



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE TEXTILES**

**TEMA:**

**“COMPARATIVA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO A BASE DE FIBRA DE ABACÁ (*MUSA TEXTILIS*) Y MATERIAL DE FIBRA DE VIDRIO CON RESINA DE POLIÉSTER PARA LA CONSTRUCCIÓN DE GUARDACHOQUES DE AUTOMOTORES”**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO TEXTIL**

**AUTOR: PABLO FRANCISCO VALENCIA DÍAZ**

**DIRECTOR: MSc. ELSA SULAY MORA MUÑOZ**

**IBARRA – ECUADOR**

**2023**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

### A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En el cumplimiento del Art. 144 de la ley de Educación Superior, hago entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DEL AUTOR</b>	
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD</b>	100429819-4
<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	Valencia Díaz Pablo Francisco
<b>DIRECCIÓN</b>	San Roque
<b>E-MAIL</b>	<a href="mailto:pfvalenciad@utn.edu.ec">pfvalenciad@utn.edu.ec</a>
<b>TELÉFONO MÓVIL</b>	0980190482
<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO</b>	“COMPARATIVA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO A BASE DE FIBRA DE ABACÁ ( <i>MUSA TEXTILIS</i> ) Y MATERIAL DE FIBRA DE VIDRIO CON RESINA DE POLIÉSTER PARA LA CONSTRUCCIÓN DE GUARDACHOQUES DE AUTOMOTORES”
<b>AUTOR</b>	Valencia Díaz Pablo Francisco
<b>FECHA</b>	04/ 01 /2023
<b>PROGRAMA</b>	PREGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA</b>	INGENIERO TEXTIL
<b>ASESOR</b>	MSc. Elsa Sulay Mora Muñoz



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE TEXTILES**

**CONSTANCIA**

El autor manifiesta que la obra de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autores terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación alguna parte de terceros.

En la ciudad de Ibarra, a los 4 días del mes de enero de 2023.

**EL AUTOR:**

.....  
Pablo Francisco Valencia Diaz

C.I. 1004298194



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE TEXTILES**  
**CERTIFICACIÓN DEL ASESOR**

En mi calidad de directora del Trabajo de Grado presentado por el egresado Valencia Díaz Pablo Francisco.

Que el proyecto de tesis previo a la obtención del título con el tema: **“COMPARATIVA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO A BASE DE FIBRA DE ABACÁ (*MUSA TEXTILIS*) Y MATERIAL DE FIBRA DE VIDRIO CON RESINA DE POLIÉSTER PARA LA CONSTRUCCIÓN DE GUARDACHOQUES DE AUTOMOTORES”**, ha sido desarrollada y terminada en su totalidad por Valencia Díaz Pablo Francisco, con cédula de identidad 100429819-4, bajo mi dirección. Luego de ser revisado se ha considerado que se encuentra concluida en su totalidad cumple con todas las exigencias y requerimientos académicos de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Carrera de Ingeniería Textil, autorizo presentación y defensa para que pueda ser juzgado por el tribunal correspondiente.

MSc. Elsa Sulay Mora Muñoz  
**DIRECTORA DE TESIS**

## **DEDICATORIA**

*Con mucho cariño dedicó este trabajo de grado, principalmente a mi madre Elena Díaz, quien supo guiarme por el buen camino, además de darme los recursos necesarios para lograr concretar mis estudios, a mis abuelitos Clementina Terán y Luis Díaz y familiares cercanos por sus sabios consejos y palabras de motivación constante que me han permitido seguir con mis estudios.*

*Lo más valioso que tengo en mi vida son las cosas que he logrado y uno de mis mayores logros no habría sucedido sin la presencia de mi querida hija Aitana Valencia, por su apoyo, por su amor y por ser la fuente de mi esfuerzo con cada una de sus ocurrencias que alegra mis días, enseñándome a ser un padre y una mejor persona.*

**FRANCISCO VALENCIA**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, también por haber sido mi refugio en momentos difíciles y mostrarme que todo es posible, por protegerme siempre, darme fuerzas para seguir y cumplir una meta más junto a mi familia y todos aquellos quienes forman parte de mi vida.*

*A mi madre, a mis abuelitos quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio, por siempre enseñarme a valorar todo lo que tengo. A todos ellos agradezco este trabajo, porque han fomentado en mí, el deseo y las ganas de superarme y siempre culminar mis metas.*

*También a la Universidad Técnica del Norte, en especial a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas “FICA”, por acogerme durante toda mi carrera universitaria dentro de la familia de textiles.*

*De igual manera a mi tutora de tesis, Ing., Mora Elsa y al Ing. Omar Godoy por guiarme en todo el desarrollo de la tesis, ya que, gracias al apoyo y confianza, supieron guiarme para culminar con éxitos este trabajo, también quiero agradecer a cada uno de mis docentes por haberme compartido sus conocimientos a lo largo de mi formación como profesional.*

**FRANCISCO VALENCIA**

# ÍNDICE DE CONTENIDO

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA .....	i
CONSTANCIA .....	ii
CERTIFICACIÓN DEL ASESOR.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I.....	1
1.    INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción del tema.....	1
1.2. Antecedentes.....	1
1.3. Importancia del estudio.....	2
1.4. Objetivos.....	2
1.5. Características del sitio del proyecto.....	2
CAPÍTULO II.....	4
2.    ESTADO DEL ARTE.....	4
2.1. Revisión de estudios previos.....	4
2.2. Marco legal.....	6
2.3. Marco conceptual.....	8
CAPÍTULO III.....	25
3.    METODOLOGÍA.....	25

3.1. Investigación cuantitativa .....	25
3.2. Métodos .....	25
3.3. Normativa aplicada .....	26
3.4. Flujogramas de proceso .....	29
3.5. Flujograma de muestras ensayo de tracción y flexión .....	30
3.6. Equipos .....	31
3.7. Elaboración de material compuesto .....	33
3.8. Elaboración de probetas .....	37
3.9. Tablas del material compuesto de 95% matriz y 5% refuerzo .....	42
CAPÍTULO IV .....	45
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	45
4.1. Resultados .....	45
4.2. Discusión de resultados .....	55
CAPÍTULO V .....	65
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	65
5.1. Conclusiones .....	65
5.2. Recomendaciones .....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67
ANEXOS .....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Líneas de investigación Universidad Técnica del Norte.....	7
<b>Tabla 2</b>	Composición química de la fibra de abacá .....	9
<b>Tabla 3</b>	Sales inorgánicas.....	15
<b>Tabla 4</b>	Composición de ensayos tracción.....	42
<b>Tabla 5</b>	Composición de material compuesto ensayo flexión.....	43
<b>Tabla 6</b>	Ensayo de tracción fibra de abacá variedad Bungalanon.....	46
<b>Tabla 7</b>	Probetas de fibra de abacá de 15 mm.....	47
<b>Tabla 8</b>	Refuerzo con fibra de abacá de 30 mm.....	48
<b>Tabla 9</b>	Resistencia a la tracción de fibra de vidrio de 15 mm .....	49
<b>Tabla 10</b>	Refuerzo con fibra de vidrio de 30 mm .....	50
<b>Tabla 11</b>	Ensayo de flexión Material compuesto reforzado fibra de abacá 15mm.	52
<b>Tabla 12</b>	Ensayo de Flexión Material Compuesto Reforzado con Fibra de Abacá 30mm.....	53
<b>Tabla 13</b>	Ensayo de flexión Material compuesto reforzado fibra de vidrio 15mm	54
<b>Tabla 14</b>	Ensayo de flexión Material compuesto reforzado fibra de vidrio 30mm	54
<b>Tabla 15</b>	Test de normalidad ensayo de tracción fuerza máxima PAST 4 .....	56
<b>Tabla 16</b>	Codificación para ensayo de tracción .....	56
<b>Tabla 17</b>	Test de normalidad de ensayo flexión fuerza máxima .....	58
<b>Tabla 18</b>	Codificación ensayo flexión fuerza máxima.....	58
<b>Tabla 19</b>	Test de normalidad del esfuerzo máximo .....	60
<b>Tabla 20</b>	Codificación flexión esfuerzo máximo .....	60
<b>Tabla 21</b>	Test de normalidad módulo Young .....	62
<b>Tabla 22</b>	Codificación flexión módulo Young .....	62
<b>Tabla 23</b>	Síntesis de la comparativa entre la misma fibra.....	63
<b>Tabla 24</b>	Síntesis de la comparativa entre la misma longitud de refuerzo.....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Ubicación de laboratorio de la Carrera de Textiles .....	3
<b>Figura 2:</b> Ubicación de las Fuerzas Armadas ESPE .....	3
<b>Figura 3:</b> Probeta de resina de poliéster y reforzada con fibra de cabuya.....	6
<b>Figura 4:</b> Plantación de Abacá de Ecuador .....	8
<b>Figura 5:</b> Vista en 500X A: Sentido transversal B: Sentido longitudinal .....	9
<b>Figura 6:</b> Corte de ramificaciones .....	10
<b>Figura 7:</b> Apoyos de corte .....	10
<b>Figura 8:</b> Deshilachar capas .....	11
<b>Figura 9:</b> Tonguillos.....	11
<b>Figura 10:</b> Transporte de plantación a desfibradora.....	12
<b>Figura 11:</b> Desfibradora y clasificación de fibras .....	12
<b>Figura 12:</b> Tendales de secado .....	13
<b>Figura 13:</b> A: Pesaje de fibra- B: Compresión de fibra.....	13
<b>Figura 14:</b> Fibra de vidrio .....	15
<b>Figura 15:</b> Cadenas de polímero dentro de la fibra de vidrio.....	16
<b>Figura 16:</b> Reparación en automotores .....	17
<b>Figura 17:</b> Estructura de construcción con fibra de vidrio.....	18
<b>Figura 18:</b> Resina de poliéster.....	19
<b>Figura 19:</b> Estireno (diluyente) .....	22
<b>Figura 20:</b> Octoato de cobalto al 6% de concentración.....	23
<b>Figura 21:</b> Peróxido de Mek.....	23
<b>Figura 22:</b> Gráfico de aplicación norma ISO 1421:1998 .....	26
<b>Figura 23:</b> Ensayo de flexión de tres puntas .....	27
<b>Figura 24:</b> Flujograma de proceso.....	29
<b>Figura 25:</b> Flujograma muestral .....	30
<b>Figura 26:</b> Viscosímetro digital Brookfield DV-I Modelo LVDV-I.....	31
<b>Figura 27:</b> Madera para el corte de fibra.....	31
<b>Figura 28:</b> Dinamómetro Titan 5 modelo 1410.....	32
<b>Figura 29:</b> Máquina universal de ensayos MTS TK/T50002.....	32
<b>Figura 30:</b> Lámina de acrílico para moldes.....	34
<b>Figura 31:</b> Calibrador pie de rey .....	34
<b>Figura 32:</b> Resina de poliéster con estireno en concentración de 75/25 y 66/33 .....	35

<b>Figura 33:</b> Corte de fibra .....	37
<b>Figura 34:</b> Pesaje y etiquetado de fibra .....	37
<b>Figura 35:</b> Trazos en lámina de acrílico de moldes.....	38
<b>Figura 36:</b> A. Repasado con cutter sobre la línea B. Aplicar presión para completar el corte.....	38
<b>Figura 37:</b> Pegado de las caras del molde para probetas de tracción .....	38
<b>Figura 38:</b> Moldes para realizar probetas de ensayo a la tracción .....	39
<b>Figura 39:</b> A. Medir el volumen de resina B. Registro del peso de resina.....	39
<b>Figura 40:</b> A. Peso del octoato de cobalto "Catalizador" B. Peso del Mek "Acelerante" .....	39
<b>Figura 41:</b> A. Agregar resina al catalizador B. Agitar la mezcla C. Adicionar la mezcla al resto de resina D. Agitar toda la resina.....	40
<b>Figura 42:</b> Identificar y colocar fibra para realizar la humectación .....	40
<b>Figura 43:</b> A. Agregar Mek B. Modificación de color de la matriz.....	41
<b>Figura 44:</b> A. Medir volumen de resina para probeta B. Adicionar la resina a la fibra .....	41
<b>Figura 45:</b> Organización de fibra con la resina en el molde.....	41
<b>Figura 46:</b> Secado de probetas .....	42
<b>Figura 47:</b> Resultado final del laminado con fibra de abacá.....	42
<b>Figura 48:</b> Probetas en los ensayos A: Tracción B: Flexión .....	45
<b>Figura 49:</b> Colocación de probetas en el Titan 5 modelo 1410.....	47
<b>Figura 50:</b> Probetas de Abacá de 15mm luego del ensayo a la tracción .....	48
<b>Figura 51:</b> Probetas de Abacá de 30mm luego del ensayo a la tracción .....	49
<b>Figura 52:</b> Probetas de fibra de vidrio de 15mm luego del ensayo .....	50
<b>Figura 53:</b> Probetas reforzadas con 30mm fibra de vidrio .....	51
<b>Figura 54:</b> Máquina universal de ensayos MTS TK/T50002.....	51
<b>Figura 55:</b> Refuerzo de abacá 15mm A. Vista frontal B. Vista lateral .....	52
<b>Figura 56:</b> Refuerzo de abacá 30mm A. Vista frontal B. Vista lateral .....	53
<b>Figura 57:</b> Refuerzo de vidrio 15mm A. Vista frontal B. Vista lateral .....	54
<b>Figura 58:</b> Refuerzo de vidrio 30mm A. Vista frontal B. Vista lateral .....	55
<b>Figura 59:</b> Comparativa fuerza máxima de tracción .....	57
<b>Figura 60:</b> Gráficos ensayo flexión fuerza máxima .....	59
<b>Figura 61:</b> Matrix Plot del esfuerzo máximo.....	61
<b>Figura 62:</b> Matrix plot Módulo Young.....	63

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Certificado de utilización de laboratorios de la Planta Textil UTN .....	72
<b>Anexo 2.</b> Certificado de utilización de laboratorios de mecánica de materiales ESPE	73
<b>Anexo 3.</b> Norma ISO 1421:1998 Tejidos recubiertos de plástico o caucho determinación de la resistencia a la tracción y del alargamiento en la rotura .....	74
<b>Anexo 4.</b> Norma ASTM D7264-07 referencial.....	75
<b>Anexo 5.</b> Análisis Urkund.....	85
<b>Anexo 6.</b> Certificado de La UEmprende traducción del resumen.....	86

## RESUMEN

El objetivo principal de la investigación es el desarrollo de un material compuesto con resina de poliéster reforzado con fibra de abacá para la aplicación en la industria automotriz, considerando que es una fibra natural de gran resistencia, peso ligero, bajo costo y buenas propiedades mecánicas para reemplazar a la fibra de vidrio.

Para el desarrollo del material compuesto se investiga la preparación de la matriz determinando la siguiente composición: 75% de resina de poliéster, 25% de estireno como diluyente, 0.2% de Octoato de cobalto y el 1.5% peróxido de Mek, estos últimos deben adicionarse según el peso de la resina con estireno. Los laminados están conformados del 5% de refuerzo de fibra de abacá de dos longitudes: 15 y 30mm, el 95% restantes es de la matriz, obteniendo así 40 especímenes de los cuales 20 para ensayos de tracción realizados en el laboratorio físico de la Carrera de Textiles de la Universidad Técnica del Norte “UTN” y los restantes especímenes para ensayos de flexión en el laboratorio de Mecánica de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”.

Los ensayos de Resistencia a la tracción (fuerza máxima) medida en Newtons (N) se determina con la utilización del dinamómetro Titan 5, los ensayos se realizan sobre probetas rectangulares de 50mm x 150mm x 3.2mm, para los laminados de fibra de vidrio como fibra de abacá. Para el ensayo de flexión se utiliza la máquina universal de ensayos MTS TK/T50002 que determina la fuerza máxima, deformación unitaria, esfuerzo máximo y el módulo de elasticidad los ensayos se realizan sobre probetas con las medidas de 12.7mm x 127mm x 3.2mm. Luego se realiza el análisis estadístico empleando el Software PAST 4, permite obtener las pruebas de normalidad para determinar el 95% de confiabilidad de los ensayos, además proyecta los resultados de manera gráfica para la comprensión del analista.

Con los resultados obtenidos, se determina que los laminados de fibra de vidrio ante los laminados de fibra de abacá presentan los mejores resultados en las pruebas mecánicas de resistencia a la tracción y flexión.

## ABSTRACT

The research goal is to create a composite material with polyester resin and abaca fiber for the automotive sector. Abaca fiber is a natural fiber that can replace fiberglass because of its high strength, light weight, low cost, and good mechanical properties.

For the development of the composite material, the preparation of the matrix is investigated by determining the following composition: 75% polyester resin, 25% styrene as a diluent, 0.2% cobalt octoate, and 1.5% MEK peroxide, the latter must be added according to the weight of the resin with styrene. The laminates are made up of 5% abaca fiber reinforcement of two lengths: 15 and 30mm, and the remaining 95% are matrix, Thus obtaining 40 specimens of which 20 were for traction tests carried out in the physical laboratory of the textile program at Tecnica del Norte University "UTN" and the remaining specimens for flexion tests in the Material Mechanics Laboratory of the University of the Forces Armed "ESPE".

The tensile strength tests (maximum force) measured in Newtons (N) are determined using the Titan 5 dynamometer, the tests are carried out on rectangular cylinders of 50mm x 150mm x 3.2mm, for laminates of glass fiber as abaca fiber. The universal test machine MTS TK/T50002 is used to determine the maximum force, strain, maximum stress, and modulus of elasticity. Tests are performed on test pieces with measurements of 12.7mm x 127mm x 3.2mm. Then the statistical analysis is performed using THE SOFTWARE PAST 4, it allows us to obtain the tests of normality to determine the 95% reliability of the tests, besides projecting the results in a graphical way for the analyst's understanding.

According to the results, glass fiber laminates score higher in mechanical tests of tensile strength and flexion than abaca fiber laminates

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Descripción del tema

Actualmente las industrias buscan nuevas alternativas para sustituir materiales que son contaminantes con el ambiente, de igual manera puede afectar a la salud de las personas que lo manipulan, así, se aborda sobre el uso de la fibra de vidrio, empleada para reparaciones de partes automovilísticas.

Por ende, la siguiente investigación trata de realizar una comparativa de las propiedades mecánicas de material compuesto a base de fibra de abacá y fibra de vidrio con resina de poliéster, desarrollando nuevas alternativas, utilizando fibras de origen natural para la reparación de carrocerías automovilísticas.

Dicha comparativa se analiza mediante gráficos estadísticos en el software “PAST 4” para comprobar el comportamiento de la fibra de abacá y la fibra de vidrio en el material compuesto.

### 1.2. Antecedentes

La industria automotriz ha utilizado materiales compuestos a base de fibra de vidrio para la reparación de guardachoques, esta fibra causa daños en la salud de las personas que lo manipulan.

La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades afirma lo siguiente:

Las fibras vítreas sintéticas pueden producir irritación de los ojos y la piel conocida como “comezón de lana de vidrio.” También pueden irritar las vías respiratorias superiores (la nariz y la garganta) y partes del pulmón, produciendo dolor de garganta, congestión nasal y tos. (Agencia para Sustancias Tóxicas el Registro de Enfermedades, 2004, pág. 4, párrafo 2)

Una alternativa para lo antes mencionado es la utilización de polímeros naturales como el abacá, se ha visto diversos beneficios en su aplicación al ser una fibra natural con buena resistencia a la tracción y durable en agua dulce o salada.

En su investigación (Quesada Solís, 2003) afirma: “Como parte del interés sobre el desarrollo de materiales compuestos a base de refuerzos naturales que ha surgido en los últimos años, por las ventajas técnicas, económicas y ambientales que presentan”

Para la obtención de la fibra de abacá no requiere ningún proceso de tratamiento, por lo contrario, la producción de la fibra de vidrio requiere de tratamientos, por ende, la fibra natural tiene un ahorro energético considerable.

### **1.3. Importancia del estudio**

La presente investigación nace con la búsqueda de nuevas alternativas para el remplazo del material compuesto a base de fibra de vidrio, se ha visto que puede afectar a las personas que lo utilizan, en este proceso se pone a prueba la fibra de abacá que ha presentado buenas propiedades de resistencia, además de ser un producto orgánico y autóctono de nuestro país, cultivándose en la costa ecuatoriana.

