígido.

5.21. Cálculo del desplazamiento elástico

El desplazamiento elástico se calcula principalmente para evaluar la respuesta del material ante cargas aplicadas dentro de su rango elástico.

Fórmula:

$$\delta \text{ elástico} = \frac{F}{K} \quad (3)$$

En donde:

F= Fuerza Máxima que soporta la probeta antes de la fractura(N)

K= Constante de rigidez (N/mm)

Con los datos proporcionados en los ensayos de la fuerza máxima que soporta la probeta y la constante de rigidez ya calculada, podemos obtener el desplazamiento elástico.

Tabla 18

Valores de desplazamiento elástico obtenidos.

PL1	29.564 mm
PL2	26.387 mm
PL3	8.353 mm
PL4	5.411 mm
PL5	4.889 mm

Nota: Valores de desplazamiento elástico obtenidos de las diferentes probetas longitudinales. Fuente: Autores.

Mediante el análisis de los resultados obtenidos, se puede establecer que PL1 y PL2 presentan el mayor desplazamiento elástico, lo que indica que son materiales con mayor deformación elástica sin sufrir daños permanentes o fractura, además estos materiales compuestos son menos rígidos entre las probetas evaluadas. Su capacidad para resistir deformaciones bajo carga es la más baja. En contraste, PL3, PL4 y PL5 muestran una mayor rigidez, destacando PL5 como el material compuesto más rígido.

5.22. Cálculo del esfuerzo de cada una de la probeta longitudinal.

Este cálculo se llevará a cabo con el fin de determinar la máxima tensión que un material puede resistir antes de alcanzar su punto de fallo.

Utilizaremos la siguiente fórmula:

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A} \quad (4)$$

En donde:

- P_u = Carga última aplicada (N)
- A = Área de la sección (mm^2)

A continuación, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 19

Valores de los esfuerzos últimos obtenidos

PL1	74.353 (MPa)
PL2	93.64 (MPa)

PL3	65.578 (MPa)
PL4	41.408 (MPa)
PL5	51.279 (MPa)

Nota: Valores de esfuerzo obtenidos en las probetas analizadas. Fuente: Autores

La alta resistencia de PL2 sugiere que este material puede soportar tensiones significativas sin fallar. Esto lo hace adecuado para estructuras que requieren una alta capacidad de carga y resistencia. Aunque PL1 tiene una resistencia menor que PL2, aún ofrece una resistencia moderada que puede ser suficiente para muchas aplicaciones. Es adecuado para usos donde se requiere un compromiso entre resistencia y flexibilidad.

5.23. Configuración de probetas longitudinales

La normativa ASTM D3039-08 es esencial para realizar pruebas de tracción estandarizadas en materiales compuestos reforzados con fibra. La prueba de tracción según la normativa ayuda a identificar los modos de fallas de los materiales compuestos, tales como fractura frágil, fractura dúctil, delaminación, rupturas de fibras, etc.

PL1: Configuración de fallos basado en la normativa técnica ASTM D3039-08

La probeta 'LGM' se utiliza debido a que nos indica un tipo de fallo que ocurre en la zona lateral de la probeta, entre las áreas donde están sujetas las mordazas. Esta designación indica que el área de fallo se localiza en la zona cercana al extremo superior donde está sujeta la probeta para realizar el ensayo, en la zona de calibración. La ubicación de falla se encuentra cercana a la sección media de la probeta.

Ilustración 24

Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción.



Nota: Fractura de la probeta PL1, luego del ensayo de tracción. Fuente: Autores.

PL2: Configuración de fallos basado en la normativa técnica ASTM D3039-08

Este código 'LGT' indica que el tipo fallo se produce en la zona lateral de la probeta, específicamente entre las áreas donde están sujetas las mordazas. El área de fallo se encuentra cercano del extremo superior donde está sujeta la probeta para el ensayo (área de calibración, y la ubicación del fallo se encuentra cercana a la zona media de la probeta.

Ilustración 25

Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción.



Nota: Fractura de la probeta PL2, luego del ensayo de tracción. Fuente: Autores.

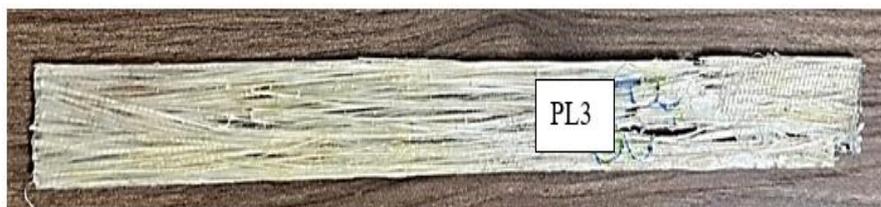
PL3: Configuración de fallos basado en la normativa técnica ASTM D3039-08

Este código 'SGT' señala que el tipo fallo ocurre a lo largo de las direcciones de las fibras. El área de fallo ocurrió en la región donde las mordazas sujetan la probeta para

el ensayo (zona de calibración), mientras que la fractura se localiza en la parte superior de la probeta, lo que indica que la fibra y resina en esta práctica no tuvieron un curado o secado correcto de 48 horas o no estuvieron expuesta a temperaturas ambientes que oscilan entre los 14°C a 18 °C (No obtuvieron una correcta adhesión entre fibra y resina).

Ilustración 26

Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción.



Nota: Fractura de la probeta PL3, luego del ensayo de tracción. Fuente: Autores.

PL4: Configuración de fallos basado en la normativa técnica ASTM D3039-08

Este código ‘SGT’ al igual que la probeta PL3, su tipo de fallo se da a lo largo de las orientaciones de las fibras , el área de fallo se produce en la zona de calibración de las mordazas y la ubicación se da en la parte superior de la probeta. Esto se debe a una incorrecta adhesión entre el material fibra-resina.

Ilustración 27

Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción.



Nota: Fractura de la probeta PL4, luego del ensayo de tracción. Fuente: Autores.

PL5: Configuración de fallos basado en la normativa técnica ASTM D3039-08

La designación 'GWT' se debe a que la probeta presenta una falla muy próxima a la mordaza superior, comenzando su área de falla desde este punto y ubicándose en la parte superior de la probeta.

Ilustración 28

Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción.



Nota: Fractura de la probeta PL5, luego del ensayo de tracción. Fuente: Autores.

En los ensayos realizados, los tipos de fallos observados en las probetas mencionadas se muestran a continuación.

Tabla 20

Tipo de fallos de las probetas.

<i>Designación del ensayo</i>	<i>Tipo de laminado</i>	<i>Tipo de fallo</i>
PL1	0°	LGM
PL2	0°	LGT
PL3	0°	SGT
PL4	0°	SGT
PL5	0°	GWT

Nota: Tipos de fallos identificados luego de las pruebas de tracción realizadas a las distintas probetas. Fuente: Autores.

5.24. Fracturas de las probetas en los ensayos de tracción

El análisis de los modos de fractura proporcionó información valiosa sobre las propiedades mecánicas del material compuesto y las implicaciones de las fracturas observadas durante los ensayos. Las rupturas de las fibras son indicativas de posibles debilidades en la matriz o problemas de adhesión entre la fibra de abacá y la resina epoxi. Estas fracturas pueden ocurrir debido a que las fibras no soportaron la carga aplicada, resultando en rupturas en direcciones opuestas a las orientaciones de las fibras, o bien, en fallas a lo largo de la orientación de las fibras cuando la carga superó la resistencia máxima de estas. Estos resultados pueden estar relacionados con la calidad de la fibra o con el proceso de impregnación de la resina epoxi. A continuación, se presenta una gráfica de las probetas normalizadas fracturadas luego de haber sometidas a esfuerzos de tracción.

Ilustración 29

Probetas longitudinales fracturadas.



Nota: Probeta fracturadas luego de la realización de los ensayos de tracción. Fuente:

Autores.

5.25. Informe estadístico

A continuación, se presentan los datos estadísticos obtenidos en los ensayos de tracción realizados sobre las probetas de materiales compuestos. Este informe recopila, analiza y presenta datos cuantitativos de manera sistemática para facilitar la interpretación y toma de decisiones. Este análisis tiene como objetivo comprender mejor los resultados obtenidos, evaluando las propiedades mecánicas y la variabilidad de las muestras.

Tabla 21

Datos obtenidos en los ensayos de tracción.

Denominación	M. Elástico Fuerza 10-20 N N/ mm ²	Rotura Fuerza Sensibilidad 10 N	Rotura Tensión Sensibilidad 10 N/ mm ²	Rotura Desplazamiento Sensibilidad 10mm	y Rotura Deformación Sensibilidad 10 %
PL1	604,922	5790,69	81,2367	6,01658	4,29756
PL2	887,217	6676,07	91,9394	5,62743	4,01959
PL3	1962,73	4611,06	64,3409	5,62743	4,34399
PL4	1769,61	2659,27	39,3267	6,33241	4,52315
PL5	2622,04	3838,68	49,3340	5,90491	4,21779

Nota: Datos estadísticos obtenidos en los ensayos de tracción. Fuentes: Autores.

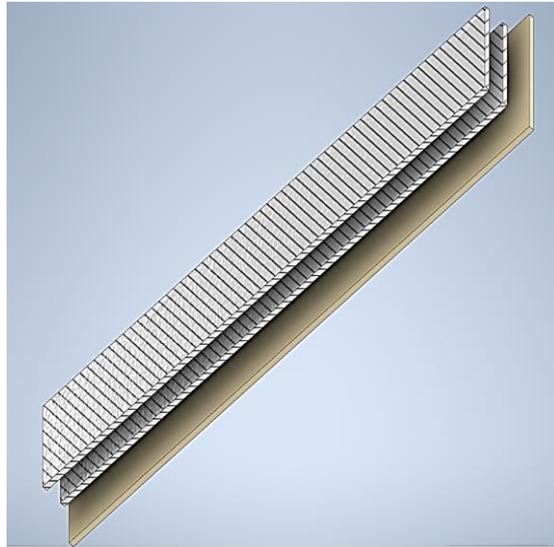
5.26. Configuración de probetas Inclinada a 45 grados.

Para el análisis de las probetas, se opta por una nomenclatura que facilita la interpretación precisa de datos y resultados, minimizando errores. La configuración de "PI#" designa: "P" para probeta, indicando la muestra específica destinada a ensayos; "I" para inclinación, señalando la orientación de las fibras de refuerzo de abacá a 45 grados; y "#" como un número único que identifica individualmente cada probeta, facilitando la

identificación y la organización de cada probeta de manera detallada y ordenada durante los ensayos de tracción.

Ilustración 30

Probetas con orientación a 45 grados.



Nota: Probetas con orientación inclinada a 45 grados. Fuente: Autores.

5.27. Probetas Con orientación a 45 grados elaboradas.

Se presentan las cinco probetas elaboradas con orientaciones de fibra a 45 grados, identificadas como "PI#". Como se muestra en la imagen adjunta, las probetas han sido preparadas meticulosamente para los ensayos de tracción, siguiendo los estándares de la normativa ASTM D3039-08.

Ilustración 31

Denominaciones de las probetas.



Nota: Probetas con orientación a 45 grados. Fuente: Autores.

Datos dimensionales recopilados previo al análisis de cada probeta

Previo a la ejecución de los ensayos de tracción, se procedió a la recopilación de datos dimensionales de las probetas, teniendo en cuenta su longitud, ancho, espesor y peso. Este proceso es crucial para establecer condiciones de trabajo óptimas, asegurar la calidad, precisión y consistencia de los resultados obtenidos en el laboratorio. Además, facilita la calibración adecuada de la máquina de ensayos de tracción, asegurando mediciones confiables y comparables durante todo el proceso experimental.

Tabla 22

Toma de datos de las diferentes probetas.

Denominación	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (Gr)	% Material
PI1	250	24.64	3.15	20.15	60/40
PI2	240.9	24.62	2.8	17.21	60/40

PI3	250	25.16	3	22.34	60/40
PI4	240.9	24.62	2.8	21.18	60/40
PI5	250	24.84	2.12	19.21	60/40

Nota: se realizó una toma de datos de las diferentes probetas previo a los ensayos de tracción.

Identificación Cromática de Probetas Fracturadas con Dirección a 45 Grados.

Tabla 23

Designación Cromática de las Probetas con orientación a 45 grados sometidas a Ensayo de Tracción.

Designación	Orientación	Color	
PI1	45°	Amarillo	
PI2	45°	Celeste	
PI3	45°	Verde	
PI4	45°	Rojo	
PI5	45°	Azul	

Nota: se designó los colores específicos para cada una de las probetas a 45 grados sometidas a los ensayos de tracción. Fuente: Autores.

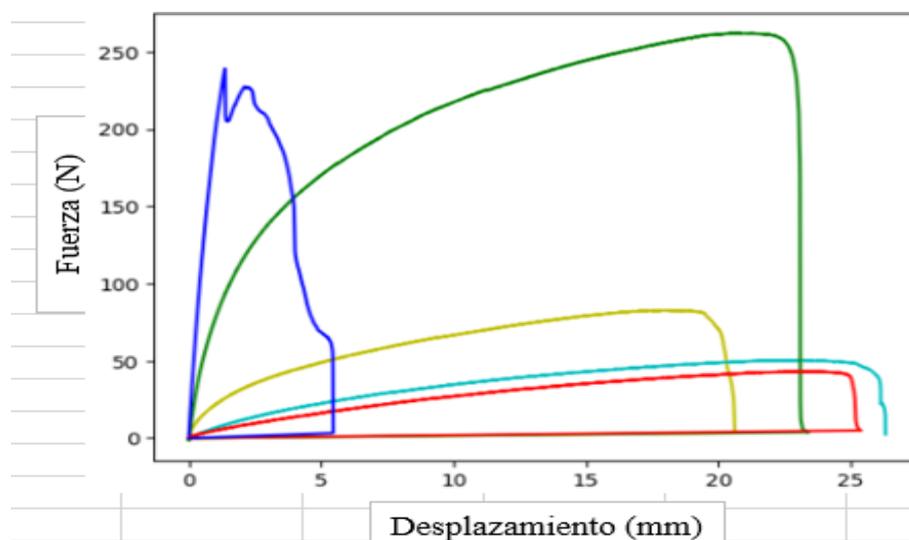
Análisis gráfico Fuerza-Desplazamiento de Probetas con orientación a 45 grados de Fibra de Abacá y Resina Epoxi bajo Ensayo de Tracción.

Las pruebas de tracción en probetas con fibras a 45 grados proporcionaron gráficas de fuerza-desplazamiento esenciales para caracterizar el comportamiento mecánico del material bajo carga uniaxial. Estas curvas distinguen claramente entre las fases elástica y plástica del material. Inicialmente, la relación lineal entre la fuerza y el

desplazamiento indica el comportamiento elástico y la rigidez estructural del material. En la fase plástica, se observa una deformación permanente sin un aumento significativo en la fuerza aplicada, evaluando la capacidad de deformación antes de la fractura. El análisis de estas curvas identifica la resistencia máxima a la tracción y la capacidad del material para resistir cargas extremas. En estas gráficas, la fuerza se representa en el eje de las ordenadas en Newtons (N) y el desplazamiento en el eje de las abscisas en milímetros (mm). A continuación, se muestra la gráfica del ensayo de tracción en las cinco probetas inclinadas con orientación a 45 grados.

Ilustración 32

Gráficas fuerza-desplazamiento de probetas con orientación a 45 grados.



Nota: Gráfica Fuerza-desplazamiento obtenidas en los ensayos de tracción de probetas con orientación a 45 grados. Fuente: Autores.

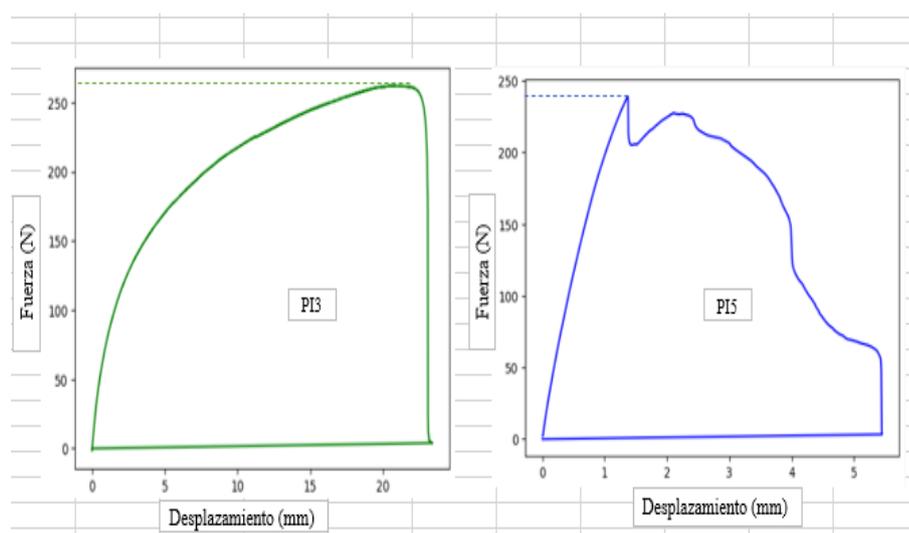
Análisis de resistencia a la tracción y desplazamiento máximo

En los resultados obtenidos por las diferentes probetas con orientación a 45 grados, muestran una variabilidad en los puntos de carga. Al analizar los datos, se observa que la probeta PI3 presenta un esfuerzo a la tracción de 270 Newton, superior a las demás

muestras, con un desplazamiento de 24 milímetros. Esto indica que la probeta PI3 posee alta rigidez y una notable capacidad de absorción de energía antes de la fractura. Por otro lado, la probeta PI5 exhibe una alta resistencia a la tracción de 240 Newton, pero con un desplazamiento de 5.5 milímetros, inferior que la probeta PI3. Esto sugiere que el material de PI5 es rígido, pero menos dúctil, lo que podría resultar en una fractura abrupta y frágil, limitando su capacidad de deformarse antes de la fractura. A continuación, se presentan las probetas con la mayor resistencia máxima a la tracción.

Ilustración 33

Probetas inclinadas con orientación a 45 grados con resistencia máxima a la tracción.



Nota: En la imagen se observa una comparativa de las probetas con mayor esfuerzo de tracción y desplazamiento alcanzado. Fuente: Autores

Análisis de elasticidad y plasticidad de la probeta Normalizada PI3.

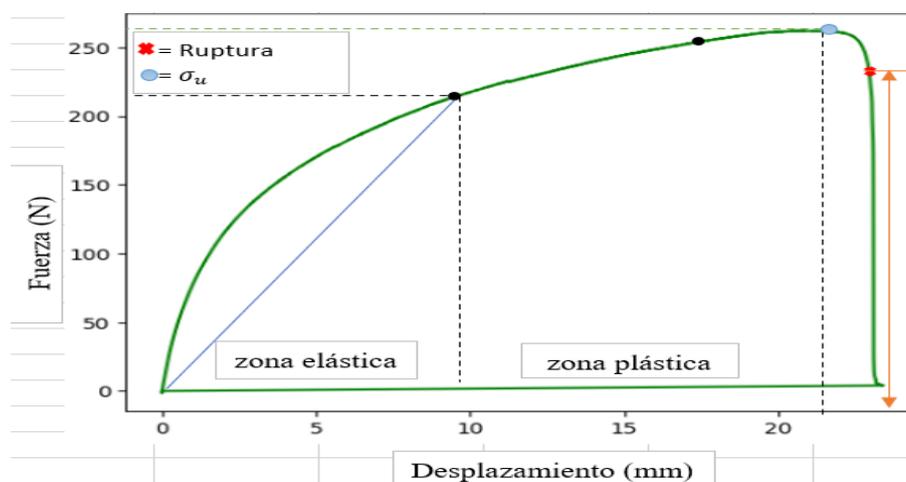
La probeta PI3 se distingue por sus excelentes propiedades mecánicas, mostrando una alta resistencia a la tracción de 270 Newtons y un desplazamiento de 24 milímetros. En comparación con las otras probetas, PI3 demuestra una capacidad superior para

soportar cargas, lo que la identifica como un material con alta rigidez y adecuada ductilidad antes de alcanzar su punto de fractura.

La zona elástica de la probeta PI3 comienza aproximadamente a los 9.2 mm de desplazamiento y 220 N de fuerza. En esta región, la probeta muestra un comportamiento lineal, donde la relación entre la fuerza aplicada y el desplazamiento es proporcional. La elevada pendiente en esta región indica una estructura rígida y resistente. Mientras tanto, en la zona plástica, el material comienza a deformarse de manera no proporcional a la fuerza aplicada, indicando deformaciones permanentes. Esta zona se extiende desde 9.2 mm y 220 N hasta el punto de fractura a 22 mm y 270 Newton. Este elemento soporta una considerable cantidad de deformación plástica antes de fracturarse, lo que evidencia sus propiedades resistentes. Finalmente, la ruptura del material se determinó en $\sigma_b=240$ Newton y un desplazamiento de 24 mm.

Ilustración 34

Zona de elasticidad y plasticidad del material compuesto PLA.



Nota: En la gráfica se identifican las regiones de comportamiento elástico y plástico del material, además de determinarse su carga última y resistencia a la ruptura. Fuente: Autores.

Análisis de la constante de rigidez y el desplazamiento elástico.

Ecuación de la constante de rigidez bajo esfuerzos de tracción

$$k = \frac{E \cdot A}{L} \quad (5)$$

Como se indicó anteriormente, los valores del módulo elástico se obtuvieron a partir de los ensayos realizados en las diferentes muestras con una inclinación de 45 grados.

Tabla 24

Valores de módulo de elasticidad.

Probetas normalizadas	PI1	PI2	PI3	PI4	PI5
Módulo elástico (N/mm²)	26.0811	6.90628	192.029	5.30610	634.293

Nota: En la tabla se presentan los valores de módulo elástico obtenidos en las pruebas de ensayos de tracción.