Al utilizar la fibra de abacá se pretende utilizar en el ámbito automotriz debido a su resistencia a la tensión, además, no es tóxico para las personas que lo manipulan ni para el ambiente.

### **1.4. Objetivos**

#### ***1.4.1. Objetivo general***

Desarrollar una comparativa de las propiedades mecánicas de un material compuesto a base de fibra de abacá (*Musa textilis*) y material de fibra de vidrio con resina de poliéster para la construcción de guardachoques de automotores.

#### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Analizar los procedimientos para la elaboración de laminados de materiales compuestos a base de fibra vidrio y material compuesto a base de fibra de abacá.
- Determinar la concentración óptima de fibra de vidrio y fibra de abacá con resina de poliéster para la obtención laminados de materiales compuestos.
- Evaluar los laminados de materiales compuestos aplicando el ensayo de resistencia a la tracción según la norma ISO 1421:1998 y el ensayo de resistencia a la flexión según la norma ASTM D7264-21.

### **1.5. Características del sitio del proyecto**

El presente trabajo se realizó en los laboratorios de la Planta Académica Textil de la Universidad Técnica del Norte, ubicada en la ciudad de Ibarra, en la provincia de Imbabura, sector de Azaya, calles Luciano Solano Sala y Morona Santiago.

El laboratorio de la Universidad Técnica del Norte perteneciente a la Carrera de Textiles consta con un equipamiento basados a normativas internacionales como AATCC e ISO. En el

cual se pueden realizar ensayos para materia prima o producto terminado, contando con profesionales calificados en el área de control de calidad.

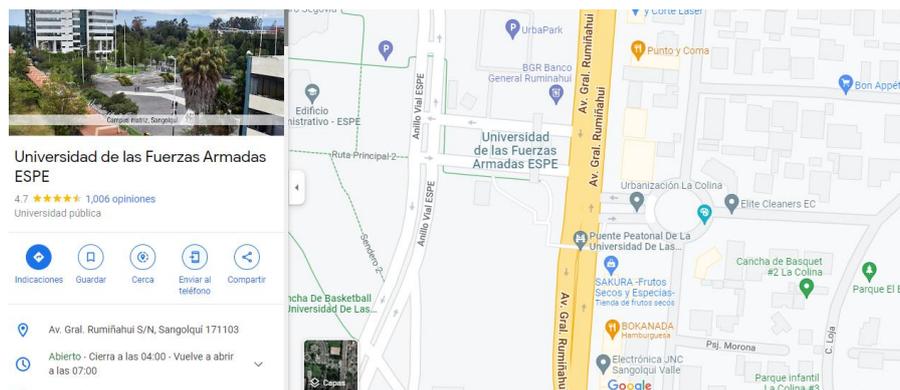


**Figura 1:** Ubicación de laboratorio de la Carrera de Textiles

Fuente:(Google Maps, 2022a)

En conjunto de las instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, ubicada en Sangolquí, en la provincia de Pichincha, Av. Gral. Rumiñahui S/N, Sangolquí 171103.

Se realiza en el laboratorio de mecánica de materiales con el fin de obtener datos sobre el ensayo de flexión aplicando la normativa ASTM D 7274



**Figura 2:** Ubicación de las Fuerzas Armadas ESPE

Fuente:(Google Maps, 2022b)

## CAPÍTULO II

### 2. ESTADO DEL ARTE

#### 2.1. Revisión de estudios previos

##### 2.1.1. Abacá

En el Ecuador el consumo de abacá es relativamente bajo, se lo utiliza para la elaboración de artesanías y muebles del hogar. El 60% del abacá producida en Ecuador se exporta a la Corporación Dexter, un alto porcentaje de exportación a una sola corporación, sin embargo, las productoras de abacá no tienen una estabilidad económica por los precios bajos que llega a tener la fibra (Romero Zapata, 2013, pág. 12).

Según los estudios la industria ecuatoriana le da poco uso esta fibra y otros países han aprovechado para realizar productos novedosos y lograr al máximo su potencial, dentro de estos países se encuentra: Reino Unido que utiliza la fibra para la fabricación de papel moneda, Japón, España y Estados Unidos fabrican papel higiénico, paños, envoltura de té, tela de uso dentro del hogar y uso hospitalario (Romero Zapata, 2013, pág. 13).

Al usar fibras de origen vegetal como es el abacá presenta grandes ventajas en comparación con la fibra de vidrio, como: los bajos costos para la obtención, bajo consumo energético, las fibras vegetales se las considera como un producto renovable por ende amigables con el ambiente y como punto central el bajo riesgo de afectaciones a la salud de las personas que manipulan las fibras de origen vegetal (Páez Moscoso, 2007, pág. 8).

##### 2.1.2. *Material compuesto a base de fibra de bambú y a base de fibra de vidrio*

En la investigación realizada por (Taborda-Rios et al., 2017) realiza una comparativa de las propiedades mecánicas de la resina de poliéster reforzado con fibra de bambú y fibra de vidrio, con ensayos como resistencia a la tracción, flexión e impacto las mismas que se encuentra dentro de la normativa ASTM, la investigación específica que las fibras se les realiza un tratamiento previo con hidróxido de sodio al 5% de en concentración con respecto a la masa.

Como se menciona anteriormente el tratamiento que se les da a las fibras en el campo textil es conocido como mercerizado que se aplica a los hilos y telas, con el fin de mejorar la resistencia para su mejor desempeño en el material compuesto.

Según Taborda-Rios et al., (2017), realiza la comparativa de probetas en diferentes concentraciones de la masa de fibras bambú van de 11.07%, 13.53% y 16.23%, por otro lado, los porcentajes que maneja la fibra de vidrio es de 10.11%, 14.77% y 19.19%. En los resultados de resistencia a la tracción la fibra de bambú no muestra variación notable con respecto al aumento del porcentaje de fibra los valores son los siguientes 25.98, 25.34, y 25.15 MPa respectivamente a las concentraciones.

En el ensayo de la tracción la fibra de vidrio presenta mejoras tras el aumento de fibra de 34.32, 33.27 y 38.42 MPa. El ensayo de resistencia a la flexión del bambú proporciona los siguientes valores 81.40, 79.49 y 84.40 MPa, para la fibra de vidrio es de 83.01, 67.26, 106.62 MPa respectivamente con el porcentaje de fibras (Taborda-Rios et al., 2017).

La resistencia al impacto en la investigación lo ha realizado únicamente con la concentración más alta de fibra siendo así 16.23% para bambú y 19.19% para vidrio adicional se prueba la resina de poliéster sin refuerzo, los resultados demuestran que la base de fibras aumenta considerablemente la resistencia, sin base de fibras de 69,94 J/m con fibra de bambú es de 104,21J/m que es un aumento del 49% por último la fibra de vidrio que es de 461.03 J/m con un aumento de 559,13% a la resina sin base (Taborda-Rios et al., 2017).

(Taborda-Rios et al., 2017) concluye sobre las fibras de origen natural lo siguiente: “pueden ser utilizadas como fase de refuerzo en materiales compuestos de matriz poliéster en aplicaciones donde no se requieran altas prestaciones mecánicas y se desee un alto valor estético, (valores de módulo de elasticidad inferiores a 4.33 GPa)”.

### ***2.1.3. Comparativa de material compuesto de resina de poliéster con refuerzo de fibra de cabuya y fibra de vidrio***

Según, Acosta Brenes (2013), en su investigación realiza una comparativa entre la fibra de vidrio y fibra de cabuya con resina de poliéster, inició con la formación de muestras sin ningún refuerzo y la otra con un refuerzo del 30% de fibra de vidrio, las mismas que fueron sometidas a pruebas mecánicas como es la resistencia a la tensión, flexión, impacto y a un módulo de elasticidad. Para la muestra sin refuerzo los resultados son los siguientes 52.6MPa, 62.9 MPa, 5.82 J/m y 2639 MPa. Para la muestra que contiene el refuerzo de fibra de vidrio del 30% tiene como resultados 87.3 MPa, 155MPa, 207.46 J/m y 5526 MPa respectivamente.

En cuanto a la fibra de cabuya varia la longitud y concentración. Con respecto a las longitudes fibras, emplea de 5mm, 10mm, 15mm y porcentajes de 1%, 3% y 5%, los dos parámetros están directamente conectados para mejorar los resultados de los ensayos (Brenes, 2013).

Los resultados obtenidos de las pruebas con el refuerzo de cabuya el mejor valor de resistencia a la tracción es de 34,5 MPa con una composición de 15 mm de longitud y 5% de fibra, para el módulo de elasticidad 2885 MPa en una composición de 10 mm y 5% de fibra. Acosta Brenes en su investigación afirma que “la resistencia a la tensión del material disminuye al aumentar el porcentaje de fibra de cabuya, mientras que el módulo de elasticidad de Young mejora al aumentar el contenido de fibra y al aumentar la longitud de la fibra”(2013, pág. iv, párr. 4).

Basados a los resultados del módulo de elasticidad Brenes decide evaluar las flexión y resistencia al impacto con muestras de 10 mm de longitud y en 5% de fibra, obtiene resultados de 32,6 MPa de flexión y 100.87 J/m de impacto (Brenes, 2013).

Según Brenes recomienda realizar una comparativa superior a los 15 mm de longitud y el 5% de concentración de fibra para mejorar los resultados.



**Figura 3:** Probeta de resina de poliéster y reforzada con fibra de cabuya

Fuente: (Brenes, 2013)

## **2.2. Marco legal**

### **2.2.1. Líneas de investigación Universidad Técnica del Norte**

De acuerdo con la resolución N° 122-SO-HCU-UTN.

La Universidad Técnica del Norte dispone de diez líneas de investigación para la realización de proyectos de investigación, las mismas que encajan con las recomendaciones que realiza la secretaria nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación “SENESCYT”, las líneas nacen de las distintas carreras que brinda la UTN y la presente investigación está inmersa en la línea 1 y 9 (Universidad Técnica del Norte, 2022).

En la siguiente tabla se presenta las líneas de investigación de la UTN.

**Tabla 1**

*Líneas de investigación Universidad Técnica del Norte*

N°	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN
1.	Producción Industrial y Tecnología Sostenible
2.	Desarrollo Agropecuario y Forestal Sostenible
3.	Biotecnología, Energía y Recursos Naturales Renovables
4.	Soberanía, Seguridad e Inocuidad Alimentaria Sustentable
5.	Salud y Bienestar Integral
6.	Gestión, Calidad de la Educación, Procesos Pedagógicos e Idiomas
7.	Desarrollo Artístico, diseño y publicidad
8.	Desarrollo Social y del Comportamiento Humano
9.	Gestión, Producción, Productividad, Innovación y Desarrollo Socioeconómico
10.	Desarrollo, aplicación de software y cyber security (seguridad cibernética)

*Fuente:* (Universidad Técnica del Norte, 2022)

### **2.2.2. Constitución de la República del Ecuador**

Como lo indica el registro oficial 449 de 20 de octubre del 2008 en la Constitución de la República del Ecuador, capítulo segundo trata sobre los derechos del buen vivir, en la sección segunda como artículos principales de un ambiente sano se encuentra el artículo 14, en el mismo que la población tiene el derecho a estar rodeado de un ambiente sano y ecológicamente estable, que certifique el Sumak kawsay (Constitución de la República del Ecuador, 2008, pág.14).

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir “Sumak kawsay”. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados. (“Constitución de la República del Ecuador,” 2008, art.14)

Adicional al artículo 14 de la constitución de la República del Ecuador está relacionado con la Ley de gestión ambiental en el primer título de ámbito y principios

de la gestión ambiental están los artículos 1, 2 y 5, también en el segundo título del régimen institucional de la gestión ambiental dentro del capítulo 1, el desarrollo sustentable, se relaciona con el artículo 7 (Ley de gestión ambiental, 2004, págs. 1-2).

“La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas tradicionales”(Ley de gestión ambiental, 2004, art. 2).

### **2.3. Marco conceptual**

En esta sección se detalla la información recolectada que está estrechamente relacionada con la investigación con el motivo de sustentar los conocimientos.

#### **2.3.1. Abacá**

El abacá con su nombre científico “*Musa textilis*” perteneciente a la familia de las musáceas que tiene su origen en Borneo, Filipinas, Costa Rica y Ecuador, dichos países tienen un clima cálido y lluvioso. Es una planta que alcanza los 7 metros de altura similar a la planta de plátano, la diferencia es que el abacá no da un fruto comestible (Química.ES, n.d.).

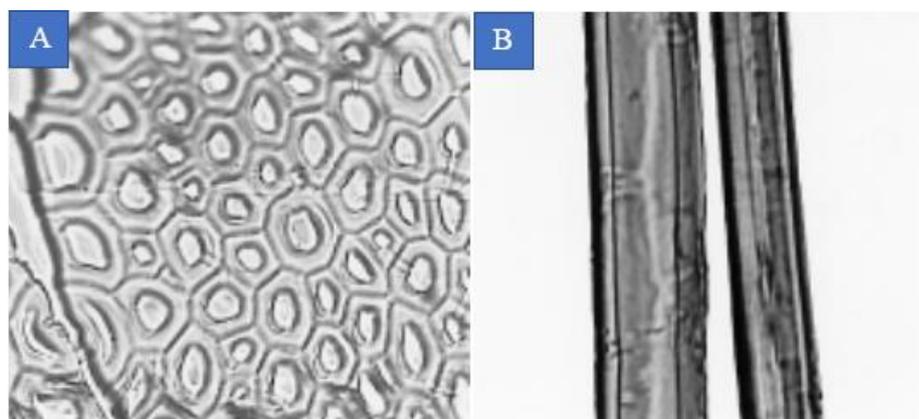
“Cuenta con un contenido de lignina componente de la pared celular que determina la dureza que está por encima del 15%”, dicha composición tiene buenas capacidades de resistencia, flexibilidad, flotabilidad con estas propiedades se puede comparar con el rayón, le supera en la resistencia a la tracción y no sufre alargamiento en ambiente húmedos ni secos (Cooperación Alemana).



**Figura 4:** Plantación de Abacá de Ecuador

Fuente:(El Correo, 2017)

Para (Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura, n.d.) los parámetros para clasificar la fibra de abacá es la siguiente: “Las mejores clasificaciones del abacá son: finas, brillantes, de un color habano claro y muy fuertes”



**Figura 5:** Vista en 500X A: Sentido transversal B: Sentido longitudinal

Fuente:(American Association of Textile Chemists and Colorists, 2010)

### Composición química

Para Salas la composición de la fibra de abacá es la siguiente:

**Tabla 2**

*Composición química de la fibra de abacá*

Compuesto	Porcentaje
Humedad	10%
Celulosa	63.2%
Hemicelulosa	19.6%
Pectina	0.5%
Extracto aceroso	1.4%
Grasas y ceras	0.2%
Lignina	5.1%

Fuente:(Salas, 2009)

### Cultivo

En los cultivos de abacá se puede mencionar que por cada hectárea existe un aproximado de 820 plantas las cuales debe llevar un proceso para obtener una materia prima óptima para su exportación. Una vez plantada el abacá se procede a realizar una fertilización con el fin de tener una producción apta, se debe realizar un control de plagas y más importante controlar las enfermedades que pueden dañar el pseudotallo.

La limpieza del suelo es importante en las plantaciones, la eliminación de la maleza, el proceso se lo debe realizar por lo mínimo 4 veces al año, además a esto se debe cortar los retoños no productivos con estos cuidados se procede a identificar los pseudotallos maduros para proceder a la cosecha.

- Cuando ya se tiene identificado las plantas que están en su estado de madurez para extraer la fibra de abacá, se realiza un deshoje o retirar las ramificaciones que nacen del pseudotallo, se lleva a cabo con herramientas realizadas por los agricultores en la que consiste un palo largo, en su punta está atado un cuchillo filo.



**Figura 6:** Corte de ramificaciones

- Luego del deshoje se realiza el corte en la base de los pseudotallos, para extraer la fibra los agricultores hacen grupos de tres. Con el fin de facilitar y evitar el agotamiento del agricultor, lo realizan con apoyos o troncos que ayuden a levantar el pseudotallo.



**Figura 7:** Apoyos de corte

- Una vez acumulado se procede a quitar la primera capa en la cual se encuentra las fibras de quinta clase, después de extraer o deshilar las capas queda un

poco del pseudotallo el mismo que queda como desperdicio y abono para las plantas que aún no están en su estado de madurez.



**Figura 8:** Deshilachar capas

- Del pseudotallo se extrae capas de fibra, las mismas se van clasificando la calidad según el avance hacia el centro, desde quinta a primera clase. Este proceso se llama tuxear, al realizar grupos de tres se lo denomina tonguillo, para luego proceder hacer atados. Lo recomendado es procesar el mismo día, si el reposo de los tonguillos excede las 24 hora sufren una oxidación deteriorando la calidad.



**Figura 9:** Tonguillos

- Los tonguillos atados se transportan en mulas de carga al área de desfibrado.



**Figura 10:** Transporte de plantación a desfibradora

- La extracción de fibra se realiza en una máquina de presión con rodillos es aquí donde se elimina la mayor cantidad de líquido que contiene el material fibroso, el operario clasifica según el color de la materia prima, el color más claro define la mejor calidad de fibra.



**Figura 11:** Desfibradora y clasificación de fibras

Fuente: (Plan V, 2019)

- El siguiente paso es el proceso de secado, que se lleva a cabo bajo la acción de los rayos del sol, dependiendo del clima tarda de 30 y 45 minutos.



**Figura 12:** Tendales de secado

Fuente: (Plan V, 2019)

- Después del secado se transporta la materia prima a bodegas para el embalado dependiendo del color, el empaquetado se realiza con un peso determinado, el material se introduce en una prensa para ser comprimida, asegurada y almacenada.



**Figura 13:** A: Pesaje de fibra- B: Compresión de fibra

## Tipos

En el estudio realizado en Filipinas declara 40 variantes de musa textilis, en Ecuador se reconoce 3 tipos de las que se puede encontrar: Bungalanón la que se subdividen en color rojo y negro, Tangongón están inmersos 3 tipos negra, roja y meristemático, por último, Maguindanao de color rojo y verde (Sambonino Garcia et al., 2017).

- Bungalanón. Entre las tres, esta clase se cosecha con mayor rapidez por su menor tiempo en desarrollo, tiene tallos pequeños y delgados, se la conoce por su color característico café en la base y de un color verde brillante en la parte superior,

de esta se extrae fibras blancas y de gran suavidad (Sambonino Garcia et al., 2017).

- Tangongón. Esta variedad de abacá se extrae fibras ordinarias con gran resistencia, produce mayor cantidad de fibra a comparación de la anterior, por su tallo de mayor diámetro y longitud. La producción de hijuelos es limitada (Sambonino Garcia et al., 2017).
- Manguindanao. Esta fibra se caracteriza por su valor ya que produce fibras de colores como: rojos y verdes, pero no es tan durable como las anteriores (Sambonino Garcia et al., 2017).

### **Aplicaciones o Usos**

El primer uso que se le dio a la fibra de abacá es la elaboración de redes de pesca, debido a su alta resistencia en agua salada, con el tiempo se ha ido implementado el uso de fibras naturales, en el consumo diario, motivó a la fabricación de bolsas de té, envolturas de embutidos, sogas, cordeles, ropa, papel, cojines y asientos (Departamento Económico y de Comercio Exterior, 2021).

- Elaboración de tejidos

En el campo textil el uso de esta fibra es reducido por ser una fibra áspera, dura y llena de impurezas, por el contenido de celulosa se puede aplicar procesos similares al lino y algodón con el fin de mejorar su aspecto áspero (Chang Alvarado & Montero Bernabe, 2015).

- No tejidos

Esta fibra cuenta con propiedades de aislamiento, tanto térmico como acústico, aprovechando estas propiedades se realiza acumuladores eléctricos, paño de limpieza del hogar y de uso hospitalario. El Reino Unido utiliza este material para la elaboración de papel de alta calidad para escritura y papel moneda (Chang Alvarado & Montero Bernabe, 2015).