A continuación, con la siguiente ecuación calculamos el área de las respectivas muestras.

Tabla 25

Valores de las áreas calculadas.

Probetas normalizadas	PI1	PI2	PL3	PI4	PI5
------------------------------	------------	------------	------------	------------	------------

Área (mm²)	77.616	61.936	75.480	68.936	52.661
------------------------------	--------	--------	--------	--------	--------

Nota: Área calculada para cada una de las probetas normalizadas. Fuente: Autores.

Finalmente, se procede al cálculo de la constante de rigidez de las diversas probetas normalizadas.

$$K_{I1} = \frac{E \cdot A}{L}$$

$$K_{I1} = \frac{26.0811 \cdot 77.616}{250}$$

$$K_{I1} = \mathbf{8.097 \text{ N/mm}}$$

$$K_{I2} = \frac{E \cdot A}{L}$$

$$K_{I2} = \frac{6.90628 \cdot 61.936}{240.9}$$

$$K_{I2} = \mathbf{1.776 \text{ N/mm}}$$

$$K_{I3} = \frac{E \cdot A}{L}$$

$$K_{I3} = \frac{192.029 \cdot 75.480}{250}$$

$$K_{I3} = \mathbf{57.977 \text{ N/mm}}$$

$$K_{I4} = \frac{E \cdot A}{L}$$

$$K_{I4} = \frac{5.30610 \cdot 68.936}{240.9}$$

$$K_{I4} = \mathbf{1.518 \text{ N/mm}}$$

$$K_{I5} = \frac{E \cdot A}{L}$$

$$K_{I5} = \frac{634.293 \cdot 52.661}{250}$$

$$K_{I5} = \mathbf{133.610 \text{ N/mm}}$$

Tabla 26

Valores de la constante de rigidez calculados.

PI1	k = 8.097 N/mm
------------	----------------

PI2	k = 1.776 N/mm
PI3	k = 57.977 N/mm
PI4	k = 1.518 N/mm
PI5	k = 133.610 N/mm

Nota: Constante de rigidez obtenidas de las diferentes probetas longitudinales. Fuente: Autores.

Mediante el análisis de las constantes de rigidez de las probetas normalizadas, se evidencia una significativa variabilidad entre ellas. Las probetas PI3 y PI5 exhiben el mayor grado de rigidez, siendo la probeta PI5 la más destacada con una constante de rigidez de 133.610 N/mm, indicativa de su alta rigidez estructural. Sin embargo, su reducido desplazamiento de 5.5 mm revela una limitada capacidad de deformación, lo cual lo hace más propenso a fracturarse bajo cargas elevadas. En contraste, la probeta PI3 presenta una constante de rigidez ligeramente inferior, pero con un desplazamiento previo a la fractura de 24 mm, demostrando un equilibrio más favorable entre rigidez y ductilidad. Esta característica la posiciona como una opción más adecuada para aplicaciones que demanden tanto resistencia estructural como capacidad de deformación sin riesgo inmediato de fractura.

Cálculo del desplazamiento elástico

Con los datos proporcionados en el ensayo como es la fuerza máxima obtenida en la muestra de los ensayos, podemos obtener el desplazamiento elástico en unidades de milímetros.

Fórmula

$$\delta \text{ elástico} = \frac{F}{K} \quad (6)$$

Tabla 27

Valores de desplazamiento elástico obtenidos.

PI1	10.374 mm
PI2	28.716 mm
PI3	4.657 mm
PI4	27.668 mm
PI5	1.796 mm

Nota: Valores de desplazamiento elástico obtenidos de las diferentes probetas longitudinales. Fuente: Autores

Mediante los valores obtenidos, se puede establecer que tanto PI2 como PI4 presentan el mayor desplazamiento elástico, lo que es un indicativo que son materiales con un menor grados de rigidez en comparación con las demás probetas evaluadas.

Cálculo del esfuerzo último de cada una de la probeta longitudinal.

Este cálculo se llevará a cabo con el fin de determinar la máxima tensión que un material puede resistir antes de alcanzar su punto de fallo.

Utilizaremos la siguiente fórmula:

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A} \quad (7)$$

En donde:

P_u= Carga última aplicada (N)

A= Área de la sección (mm²)

A continuación, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 28

Valores de los esfuerzos últimos obtenidos.

PI1	1.082 (MPa)
PI2	0.740 (MPa)
PI3	3.577 (MPa)
PI4	0.609 (MPa)
PI5	4.557 (MPa)

Nota: Valores de esfuerzo obtenidos en las probetas analizadas. Fuente: Autores

Los máximos esfuerzos obtenidos se registraron en las probetas PI3 y PI5, las cuales pueden soportar mayores tensiones de falla. Específicamente, la probeta PL5 presentó el esfuerzo último más alto, alcanzando los 4.557 MPa, lo que indica la mayor capacidad de soportar carga antes de fracturarse. Esto sugiere que este material posee las mejores propiedades mecánicas entre las probetas evaluadas.

5.28. Configuración de probetas longitudinales de dos capas por su modo de falla según la normativa ASTM D3039-08

PI1: Configuración de fallos basado en la normativa técnica ASTM D3039-08

Esta designación ‘AWB’ debido a que nos indica que el tipo de falla es angular por el sentido de desprendimiento de la fibra. El área de falla se localiza desde la mordaza, muy cercana a la zona de calibración, finalmente la ubicación de fallo se da cercana a la mordaza inferior y se mantiene en ese lugar.

Ilustración 35

Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción.



Nota: Fractura de la probeta PI1, luego del ensayo de tracción. Fuente: Autores.

PI2: Configuración de fallos basado en la normativa técnica ASTM D3039-08

La designación ‘AGM’ se produce debido a que el tipo de fallo es angular en dirección de las orientaciones de la fibra. El área de fallo se da en la zona de calibración, y finalmente la ubicación de la falla se da en la zona media de la probeta.

Ilustración 36

Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción PI2.



Nota: Fractura de la probeta PI2, luego del ensayo de tracción. Fuente: Autores.

PI3: Configuración de fallos basado en la normativa técnica ASTM D3039-08

Esta designación ‘AWT’, indica que el tipo de fallo es angular en dirección a las orientaciones de la fibra. El área de fallo se da desde la mordaza y se mantiene ese ese lugar, finalmente su ubicación de falla se ubica en la parte superior de la probeta.

Ilustración 37

Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción PI3.



Nota: Fractura de la probeta PI3, luego del ensayo de tracción. Fuente: Autores

PI4: Configuración de fallos basado en la normativa técnica ASTM D3039-08

Esta designación 'AWT' se obtuvo debido a que su tipo de fallo es angular en dirección a las orientaciones de las fibras. El área de fallo se produce en la zona muy cercada a la mordaza superior, mientras que su ubicación de fallo se da en la zona superior de la probeta y se mantiene en ese lugar.

Ilustración 38

Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción PI4.



Nota: Fractura de la probeta PI4, luego del ensayo de tracción. Fuente: Autores.

PI5: Configuración de fallos basado en la normativa técnica ASTM D3039-08

Tiene como designación 'AWB', debido a que su tipo de fallo es angular en dirección a las orientaciones de la fibra. Su área de fallo se produce en la zona muy

cercana a la mordaza, finalmente su ubicación de fallo se da en la parte inferior de la probeta y se mantiene en ese lugar.

Ilustración 39

Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción PI5.



Nota: Fractura de la probeta PI5, luego del ensayo de tracción. Fuente: Autores.

En los ensayos realizados, los tipos de fallos observados en las probetas mencionadas se muestran a continuación.

Tabla 29

Tipo de fallos de las probetas PI#.

Designación del ensayo	Tipo de laminado	Tipo de fallo
PI1	45°	AWB
PI2	45°	AGM
PI3	45°	AWT
PI4	45°	AWT
PI5	45°	AWB

Nota: Tipos de fallos identificados luego de las pruebas de tracción realizadas a las distintas probetas. Fuente: Autores.

Fracturas ocasionadas en las probetas al momento de someterlas a los ensayos de tracción

Ilustración 40

Fracturas de las probetas con orientaciones a 45 grados luego del ensayo de tracción.



Nota: Probeta fracturadas luego de la realización de los ensayos de tracción. Fuente: Autores.

Informe estadístico de los datos obtenidos en los ensayos de tracción.

Tabla 30

Datos obtenidos en los ensayos de tracción.

Denominación	M. Elástico Fuerza 10- 20 N N/ mm ²	Rotura_ Fuerza Sensibilida d 10 N	Rotura _ Tensión Sensibili dad 10 N/ mm ²	Rotura y Desplazamie nto Sensibilidad 10mm	Rotura__ Deformación Sensibilidad 10 %
PL1	26.0811	-	-	-	-
PL2	6.90628	-	-	-	-
PL3	192.029	159.013	1.90425	23.0808	16.486
PL4	5.30610	-	-	-	-
PL5	634.293	-	-	-	-

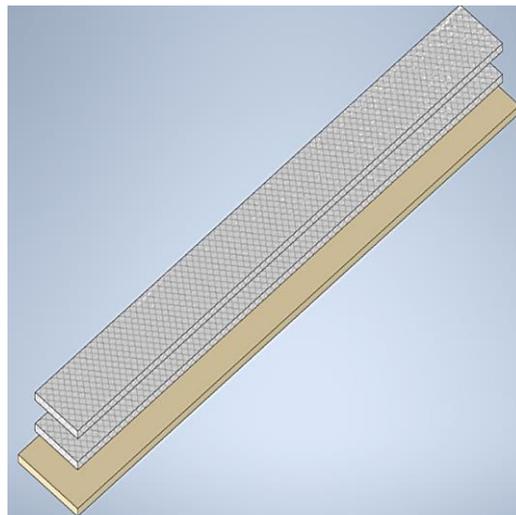
Nota: Datos estadísticos obtenidos en los ensayos de tracción. Fuentes: Autores.

5.29. Configuración de fibras aleatoriamente ($\pm 45^\circ$)

Esta configuración tiene como nomenclatura "PA#" Donde la letra "P" significa probeta, "A" significa la dirección de las fibras, en este caso es aleatoria y "#" es el número de la probeta.

Ilustración 41

Probetas con orientación aleatoria.



Nota: Probetas con orientación aleatoria (2 capas). Fuente: Autores

Probetas con orientaciones aleatorias elaboradas

Se presentan las cinco probetas elaboradas con orientaciones aleatoria, identificadas como "PA#". Como se muestra en la imagen adjunta, las probetas han sido preparadas meticulosamente para los ensayos de tracción, siguiendo los estándares ASTM D3039.

Ilustración 42

Denominaciones de las probetas.



Nota: Probetas con orientación aleatoria de fibra de abacá. Fuente: Autores.

Datos dimensionales recopilados previo al análisis de las probetas dimensionadas.

Previo a la ejecución de los ensayos de tracción, se procedió a la recopilación de datos dimensionales de las probetas.