#### **2.3.2. Fibra de vidrio**

La fibra de vidrio se forma a partir de filamentos de vidrio, la misma que puede ser de distintas formas como: tubos, mallas y tejidos. Dicha fibra se caracteriza por ser ligera, resistente, estables y funciona como aislante térmico en tubería (Motorex, 2020).



**Figura 14:** Fibra de vidrio

Fuente: (Motorex, 2020)

### Formación de fibra de vidrio

Para la obtención de fibra de vidrio tiene la interacción entre silicatos y borosilicatos, los mismos que presenta sales como sodio, potasio, calcio, magnesio, aluminio entre otras. Para preparar silicato-borosilicato se realiza en un proceso de fusión mezclando sales inorgánicas (Lockuán Lavado, 2013).

Para Lockuán las sales inorgánicas que intervienen en la formación del prepolímero silicato-borosilicato son:

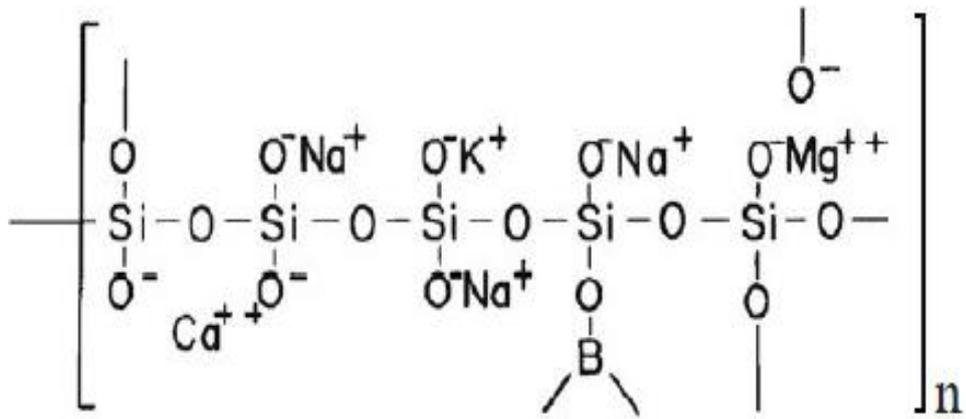
**Tabla 3**  
Sales inorgánicas

Sal inorgánica	Porcentaje de preparación
Óxido de silicio (sílice)	50-65%
Óxido de calcio	15-25%
Óxido de aluminio (alúmina)	2-18%
Óxido de boro	2-15%
Otros Óxidos	1-10%

Fuente: (Lockuán Lavado, 2013, pág. 89)

Luego de obtener el cristal en formas de canicas, son llevadas a hornos de altas temperaturas mayor a 800° C, al convertirse en líquido se lleva a cabo un hilado por fusión. El silicato-borosilicato no consta de cadenas ordenadas y la estructura es disforme (Lockuán Lavado, 2013).

Para Lockuán Lavado las cadenas dentro de la fibra de vidrio se representan de la siguiente manera:



**Figura 15:** Cadenas de polímero dentro de la fibra de vidrio

Fuente: (Lockuán Lavado, 2013, pág. 89)

## Propiedades

- Resistencias: La tenacidad de la fibra de vidrio es mayor al acero, presentando de 53 a 88 cN/tex en un estado seco, en estado húmedo varía entre 44 a 71 cN/tex. Por otro lado, la resistencia a la abrasión es baja (Lockuán Lavado, 2013; Motorex, 2020).
- Regain: Para su comercialización la tasa de humedad es baja presentando de 0,5% o menos a dicha cantidad.
- Solubilidad: Se disuelve lentamente en medio básico con alta concentración, para disolver rápidamente se emplea ácido fluorhídrico (Lockuán Lavado, 2013).
- Eléctricas: Posee buenas propiedades de aislamiento eléctrico.
- Calor: buen aislante térmico, puede ser afectado si la temperatura alcanza su punto de fusión de 750°C o mayor (Lockuán Lavado, 2013).
- Incombustible: Al ser de origen mineral es incombustible esto quiere decir que no propaga el fuego de igual forma no expulsa humo ni olores tóxicos (Motorex, 2020).
- Estabilidad dimensional: Su dimensión lineal no varía cuando entra en acción de temperatura o hidrógeno (Motorex, 2020).
- Afinidad con matrices: La fibra de vidrio al ser presentada en distintos tamaños puede combinarse con diferentes resinas sintéticas, de igual forma se puede asociar con matrices orgánicas como es el cemento (Motorex, 2020).
- No se corrompe: La fibra de vidrio no se degrada por acción de insectos (Motorex, 2020).

- Permeabilidad dieléctrica: Con esta propiedad se construye ventanas electromagnéticas (Motorex, 2020).

### Aplicaciones industriales

Debido a las buenas propiedades que presenta dicha fibra, ha conseguido estar inmersa en distintas industrias y formando parte esencial de las mismas.

- Automotriz

Para Saint-Gobain los usos que le dan a la fibra de vidrio dentro de esta industria son los siguiente:

- En función de tejido se utiliza para discos de embrague y pastillas de freno.
- En un no tejido se usa como refuerzos de correa de accionamiento, toldos y aislamiento (Saint-Gobain).



**Figura 16:** Reparación en automotores

Fuente: (Motorex, 2018)

- Construcción

- “Fabricar tejidos de malla para reforzar fachadas y prevenir grietas en las paredes interiores” (Saint-Gobain).
- Se colocan en sistemas de aislamiento térmico.
- En los suelos como refuerzo para evitar fracturas.
- “La cobertura de paredes de fibra de vidrio se puede usar como acabado o decoración, y para renovación de paredes y techos” (Saint-Gobain).
- La utilizan como protección al fuego.



**Figura 17:** Estructura de construcción con fibra de vidrio

Fuente: (Cosmos.)

- Recreativo

Según Saint-Gobain menciona que tiene la fabricación de hilo de fibra de vidrio los mismos que aplican para la creación de los siguientes artículos:

- Palos de hockey
- Esquís de nieve
- Snowboards
- Esquís acuáticos
- Wakeboard
- Tablas de surf de remo
- Bates de beisbol

- Aeroespacial

El E-Glass se lo fabrica con fibra de vidrio, el cual es un filamento continuo aplicado para las siguientes partes de aeronaves:

- Suelo
- Closets
- Asientos
- Ductos de aire
- Área de carga
- Algunas aplicaciones de la cabina

### 2.3.3. *Resina de poliéster*

Dicha resina es un polímero insaturado que se consigue por la “policondensación de un diácido (maléico, ftálico, etc.) con un dialcohol (etilenglicol, proplilenglicol) y un monómero insaturado (estireno)” (Nieto, 2018, párr. 2 ).

Las resinas de poliéster están presentadas de manera líquida a temperatura ambiente, de esa forma se puede manipular al momento de trabajar, las resinas pre aceleradas o aceleradas, necesitan de un catalizador para solidificarles (Torres, 2020, párr.2).

Tienen la forma de plásticos termo estables dichas resinas son aquellas que se emplean en la reparación de automotores. Cabe recalcar que al momento de ser un plástico termo estable necesariamente requiere de un catalizador para solidificar los componentes, el mismo que no podrá retomar su estado anterior (Gil, 2012).



**Figura 18:** Resina de poliéster

Fuente:(Motorex, 2019)

### **Tipos de resinas de poliéster**

Para (Gil, 2012) la clasificación de las resinas de poliéster son las siguiente:

- Ortoftálicas: son aquellas que se utilizan en ambientes no agresivos, por lo general se utiliza para combinarla con la fibra de vidrio (Gil, 2012).
- Isoftálicas: trabajan bien en pruebas “mecánicas, resistentes al agua y agentes químicos” (Gil, 2012).
- Isoftálicas con neopentilglicol (ISO-NPG): “alta resistencia química y al ambiente” (Gil, 2012).

## **Curado**

Se denomina curado al proceso que sufre una resina para pasar de estado líquido a estado sólido, el mismo que no ocurre inmediatamente por dicho motivo se aplica un acelerante y catalizador para mejorar la reacción. El curado tiene sus fases dentro de las resinas, al pasar de un estado líquido a blando y luego se solidifica por completo (Gil, 2012).

Lo que se utiliza normalmente para el curado es el acelerante que tiene como nombre “octoato de cobalto” y el catalizador se denomina metil-etil-cetona “peróxido”

Gil menciona que se debe tener en cuenta los elementos dentro del proceso de curado los mismos que se presentan a continuación:

- El tipo y referencia de resina
- Temperatura adecuado mayor a 16°C
- Su naturaleza también se tiene en cuenta la cantidad de catalizador y acelerante. A mayor cantidad de auxiliares menor tiempo de solidificación
- Humedad relativa de 40 a 54 %
- Exposición al sol
- “El incremento de la temperatura del proceso, la cual reduce el tiempo de gelificación. A temperatura ambiente no se debe sobrepasar los 27 °C” (Gil, 2012).

## **Normas de seguridad**

- Manejo y almacenamiento
  - Almacenar en ambientes frescos con una temperatura de 18°C a 21°C.
  - No se debe fumar cerca de la resina.
  - Mantener lejos de altos niveles de calor, chispas o llamas abiertas (Gil, 2012).
  - Usar en ambientes abiertos.
  - Lavarse bien las manos o partes que tuvieron contacto con la resina.
  - El recipiente que almacena a la resina puede estallar si está en contacto con el fuego.
- Casos de emergencia
  - En caso de que el recipiente entre en contacto con el fuego se recomienda aislar la zona y restringir el ingreso a esta.

- Siempre se debe utilizar en dirección del aire con el fin de evitar los gases.
- Primeros auxilios
  - Se puede dar el caso de intoxicación por inhalación a la persona se debe retirar a un espacio ventilado, en el mismo lugar se debe aplicar respiración artificial u oxígeno (Gil, 2012).
  - Si se tiene contacto inmediatamente se debe realizar un lavado de la zona durante 15 minutos con abundante agua.
  - En caso de ingerir acudir inmediatamente a un médico

## **Propiedades**

Para Nieto “Al ser un producto muy maleable y resistente a un gran número de factores, esté tipo de resinas son muy usadas en campos muy diferentes entre sí, desde el laminado sobre fibra de vidrio hasta la reparación de carrocerías” (2018, párr. 5).

Las propiedades que presenta la resina de poliéster son:

- Dureza
- Resistencia a la tracción
- Resistencia a la torsión
- Elevada relación resistencia/dureza
- Resistencia a la hidrólisis
- Termo estabilidad
- Resistencia a químicos

### **2.3.4. Estireno**

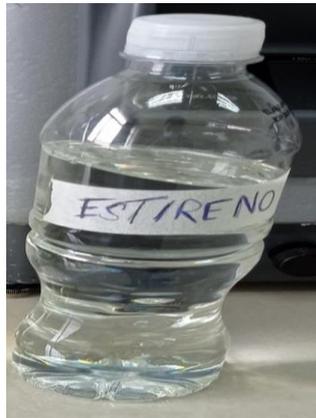
Repsol afirma que el estireno “Se trata de un hidrocarburo aromático líquido amarillo e incoloro que se evapora fácilmente y tiene un olor dulce”. Se lo utiliza para la fabricación de homopolímeros y copolímeros debido a las propiedades que presenta, es utilizado en distintas industrias.

Para (Repsol, n.d.) la aplicación de este hidrocarburo aromático es:

- El poliestireno, común en envases, componentes de automoción y electrodomésticos.
- El poliestireno expandido (EPS), el conocido corcho blanco, para uso tanto en embalajes como en aislantes en construcción.

- Los cauchos estirénicos destinados a la fabricación de neumáticos, mangueras, juguetes, suelas de zapatos o láminas asfálticas.
- Copolímeros ABS y SAN para la fabricación de juguetes, pequeños electrodomésticos, ordenadores, teléfonos móviles, componentes técnicos eléctricos y aparatos médicos
- Resinas de poliéster Insaturadas (UPR) utilizadas para la construcción, casco de embarcaciones de recreo, muebles, superficies resistentes al impacto (pisos, cocina, cuarto de baño) o en las aspas de las turbinas de viento.

La empresa Quivensa afirma: en cuanto a la aplicación del estireno “Permite modificar la viscosidad de la resina poliéster y viniléster. La cantidad de uso depende del tipo de resina, la temperatura de trabajo y del método de fabricación”



**Figura 19:** Estireno (diluyente)

### **2.3.5. Octoato de cobalto “Acelerador”**

Dentro de las pinturas y recubrimientos el octoato de cobalto es el más importante en cuanto al secado, al ser un catalizador de oxidación por lo que es un secante de superficies.

El Grupo PIQSA asegura que “El Cobalto no decolora las pinturas blancas, el tono azul violeta del cobalto contrarresta el amarillo de los aceites y resinas, resultando que realce la blancura de las pinturas” (Grupo Piqua, 2012).

Otra de las industrias que utilizan este producto es las tintas de impresión, por la acumulación de impresos requiere un secado eficaz y rápido (Grupo Piqua, 2012).



**Figura 20:** Octoato de cobalto al 6% de concentración

Para realizar el curado de la resina se utiliza cobalto al 6% de concentración, está formado de sales de cobalto, sea naftenato u octoato el porcentaje refiere al contenido de metales. Presentando buena estabilidad ante la oxidación atmosférica, decoloración y precipitación (Ahínco, n.d.).

### **2.3.6. Peróxido de Mek “Catalizador”**

Al utilizar resinas pre aceleradas, poliéster, bisfenólicas o viniléster, se debe agregar un catalizador en pequeñas proporciones, la resina empieza el proceso de polimerización o endurecimiento de las piezas. En las industrias el catalizador con más uso es el peróxido de mek o ciclo hexanona peróxido. Dicho producto determina el tiempo de secado, exotérmica (calentamiento de la resina), contracción, resistencia mecánica y química (Fibraplus, 2018).



**Figura 21:** Peróxido de Mek

La cantidad de catalizador es de vital importancia dentro del curado de la resina, no por la rapidez, sino por las propiedades que se gana o se pierde de acuerdo con la cantidad de Mek, el porcentaje va desde 0.5% al 3%. Al proporcionar poco catalizador la pieza reduce las

propiedades mecánicas y químicas también se las llama como piezas sub curadas. Por otro lado, agregar mucho Mek la resina se satura y no realiza un buen proceso de secado (Fibraplus, 2018).

### **2.3.7. *Material compuesto***

El material compuesto es la combinación de dos o más productos, que mediante un proceso se unen con la finalidad de mejorar las propiedades y características cuando los elementos se encontraban separados. Las combinaciones son poco usuales de rigidez, resistencia, peso, resistencia al calor, buen conductor de energía y poca afectación a la corrosión.

Un material compuesto, está construido de una matriz, encargada de unir los componentes y dar flexibilidad, se compone también por un refuerzo, el que debe aportar rigidez y mejorar la resistencia de la pieza (Aimplas, 2019).

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se muestra los métodos y materiales utilizados en el proceso de realización basada en la comparativa de materiales compuestos a base de fibra de vidrio y abacá con resina de poliéster.

#### 3.1. Investigación cuantitativa

“La investigación cuantitativa, también llamada empírico-analítico, racionalista o positivista es aquella que se basa en los aspectos numéricos para investigar, analizar y comprobar información y datos” (Neill & Cortez Suárez, 2018, pág.69).

En el presente trabajo, está desarrollada en la evaluación de los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio, con esto se realiza la respectiva comparación de los materiales compuestos.

#### 3.2. Métodos

Son herramientas de apoyo para realizar trabajos de investigación y experimentación, que se basan en la obtención de resultados de manera tangible.

En la investigación se elabora materiales compuestos con resina de poliéster a base de fibra de vidrio y abacá, para realizar la comparativa de las propiedades mecánicas de resistencia a la tracción y flexión, basados en el método científico y experimental. Mismos que han proporcionado datos para la realización de un método comparativo.

##### 3.2.1. Método científico

Este método de investigación es aplicado primariamente en el desarrollo de conocimientos dentro de las ciencias, en el cual se debe interpretar lo empírico y medición, los mismos que deben estar sujetos a principios específicos de evaluación de razonamiento. Además, se caracteriza por la experimentación, la observación, la formulación y la modificación de hipótesis (Labajo, 2015).

El método científico apoya en la toma de los datos de las investigaciones ya realizadas, que se conectan directamente al tema de trabajo. Aplicando el método se fortalece el documento con datos y así obtener la guía para el desarrollo de este.

##### 3.2.2. Método analítico

Diego Lopera Echavarría afirma lo siguiente:

El método es entonces un camino, una manera de proceder, que puede constituirse en un modo de ser al incorporarse como un estilo de vida, lo que expresa su dimensión ética. Ahora bien, el método analítico es un camino para llegar a un resultado mediante la descomposición de un fenómeno en sus elementos constitutivos. (pág. 18)

En la investigación este método tendrá gran importancia en el análisis de los datos obtenidos en los ensayos mecánicos como la resistencia a la flexión y tracción, aplicando una división de información para luego exponer los resultados obtenidos en el proceso de experimentación.

### **3.2.3. Método comparativo**

El método comparativo presenta la identificación de dos o más objetos, que sean evaluados de igual forma en varias propiedades en un tiempo o ubicación precisa, con el fin de adquirir los resultados y encontrar la diferencia de estos (Tonon, 2011, pág. 2).

El método se aplica en la comparación de los materiales compuestos a base de fibra de vidrio y abacá, los mismo que se evaluarán en condiciones similares para realizar los distintos ensayos mecánicos, así obtener resultados reales cuantitativos.

## **3.3. Normativa aplicada**

### **3.3.1. Ensayo mecánico resistencia a la tracción normativa ISO 1421:1998**

La norma aplica para trabajar con materiales compuestos con matriz polimérica, en la investigación la resina de poliéster cumple dicho objetivo. El ensayo es la aplicación de fuerza de tracción en una probeta plana.

Para la prueba de resistencia a la tracción la muestra se coloca en las mordazas del dinamómetro sometiendo a una carga de tensión hasta que falle.



**Figura 22:** Gráfico de aplicación norma ISO 1421:1998

Fuente: (Guaytarila, 2021)

### 3.3.2. Ensayo mecánico resistencia a la flexión normativa ASTM D7264

En este ensayo se tiene en consideración si se hace de tres o cuatro puntos de apoyo, esto según la normativa ASTM D7264, la misma que da un control de calidad. Consiste en aplicar cargas según el número de puntos.

La compañía Measure Test Simulate afirma lo siguiente:

En la mitad del vano en el caso de las pruebas de tres puntos y de forma equitativa en ambos miembros de carga, en el caso de las pruebas de cuatro puntos hasta que se produzca la falla en una de las superficies exteriores o se alcance un valor predeterminado de deformación. (MTS, párr. 2)

Con el ensayo se puede obtener datos en cuanto a las propiedades de flexión, módulo de flexión y la falla por la flexión (MTS, párr. 3).

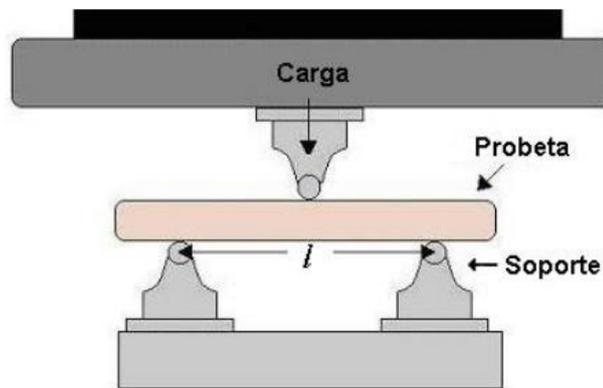


Figura 23: Ensayo de flexión de tres puntos

Fuente: (Gómez, 2017)

- Para (ASTM, 2021) los cálculos referentes a la normativa ASTM D7264-21 aplicados al método A de tres puntos son los siguientes:

- a) Esfuerzo máximo a flexión

Se lo realiza con la siguiente ecuación:

$$\sigma_{maxf} = \frac{3FL}{2bh^2}$$

Donde:

$\sigma_{maxf}$ : Resistencia máxima a flexión (MPa)

$F$ : Fuerza máxima aplicada (N)

$L$ : Longitud entre apoyos (mm)

$b$ : Ancho de probeta (mm)

$h$ : Espesor de probeta (mm)

b) Deformación unitaria

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$\epsilon = \frac{6\delta h}{L^2}$$

Donde:

$\epsilon$ : Deformación unitaria máxima (mm/mm)

$\delta$ : Deflexión de la probeta (mm)

$h$ : Espesor de probeta (mm)

$L$ : Longitud entre apoyos (mm)

c) Módulo de elasticidad o Módulo de Young

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{FL^3}{4bL^2\delta}$$

Donde:

$E$ : Módulo de elasticidad o módulo de Young (MPa)

$F$ : Fuerza máxima aplicada (N)

$L$ : Longitud entre los apoyos (mm)

$b$ : Ancho de la probeta (mm)

$h$ : Espesor de la probeta (mm)

$\delta$ : Deflexión de la probeta (mm)

### 3.4. Flujogramas de proceso

Es la manera grafica de representar el proceso en las diferentes etapas que se llevó a cabo para la culminación el trabajo de grado titulado “COMPARATIVA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO A BASE DE FIBRA DE ABACÁ (*MUSA TEXTILIS*) Y MATERIAL DE FIBRA DE VIDRIO CON RESINA DE POLIÉSTER PARA LA CONSTRUCCIÓN DE GUARDACHOQUES DE AUTOMOTORES”

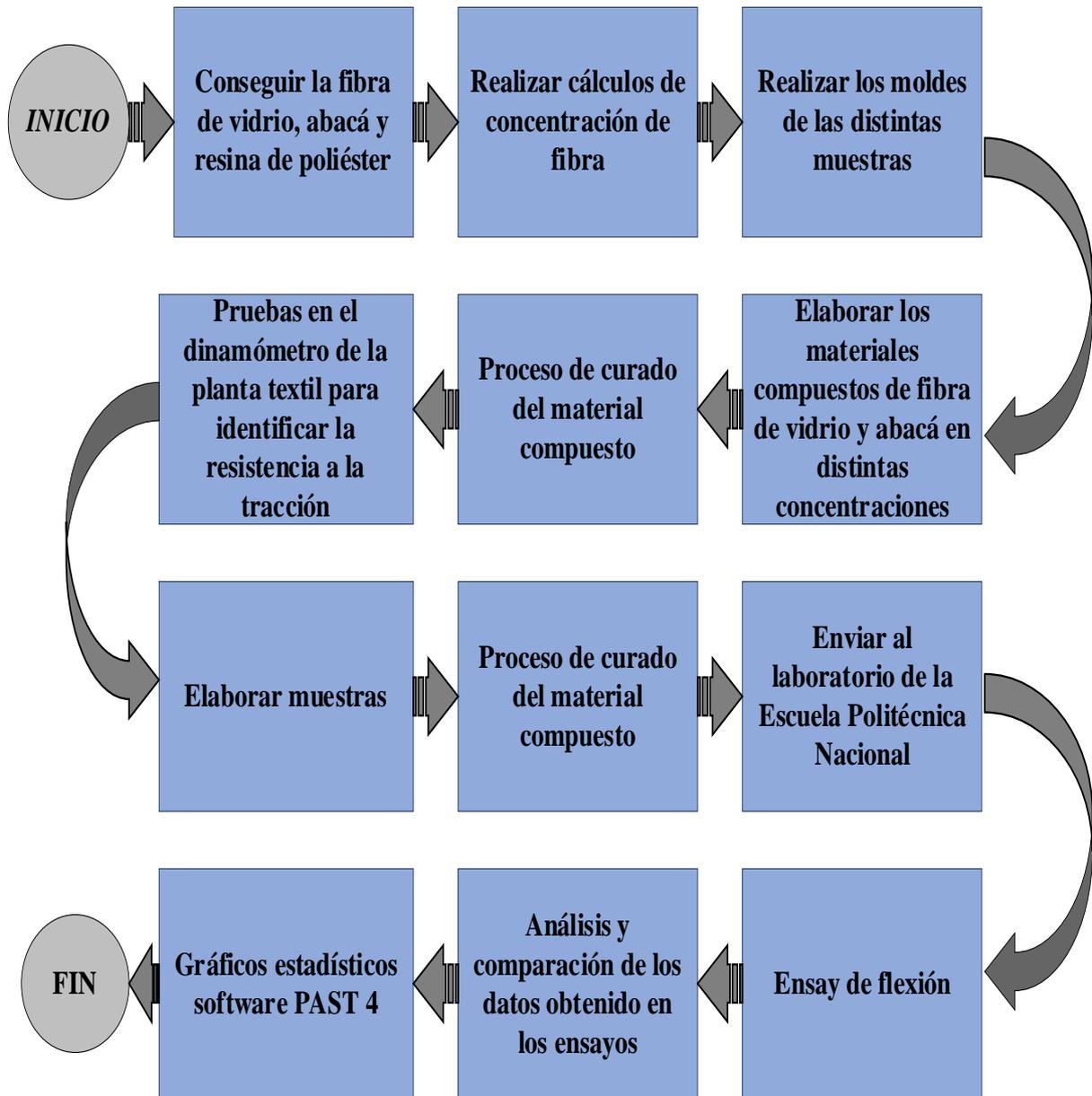


Figura 24: Flujograma de proceso

### 3.5. Flujograma de muestras ensayo de tracción y flexión

Representación gráfica de los grupos de muestras realizados para ser evaluados en los ensayos mecánicos de tracción y flexión identificando cada una de las variantes.

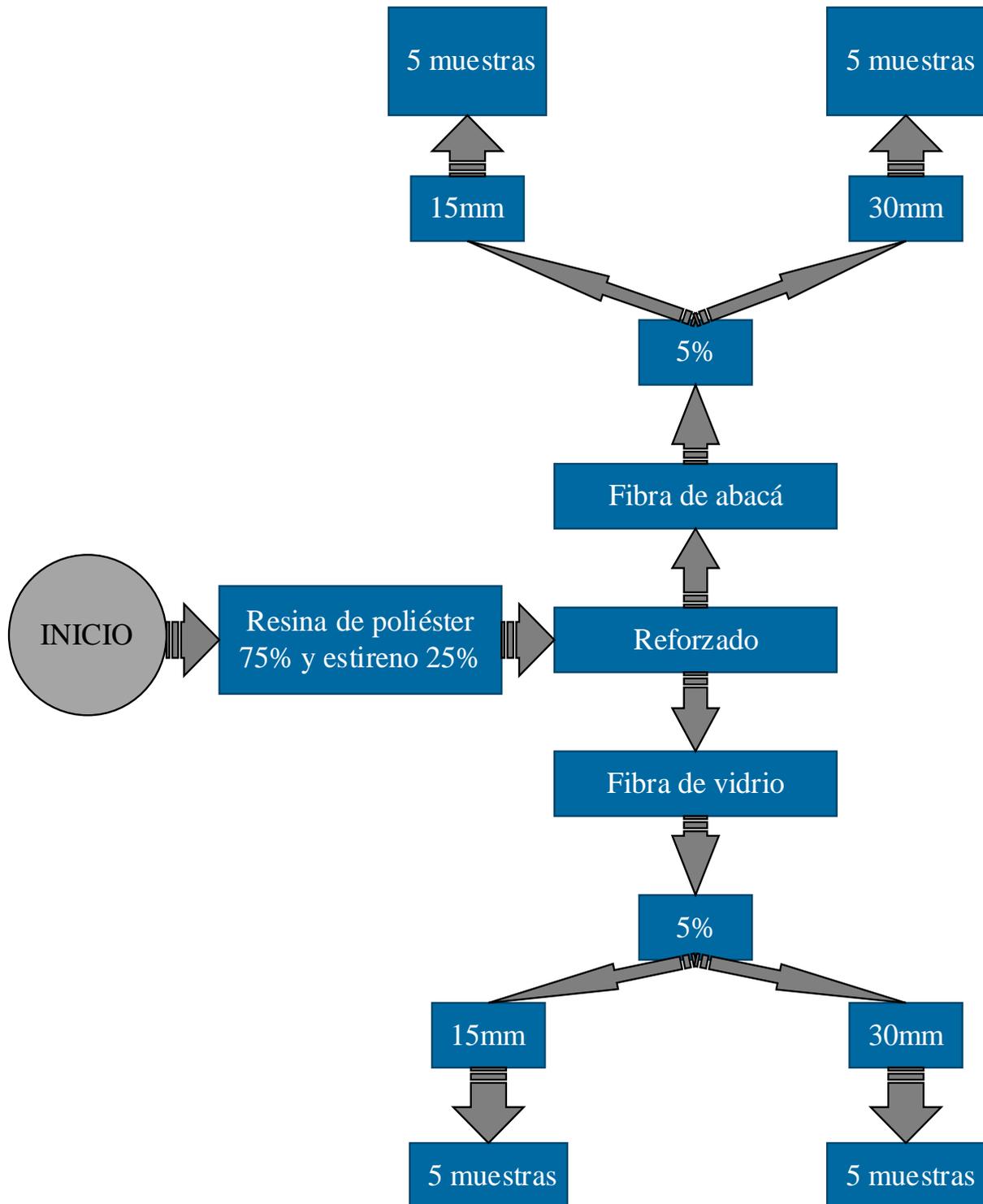


Figura 25: Flujograma muestral

### 3.6. Equipos

En esta sección se da a conocer los cada uno de los equipos de laboratorio utilizados para la realización de muestras y desarrollo de los ensayos mecánicos.

#### 3.6.1. *Viscosímetro digital Brookfield DV-I Modelo LV DV-I*

Equipo de laboratorio de la carrera de textiles, está diseñado para medir la viscosidad real en proporción a la velocidad, tamaño y la forma de la aguja. El sensor gira en el medio líquido y mide el par necesario para superar la resistencia viscosa al giro provocado. La lectura se puede leer en su pantalla LED de tres cifras (American Laboratory Trading).

Las especificaciones que tiene el viscosímetro según (American Laboratory Trading, n.d.) son las siguientes:

- Repetibilidad: 0,2% del rango de escala completa
- Elección de 18 velocidades de rotación
- Capacidad de compensación de temperatura a  $\pm 5^{\circ}\text{C}$



**Figura 26:** Viscosímetro digital Brookfield DV-I Modelo LV DV-I

#### 3.6.2. *Madera graduada para corte de fibra*

Molde para realizar el corte de fibra de longitud uniforme.



**Figura 27:** Madera para el corte de fibra

### **3.6.3. *Dinamómetro Titan 5 modelo 1410***

Equipo para medir la fuerza universal de manera precisa, eficiente y de fácil uso. En este equipo se realizan las pruebas de tracción, que consiste en ver que carga máxima soporta la muestra antes de la rotura. A parte de la tracción en el Titan 5 se puede medir la resistencia a la rotura, alargamiento y la reducción de área (James Heal, 2021).

(James Heal, 2021) menciona que se puede realizar ensayos de algunos materiales como: Hilos, telas, costuras, zapatos, cuerdas y correas.



**Figura 28:** Dinamómetro Titan 5 modelo 1410

### **3.6.4. *Máquina universal de ensayos MTS TK/T50002***

El equipo universal de ensayos principalmente toma el nombre de máquina de pruebas de tracción, constituida con sistema de engranes y tornillo sin fin impulsado por motor a la base móvil, el mismo que aplica fuerza a través de la probeta hasta la base fija. Adicional a la tracción se realiza ensayos de flexión debido a la facilidad de movimiento tanto de subir como de bajar (Benavides, 2017).



**Figura 29:** Máquina universal de ensayos MTS TK/T50002

### **3.7. Elaboración de material compuesto**

Dentro de esta sección se da a conocer las medidas, materiales y variables que tienen las probetas para ser ensayadas según las normativas presentadas en los objetivos.

#### **3.7.1. Moldeo**

Flexión ASTM D7264

Las medidas de las probetas de este ensayo están centralizadas en las dimensiones de la normativa ASTM D 790 en la misma que se especifica.

Las dimensiones de la probeta son: ancho: 12,7 mm; largo: 127 mm; espesor: 3,2 mm. Sin embargo, si el material para obtener las probetas (paneles, planchas) tienen espesores diferentes, debe seguir las recomendaciones de la norma para seleccionar las dimensiones. Generalmente el largo de las probetas debe ser 20% mayor a la dimensión obtenida de multiplicar 16 por el espesor del material.

Tracción ISO 1421:1998

Basada a la normativa ISO de un textil recubierto por caucho o plástico para determinar la resistencia a la tracción o alargamiento se ha determinado realizar probetas de las siguientes dimensiones 50mm de ancho, 150mm de largo y de espesor de 3.2mm.

#### **3.7.2. Materiales**

- Láminas de acrílico

Polímero termoplástico que se obtiene mediante un proceso de “polimerización del monómero de metacrilato y se funde para obtenerlo en láminas” (Plastitec, 2022).

Para Plastitec los laminados de acrílico son utilizados en: construcción, arquitectura, óptica, publicidad, decoración, exhibición, impresión, aplicación de ingeniería y artes gráficas.

“Es una excelente opción para materializar ideas por su alta transparencia, ligereza, inalterabilidad a la intemperie y al paso del tiempo” (Plastitec, 2022).



**Figura 30:** Lámina de acrílico para moldes

- Calibrador pie de rey

También conocido como calibrador de Vernier gracias a su creador, dentro de talleres es una de las herramientas con más uso para la verificación de medidas en la unidad de longitud de mm (Mecatrónica Latán, 2021).



**Figura 31:** Calibrador pie de rey

- Resina de poliéster y estireno

Se realiza dos mezclas de resina con estireno en diferentes porcentajes la primera muestra consta de 33.33% de estireno y 66.66% de resina de poliéster, por otra parte, se opta por una segunda mezcla en la que se tiene 25% de estireno y 75% de resina de poliéster.

De las dos mezclas se determina que el 75/25 de resina de poliéster y estireno respectivamente, por la contextura que presenta y una viscosidad de 1500 cP en condiciones del equipo de 10 rpm, 1 min y aguja 3.



**Figura 32:** Resina de poliéster con estireno en concentración de 75/25 y 66/33

- Octoato de cobalto al 6%

De acuerdo con lo investigado la cantidad óptima para agregar en la resina de poliéster está alrededor del 0.1% al 0.3%. En la investigación se procede a realizar los laminados con una concentración de 0.2% en relación con el peso de la matriz (s.p.m) (La casa del molde, n.d.).

- Peróxido de Mek

En la investigación se utiliza la concentración óptima de Mek para realizar un laminado es de 1.5% en s.p.m (La casa del molde, n.d.).

### 3.7.3. Variables en el ensayo

- Longitud de fibra

En su investigación Brenes, (2013) realiza una comparativa de material compuesto de resina de poliéster reforzado con fibra de vidrio y cabuya. Según la investigación recomienda experimentar la longitud de fibra de 15mm. En el presente trabajo se realiza el refuerzo con dos longitudes: 15 mm y 30 mm, dichas longitudes son válidas para las dos fibras.

- Cálculo del volumen de la probeta sin refuerzo para los dos ensayos

Volumen de resina sin refuerzo para ensayos de flexión

$$V = \text{Ancho} * \text{largo} * \text{espesor}$$

$$V = 12.7\text{mm} * 127\text{mm} * 3.2\text{mm}$$

$$V = 5161,28\text{mm}^3 = 5,16\text{cm}^3$$

Volumen de fibra a utilizar

$$V = 5.16 * 5\%$$

$$V = 0.258\text{cm}^3$$

Volumen de resina sin refuerzo para ensayos de tracción

$$V = \text{Ancho} * \text{largo} * \text{espesor}$$

$$V = 50\text{mm} * 150\text{mm} * 3.2\text{mm}$$

$$V = 24000\text{mm}^3 = 24\text{cm}^3$$

Volumen de fibra a utilizar

$$V = 24 * 5\%$$

$$V = 1.2\text{cm}^3$$

- Porcentaje de fibra

En la investigación de (Rocha-Hoyos et al., 2019) la densidad promedio de la fibra de abacá es de  $1,226 \text{ g/cm}^3$ .

(Nazza, 2022) afirma que la producción de fibra de vidrio se lo realiza con una densidad de  $2,6 \text{ g/cm}^3$ .

El porcentaje que se aplica en el estudio es del 5% tenido en consideración el estudio de (Brenes, 2013) que elabora concentración de 1, 3 y 5 % teniendo mejor resultado del 5% de cabuya.

- Peso de fibra para material compuesto

*Fibra de vidrio*

Para muestra de ensayo de tracción

$$Pf = Vf * df$$

$$Pf = 1.2\text{cm}^3 * 2.6 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$Pf = 3.12\text{g}$$

Para muestra de ensayo de flexión

$$Pf = Vf * df$$

$$Pf = 0.258\text{cm}^3 * 2.6 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$Pf = 0.671\text{g}$$

*Fibra de abacá*

Para muestra de ensayo de tracción

$$Pf = Vf * df$$

$$Pf = 1.2cm^3 * 1.226 \frac{g}{cm^3}$$

$$Pf = 1.47g$$

Para muestra de ensayo de flexión

$$Pf = Vf * df$$

$$Pf = 0.258cm^3 * 1.226 \frac{g}{cm^3}$$

$$Pf = 0.316g$$

### 3.8. Elaboración de probetas

Se presenta los pasos realizados especificando la tarea realizada para formar las distintas muestras basadas en el flujograma muestral.

- Se realiza el corte de la fibra con un cutter, teniendo como guía la madera graduada.



**Figura 33:** Corte de fibra

- Se realiza el pesaje de fibra utilizando la balanza electrónica. Se referencia cada grupo de fibras según su longitud y ensayo.



**Figura 34:** Pesaje y etiquetado de fibra

- Para construir los moldes se utiliza la base de acrílico y se emplea el calibrador pie de rey para establecer las medidas.



**Figura 35:** Trazos en lámina de acrílico de moldes

- Recortar el acrílico según el trazo establecido.



**Figura 36:** A. Repasado con cutter sobre la línea B. Aplicar presión para completar el corte

- Con ayuda de silicona caliente se une las distintas caras de los moldes sin dejar fugas y con esto asegurar el espesor que se ha calculado.



**Figura 37:** Pegado de las caras del molde para probetas de tracción



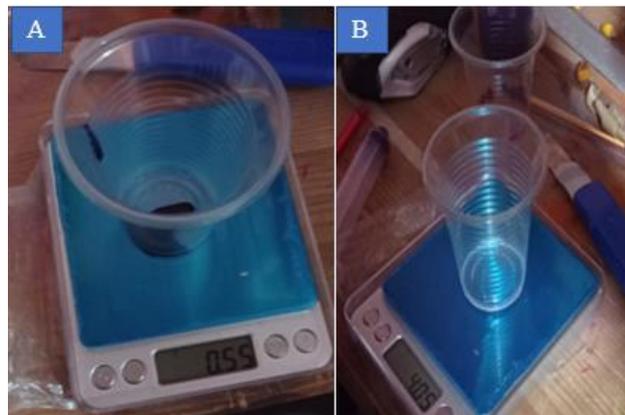
**Figura 38:** Moldes para realizar probetas de ensayo a la tracción

- Se prepara la matriz con la concentración de 75% resina y 25% estireno. Se procede a pesar la mezcla para realizar los cálculos posteriores. De acuerdo con las indicaciones del manejo de la resina se lo realiza en un campo abierto con fluido aire para bajar el olor de esta.



**Figura 39:** A. Medir el volumen de resina B. Registro del peso de resina

- Se calcula la cantidad de 0.2% de Octoato de cobalto y el 1.5% Mek en relación con el peso de la matriz y se procede a pesar.



**Figura 40:** A. Peso del octoato de cobalto "Catalizador" B. Peso del Mek "Acelerante"

- Con los elementos pesados se procede a realizar la matriz. Primero se agrega 15ml de la mezcla de resina y estireno en el vaso con el octoato de cobalto para extraer en su totalidad. Luego se trasvasa a la mezcla general, en este punto cambia de tonalidad amarillenta a rojiza. Se debe agitar hasta perder el color morado del octoato de cobalto.



**Figura 41:** A. Agregar resina al catalizador B. Agitar la mezcla C. Adicionar la mezcla al resto de resina D. Agitar toda la resina

- Se procede añadir la fibra en vasos desechables.