Tabla 31

Toma de datos de las diferentes probetas.

Denominación	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (Gr)
PA1	250	25.1	2.88	20.02
PA2	250	25.25	3.45	21.5
PA3	250	25.08	3.5	20.84
PA4	250.02	26.14	5.16	32.35
PA5	250.03	26.26	5.12	37.35

Nota: se realizó una toma de datos de las diferentes probetas previo a los ensayos de tracción. Fuente: Autores.

Identificación Cromática de Probetas Aleatorias Fracturadas

Se designa un color específico para cada una de las probetas destruidas en los ensayos de tracción.

Tabla 32

Designación Cromática de las Probetas aleatorias sometidas a Ensayo de Tracción.

Designación	Orientación Aleatoria	Color	
PA1	$\pm 45^\circ$	Rojo	
PA2	$\pm 45^\circ$	Morado	
PA3	$\pm 45^\circ$	Azul	
PA4	$\pm 45^\circ$	Naranja	
PA5	$\pm 45^\circ$	Verde	

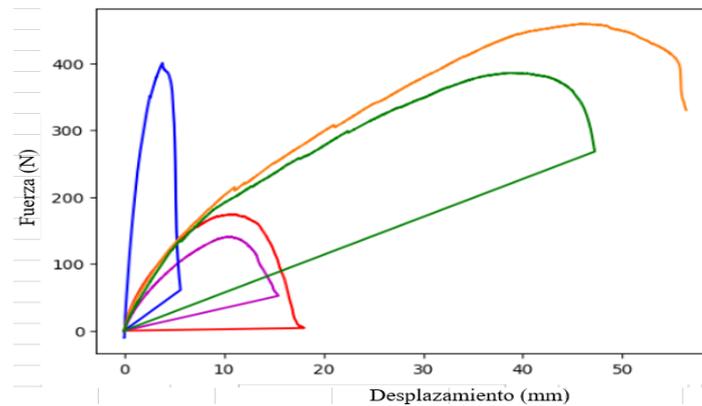
Nota: Se designaron colores específicos para cada una de las probetas aleatorias sometidas a los ensayos de tracción, según la designación cromática establecida. Fuente: Autores.

Análisis gráfico Fuerza-Desplazamiento de probetas con orientación aleatorias de Fibra de Abacá y Resina Epoxi bajo Ensayo de Tracción.

Las pruebas de tracción realizadas en probetas con diversas orientaciones han generado gráficas de fuerza-desplazamiento esenciales para caracterizar el comportamiento mecánico del material bajo carga uniaxial. En estas gráficas, la fuerza se representa en el eje de las ordenadas en Newtons (N) y el desplazamiento en el eje de las abscisas en milímetros (mm). En siguiente ilustración, se presenta la gráfica resultante del ensayo de tracción realizado en las cinco probetas aleatorias.

Ilustración 43

Gráficas fuerza-desplazamiento de las probetas aleatorias.



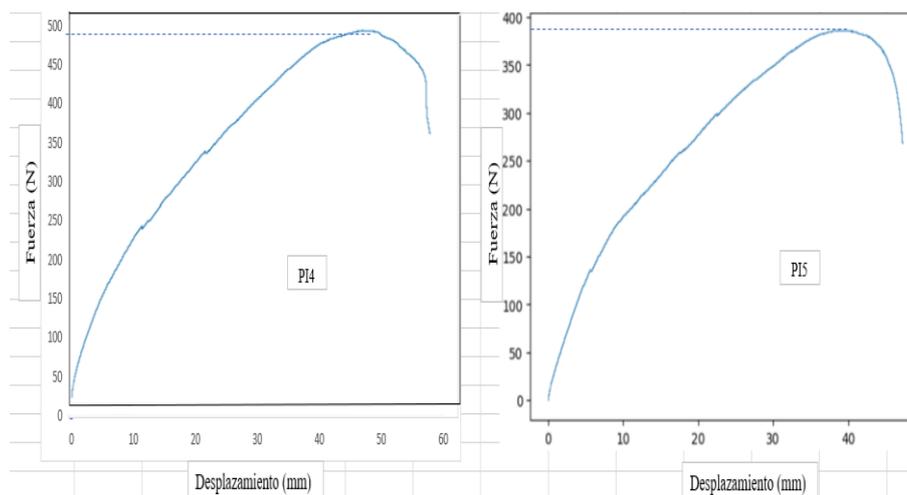
Nota: Gráfica Fuerza-Desplazamiento obtenidas en los ensayos de tracción de probetas aleatorias. Fuente: Autores.

Análisis de resistencia a la tracción y desplazamiento máximo

En la siguiente gráfica de las cinco probetas analizadas aleatorias, se observa una variabilidad en los distintos puntos de carga. Tras un análisis exhaustivo, se identifica que las probetas PA3, PA4 y PA5 presentan los mayores esfuerzos de tracción. Entre ellas, la probeta PA4 destaca por su desempeño mecánico superior, registrando un esfuerzo de tracción de 470 Newtons y un desplazamiento de 57.9 mm. Este resultado indica que la PA4 tiene la mayor capacidad para resistir la carga antes de alcanzar su punto de fractura, evidenciando así las mejores propiedades mecánicas entre las probetas analizadas. En la siguiente imagen se puede observar la resistencia máxima a la tracción obtenida tanto para PA4 y PA5.

Ilustración 44

Probetas aleatorias con resistencia máxima a la tracción.



Nota: En la imagen se ilustra las probetas con mayor esfuerzo de tracción y desplazamiento alcanzado. Fuente: Autores.

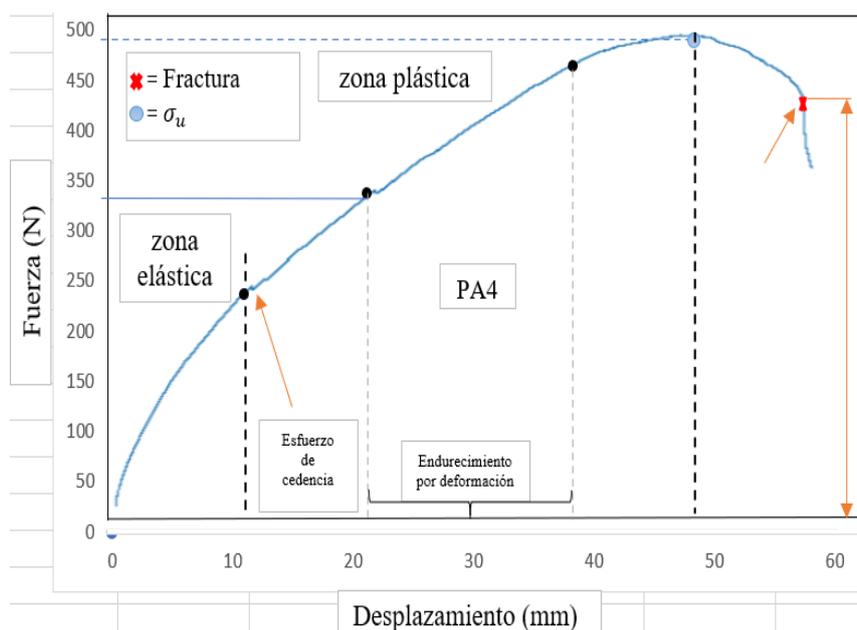
Como se observa en la imagen anterior, el comportamiento de la probeta PA4 exhibe características mecánicas superiores, alcanzando un desplazamiento de 57.9 el mayor entre todas las curvas presentadas en las gráficas. Esta probeta soportó una carga máxima de 470 Newtons, evidenciando una alta capacidad de carga y una notable elongación antes de la falla. Estos resultados indican una combinación óptima de rigidez y ductilidad del material.

La probeta PA4 presenta una zona elástica que se extiende desde 0 hasta 10 mm de desplazamiento con una fuerza de hasta 240 N, caracterizada por una curva de deformación lineal y pronunciada, indicando una alta resistencia inicial. La zona plástica comienza a los 12 mm de desplazamiento y 245 N de fuerza, y se extiende hasta el punto de fractura a los 57 mm y 470 N de fuerza. La extensa zona plástica y el alto desplazamiento máximo reflejan un balance positivo entre rigidez y ductilidad, permitiendo una deformación significativa antes de la fractura. Además, esta probeta

muestra una zona de cedencia entre 12 mm y 22 mm de desplazamiento, con una fuerza que va de 245 N a 340 N, donde la curva deja de ser lineal y la pendiente comienza a disminuir, indicando el inicio de la deformación plástica. Luego, hay un endurecimiento por deformación que se extiende hasta los 48 mm de desplazamiento y 460 N de fuerza, donde el material incrementa su pendiente con el aumento de la deformación. Finalmente, el esfuerzo último del material se alcanza a $\sigma_u=470$ N, y el punto de fractura ocurre a $\sigma_B= 440$ N de fuerza y 57 mm de desplazamiento. Este comportamiento sugiere que el material posee buenas propiedades mecánicas, adecuadas para aplicaciones que requieran alta resistencia y capacidad de deformación.

Ilustración 45

Zona de elasticidad y plasticidad del material compuesto PA4.



Nota: La gráfica permite identificar las regiones de comportamiento elástico y plástico del material, así como su zona de cedencia, endurecimiento por deformación, y determina su carga última y resistencia a la fractura. Fuente: Autores.

Análisis de la constante de rigidez y el desplazamiento elástico.

Procederemos con el análisis de la constante de rigidez, expresada en newton por milímetro (N/mm), y del desplazamiento elástico, medido en milímetros (mm), ya que estos parámetros proporcionan información esencial sobre el comportamiento mecánico de los materiales compuestos. A continuación, se presenta la fórmula de cálculo de la constante de rigidez.

Ecuación de la constante de rigidez bajo esfuerzos de tracción

$$k = \frac{E \cdot A}{L} \quad (8)$$

Primero se obtiene el módulo elástico, resultados obtenidos en los ensayos realizados de las diversas muestras aleatorias.

Tabla 33

Valores de módulo de elasticidad.

Probetas Normalizadas	PA1	PA2	PA3	PA4	PA5
Módulo elástico (N/mm²)	48.5123	33.6088	81.0488	275.652	58.4225

Nota: En la tabla se presentan los valores de módulo elástico obtenidos en las pruebas de ensayos de tracción. Fuente: Autores.

A continuación, con la siguiente ecuación calculamos el área de las respectivas muestras.

Tabla 34*Valores de las áreas calculadas.*

Probetas Normalizadas	PA1	PA2	PA3	PA4	PA5
Área (mm²)	72.288	87.113	87.780	134.882	134.451

Nota: Área calculada para cada una de las probetas normalizadas. Fuente: Autores.