**Figura 42:** Identificar y colocar fibra para realizar la humectación

- A la matriz se agrega el acelerante Mek y se modifica el color, del rojizo a una tonalidad café.



**Figura 43:** A. Agregar Mek B. Modificación de color de la matriz

- Con ayuda de una jeringuilla se coloca la matriz en la fibra para humectarla.



**Figura 44:** A. Medir volumen de resina para probeta B. Adicionar la resina a la fibra

- Una vez humectada la fibra se procede a verter la matriz y el refuerzo en los moldes, con ayuda de las paletas se distribuye las fibras. El secado de las muestras se realiza bajo la luz del sol.



**Figura 45:** Organización de fibra con la resina en el molde



**Figura 46:** Secado de probetas

- Después de transcurrir 3 horas se realiza el desmoldado de las probetas y el resultado es el siguiente.



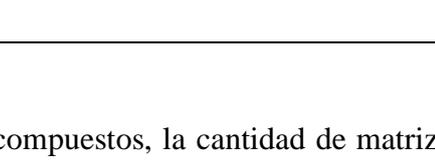
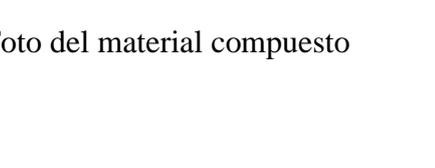
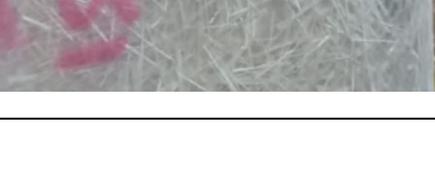
**Figura 47:** Resultado final del laminado con fibra de abacá

### 3.9. Tablas del material compuesto de 95% matriz y 5% refuerzo

En la **Tabla 4** se muestra el tipo de ensayo, los compuestos, la cantidad de matriz en volumen de centímetros cúbicos ( $\text{cm}^3$ ), el refuerzo al ser fibra sólida se adiciona en peso en la unidad de gramos(g) y se muestra el laminado consolidado.

**Tabla 4**  
*Composición de ensayos tracción*

Ensayo	Compuestos	Cantidad de matriz y refuerzo	Figura del material compuesto
Ensayo de tracción	Resina de poliéster	22,8 $\text{cm}^3$	

Ensayo de tracción	Fibra de abacá de 15 mm	1,47 g	
	Resina de poliéster	22,8 cm <sup>3</sup>	
Ensayo de tracción	Fibra de abacá de 30 mm	1,47 g	
	Resina de poliéster	22,8 cm <sup>3</sup>	
Ensayo de tracción	Fibra de vidrio de 15 mm	3,12 g	
	Resina de poliéster	22,8 cm <sup>3</sup>	
Ensayo de tracción	Fibra de vidrio de 30 mm	3,12 g	
	Resina de poliéster	22,8 cm <sup>3</sup>	

En la **Tabla 5** se muestra el tipo de ensayo, los compuestos, la cantidad de matriz en volumen de centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>), el refuerzo al ser fibra sólida se adiciona en peso en la unidad de gramos(g) y se muestra el laminado consolidado.

**Tabla 5**  
*Composición de material compuesto ensayo flexión*

Ensayo	Compuestos	Cantidad de matriz y refuerzo	Foto del material compuesto
Ensayo de flexión	Resina de poliéster	4,9 cm <sup>3</sup>	

---

	Fibra de abacá de 15 mm	0.316 g	
Ensayo de flexión	Resina de poliéster	4,9 cm <sup>3</sup>	
	Fibra de abacá de 30 mm	0.316 g	
Ensayo de flexión	Resina de poliéster	4,9 cm <sup>3</sup>	
	Fibra de vidrio de 15 mm	0.671 g	
Ensayo de flexión	Resina de poliéster	4,9 cm <sup>3</sup>	
	Fibra de vidrio de 30 mm	0.671 g	

---

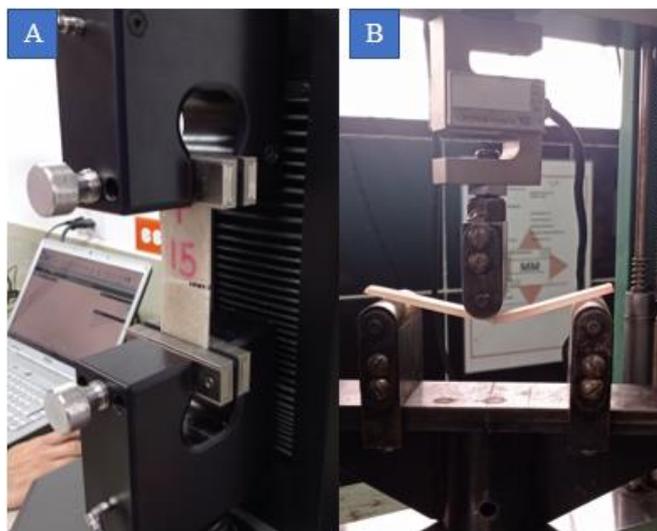
## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta los resultados obtenidos en los ensayos de tracción, realizados en el laboratorio de la carrera de Textiles de la Universidad Técnica del Norte “UTN” en el dinamómetro Titan 5 modelo 1410 y pruebas de flexión en el laboratorio de mecánica de materiales con la máquina universal de ensayos MTS TK/T50002 en la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”.

#### 4.1. Resultados

Se presentan las tablas de los ensayos mecánicos de laboratorio aplicados a materiales compuestos de resina de poliéster, reforzados con fibras abacá y fibra de vidrio con las variaciones de longitud de fibra.



**Figura 48:** Probetas en los ensayos A: Tracción B: Flexión

#### 4.1.1. *Ensayos de tracción según la norma ISO 2062: 2009 aplicada en la fibra de abacá de tipo Bungalanón*

Con el fin de conocer la resistencia a la tracción que tiene la fibra de abacá empleada en el presente trabajo se desarrolló los ensayos en el equipo de laboratorio Titan 5.

En la **Tabla 6** se presenta los resultados obtenidos luego de aplicar el ensayo de resistencia a la tracción a la fibra de Abacá de tipo Bungalanón, como la fuerza máxima y porcentaje de extensión hasta lograr la rotura del material. Además, se incluye la media, desviación típica y el coeficiente de variación.

Las condiciones de prueba son:

- 250 mm de separación de las mordazas
- 20% la detección de rotura
- Pretensión 5 (cN)
- Velocidad de 250mm/min

**Tabla 6**  
*Ensayo de tracción fibra de abacá variedad Bungalanon*

Probeta	Fuerza máxima (cN)	Extensión (%)
1	8437,67	3,79
2	7012,51	3,83
3	3976,14	4,19
4	6022,01	3,5
5	3643,56	4,15
6	7431,79	3,5
7	6530,41	3,42
8	5485,5	3,75
9	3952,4	3,32
10	2143,5	2,83
11	1464,96	2,76
12	5583,99	3,09
13	5366,36	2,75
14	9004,49	3,6
15	8374,28	4,01
16	3814,56	3,08
17	3060,1	4,09
18	1863,75	2,5
19	3317,1	3,15
20	1030,83	2,15
Media	4875,8	3,37
Desviación típica	2419,49	0,5772
Coefficiente de Variación	49,62%	17,11%

#### **4.1.2. Ensayos de tracción con la norma ISO 1421:1998 método 2 para laminados**

En esta sección se presenta los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la tracción en tablas. Las condiciones en las que se efectúa son las siguientes: 100mm de separación de mordazas, 10% detección de rotura, 10 N de pretensión y velocidad de prueba 100 mm/min



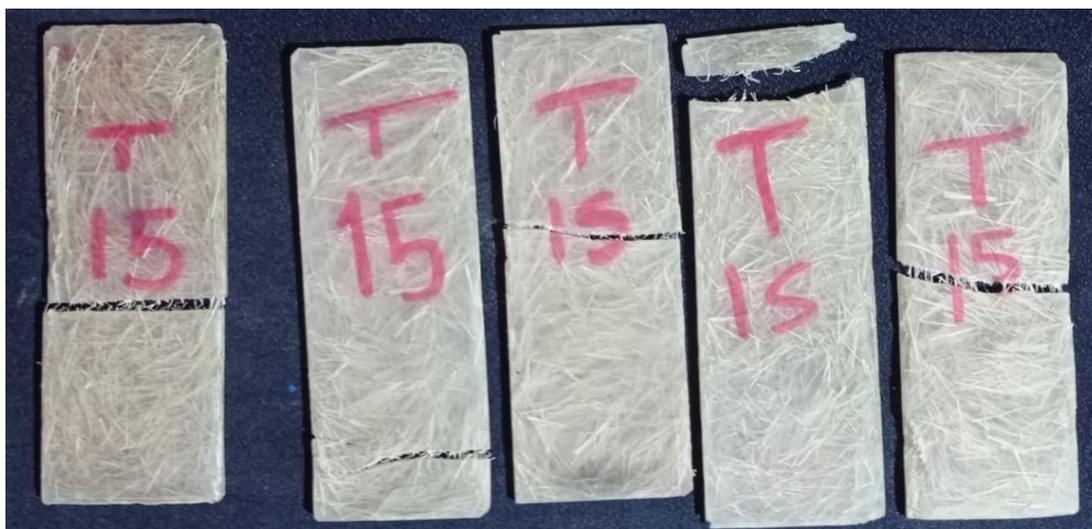
**Figura 49:** Colocación de probetas en el Titan 5 modelo 1410

En la **Tabla 7** se presenta los resultados de la fuerza máxima de tracción medida en Newtons (N) del material compuesto con 95% matriz de resina de poliéster más el 5% de fibra de abacá de 15 mm de longitud, el número de probetas evaluadas son 5 en sentido longitudinal con la dimensión de 50 mm de ancho, 150 mm de largo y 3.2 mm de espesor.

**Tabla 7**  
*Probetas de fibra de abacá de 15 mm*

Probeta	Fuerza máxima (N)
1	2075,58
2	2589,02
3	2169,04
4	1730,92
5	2505,07
Media	2213,92
Desviación típica	346,38
Coefficiente de Variación	15,65%

Las probetas se muestran en la **Figura 50**, las mismas que se no se desgarran en su 100% en la mayoría de las muestras.



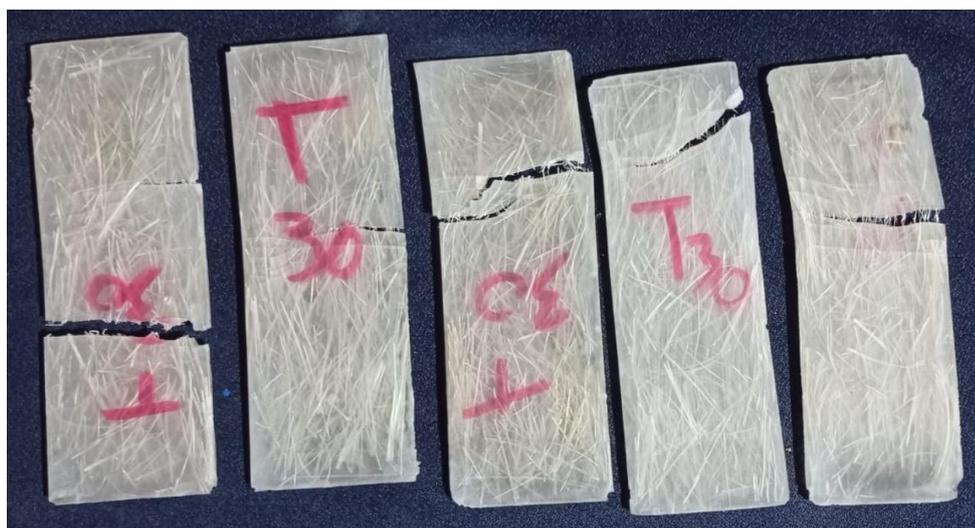
**Figura 50:** Probetas de Abacá de 15mm luego del ensayo a la tracción

A continuación, se muestra la **Tabla 8** la fuerza máxima en (N) de material compuesto con 95% matriz de resina de poliéster más el 5% de fibra de abacá de 30 mm de longitud, el número de probetas evaluadas son 5 en sentido longitudinal con las mismas dimensiones del anterior ensayo.

**Tabla 8**  
*Refuerzo con fibra de abacá de 30 mm*

Probeta	Fuerza máxima (N)
1	2856,95
2	3166,7
3	2111,65
4	2025,07
5	2589,32
Media	2549,94
Desviación típica	485,74
Coefficiente de Variación	19,05%

En la **Figura 51** se presenta las probetas después de ser sometidas a las pruebas de tracción.



**Figura 51:** Probetas de Abacá de 30mm luego del ensayo a la tracción

En la **Tabla 9** se presenta la fuerza máxima (N) de las probetas ensayadas, constituidas de 95% de resina de poliéster, reforzado con el 5% de fibra de vidrio de 15mm. Las probetas se realizan de 50mm x 150mm x 3.2mm. De la fuerza máxima se obtiene la media, la desviación típica y el coeficiente de variación.

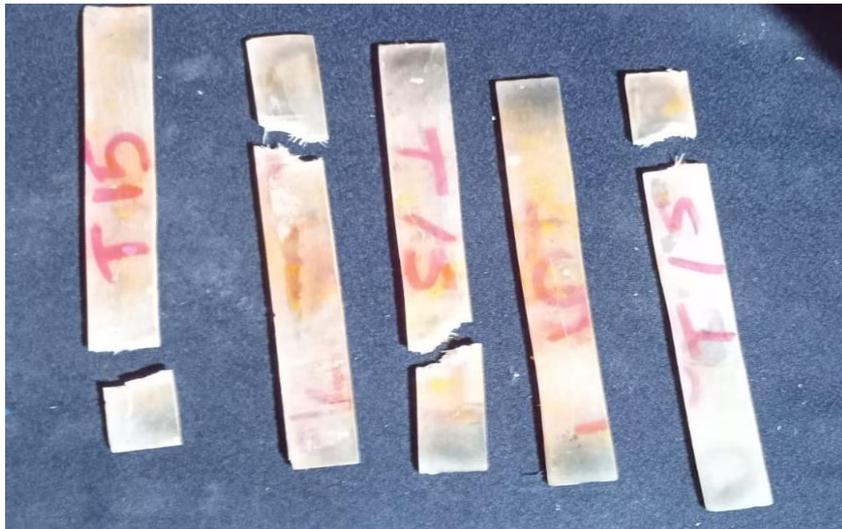
Como se observa en la **Figura 52** las probetas sufren una rotura al 100%.

**Tabla 9**

*Resistencia a la tracción de fibra de vidrio de 15 mm*

Probeta	Fuerza máxima (N)
1	5015,056
2	4977,5
3	4352,525
4	5065,025
5	5645,175
Media	5011,056
Desviación típica	458,210
Coeficiente de Variación	9,14%

Como se observa en la **Figura 52** las probetas sufren una rotura al 100%.



**Figura 52:** Probetas de fibra de vidrio de 15mm luego del ensayo

En la **Tabla 10** se presenta los resultados obtenidos de la fuerza máxima (N) de material compuesto reforzado con fibra de vidrio de 30 mm de longitud, se identifica la media, desviación típica y el coeficiente de variación de la fuerza máxima aplicada a la probeta para lograr el fallo.

**Tabla 10**  
*Refuerzo con fibra de vidrio de 30 mm*

Probeta	Fuerza máxima (N)
1	4526,65
2	4618,375
3	3643,8
4	3579,675
5	4581,7
Media	4190,04
Desviación típica	529,41
Coeficiente de Variación	12,63%

En la **Figura 53** se observa las probetas reforzadas con fibra de vidrio de 30mm de longitud luego de aplicar fuerza de tracción en el dinamómetro Titan 5. De las 5 muestras 4 sufren una fractura completa en sentido transversal y una se mantiene con fisuras mínimas que el equipo si determina.



**Figura 53:** Probetas reforzadas con 30mm fibra de vidrio

#### **4.1.3. Ensayos de flexión según la norma ASTM D7264**

En esta parte del trabajo se presenta los resultados obtenidos luego de realizar ensayos de flexión usando el **método A de tres puntas** luego se procedió a resumir en tablas dinámicas para el manejo óptimo de información. Las condiciones en las que se desarrolla son las siguientes: a una velocidad de compresión de 1 mm/min y con una longitud de apoyo de 100mm.



**Figura 54:** Máquina universal de ensayos MTS TK/T50002

En la **Tabla 11** se muestran los resultados de la fuerza máxima (N), deflexión (mm), esfuerzo máximo (MPa), deformación unitaria (mm/mm) y módulo de Young (MPa). Compuesto con 95% de resina de poliéster y 5% de fibra de abacá de 15 mm de longitud, se ensaya 5 probetas de 12.7 mm de ancho, 127 mm de largo y 3.2 de espesor.

**Tabla 11***Ensayo de flexión Material compuesto reforzado fibra de abacá 15mm*

Probeta	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo a flexión (MPa)	Deformación unitaria (mm/mm)	Módulo de elasticidad o módulo de Young (MPa)
1	36,075	5,504	41,610	0,011	3937,443
2	28,059	4,286	32,364	0,008	3932,841
3	29,6	5,898	34,141	0,011	3014,903
4	32,992	4,591	38,054	0,009	4317,056
5	41,009	6,581	47,301	0,013	3743,464
Media	33,547	5,372	38,694	0,010	3789,141
Desviación típica	5,198	0,941	5,995	0,002	480,330
Coefficiente de Variación	15,49%	17,52%	15,49%	17,52%	12,68%

Fuente: El autor.

En la **Figura 55** presenta las probetas luego del ensayo, se observa la deformidad que tiene cada una de las probetas, se observa que no se fisuran por completo cuando llegan a su punto fallo. En la vista lateral identifica las pruebas con una afectación en el centro en mm el mismo que define el recorrido que realiza la punta superior hasta conseguir el debilitamiento total de las muestras.

**Figura 55:** Refuerzo de abacá 15mm A. Vista frontal B. Vista lateral

En la **Tabla 12** presenta los resultados de la resistencia a la flexión con esfuerzo máximo (MPa), deformación unitaria y el módulo de elasticidad, para una probeta que el 5% de refuerzo con fibra de abacá con una longitud de 30 mm las probetas y el número de pruebas se mantiene igual para todos estos ensayos referentes a la norma ASTM D7264.

**Tabla 12***Ensayo de Flexión Material Compuesto Reforzado con Fibra de Abacá 30mm*

Probeta	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo a flexión (MPa)	Deformación unitaria (mm/mm)	Módulo de elasticidad o módulo de Young (MPa)
1	29,6	3,981	34,141	0,008	4466,691
2	24,667	4,609	28,451	0,009	3215,111
3	26,826	4,807	30,942	0,009	3352,495
4	31,759	5,144	36,631	0,010	3708,961
5	31,142	4,19	35,920	0,008	4464,973
Media	28,799	4,546	33,217	0,009	3841,646
Desviación típica	2,994	0,468	3,453	0,001	597,628
Coefficiente de Variación	10,40%	10,29%	10,40%	10,29%	15,56%

Fuente: El autor.

En la **Figura 56** muestra las probetas luego de ser aplicado el método A de la norma ASTM D7264, destaca que el recorrido es menor comparación de la fibra de abacá de 15 mm de longitud.

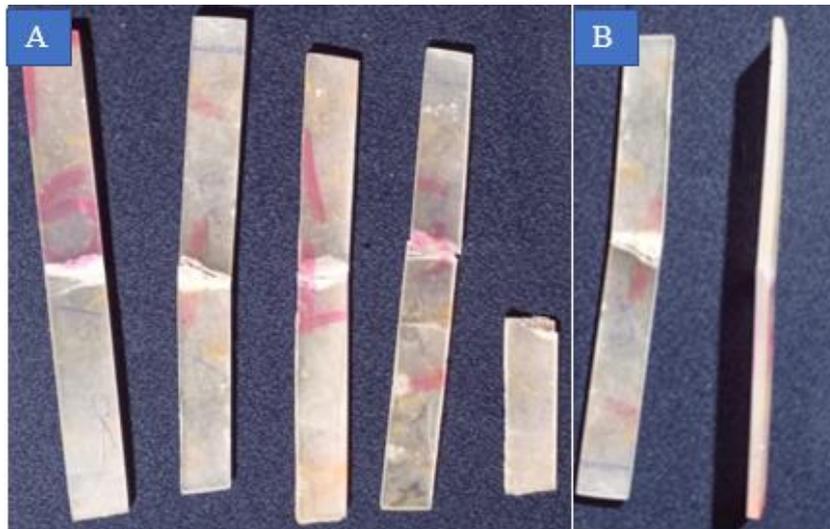
**Figura 56:** Refuerzo de abacá 30mm A. Vista frontal B. Vista lateral

En la **Tabla 13** presenta los resultados de los ensayos de la flexión de la fibra de vidrio de 15mm y se mantiene el porcentaje del 5% al igual de las anteriores muestras.

**Tabla 13***Ensayo de flexión Material compuesto reforzado fibra de vidrio 15mm*

Probeta	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo a flexión (MPa)	Deformación unitaria (mm/mm)	Módulo de elasticidad o módulo de Young (MPa)
1	91,576	11,019	105,626	0,021	4992,589
2	78,009	13,921	89,977	0,027	3366,361
3	74,309	11,828	85,710	0,023	3774,127
4	83,636	10,547	96,467	0,020	4763,769
5	84,176	13,113	97,090	0,025	3856,316
Media	82,341	12,086	94,974	0,023	4150,632
Desviación típica	6,588	1,414	7,599	0,003	694,314
Coefficiente de Variación	8,00%	11,70%	8,00%	11,70%	16,73%

Como se observa en la **Figura 57** las muestras identificando donde se encuentra la falla del ensayo.

**Figura 57:** Refuerzo de vidrio 15mm A. Vista frontal B. Vista lateral

En la **Tabla 14** presenta los datos luego de realizar los ensayos de flexión al material compuesto reforzado con fibra de vidrio 30mm de longitud manteniendo los porcentajes de estructura de la matriz del 95% y refuerzo al 5%.

**Tabla 14***Ensayo de flexión Material compuesto reforzado fibra de vidrio 30mm*

Probeta	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo a flexión (MPa)	Deformación unitaria (mm/mm)	Módulo de elasticidad o módulo de Young (MPa)
1	107,6	12,226	124,108	0,023	5287,060
2	101,983	16,323	117,629	0,031	3753,308
3	93,426	12,898	107,759	0,025	4351,427
4	93,426	15,835	107,759	0,030	3544,345
5	100,98	13,267	116,472	0,025	4572,450
Media	99,483	14,110	114,746	0,027	4301,718
Desviación típica	6,078	1,844	7,010	0,004	693,007
Coefficiente de Variación	6,11%	13,07%	6,11%	13,07%	16,11%

En la **Figura 58** se observa las probetas se encuentran completas en toda su longitud o que la diferencia de las probetas reforzadas con fibra de vidrio de 15 mm es el recorrido que realiza el mecanismo de presión así notándose una mayor curvatura.



**Figura 58:** Refuerzo de vidrio 30mm A. Vista frontal B. Vista lateral

#### 4.2. Discusión de resultados

En la presente sección se muestra la contribución real de la comparativa entre los laminados construidos a base de resina de poliéster reforzado con fibras vidrio y abacá en diferentes longitudes de fibra, con el fin de enfatizar gráficamente el comportamiento que poseen las probetas en los distintos ensayos mecánicos.

#### 4.2.1. Resistencia a la tracción fuerza máxima (N)

La prueba de normalidad presentado en la **Tabla 15**, los valores de los siguientes grupos 1. MC-T-FM-A-15MM; 2. MC-T-FM-A-30MM; 3. MC-T-FM-V-15MM son mayores al 0.05 del p valor para los cuatro autores Shapiro, Anderson, Lilliefors y Jarque. El cuarto grupo obtiene un p valor menor al 0.05 para Shapiro y Anderson dando a interpretar que lo datos tienen variación. Por otro lado, para Lilliefors y Jarque se determina un p valor mayor al establecido. Con lo antes mencionada los cuatro grupos tiene el nivel de confiabilidad del 95%.

**Tabla 15**

*Test de normalidad ensayo de tracción fuerza máxima PAST 4*

 Tests for normal distribution

	MC-T-FM-A-15MM	MC-T-FM-A-30MM	MC-T-FM-V-15MM	MC-T-FM-V-30MM
<b>N</b>	5	5	5	5
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,9466	0,9336	0,9227	0,7496
<b>p(normal)</b>	0,7126	0,6208	0,5473	0,02952
<b>Anderson-Darling A</b>	0,2242	0,2349	0,361	0,6448
<b>p(normal)</b>	0,651	0,6084	0,2796	0,03844
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,7555	0,715	0,3154	0,0357
<b>Lilliefors L</b>	0,1997	0,2166	0,2708	0,3376
<b>p(normal)</b>	0,7387	0,6194	0,2703	0,0606
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,7703	0,634	0,2779	0,0582
<b>Jarque-Bera JB</b>	0,3668	0,4777	0,06297	0,8212
<b>p(normal)</b>	0,8324	0,7875	0,969	0,6632
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,781	0,5859	0,9989	0,1299

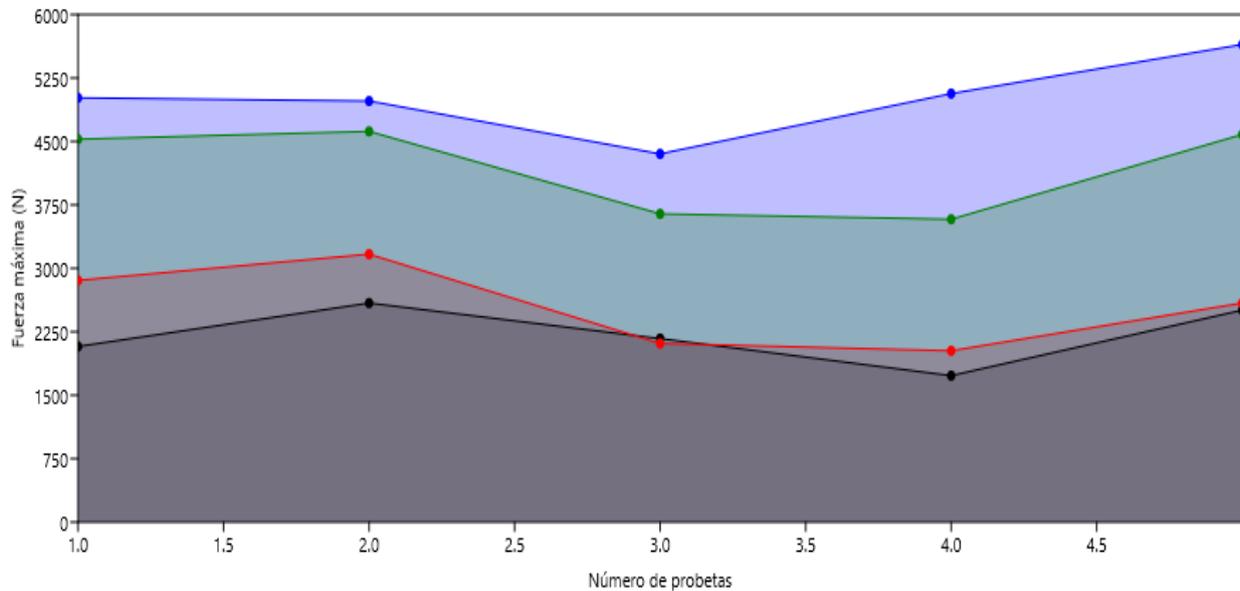
La **Tabla 16** presenta la codificación de las muestras para el análisis estadístico, identificando de la siguiente manera: material compuesto (MC), ensayo tracción (T), especificación de fuerza máxima (FM), fibra abacá (A), fibra de vidrio (V) y longitud (MM) en las que se desarrolla las probetas.

**Tabla 16**

*Codificación para ensayo de tracción*

Codificación	Descripción	Gráfico
MC-T-FM-A-15MM	Material compuesto tracción fuerza máxima abacá 15mm	
MC-T-FM-A-30MM	Material compuesto tracción fuerza máxima abacá 30mm	
MC-T-FM-V-15MM	Material compuesto tracción fuerza máxima vidrio 15mm	
MC-T-FM-V-30MM	Material compuesto tracción fuerza máxima vidrio 30mm	

En la **Figura 59** presenta los resultados obtenidos de manera gráfica de líneas y puntos de la fuerza máxima de tracción medida en Newtons que hace referencia a lo que soporta el laminado antes de romperse, identifica cada uno de los ensayos marcando el área del grupo. El gráfico muestra los resultados del material compuesto con fibra de vidrio y fibra de abacá observando las mejores propiedades de los laminados fibra de vidrio.



**Figura 59:** Comparativa fuerza máxima de tracción

En las probetas de fibra de vidrio el mejor resultado es el de 15mm tiene mejores propiedades de tracción con una media 5011,056 N y el refuerzo con fibra de 30mm marca 4190,04 N notando así un aumento del 19,59% para la de 15mm.

Los especímenes de fibra de abacá de 15 y 30 mm, el que tiene mejores resultados en la fuerza máxima de tracción es el de 30mm teniendo una media de 2549,94 N y el de 15mm tiene la media de 2213,92 N obteniendo un aumento del 15.18% para la de 30.

En los laminados de fibra de vidrio de longitud de 15 mm presenta una media de 5011,056 N teniendo un aumento del 141.429% respecto de la fibra de abacá y 4190,04 N el promedio de los laminados de 30mm aumentando un 64.32% al de abacá.

#### **4.2.2. Ensayo flexión fuerza máxima (N)**

La normalidad presentada en la **Tabla 17** se matiza que los grupos 1. MC-F-FM-A-15MM; 2. MC-F-FM-A-30MM; 3. MC-F-FM-V-15MM; 4. MC-F-FM-V-30MM superan el p valor del 0.05 para todos los actores así se declara que las pruebas tienen el 95% de confiabilidad.

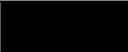
**Tabla 17***Test de normalidad de ensayo flexión fuerza máxima*

Tests for normal distribution

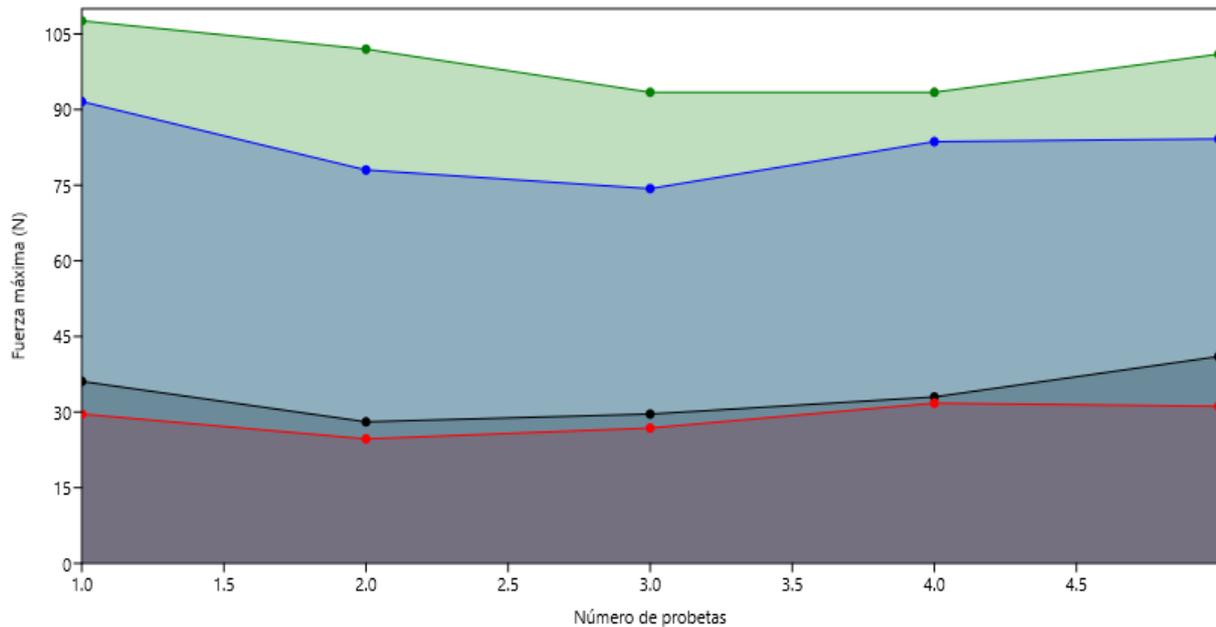
	MC-F-FM-A-15MM	MC-F-FM-A-30MM	MC-F-FM-V-15MM	MC-F-FM-V-30MM
<b>N</b>	5	5	5	5
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,957	0,9237	0,9682	0,8929
<b>p(normal)</b>	0,7867	0,5542	0,8635	0,3719
<b>Anderson-Darling A</b>	0,1955	0,2581	0,2064	0,3298
<b>p(normal)</b>	0,769	0,5326	0,725	0,3454
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,8622	0,6377	0,8218	0,3942
<b>Lilliefors L</b>	0,1762	0,2055	0,1903	0,2405
<b>p(normal)</b>	0,8794	0,6986	0,8	0,4502
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,8986	0,7326	0,8355	0,4474
<b>Jarque-Bera JB</b>	0,4202	0,5395	0,257	0,4117
<b>p(normal)</b>	0,8105	0,7636	0,8794	0,814
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,6851	0,488	0,8923	0,6918

En la **Tabla 18** se presenta la codificación de los grupos analizados en el software PAST 4, ensayo de la flexión (F).

**Tabla 18***Codificación ensayo flexión fuerza máxima*

Codificación	Descripción	Grafico
MC-F-FM-A-15MM	Material compuesto flexión fuerza máxima abacá 15mm	
MC-F-FM-A-30MM	Material compuesto flexión fuerza máxima abacá 30mm	
MC-F-FM-V-15MM	Material compuesto flexión fuerza máxima vidrio 15mm	
MC-F-FM-V-30MM	Material compuesto flexión fuerza máxima vidrio 30mm	

En la **Figura 60** se muestra las cinco probetas analizadas por cada grupo los resultados obtenidos de la fuerza máxima en la flexión medida en (N), el área está marcada dependiendo de los colores señalados en la **Tabla 18**.



**Figura 60:** Gráficos ensayo flexión fuerza máxima

Las muestras de fibra de vidrio presentan mejores propiedades mecánicas a la flexión con respecto a los de abacá, en la longitud de 15mm se tiene el valor medio de 82,341 N con aumento del 145.45% y para los refuerzos de 30mm la media de 99,483 N aumenta el 254,45% en consideración a la fibra de abacá.

Según los resultados obtenidos el comportamiento de fuerza máxima en flexión cambia al de tracción, teniendo mejores resultados en abacá con la longitud de 15 mm con la media de 33,547 N aumentando en 16,49% a la media de los especímenes con refuerzo de 30 mm de abacá que es de 28,799 N teniendo así que en la fibra de abacá a menor longitud mejores propiedades de flexión.

En los laminados con fibra de vidrio es lo contrario al de abacá debido que se obtienen mejores resultados con la longitud de 30 mm con 99,483 N en la media aumentando 20.82% al refuerzo de 15mm que tiene la media de 82,341 N teniendo que a mayor longitud de fibra en el refuerzo mayor en la flexibilidad.

#### **4.2.3. Flexión esfuerzo máximo (MPa)**

En la **Tabla 19** muestra las pruebas de normalidad de los cuatro grupos de probetas y los valores están dentro de la normalidad debido a que superan el 0.05 del p valor para dar la confiabilidad del 95% de las 20 probetas analizadas.

**Tabla 19**  
*Test de normalidad del esfuerzo máximo*

 Tests for normal distribution

	MC-F-EM-A-15MM	MC-F-EM-A-30MM	MC-F-EM-V-15MM	MC-F-EM-V-30MM
<b>N</b>	5	5	5	5
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,957	0,9237	0,9682	0,8929
<b>p(normal)</b>	0,7867	0,5541	0,8635	0,3719
<b>Anderson-Darling A</b>	0,1955	0,2582	0,2064	0,3298
<b>p(normal)</b>	0,7689	0,5325	0,725	0,3454
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,8544	0,6323	0,8263	0,3915
<b>Lilliefors L</b>	0,1762	0,2055	0,1903	0,2405
<b>p(normal)</b>	0,8793	0,6987	0,7999	0,4502
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,8997	0,7212	0,8271	0,454
<b>Jarque-Bera JB</b>	0,4202	0,5395	0,257	0,4117
<b>p(normal)</b>	0,8105	0,7636	0,8794	0,814
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,6864	0,4686	0,8842	0,6886

La codificación respectiva para el esfuerzo máximo de flexión se indica en la **Tabla 20** para el ingreso de datos al software PAST 4 para su respectiva evaluación.

**Tabla 20**  
*Codificación flexión esfuerzo máximo*

Codificación	Descripción
MC-F-EM-A-15MM	Material compuesto flexión esfuerzo máximo abacá 15mm
MC-F-EM-A-30MM	Material compuesto flexión esfuerzo máximo abacá 30mm
MC-F-EM-V-15MM	Material compuesto flexión esfuerzo máximo vidrio 15mm
MC-F-EM-V-30MM	Material compuesto flexión esfuerzo máximo vidrio 30mm

El la **Figura 61** presenta la gráfica matrix plot extraída del software PAST 4 la que hace referencia al esfuerzo máximo que puede soportar el material compuesto, en este caso el gráfico representa la colorimetría de frío caliente. Donde los colores de tonalidad azul son los de menor valor con el mínimo de 28,5 MPa mientras que las tonalidades rojas son los que tienen un valor mayor un máximo de 124MPa.

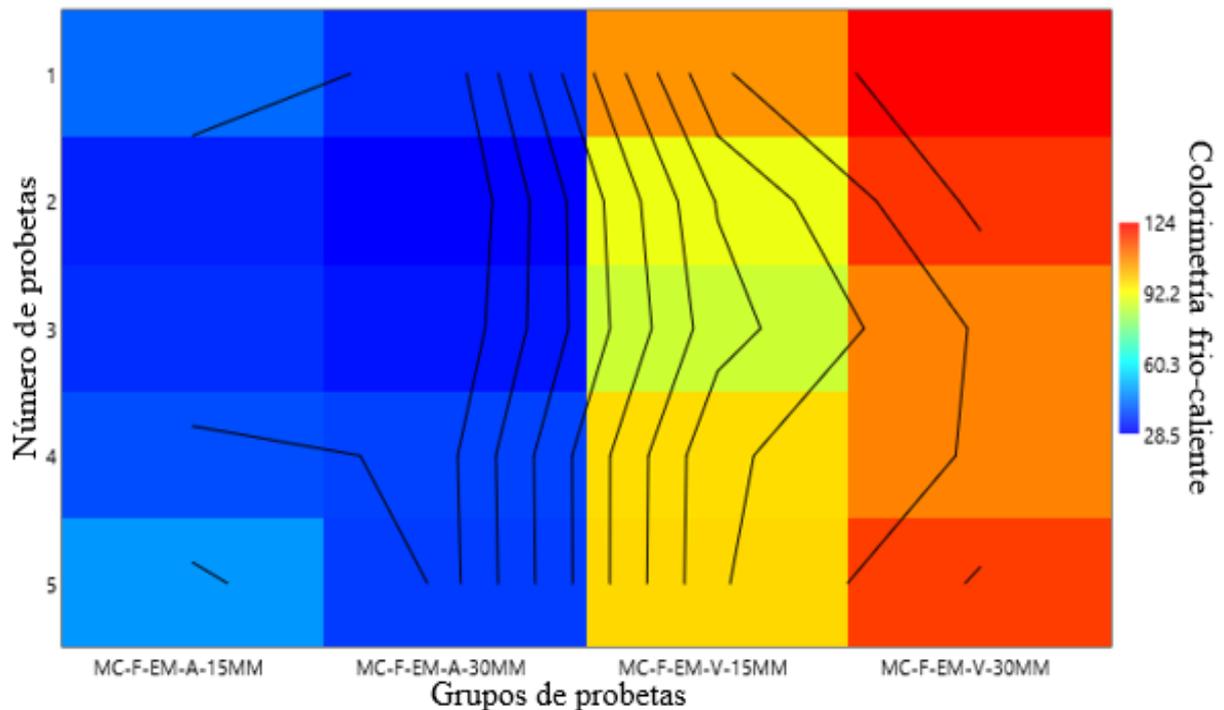


Figura 61. Matrix Plot del esfuerzo máximo

Con los resultados obtenidos se determina que los laminados fibra de vidrio de 30 mm presentan mejor propiedad al esfuerzo máximo, de acuerdo con la gráfica son tres de color rojo y dos anaranjados calificados en un rango de 108 al 124 MPa.