Finalmente, procedemos con el cálculo de la constante de rigidez para las diversas muestras aleatorias.

$$K_{A1} = \frac{E \cdot A}{L}$$

$$K_{A1} = \frac{48.5123 \cdot 72.288}{250}$$

$$K_{A1} = \mathbf{14.027 \text{ N/mm}}$$

$$K_{A2} = \frac{E \cdot A}{L}$$

$$K_{A2} = \frac{33.6088 \cdot 87.113}{250}$$

$$K_{A2} = \mathbf{11.711 \text{ N/mm}}$$

$$K_{A3} = \frac{E \cdot A}{L}$$

$$K_{A3} = \frac{81.0488 \cdot 87.780}{250}$$

$$K_{A3} = \mathbf{28.458 \text{ N/mm}}$$

$$K_{A4} = \frac{E \cdot A}{L}$$

$$K_{A4} = \frac{275.652 \cdot 134.882}{250.02}$$

$$K_{A4} = \mathbf{148.710 \text{ N/mm}}$$

$$K_{A5} = \frac{E \cdot A}{L}$$

$$K_{A5} = \frac{58.4225 \cdot 134.451}{250.03}$$

$$K_{A5} = 31.416 \text{ N/mm}$$

Tabla 35

Valores de la constante de rigidez calculados.

PA1	k = 14.027 N/mm
PA2	k = 11.711 N/mm
PA3	k = 28.458 N/mm
PA4	k = 148.710 N/mm
PA5	k = 31.416 N/mm

Nota: Constante de rigidez obtenidas de las diferentes probetas longitudinales. Fuente: Autores.

A través del análisis de la constante de rigidez de las diversas probetas, se destaca que la probeta PA4 exhibe un alta constante de rigidez de 148.228 N/mm y el módulo de elasticidad más alto de 275.652 MPa, lo cual indica una gran rigidez del material. Esto la convierte en la probeta más resistente a la deformación elástica. En contraste, la probeta PA2 muestra la menor rigidez debido a su bajo módulo de elasticidad, haciéndola menos resistente a la deformación elástica en comparación.

Cálculo del desplazamiento elástico

Con los datos proporcionados en el ensayo como es la fuerza máxima obtenida en las muestras de los ensayos, podemos obtener el desplazamiento elástico dadas en unidades de milímetros.

Fórmula

$$\delta \text{ elástico} = \frac{F}{K} \quad (9)$$

Tabla 36

Valores de desplazamiento elástico obtenidos.

PA1	12.832 mm
PA2	11.955 mm
PA3	14.231 mm
PA4	3.161 mm
PA5	12.414 mm

Nota: Valores de desplazamiento elástico obtenidos de las diferentes probetas aleatorias.

Fuente: Autores

Los resultados obtenidos indican que PA4 presenta un desplazamiento elástico bajo de 3.161 mm, lo que sugiere que estas probetas son más rígidas en comparación con aquellas que tienen desplazamientos elásticos mayores. Esto implica que PA4 es capaz de soportar cargas mayores antes de deformarse significativamente, una propiedad crucial para aplicaciones donde la rigidez estructural es fundamental.

Cálculo del esfuerzo último de cada una de la probeta aleatorias.

Este cálculo se llevará a cabo con el fin de determinar la máxima tensión que un material puede resistir antes de alcanzar su punto de fallo.

Utilizaremos la siguiente fórmula:

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A} \quad (10)$$

Tabla 37

Valores de los esfuerzos últimos obtenidos.

PA1	2.490 (MPa)
PA2	1.607 (MPa)
PA3	4.614 (MPa)
PA4	3.485 (MPa)
PA5	2.901 (MPa)

Nota: Valores de esfuerzo obtenidos en las probetas analizadas. Fuente: Autores

Las probetas PA3 y PA4 exhiben los máximos esfuerzos, lo que indica su capacidad para soportar mayores tensiones antes de la falla. En particular, la probeta PA3 alcanzó el esfuerzo más alto de 4.614 MPa, lo que sugiere que tiene la mayor capacidad de soportar cargas antes de fracturarse. Esta capacidad de soportar altas tensiones sin romperse es un indicativo crucial de la superioridad de PA3 en términos de resistencia y durabilidad bajo condiciones de carga extrema.

Configuración de probetas con fibras orientadas a $\pm 45^\circ$ por su modo de fallo según normativa ASTM D3039-08

PA1: Configuración de fallos basado en la normativa técnica ASTM D3039-08

Esta probeta con orientación aleatoria presenta un código de fallo ‘AGB’, nos indica que el tipo de fallo es angular, su área de fallo se localiza en la zona de calibración casi cercana a las mordazas. La ubicación de fallo se encuentra en la parte inferior de la probeta.

Ilustración 46

Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción PA1.



Nota: Fractura de la probeta PA1, luego del ensayo de tracción. Fuente: Autores.

PA2: Configuración de fallos basado en la normativa técnica ASTM D3039-08

El código 'LGB' nos indica que el tipo de fallo se produce lateralmente, su área de fallo se ubica en la zona de calibración, y finalmente su ubicación de fallo se da en la parte inferior de la probeta, muy próxima a la zona central.

Ilustración 47

Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción PA2.



Nota: Fractura de la probeta PA2, luego del ensayo de tracción. Fuente: Autores.

PA3: Configuración de fallos basado en la normativa técnica ASTM D3039-08

Este código 'AGM' nos indica que su fallo es de tipo angular, su área de fallo ocurrió en la zona de calibración, mientras que su ubicación de fallo se da en la parte media de la zona de calibración y se mantiene en ese lugar.

Ilustración 48

Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción PA3.



Nota: Fractura de la probeta PA3, luego del ensayo de tracción. Fuente: Autores.

PA4: Configuración de fallos basado en la normativa técnica ASTM D3039-08

Este código 'LGT' determina que su zona de fallo se produjo lateralmente, el área de fallo se dio en la zona de calibración, muy cercano a la mordaza superior. Finalmente, su ubicación de fallo se dio en la parte superior de la probeta.

Ilustración 49

Fracturas de las probetas luego del ensayo de tracción PA4.



Nota: Fractura de la probeta PA4, luego del ensayo de tracción. Fuente: Autores.

PA5: Configuración de fallos basado en la normativa técnica ASTM D3039-08

La designación 'LGB' se debe a que la probeta presento una falla de tipo lateral, su área de fallo se dio en la denominada zona de calibración. Y finalmente su ubicación de fallo se dio en la parte inferior de la probeta

Ilustración 50

Fractura de la probeta luego del ensayo de tracción PA5.



Nota: Fractura de la probeta PA5, luego del ensayo de tracción. Fuente: Autores.

En los ensayos realizados, los tipos de fallos observados en las probetas mencionadas se muestran a continuación.

Tabla 38

Tipo de fallos de las probetas PA.

Designación del ensayo	Tipo de laminado	Tipo de fallo
<i>PA1</i>	$\pm 45/$	<i>AGB</i>
<i>PA2</i>	$\pm 45/$	<i>LGB</i>
<i>PA3</i>	$\pm 45/$	<i>AGM</i>
<i>PA4</i>	$\pm 45/$	<i>LGT</i>
<i>PA5</i>	$\pm 45/$	<i>LGB</i>

Nota: Tipos de fallos identificados luego de las pruebas de tracción realizadas a las distintas probetas. Fuente: Autores.

Fracturas ocasionadas en las probetas al momento de someterlas a los ensayos de tracción

Ilustración 51

Probetas Aleatorias fracturadas.



Nota: Probeta fracturadas luego de la realización de los ensayos de tracción. Fuente: Autores.

Informe estadístico de los datos obtenidos en los ensayos de tracción

A continuación, se presentan los datos estadísticos obtenidos en los ensayos de tracción, donde se realizará un análisis para lograr entender los resultados obtenidos en los ensayos.

Tabla 39

Datos obtenidos en los ensayos de tracción PA.

Denominación	M. Elástico	Pend_ Standard	Rotura_ Fuerza	Rotura Tensión	Rotura_ Desplazamiento	Rotura __ Deformación
	Fuerza 10-20 N / mm ²	Fuerza 10-20 N / mm ²	Sensibilidad 10 N	Sensibilidad 10 N / mm ²	Sensibilidad 10 mm	Sensibilidad ad 10 %

PA1	81.0488	50.4312	-	-	-	-
PA2	58.4225	30.1660	-	-	-	-
PA3	48.5123	46.7389	-	-	-	-
PA4	33.6088	32.2767	-	-	-	-
PA5	275.652	274.314	-	-	-	-

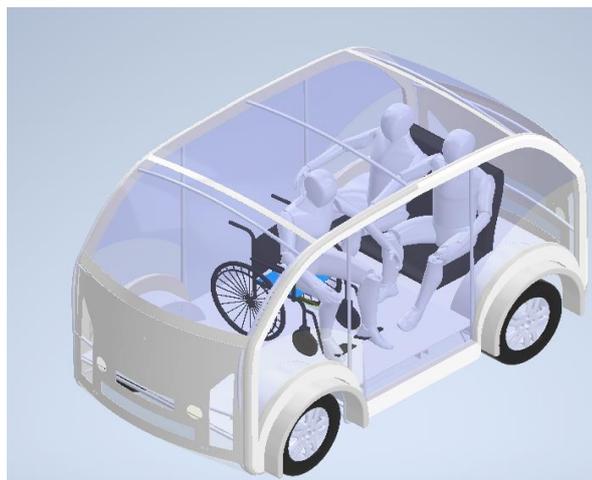
Nota: Datos estadísticos obtenidos en los ensayos de tracción. Fuentes: Autores.

6. CAPITULO 3: MODELADO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de haber realizado los ensayos de tracción y análisis de las diferentes probetas longitudinales (0°), Inclinas (45°) y aleatorias ($\pm 45^\circ$). Se procede a efectuar el diseño y análisis estructural del tablero de instrumento tentativo del vehículo prototipo autónomo.

Ilustración 52

Diseño del vehículo prototipo autónomo ANTA.



Nota: Diseño del vehículo prototipo autónomo ANTA. Fuente: Proyecto Anta.

6.1. Probeta seleccionada con propiedades mecánicas óptimas

Para realizar el análisis estructural, utilizamos el software ANSYS y las características de la probeta longitudinal con mejores propiedades mecánicas proporcionados en los ensayos de tracción realizados. La probeta como mejor propiedad mecánica fue la PL5.

Tabla 40*Característica mecánica de la probeta PL5.*

Módulo elástico (MPa)	Área transversal (mm²)	Desplazamiento elástico (mm)	Constante de rigidez (N/mm)	Esfuerzo ultimo tensión (MPa)
2622.04	77.81	4.889	816.08	51.279

Nota: Se detallan las características de la probeta longitudinal PL5, que presenta propiedades mecánicas superiores en comparación con las otras probetas evaluadas.

Fuente: Autores.

La probeta PL5 se destaca como la mejor opción para la elaboración de un tablero debido a sus excepcionales propiedades mecánicas. Con un módulo elástico de 2.622 GPa, PL5 demuestra una alta rigidez, lo que indica una baja deformación bajo carga y, por ende, una excelente capacidad para mantener su forma estructural. Su constante de rigidez de 816.08 N/mm es la más alta entre las probetas evaluadas, evidenciando su resistencia superior a la deformación. Aunque su resistencia máxima a la tracción es 3990 N, menor que la de PL2 (6800 N), y un esfuerzo ultimo de tensión de 51.279 MPa, su combinación de rigidez y módulo elástico supera a los otros materiales, proporcionando una sólida capacidad para soportar cargas mientras minimiza la deformación. Además, PL5 tiene el área más grande de 77.81 mm², lo que contribuye a una mejor distribución de la carga.