En cuanto al grupo que tiene bajas propiedades de esfuerzo máximo son los laminados reforzados con fibra de abacá de 30mm comprendidos en el color azul eléctrico en las 5 muestras dentro del rango de 28.5 a 44.4 MPa.

#### 4.2.4. Flexión módulo Young (MPa)

En la **Tabla 21** presenta la prueba de normalidad para el módulo Young realizada en el software PAST 4 obteniendo que los grupos 1. MC-F-MY-A-15MM; 2. MC-F-MY-A-30MM; 3. MC-F-MY-V-15MM; 4. MC-F-MY-V-30MM superan el p valor del 0.05 para los cuatro autores presentes en la tabla, con eso se afirma la confiabilidad del 95% de los ensayos realizados.

**Tabla 21**  
*Test de normalidad módulo Young*

 Tests for normal distribution

	MC-F-MY-A-15MM	MC-F-MY-A-30MM	MC-F-MY-V-15MM	MC-F-MY-V-30MM
<b>N</b>	5	5	5	5
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,9018	0,8475	0,9032	0,9571
<b>p(normal)</b>	0,42	0,1868	0,4279	0,7879
<b>Anderson-Darling A</b>	0,3702	0,3974	0,3259	0,2031
<b>p(normal)</b>	0,2626	0,2174	0,3544	0,7386
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,2902	0,2443	0,4127	0,8342
<b>Lilliefors L</b>	0,2621	0,2515	0,2642	0,1856
<b>p(normal)</b>	0,3166	0,3791	0,3052	0,8283
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,3293	0,3693	0,3118	0,8614
<b>Jarque-Bera JB</b>	0,5506	0,6501	0,5668	0,3578
<b>p(normal)</b>	0,7593	0,7225	0,7532	0,8362
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,4714	0,2942	0,4389	0,7806

Se observar la codificación respectiva para la identificación de los grupos a evaluar en el software PAST 4, el parámetro de la flexión el módulo Young en la **Tabla 22**.

**Tabla 22**  
*Codificación flexión módulo Young*

Codificación	Descripción
MC-F-MY-A-15MM	Material compuesto flexión módulo Young abacá 15mm
MC-F-MY-A-30MM	Material compuesto flexión módulo Young abacá 30mm
MC-F-MY-V-15MM	Material compuesto flexión módulo Young vidrio 15mm
MC-F-MY-V-30MM	Material compuesto flexión módulo Young vidrio 30mm

La **Figura 62** muestra los resultados de los ensayos a la flexión en el módulo Young. Está basado a la colorimetría de frío con color azul de menor valor con 3014,903 MPa, caliente con tonalidad de rojo para los de mayor valor de 5287,06MPa y valores intermedios 4150MPa de tonalidades turquesas y verdes esto con relación a 20 probetas analizadas.

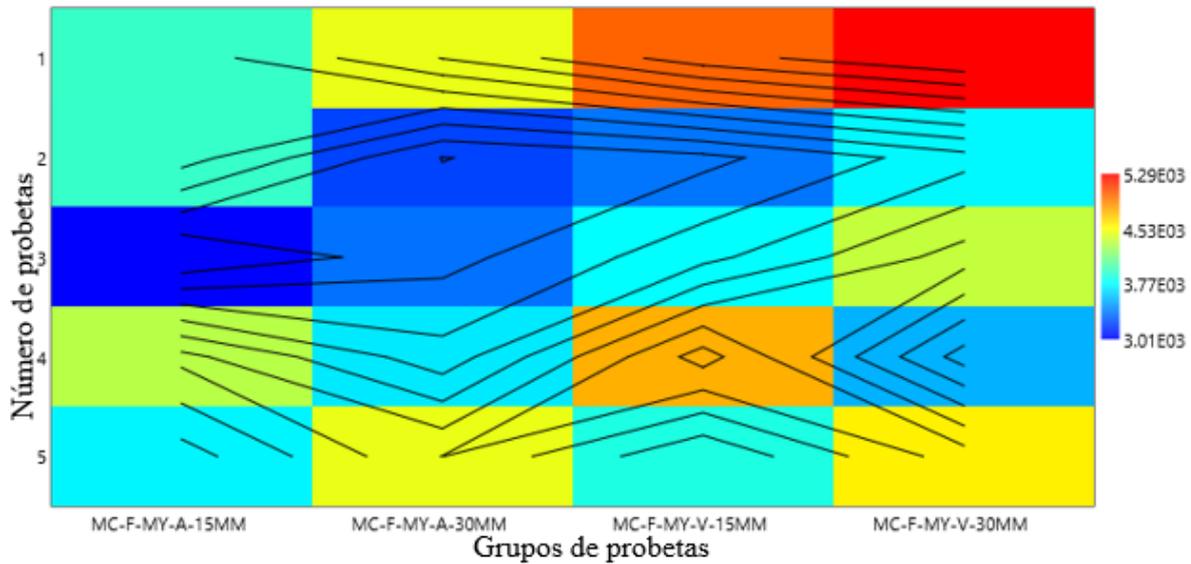


Figura 62: Matrix plot Módulo Young

Según la gráfica, las muestras toman el color rojo pertenece al grupo de laminados con fibra de vidrio de 30 mm con 5287,060 MPa y la probeta con bajo valor el color azul eléctrico se localiza en el grupo de refuerzo con fibra de abacá de 15 mm con 3014.903 MPa, el resto de los resultados se encuentran en un punto intermedio comprendido en un rango de 3770 MPa hasta 4530 MPa.

#### 4.2.5. Resumen de resultados

En la sección se presenta una síntesis de los resultados obtenido luego de realizar la respectiva comparación de los materiales compuestos

En la **Tabla 23** se presenta los datos numéricos obtenidos luego de realizar los ensayos y el análisis respectivo, poniendo en consideración la comparación entre el mismo tipo de fibra.

**Tabla 23**

*Síntesis de la comparativa entre la misma fibra*

ENSAYO DE TRACCIÓN				
Fibra	15mm longitud	30mm longitud	Mejor	Porcentaje de mejoría
Abacá	2213,92 N	2549,94 N	30 mm	+ 15,18%
Vidrio	5011,056 N	4190,04 N	15 mm	+ 19,59%
ENSAYO DE FLEXIÓN				
Abacá	33,547 N	28,799 N	15 mm	+16,49%
Vidrio	82,341 N	99,483 N	30 mm	+20,82%

En la **Tabla 24** se presenta los datos numéricos obtenidos luego de realizar los ensayos y el análisis respectivo, poniendo en consideración la comparación entre la misma longitud de fibra del refuerzo de material compuesto, presentando el mejor y el porcentaje de aumento que tiene el material que se destaca.

**Tabla 24**  
*Síntesis de la comparativa entre la misma longitud de refuerzo*

<b>Ensayo de tracción</b>				
Longitud de fibra	Abacá	Vidrio	Mejor	Porcentaje de mejoría
15 mm	2213,92 N	5011,056 N	Vidrio	+ 141,429%
30 mm	2549,94 N	4190,04 N	Vidrio	+ 64,32%
<b>Ensayo de flexión</b>				
15 mm	33,547 N	82,341 N	Vidrio	+ 145,45%
30 mm	28,799 N	99,483 N	Vidrio	+ 254,45%

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta investigación se prepara laminados de fibra de abacá y fibra de vidrio a diferentes longitudes. Se evalúa las propiedades de los materiales compuestos, como la resistencia a la tracción y flexión utilizando los equipos adecuados.

#### 5.1. Conclusiones

- Con el estado del arte se llega a la conclusión que información acerca de la fibra de vidrio es de mayor amplitud tanto en aplicaciones en las distintas industrias a comparación de a fibra de abacá, pero al ser una fibra ecológica de origen natural está en nuevas investigaciones para buscar ideas innovadoras y amigables con el medio ambiente.
- Según la revisión bibliográfica se concluye aplicar las siguientes cantidades: octoato de cobalto (0,1% al 0,3%) y del Mek (1% al 2,5%) como menciona (La casa del molde, n.d.), para el desarrollo del proyecto se utilizó 0,2% y 1,5% respectivamente, esto en relación con el peso de la matriz, con el fin de no afectar a las propiedades mecánicas, comportándose de manera óptima todas las muestras respecto en los ensayos de resistencia a la tracción y flexión.
- Con el material compuesto de 5 % de refuerzo con fibra y 95% de matriz de resina de poliéster, dando mejores resultados de tracción en los siguientes grupos con fibra de abacá de 30mm con 2549.94 N y en fibra de vidrio de 15mm con 5011.056 N. En cuanto a flexión se adquiere mejor comportamiento mecánico en las probetas de abacá de 15mm con 33.547 N y en fibra de vidrio de 30mm con 99.483 N, notando superioridad en la fibra de vidrio de la siguiente manera en 15 mm de longitud de refuerzo 141,429 % en cuanto a tracción y 145,45 % en flexión y para la longitud de 30mm un 64,32 % en cuanto a tracción y 245,44 % en flexión.
- Aplicando un análisis en el Software PAST 4 se obtuvo una confiabilidad del 95% debido a que la prueba de normalidad supera el 0,05 concluyendo así que todos los ensayos se desarrollaron de manera óptima.
- En el desarrollo práctico de los laminados se llega a la conclusión, por la manera que está constituida la matriz es fiable realizar únicamente 5 probetas a la vez

debido a la rápida formación coágulos, los mismo que no permite el moldeo las muestras.

- En base a los resultados obtenidos se llega a concluir que la fibra de vidrio no puede ser remplazada por la de abacá en la industria automotriz, entre los laminados de fibra de abacá la mejor opción por capacidad de flexión son los que están constituidos por fibra de 15 mm de longitud siendo superior en un 16,49% al de 30mm de longitud y en resistencia a la tracción son los laminados con refuerzo de 30mm de longitud que se comporta mejor de los de 15 mm de longitud notando un aumento de resistencia del 15,18%.

## **5.2. Recomendaciones**

- Con los resultados obtenidos se recomienda en investigaciones futuras experimentar con nuevas combinaciones de la fibra de abacá aumentando tanto la longitud como el porcentaje de constitución en el material compuesto.
- Para continuar con la investigación de sustitución de la fibra de vidrio por la fibra de abacá se recomienda utilizar tejidos con altas densidades o realizar un no tejidos con características similares a la fibra de vidrio y además realizar acabados precios a la aplicación para determinar la influencia de las propiedades mecánicas.
- Se recomienda siempre seguir los pasos de preparación de la matriz de la siguiente manera: Mezclar estireno con resina de poliéster, agregar el octoato de cobato y por último el Mek, si no se lo hace de esta manera puede existir reacciones exotérmicas rápidas.
- Es recomendable utilizar los equipos de protección personal para la manipulación de la matriz, debido a las afectaciones que pueden provocar en la piel tales como picazón e irritación.
- La resina de poliéster al ser una matriz resistente en los laminados se recomienda enfundar los residuos con la finalidad de evitar taponamientos en las tuberías del agua.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia para Sustancias Tóxicas el Registro de Enfermedades. (2004). *ATSDR - Resumen de Salud Pública: Fibras vítreas sintéticas*. [www.atsdr.cdc.gov/es](http://www.atsdr.cdc.gov/es)
- Ahínco. (n.d.). *Octoato de cobalto*. Retrieved May 18, 2022, from <https://www.ahinonegocios.com/?product=octoato-de-cobalto>
- Aimplas. (2019, November 30). *Tipos de materiales compuestos*. <https://www.aimplas.es/blog/tipos-de-materiales-compuestos/>
- American Association of Textile Chemists and Colorists. (2010). *AATCC Technical manual* (Vol. 85). [www.aatcc.org](http://www.aatcc.org).
- American Laboratory Trading. (n.d.). *Viscosímetro digital Brookfield DV-I Modelo LVDV-I con soporte*. Retrieved May 22, 2022, from [https://americanlaboratorytrading.com/lab-equipment-products/brookfield-dv-i-digital-viscometer-model-lvdv-i-with-stand\\_9524](https://americanlaboratorytrading.com/lab-equipment-products/brookfield-dv-i-digital-viscometer-model-lvdv-i-with-stand_9524)
- ASTM. (2021). *ASTM D7264/D7264M-21*. 15(03). <https://www.normstream.com/en/ASTM/156116976/ASTM-D7264-D7264M>
- Benavides, B. (2017). *Actualización y automatización de la máquina de ensayos universal MTS TK/T5002, capacidad de 5 KN*. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13769>
- Brenes, A. (2013). *Comparación de las propiedades mecánicas ente una resina reforzada con fibra de cabuya y una resina reforzada con fibra de vidrio* [Universidad de Costa Rica]. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/1867/1/35343.pdf>
- Chang Alvarado, A., & Montero Bernabe, G. (2015). *Análisis del sector exportador de abacá en el Ecuador*. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/3900/1/T-UCSG-PRE-ECO-CECO-66.pdf>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). In *Registro Oficial* (Vol. 449, Issue 20). [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Cooperación Alemana. (n.d.). *Produciendo fibra sostenible desde el sureste asiático hasta Centroamérica iniciativa de abacá sostenible*. [www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/abaca0/es/](http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/abaca0/es/)
- Cosmos. (n.d.). *Varillas de Fibra de Vidrio (FRP) para la Construcción*. Retrieved May 17, 2022, from <https://varillasdefibradevidrio.com/>

- Departamento Económico y de Comercio Exterior. (2021, May 17). *La exportación de abacá es un ingreso importante para la economía de Ecuador*. <https://criteriosdigital.com/datos/depto-economico-y-comercio/exportacion-abaca-ingreso-economia-ecuador/>
- Diego Lopera Echavarría, J., coinvestigador, asesor, Arturo Ramírez Gómez, C., & Ucaris Zuluaga Aristizábal Jennifer Ortiz Vanegas, M. (2010). *El método analítico como método natural. 1*. <https://www.redalyc.org/pdf/181/18112179017.pdf>
- el Correo. (2017, November 14). *Guía cofrade: Abacá (273)*. <https://elcorreoweb.es/maspasion/guia-cofrade-abaca-273-CA3534444>
- Fibraplus. (2018, January 14). *Mek peróxido*. <http://fibraplus.com/mek-peroxido/>
- Gil, A. (2012). *Resinas de poliéster*. <https://www.eafit.edu.co/servicios/centrodela laboratorios/infraestructura/laboratorios/Documents/Guia%20de%20manejo%20de%20resinas.pdf>
- Gómez, V. (2017). *Caracterización mecánica de materiales compuestos manufacturados fuera de autoclave*. <https://cidesi.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1024/187/1/M-VAGC-2017.pdf>
- Google Maps. (2022a). *Google Maps*. <https://www.google.com.ec/maps/place/Ingenieria+Textil+UTN/@0.3787419,-78.1230864,18z/data=!4m5!3m4!1s0x8e2a3b4573ee6185:0xaccdd8e286efad45!8m2!3d0.3779989!4d-78.1233653?hl=es>
- Google Maps. (2022b). *Google Maps*. <https://www.google.com/maps/place/Universidad+de+las+Fuerzas+Armadas+ESPE/@-0.3150655,-78.4427087,18.25z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x907c61f1abbe45ab!8m2!3d-0.3148217!4d-78.4425119>
- Grupo Piqsa. (2012). *Hoja técnica octoato de cobalto 12%*. [http://www.piqsa.com/wp-content/uploads/2018/07/Octoato\\_de\\_COBALTO-12-\\_HOJA-Te%CC%88CNICA.pdf](http://www.piqsa.com/wp-content/uploads/2018/07/Octoato_de_COBALTO-12-_HOJA-Te%CC%88CNICA.pdf)
- Guaytarila, M. (2021). *Desarrollo de laminados a escala de laboratorio utilizando celulosa de bambú y polímeros naturales*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11204>
- James Heal. (2021). *Titán Máquina de ensayo universal con TestWise™*. <https://www.jamesheal.com/instrument/titan>

- la casa del molde. (n.d.). *Resina poliéster ortoftálica 33000 de de propósito general aplicaciones*. Retrieved June 26, 2022, from <https://drive.google.com/file/d/1NTDTaa0VhQEITjkFlg9vngL7KXXWnHQI/view>
- Labajo, E. (2015). *El Método Científico*. <https://www.ucm.es/data/cont/docs/107-2016-02-17-EI%20M%C3%A9todo%20Cient%C3%ADfico.pdf>
- Ley de gestión ambiental*. (2004). [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Lockuán Lavado, F. E. (2013). *La industria textil y su control de calidad* (Vol. 2). <http://fidel-lockuan.webs.com>.
- Mecatrónica Latam. (2021, June 3). *Vernier o pie de rey*. <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/instrumentos-de-medicion/vernier/>
- Motorex. (2018, December 10). *Cómo utilizar la fibra de vidrio para reparaciones automotrices*. <https://www.motorex.com.pe/blog/fibra-vidrio-reparaciones-automotrices/>
- Motorex. (2019, May 14). *¿Qué es la resina de poliéster?* <https://www.motorex.com.pe/blog/que-es-la-resina-poliester/>
- Motorex. (2020, August 31). *Propiedades y usos de la fibra de vidrio*.
- MTS. (n.d.). *ASTM D7264*. Retrieved April 27, 2022, from <https://www.mts.com/la/applications/materials/test-standard/astm/astm-d7264>
- Nazza. (2022). *¡Te enseñamos todo sobre la Fibra de Vidrio Nazza, elige la correcta! 2*. <https://www.nazza.es/content/14-productos-fibra-vidrio>
- Neill, D. A., & Cortez Suárez, L. (2018). Procesos y Fundamentos de la Investigación Científica. In *Procesos y Fundamentos de la Investigación Científica* (UTMACH, Vol. 1, pp. 69–70). <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14232/1/Cap.4-Investigaci%C3%B3n%20cuantitativa%20y%20cualitativa.pdf>
- Nieto, M. (2018, May 3). *Usos y Aplicaciones de la Resina de Poliéster*. [https://www.nazza.es/blog/8\\_Usos-resina-poliester.html](https://www.nazza.es/blog/8_Usos-resina-poliester.html)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (n.d.). *Abacá*. Retrieved April 10, 2022, from <https://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/abaca0/es/#:~:text=Usos%20del%20ab>

ac%C3%A1&text=Hoy%2C%20aun%20se%20emplea%20para,fibra%20es%20para%20hacer%20papel.