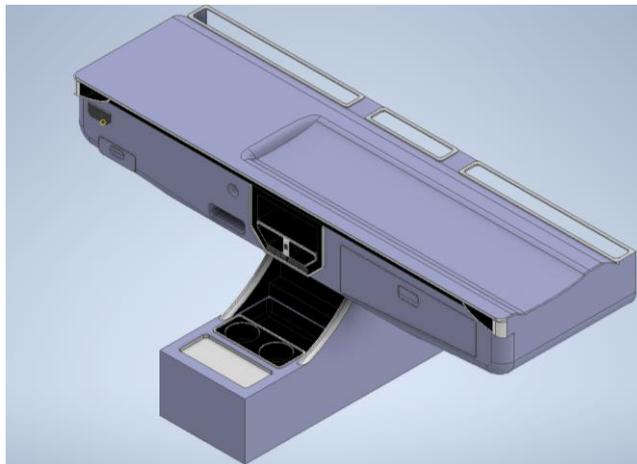
6.2. Diseño del tablero de instrumentos

El diseño tentativo del tablero de instrumentos, esta dimensionando con medidas proporcionadas por los docentes investigadores del grupo GIIT de la Universidad Politécnica Salesiana al avance del vehículo prototipo ANTA.

Para ubicar las propiedades mecánicas del material, utilizamos el coeficiente de poisson de la fibra de abacá que fue de 0,35. A continuación, se presenta las propiedades mecánicas de la probeta seleccionada.

Ilustración 53

Diseño Prototipo del tablero de instrumentos.



Nota: En la grafica podemos observar el diseño del tentativo del tablero del vehículo prototipo ANTA.

6.3. Simulación en ANSYS

Para realizar los análisis mediante la simulación en ANSYS, se diseñó el tablero con un espesor de 2.5 mm, que coincide con el grosor de las probetas utilizadas en los

ensayos realizados, además se calculó la densidad del material utilizando la proporción empleada que es de 60 % de fibra y 40 % de resina. A continuación, se presenta el cálculo de la densidad medido en $\frac{kg}{m^3}$.

Fórmula:

$$\rho_c = (V_f + \rho_f) + (V_r + \rho_r) \quad (11)$$

Formulación para el cálculo del volumen de la fibra y resina epoxi

$$V_{Abacá} = \frac{(P_{Abacá}/D_{Abacá})}{(P_{Abacá}/D_{Abacá}) + (P_{epoxi}/D_{epoxi})} \quad (12)$$

$$V_{Abacá} = \frac{(0,60/1350)}{(0,60/1350) + (0,40/1200)} = 0.571$$

$$V_{epoxi} = \frac{(0,40/1200)}{(0,60/1350) + (0,40/1200)} = 0.429$$

$$\rho_c = (V_A + \rho_A) + (V_e + \rho_e)$$

$$\rho_c = (0.5721 \cdot 1350) + (0.429 \cdot 1200)$$

$$\rho_c = 1285.7 \frac{kg}{m^3}$$

La densidad del material nos dio un valor de $1285.7 \frac{Kg}{m^3}$. A continuación, calculamos el módulo de Young que nos dio los informes del ensayo de la probeta PL5, con un valor de 2622.04 MPa. Finalmente, calculamos el coeficiente de Poisson de la fibra de Abacá y resina epoxi.

$$v_c = V_{Abacá} \cdot v_{Abacá} + V_{resina} \cdot v_{resina}$$

Sabiendo que el Coeficiente de Poisson de la fibra es de 0.3 y el coeficiente de la resina es de 0.35, obtenemos La siguiente fórmula:

$$v_c = (0.571 \cdot 0.3) + (0.429 \cdot 0.35)$$

$$v_c = 0.321$$

Con los datos obtenidos mediante cálculos, asegura que el diseño del tablero en la simulación sea consistente con las probetas reales, permitiendo una comparación precisa entre los resultados de la simulación y los datos experimentales, evaluando el grado de factibilidad para la elaboración del tablero bajo cargas específicas. A continuación, se presentan los datos insertados en el simulador ANSYS.

Tabla 41

Propiedades mecánicas implementada en el software ANSYS.

Elasticidad Isotropica	
Densidad	$1285.7 \frac{kg}{m^3}$
Derivada de	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Módulo de Young	2.622 GPa
Coeficiente de Poisson	0,321
Modo de compresibilidad.	2,2477E+10
Módulo de cizalladura	9,137E+09

Resistencia ultima ala tracci3n	262,2 MPa
Resistencia a la fluencia	2,5E+08

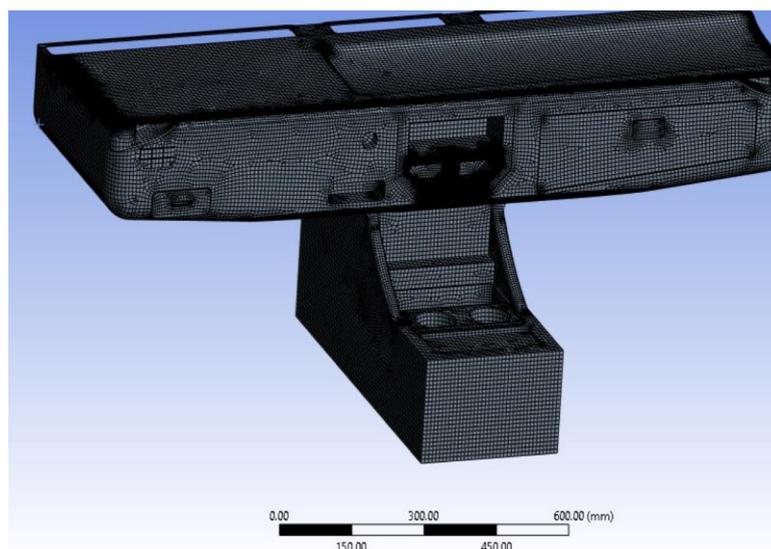
Nota: Características del material incorporadas en el software ANSYS. Fuentes: Autores.

6.4. Mallado del dise1o

La configuraci3n del mallado en ANSYS con un tama1o de Average = 0.87402, ha facilitado la obtenci3n de resultados detallados y precisos en la simulaci3n. Esta elecci3n del tama1o de malla ha optimizado tanto la precisi3n del an1lisis como la eficiencia en el tiempo de c1lculo.

Ilustraci3n 54

Calidad de la malla ANSYS.



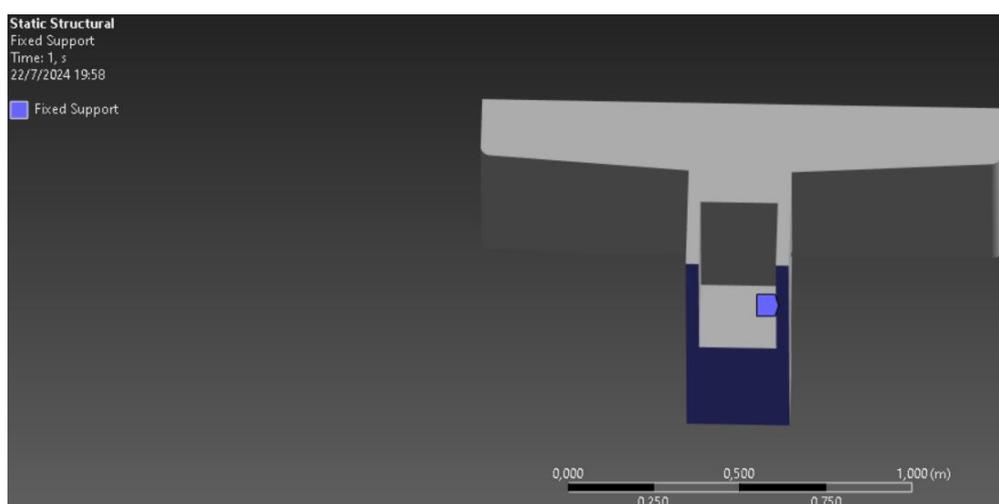
Nota: El mallado con un tama1o de 0.85902 mejora la resoluci3n del an1lisis de elementos finitos, permitiendo una evaluaci3n m1s precisa del tablero de instrumentos.

Fuente: Autores.

Para llevar a cabo la simulación, se implementaron tres soportes fijos en la parte inferior y en los laterales del tablero, replicando las paredes de fijación reales. Esto permitió aplicar una fuerza distribuida sobre el tablero, generando la deformación esperada en el modelado.

Ilustración 55

Soportes fijos en las partes inferior del tablero de instrumentos.

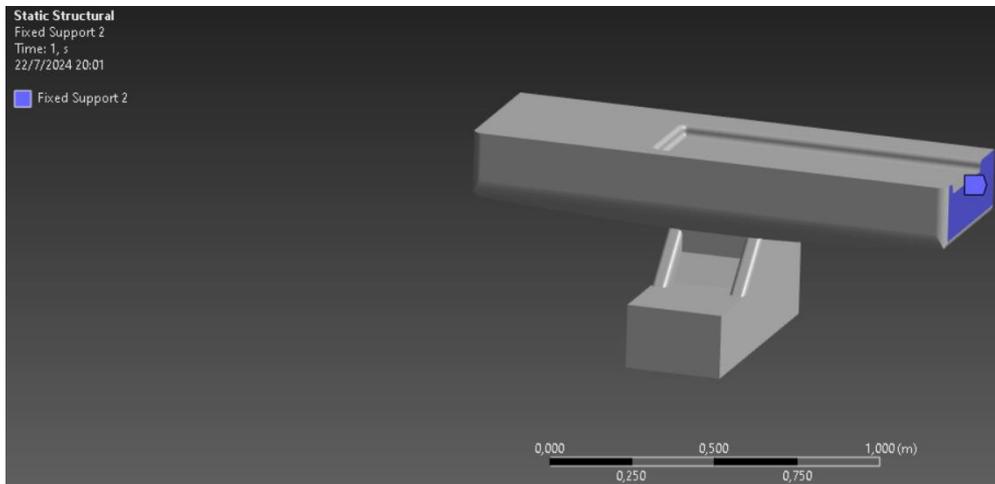


Nota: En la siguiente imagen se observa el soporte fijo ubicado en la parte inferior del tablero. Fuentes: Autores.

En la simulación de ANSYS se colocó soportes fijos en los laterales simulando el montaje real del tablero, a continuación, podemos observar los soportes fijos ubicados en los extremos.

Ilustración 56

Soportes fijos ubicados en las partes laterales del tablero de instrumentos.

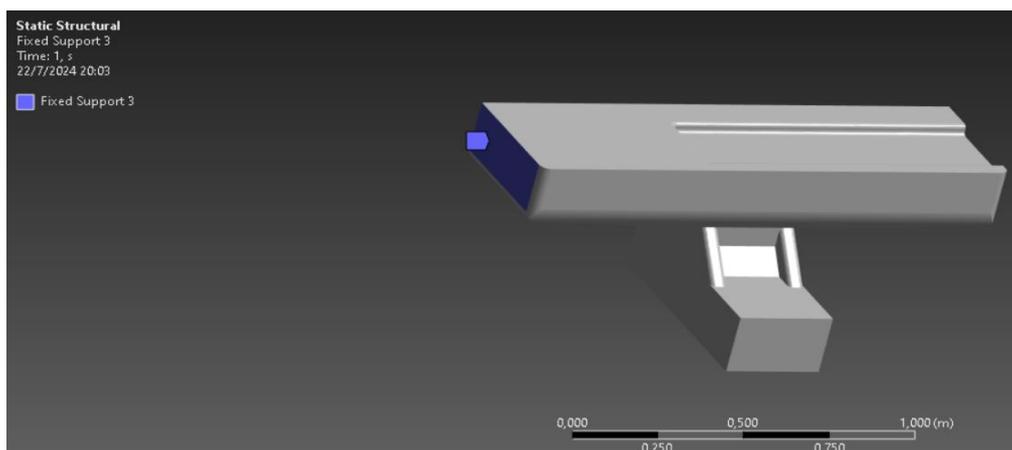


Nota: En la siguiente imagen se observa el soporte fijo ubicado en la parte lateral derecha del tablero. Fuentes: Autores.

Estos soportes restringen el movimiento en los puntos de fijación, permitiendo una evaluación precisa de la resistencia y rigidez del tablero.

Ilustración 57

Soportes fijos ubicados en las partes laterales del tablero de instrumentos.

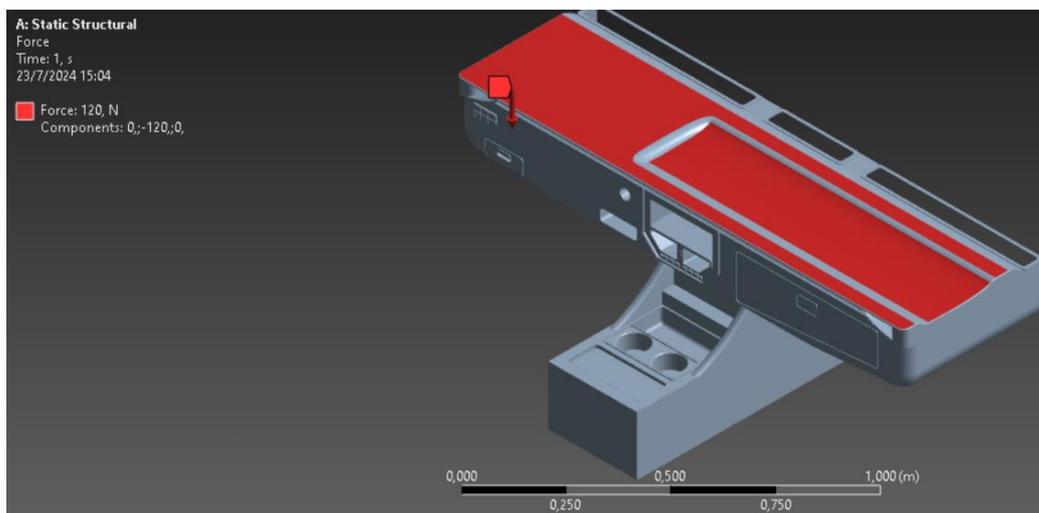


Nota: En la siguiente imagen se observa el soporte fijo ubicado en la parte lateral izquierda del tablero. Fuentes: Autores.

Se aplicó una carga de 120 N sobre la superficie superior del tablero de instrumentos que representaría 12.23 Kg. Este valor representa la fuerza ejercida en la zona específica del tablero donde se soporta la carga. Para la simulación, colocamos una carga distribuida en la parte superior del tablero, replicando las condiciones reales de carga que enfrentaría en funcionamiento.

Ilustración 58

Fuerza aplicada ANSYS.



Nota : Se aplico la fuerza de 120 N, simulando la carga de un objeto en la parte superior del tablero de instrumentos: Fuente: Autores.

6.5. Análisis de resultados

El análisis de resultados, realizado con el software ANSYS, permitió evaluar el comportamiento estructural del tablero bajo condiciones simuladas. Los datos obtenidos

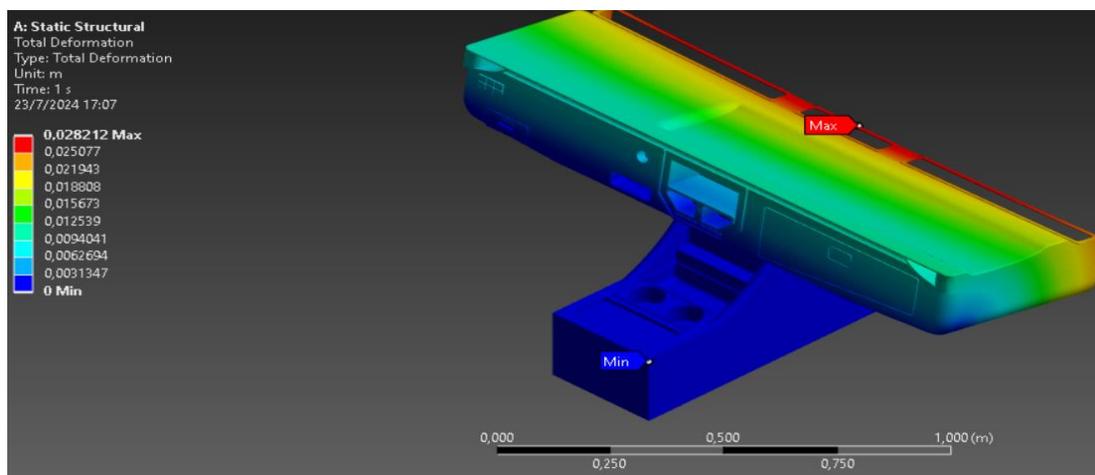
proporcionaron información crucial sobre la distribución de tensiones y deformaciones, facilitando la identificación de áreas críticas. Esta evaluación detallada es esencial para optimizar el diseño y garantizar el desempeño del tablero en condiciones reales de uso.

6.6. Deformación Total

La deformación total máxima en este análisis es de 0.028212 m. Este valor indica el desplazamiento máximo que experimenta en tablero en condiciones de carga simulada. Las áreas de colores rojo y amarillo representan zonas de mayor deformación, mientras que el área de color azul y verde tienen menor deformación. Esto indica que el análisis de la deformación total muestra que el tablero de instrumentos experimenta una deformación máxima de 0.0028212 m bajo la carga aplicada, con una distribución uniforme de la carga.

Ilustración 59

Resultados de la deformación total ANSYS.



Nota: Deformación total del tablero de instrumentos. Fuente: Autores.

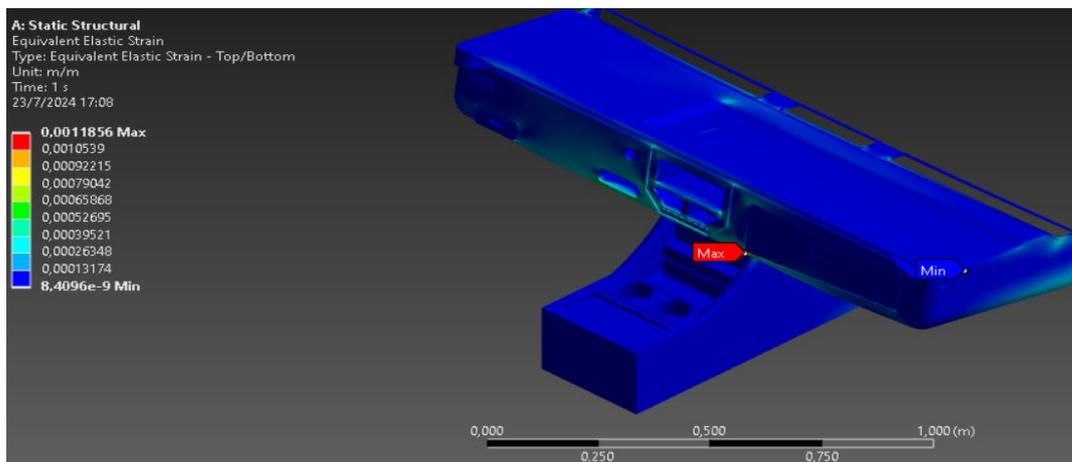
6.7. Deformación elástica equivalente

La deformación elástica equivalente máxima es de 0.0011586 m/m este valor indica el grado de deformación que experimenta el material en las zonas más críticas bajo la carga aplicada. Este valor de deformación es relativamente pequeño, lo que sugiere que el material puede manejar la carga sin deformarse significativamente. Además, podemos observar que la mayor parte del tablero tiene una deformación mucho menor que la máxima, indicados por los colores azul y verde de la gráfica. Esto sugiere que la deformación está bien distribuida y no se concentra en un solo punto, lo que es positivo para la integridad estructural del material. Mientras que las zonas más críticas podemos observar que se da en las zonas de color rojo y amarillo, estas están sujetas a las mayores deformaciones. Este material se mantiene en el rango elástico significa que el material volverá a su forma original una vez que se retire la carga aplicada.

El valor de 0.0011856 m/m es relativamente pequeño, lo que sugiere que el material del tablero de instrumentos está experimentando una deformación elástica moderada bajo la carga aplicada. Esto es una indicación de que el material está operando dentro de su límite elástico y no ha alcanzado la deformación plástica.

Ilustración 60

Deformación elástica equivalente.



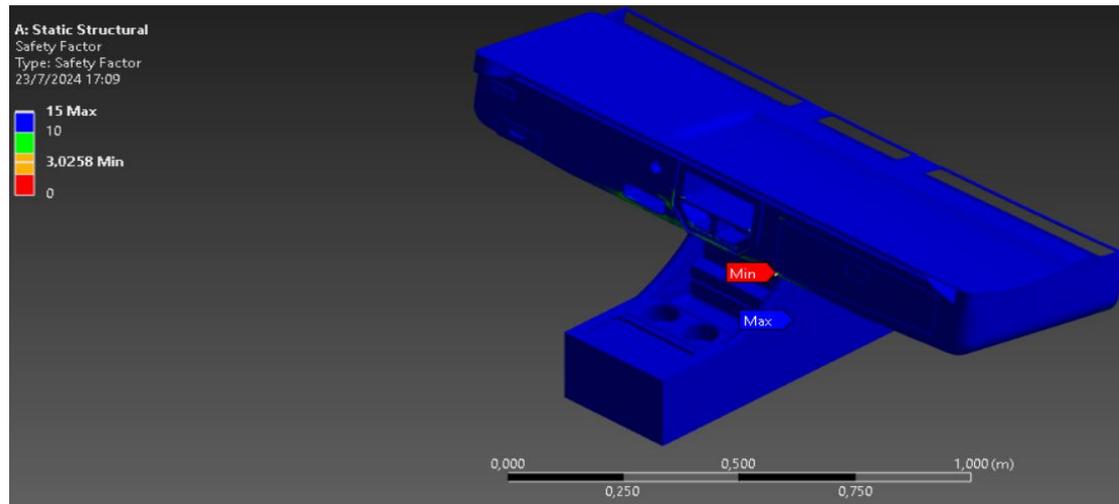
Nota: Deformación elástica del tablero de instrumentos. Fuente: Autores.

6.8. Factor de seguridad

Se aplicó una carga de 120 N sobre la superficie superior del tablero de instrumentos. Este valor representa la fuerza ejercida en la zona específica del tablero donde se soporta la carga. Para la simulación, colocamos una carga distribuida en la parte superior del tablero, replicando las condiciones reales de carga que enfrentaría en funcionamiento. Un factor de seguridad de 3.0258 indica que el tablero de instrumentos tiene capacidad de carga al menos tres veces mayor a la carga aplicada en las condiciones de la simulación. Esto sugiere que el diseño es seguro y puede soportar cargas sin fallar, proporcionando confianza en su desempeño bajo las cargas esperadas.

Ilustración 61

Factor de seguridad del tablero.



Nota: Factor de seguridad del tablero de instrumentos. Fuente: Autores.

7. CONCLUSIONES

Se recopilaron un total de 17 tesis, 9 artículos y un libro. Este análisis bibliográfico exhaustivo nos proporcionó información valiosa sobre las propiedades mecánicas de la fibra de abacá, destacando su notable módulo de elasticidad de 45 GPa, su resistencia a la tracción, que varía entre 400 y 1300 MPa, y una resistencia a la flexión máxima de 100 MPa. Estas características hacen de la fibra de abacá un material resistente, rígido y con excelente estabilidad dimensional. Sus sobresalientes propiedades mecánicas, junto con su capacidad para reducir el peso del vehículo, mejoran significativamente la eficiencia y el rendimiento del mismo. A través de un análisis bibliográfico exhaustivo sobre la caracterización de los materiales compuestos ecuatorianos y los materiales comúnmente utilizados en tableros automotrices, se pudo demostrar que la fibra de abacá es una alternativa viable para aplicaciones automotrices.

Se evaluó las características mecánicas del material compuesto de fibra de Abacá y resina epoxi mediante ensayos de tracción y se obtuvieron resultados significativos. Las probetas, de dos capas y fabricadas conforme a las dimensiones especificadas en la normativa ASTM D3039-08, fueron elaboradas en distintas configuraciones: orientación longitudinal (0°), inclinada (45°) y aleatoria ($\pm 45^\circ$). Los resultados mostraron que las probetas con orientación longitudinal (0°) exhibieron las propiedades mecánicas más destacadas, con un módulo de elasticidad promedio de 1.569 GPa, una constante de rigidez de 466.64 N/mm y un esfuerzo último de 65.24 MPa. Estos resultados indican que la orientación longitudinal de la fibra de abacá optimiza la eficiencia del material compuesto, proporcionando una combinación superior de rigidez y resistencia. Por lo tanto, esta orientación es la más adecuada

para aplicaciones que requieren altas prestaciones mecánicas, haciendo del material compuesto de fibra de abacá una opción prometedora para componentes estructurales en la industria automotriz.

Los resultados obtenidos en la simulación de ANSYS indican que el diseño tentativo del tablero de instrumentos del vehículo prototipo autónomo ANTA es viable y seguro para su implementación. Con un factor de seguridad mínimo de 3.0258 y una deformación elástica equivalente máxima de 0.0011856 m/m, el diseño cumple con los requisitos de seguridad y funcionalidad. La deformación total de 0.028212 metro, esto confirma que el tablero puede soportar la carga sin fallos estructurales críticos. La implementación del diseño en el vehículo ANTA es viable.

8. RECOMENDACIONES

- Aunque los resultados de las simulaciones son prometedoras, se recomienda realizar pruebas experimentales adicionales para validar las simulaciones y confirmar que el comportamiento del tablero en condiciones reales coincide con los resultados obtenidos en la simulación.
- Considerar refuerzos en las áreas con la mayor deformación que es de 0.0028212 m para mejorar la rigidez y resistencia del tablero. Esto nos puede ayudar a reducir aún más la deformación en condiciones extremas y asegurar un rendimiento óptimo.
- Realizar un seguimiento del desempeño del tablero en condiciones reales de uso. Esto permitirá ajustar el diseño si se identifican problemas durante la fase de implementación y operación.

9. Referencias Bibliográficas

Abraham, Y., & Lopéz, A. (2022). *Diseño y simulación de un material compuesto con fibra de Abacá y su aplicación en el sector Automotriz* [Universidad Politécnica Salesiana].

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23837>

Anchundia, L. A. (07 de 2014). *Diagnóstico de los sitios turísticos potenciales y su influencia en el desarrollo de la ruta temática de la fibra vegetal Abacá Sector Monterrey Cantón la Concordia*. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL, Quito – Ecuador.

Araya Gutierrez, D., Garro Monge, G., Jiménez Quesada, K., Arias Aguilar, D., & Quesada Cordero, R. (2023). Abaca: a general review on its characteristics, productivity, and market in the world. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 76(1), 10263–10273.

<https://doi.org/10.15446/rfnam.v76n1.101710>

Arias, L., & Vanegas, L. (2004). Falla de los Materiales Compuestos Laminados. *Scientia et Technica*, 2 (25). <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/7215>

Balart, R. (2010). *Matrices poliméricas para materiales compuestos* [Universidad Politécnica de Valencia].

<http://hdl.handle.net/10251/8234>

Beltrán, M. (2011). *Tema 1. Estructura y propiedades de los polímeros* [Tecnología de los Polímeros, Universidad de Alicante. Departamento de Ingeniería Química].

https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16883/1/Tema_1._Estructura_y_propiedades_d_e_los_polimeros.pdf

Besednjak, A. (2009). *Materiales Compuestos* (Univ. Politéc. de Catalunya, Ed.; UPC, 2005, Vol. 100).

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=gMSg5rURr6sC&oi=fnd&pg=PA8&dq=Material+compuestos&ots=B3m217HVdy&sig=fjciYlbdLZK2IpETJO_BCHms6xY#v=onepage&q=Material+compuestos&f=false

Cadena Paspuezán, D. S. (2023). *Caracterización de la interfaz de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibra natural obtenido por medio de dos procesos diferentes con el uso de microscopía*. Quito: EPN

Cedeño, B. (2024). *Caracterización mecánica de materiales compuestos de matriz epóxica reforzados con partículas de carbón activado: Caracterización mecánica y térmica de materiales compuestos de matriz epóxica reforzados con partículas de origen natural* [Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/25320>

Designation. (Diciembre de 2007). *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2751/1/ANEXO%201%20NORMA%20ASTM%20D3039.pdfm>

Edil da Costa, C., Velasco López, F., & Torralba Castelló, J. M. (2000). Materiales compuestos de matriz metálica. I parte. Tipos, propiedades, aplicaciones. *Revista de Metalurgia*, 36 (3), 179–192.

<https://doi.org/10.3989/revmetalm.2000.v36.i3.570>

Hernández, J. L., & García, J. (2010). Materiales Compuestos y su Desarrollo Actual. *Revista Ciencia y Desarrollo*, 36 (240). <https://www.cyd.conacyt.gob.mx/archivo/240/Articulos/MaterialesCompuestos/MaterialesCompuestos4.html>

Hull, D. (1987). *Materiales Compuestos* (Reverté, Ed.).

<https://books.google.com.co/books?id=FiYSkhjInm4C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Iza, G. A. (2017). *Caracterización mecánica del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra vegetal (algodón) y fibra natural de STIPA ICHU (pasto de páramo) con secado natural y precocido para determinar propiedades mecánicas en la fabricación de elementos livianos de alta resistencia* [Universidad Técnica de Ambato].

<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26085>

Juárez, D., Balart, R., Ferrándiz, S., & García, D. (2012). Estudio, análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos. *3c Tecnología: Glosas de Innovación Aplicadas a La Pyme*, 12 (2).

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4817572>

Loor, E. (2023). *Síntesis y caracterización de las propiedades mecánicas de un material compuesto tipo laminado con refuerzo de fibra de vidrio en matriz de resina epóxica para cajas de impacto de automóviles*. [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].

<http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/19982>

Muñoz, D. (2023, May 30). *Polipropileno: qué es y sus características*. TECNOLOGÍA DEL PLÁSTICO.

<https://www.plastico.com/es/noticias/polipropileno-que-es-y-sus-caracteristicas>

Páez, J. (2007). *Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión* [Escuela Politécnica Nacional].

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/352>

Peinado Seligrat, J. (2015). *Estimación numérica de propiedades mecánicas del material compuesto reforzado por partículas mediante elementos finitos* [Universidad Carlos III de Madrid].

<https://hdl.handle.net/10016/23571>

Pontón, P., & Guerrero, V. (2010). Obtención de Materiales Compuestos de Matriz Poliéster reforzados con Fibra de Abacá mediante Estratificación manual. *Revista Tecnológica - Espol*, 23 (3).

<https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/62>

Radeva, V. (2006). Materiales Compuestos Reforzados con Fibra . *Ciencia y Sociedad*, 31 (4).

<https://www.redalyc.org/pdf/870/87031404.pdf>

Rocha-Hoyos, J. C., Llanes-Cedeño, E. A., Peralta-Zurita, D., & Pucha-Tambo, M. (2019). Caracterización mecánica a flexión de materiales compuestos con matriz fotopolimérica reforzados con fibras de abacá y cabuya mediante impresión 3D. *Ingenius*, 22(22), 100–112.

<https://doi.org/10.17163/ings.n22.2019.10>

Salazar, S. (2010). *Caracterización de la fibra de Ramio (Bohemeria Nívea) y estudio del efecto que el tiempo de cosecha tiene sobre sus propiedades mecánicas* [Escuela Politécnica Nacional].

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2303>

Salinas, P., & Mesias, T. (2020). *Optimización (Doe-Mezclas) del material híbrido con refuerzos de fibra de abacá, fibra de cabuya y fibra de vidrio de matriz de resina epóxica y su incidencia sobre las propiedades mecánicas a flexión, tracción e impacto*

[Universidad Técnica de Ambato].

<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/31237>

Sofía, S. (2019). *Estudio Comparativo de las propiedades mecánicas de residuos de polipropileno obtenido por extrusión y reforzado con fibras de Abacá y de Plátano.*

[Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13265>

Villa Rosero, M. N. (Febrero de 2018). *Caracterización de las propiedades tensiles de un material compuesto laminado reforzado con fibra de carbono.* Obtenido de Repositorio

UPS : <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15356>

Yaguachi, F. (2024). *Manejo agronómico del cultivo de abacá (Musa textilis) en Ecuador*

[Universidad Técnica de Babahoyo].