Páez Moscoso, J. C. (2007). *Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión* [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/352/1/CD-0762.pdf>

Plan V. (2019, February 16). *Abacá: Esclavitud moderna en campos ecuatorianos*. <https://www.planv.com.ec/investigacion/investigacion/abaca-esclavitud-moderna-campos-ecuador>

Plastitec. (2022). *Acrílicos*. <https://plastitec.mx/acrilico.html#:~:text=El%20acr%C3%ADlico%20es%20un%20pol%C3%ADmero,en%20l%C3%A1minas%20de%20medidas%20est%C3%A1ndar.>

Quesada Solís, K. V. (2003). *Utilización del rastrojo de piña (Ananas comusus) como refuerzo de una resina poliéster comercial*. <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/21971>

Química.ES. (n.d.). *Musa textilis*. Retrieved April 10, 2022, from [https://www.quimica.es/enciclopedia/Musa\\_textilis.html](https://www.quimica.es/enciclopedia/Musa_textilis.html)

Quivensa. (n.d.). *Estireno Monómero*. Retrieved May 17, 2022, from <https://quivensa.com/producto/estireno-monomero/>

Repsol. (n.d.). *Estireno*. Retrieved May 17, 2022, from <https://www.repsol.com/es/productos-y-servicios/quimica/productos/estireno/index.cshtml>

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, 100–112. <https://doi.org/10.17163/ings.n22.2019.10>

Romero Zapata, D. M. (2013). *Estudio sobre las limitantes que tienen los productores de Fibra de Abacá de la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, para potenciar el uso de la fibra como materia prima en la industria ecuatoriana*. <http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/399/1/UISRAEL-EC-ADME-378.242-231.pdf>

Saint-Gobain. (n.d.). *Aplicaciones del hilo de fibra de vidrio que no conocías y probablemente usas*. Retrieved April 16, 2022, from <https://www.saint-gobain.com.mx/aplicaciones-del->



## ANEXOS

### Anexo 1. Certificado de utilización de laboratorios de la Planta Textil UTN



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## LABORATORIO DE PROCESOS TEXTILES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA TEXTIL



Ibarra, 06 de septiembre del 2022

### CERTIFICADO DE LABORATORIO

Yo, Ingeniero **Fausto Gualoto M.** en calidad de responsable del laboratorio de procesos textiles de la Carrera de Ingeniería Textil:

#### CERTIFICO

Que el señor **VALENCIA DÍAZ PABLO FRANCISCO**, portadora de la cedula de ciudadanía N° 1004298194, ha realizado ensayos de laboratorio referentes al Proyecto de Tesis de grado titulado “**COMPARATIVA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO A BASE DE FIBRA DE ABACÁ (MUSA TEXTILIS) Y MATERIAL DE FIBRA DE VIDRIO CON RESINA DE POLIÉSTER PARA LA CONSTRUCCIÓN DE GUARDACHOQUES DE AUTOMOTORES**”, los equipos utilizados en el laboratorio son:

- **VISCOSÍMETRO DIGITAL BROOKFIELD DV-I MODELO LVDV-I**
- **DINAMÓMETRO TITAN 5 MODELO 1410**- Determinación de resistencia a la tracción ISO 2062: 2009 y Determinación de la resistencia a la tracción para tejidos recubiertos de plástico o caucho ISO 1421:1998
- **BALANZA ELECTRÓNICA**

Además, se le ayudo con las asesorías necesarias para cumplir a cabalidad la metodología establecida en cada una de las normas.

Atentamente:



Firmado electrónicamente por:  
**FAUSTO EDMUNDO  
GUALOTO MAFLA**

**ING. GUALOTO FAUSTO M.**  
**RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE PROCESOS TEXTILES – CTEX**

**Anexo 2.** Certificado de utilización de laboratorios de mecánica de materiales ESPE



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

<b>REGISTRO</b>	Código	LMM 42R
<b>INFORME TÉCNICO</b>		
	Informe No:	1

**ENSAYO FLEXIÓN**

**Solicitado por:** Pablo Valencia (Universidad Técnica del Norte)

**CI:** 1004298194

**Orden :** 2206

**Fecha de realización:** 2022-07-13

**Tipo de Máquina:** Máquina de Ensayos Universales MTS 5002

**Doc, de Referencia:** Norma ASTM D 7264

**Material o elemento a ensayar:** Material Compuesto

**Características del Material:** Matriz resina de poliéster reforzado con fibra de abacá y fibra de vidrio

**Velocidad de Ensayo:** 1mm/min

No	Identificación de Grupos	Composición	N° de probetas
1	A 15	95% matriz de poliéster y 5% de fibra de abacá de 15 mm	5
2	A 30	95% matriz de poliéster y 5% de fibra de abacá de 30 mm	5
3	V 15	95% matriz de poliéster y 5% de fibra de vidrio de 15 mm	5
4	V 30	95% matriz de poliéster y 5% de fibra de vidrio de 30 mm	5
Total			20



ING. FRANCISCO NAVAS  
ANALISTA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES

**Anexo 3.** Norma ISO 1421:1998 Tejidos recubiertos de plástico o caucho determinación de la resistencia a la tracción y del alargamiento en la rotura



Quito – Ecuador

**NORMA  
TÉCNICA  
ECUATORIANA**

**NTE INEN-ISO 1421**  
Primera edición  
2014-01

**TEJIDOS RECUBIERTOS DE PLÁSTICO O CAUCHO.  
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y DEL  
ALARGAMIENTO EN LA ROTURA (ISO 1421:1998, IDT)**

**RUBBER- OR PLASTICS-COATED FABRICS DETERMINATION OF TENSILE STRENGTH  
AND ELONGATION AT BREAK (ISO1421:1998, IDT)**

---

Correspondencia:

Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una traducción idéntica de la Norma Internacional ISO 1421:1998.

---

DESCRIPTORES: Tela, tejido, soporte textil revestido, tela revestida de caucho, tela revestida de plástico  
ICS: 59.080.40

16 Páginas
---------------

© ISO 1998– Todos los derechos reservados  
© INEN 2014.

## Anexo 4. Norma ASTM D7264-07 referencial



Designation: D 7264/D 7264M – 07

### Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 7264/D 7264M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

#### 1. Scope

1.1 This test method determines the flexural stiffness and strength properties of polymer matrix composites.

1.1.1 *Procedure A*—A three-point loading system utilizing center loading on a simply supported beam.

1.1.2 *Procedure B*—A four-point loading system utilizing two load points equally spaced from their adjacent support points, with a distance between load points of one-half of the support span.

NOTE 1—Unlike Test Method D 6272, which allows loading at both one-third and one-half of the support span, in order to standardize geometry and simplify calculations this standard permits loading at only one-half the support span.

1.2 For comparison purposes, tests may be conducted according to either test procedure, provided that the same procedure is used for all tests, since the two procedures generally give slightly different property values.

1.3 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. Within the text, the inch-pound units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the standard.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

#### 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*<sup>2</sup>

D 790 Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials  
D 2344/D 2344M Test Method for Short-Beam Strength of

Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates  
D 3878 Terminology for Composite Materials

D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials

D 5687/D 5687M Guide for Preparation of Flat Composite Panels with Processing Guidelines for Specimen Preparation

D 6272 Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending

D 6856 Guide for Testing Fabric-Reinforced “Textile” Composite Materials

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

E 18 Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials

E 122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With a Specified Tolerable Error, the Average for a Characteristic of a Lot or Process

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods

E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics

E 1309 Guide for Identification of Fiber-Reinforced Polymer-Matrix Composite Materials in Databases

E 1434 Guide for Recording Mechanical Test Data of Fiber-Reinforced Composite Materials in Databases

2.2 *Other Documents:*

ANSI Y14.5-1999 Dimensioning and Tolerancing—Includes Inch and Metric<sup>3</sup>

ANSI B46.1-1995 Surface Texture (Surface Roughness, Waviness and Lay)<sup>3</sup>

#### 3. Terminology

3.1 *Definitions*—Terminology D 3878 defines the terms relating to high-modulus fibers and their composites. Terminology E 6 defines terms relating to mechanical testing. Terminology E 456 and Practice E 177 define terms relating to statistics. In the event of a conflict between terms, Terminology D 3878 shall have precedence over the other documents.

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D30 on Composite Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D30.04 on Lamina and Laminate Test Methods.

Current edition approved April 1, 2007. Published April 2007. Originally approved in 2006. Last previous edition approved in 2006 as D 7264/D 7264M – 06.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

<sup>3</sup> Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, http://www.ansi.org.

**3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:**

3.2.1 *flexural strength, n*—the maximum stress at the outer surface of a flexure test specimen corresponding to the peak applied force prior to flexural failure.

3.2.2 *flexural modulus, n*—the ratio of stress range to corresponding strain range for a test specimen loaded in flexure.

**3.3 Symbols:**

- b* = specimen width
- CV* = sample coefficient of variation, in percent
- $E_f^{chord}$  = flexural chord modulus of elasticity
- $E_f^{secant}$  = flexural secant modulus of elasticity
- h* = specimen thickness
- L* = support span
- m* = slope of the secant of the load-deflection curve
- n* = number of specimens
- P* = applied force
- $s_{n-1}$  = sample standard deviation
- $x_i$  = measured or derived property
- $\bar{x}$  = sample mean
- $\delta$  = mid-span deflection of the specimen
- $\epsilon$  = strain at the outer surface at mid-span of the specimen
- $\sigma$  = stress at the outer surface at mid-span of the specimen

**4. Summary of Test Method**

4.1 A bar of rectangular cross section, supported as a beam, is deflected at a constant rate as follows:

4.1.1 *Procedure A*—The bar rests on two supports and is loaded by means of a loading nose midway between the supports (see Fig. 1).

4.1.2 *Procedure B*—The bar rests on two supports and is loaded at two points (by means of two loading noses), each an equal distance from the adjacent support point. The distance between the loading noses (that is, the load span) is one-half of the support span (see Fig. 2).

4.2 Force applied to the specimen and resulting specimen deflection at the center of span are measured and recorded until the failure occurs on either one of the outer surfaces, or the deformation reaches some pre-determined value.

4.3 The major difference between four-point and three-point loading configurations is the location of maximum bending moment and maximum flexural stress. With the four-point configuration the bending moment is constant between the central force application members. Consequently, the maximum flexural stress is uniform between the central force application members. In the three-point configuration, the maximum flexural stress is located directly under the center

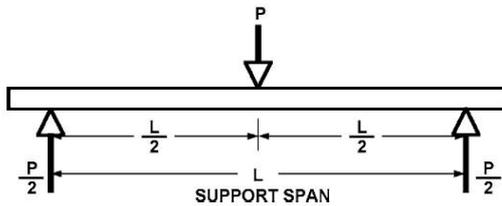


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

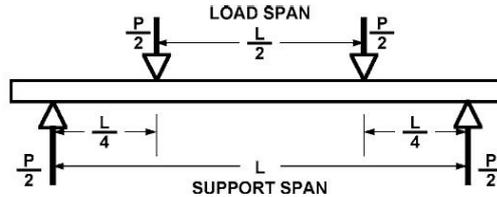


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

force application member. Another difference between the three-point and four-point configurations is the presence of resultant vertical shear force in the three-point configuration everywhere in the beam except right under the mid-point force application member whereas in the four-point configuration, the area between the central force application members has no resultant vertical shear force. The distance between the outer support members is the same as in the equivalent three-point configuration.

4.4 The test geometry is chosen to limit out-of-plane shear deformations and avoid the type of short beam failure modes that are interrogated in Test Method D 2344/D 2344M.

**5. Significance and Use**

5.1 This test method determines the flexural properties (including strength, stiffness, and load/deflection behavior) of polymer matrix composite materials under the conditions defined. Procedure A is used for three-point loading and Procedure B is used for four-point loading. This test method was developed for optimum use with continuous-fiber-reinforced polymer matrix composites and differs in several respects from other flexure methods, including the use of a standard span-to-thickness ratio of 32:1 versus the 16:1 ratio used by Test Methods D 790 (a plastics-focused method covering three-point flexure) and D 6272 (a plastics-focused method covering four-point flexure).

5.2 This test method is intended to interrogate long-beam strength in contrast to the short-beam strength evaluated by Test Method D 2344/D 2344M.

5.3 Flexural properties determined by these procedures can be used for quality control and specification purposes, and may find design applications.

5.4 These procedures can be useful in the evaluation of multiple environmental conditions to determine which are design drivers and may require further testing.

5.5 These procedures may also be used to determine flexural properties of structures.

**6. Interferences**

6.1 Flexural properties may vary depending on which surface of the specimen is in compression, as no laminate is perfectly symmetric (even when full symmetry is intended); such differences will shift the neutral axis and will be further affected by even modest asymmetry in the laminate. Flexural properties may also vary with specimen thickness, conditioning and/or testing environments, and rate of straining. When evaluating several datasets these parameters should be equivalent for all data in the comparison.


**D 7264/D 7264M – 07**

6.2 For multidirectional laminates with a small or moderate number of laminae, flexural modulus and flexural strength may be affected by the ply-stacking sequence and will not necessarily correlate with extensional modulus, which is not stacking-sequence dependent.

6.3 The calculation of the flexural properties in Section 13 of this standard is based on beam theory, while the specimens in general may be described as plates. The differences may in some cases be significant, particularly for laminates containing a large number of plies in the  $\pm 45^\circ$  direction. The deviations from beam theory decrease with decreasing width.

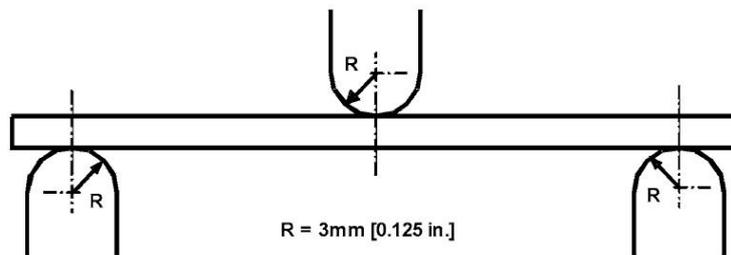
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces and resisting moments on the beam, which superpose with the intended loading. The type of supports used is to be reported as described in Section 14. The loading noses should also uniformly contact the specimen across its width. Lack of

uniform contact can affect flexural properties by initiating damage by crushing and by non-uniformly loading the beam. Formulas used in this standard assume a uniform line loading at the specimen supports across the entire specimen width; deviations from this type of loading is beyond the scope of this standard.

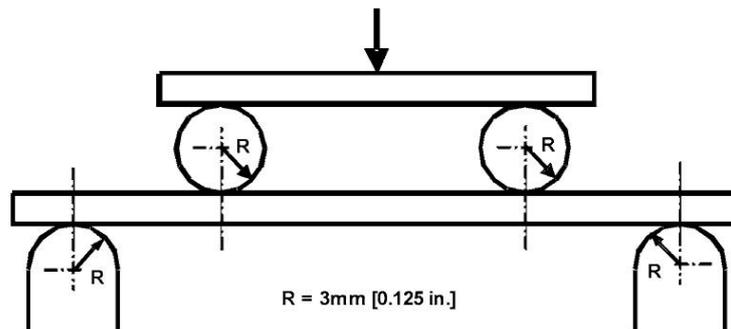
**7. Apparatus**

7.1 *Testing Machine*—Properly calibrated, which can be operated at a constant rate of crosshead motion, and in which the error in the force application system shall not exceed  $\pm 1\%$  of the full scale. The force indicating mechanism shall be essentially free of inertia lag at the crosshead rate used. Inertia lag shall not exceed 1% of the measured force. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E 4.

7.2 *Loading Noses and Supports*—The loading noses and supports shall have cylindrical contact surfaces of radius 3.00 mm [0.125 in.] as shown in Fig. 3, with a hardness of 60 to 62 HRC, as specified in Test Methods E 18, and shall have finely



Three-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Loading Nose



Four-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Rolling Loading Noses

FIG. 3 Example Loading Nose and Supports for Procedures A (top) and B (bottom)

 **D 7264/D 7264M – 07**

ground surfaces free of indentation and burrs with all sharp edges relieved. Loading noses and supports may be arranged in a fixed, rotatable or rolling arrangement. Typically, with composites, rotatable or fixed arrangements are used.

**7.3 Micrometers**—For width and thickness measurements the micrometers shall use a 4 to 7 mm [0.16 to 0.28 in.] nominal diameter ball-interface on an irregular surface such as the bag side of a laminate, and a flat anvil interface on machined edges or very smooth tooled surfaces. A micrometer or caliper with flat anvil faces shall be used to measure the length of the specimen. The accuracy of the instrument(s) shall be suitable for reading to within 1 % or better of the specimen dimensions. For typical section geometries, an instrument with an accuracy of  $\pm 0.02$  mm [ $\pm 0.001$  in.] is desirable for thickness and width measurement, while an instrument with an accuracy of  $\pm 0.1$  mm [ $\pm 0.004$  in.] is adequate for length measurement.

**7.4 Deflection Measurement**—Specimen deflection at the common center of the loading span shall be measured by a properly calibrated device having an accuracy of  $\pm 1$  % or better of the expected maximum displacement. The device shall automatically and continuously record the deflection during the test.

**7.5 Conditioning Chamber**—When conditioning materials at non-laboratory environments, a temperature/vapor-level controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within  $\pm 1^\circ\text{C}$  [ $\pm 2^\circ\text{F}$ ] and the required vapor level to within  $\pm 3$  % relative humidity, as outlined in Test Method **D 5229/D 5229M**. Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

**7.6 Environmental Test Chamber**—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of maintaining the test specimen at the required temperature

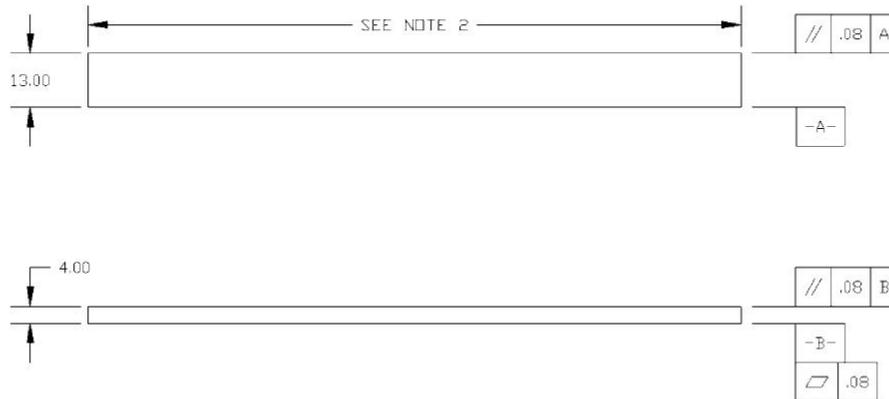
within  $\pm 3^\circ\text{C}$  [ $\pm 5^\circ\text{F}$ ] and the required vapor level to within  $\pm 5$  % relative humidity.

**8. Test Specimens**

**8.1 Specimen Preparation**—Guide **D 5687/D 5687M** provides recommended specimen preparation practices and should be followed when practical.

**8.2 Specimen Size** is chosen such that the flexural properties are determined accurately from the tests. For flexural strength, the standard support span-to-thickness ratio is chosen such that failure occurs at the outer surface of the specimens, due only to the bending moment (see Notes 2 and 3). The standard span-to-thickness ratio is 32:1, the standard specimen thickness is 4 mm [0.16 in.], and the standard specimen width is 13 mm [0.5 in.] with the specimen length being about 20 % longer than the support span. See **Figs. 4 and 5** for a drawing of the standard test specimen in SI and inch-pound units, respectively. For fabric-reinforced textile composite materials, the width of the specimen shall be at least two unit cells, as defined in Guide **D 6856**. If the standard specimen thickness cannot be obtained in a given material system, an alternate specimen thickness shall be used while maintaining the support span-to-thickness ratio [32:1] and specimen width. Optional support span-to-thickness ratios of 16:1, 20:1, 40:1, and 60:1 may also be used provided it is so noted in the report. Also, the data obtained from a test using one support span-to-thickness ratio may not be compared with the data from another test using a different support span-to-thickness ratio.

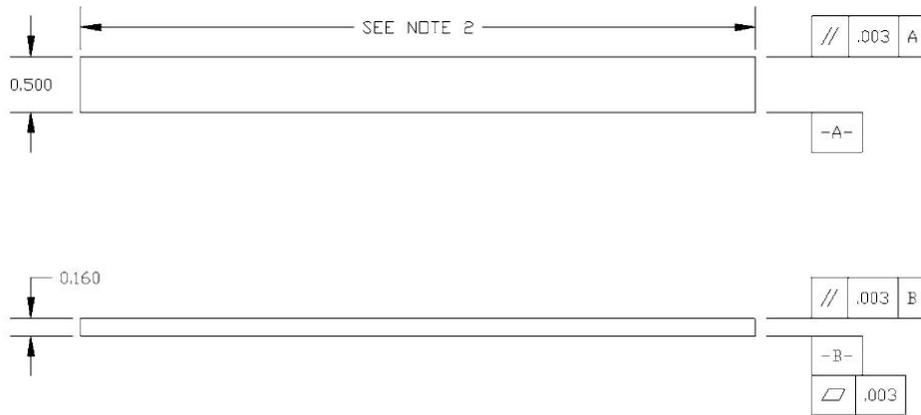
**8.2.1** Shear deformations can significantly reduce the apparent modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low support span-to-thickness ratios. For this reason, a high support span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.



NOTE 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.  
 NOTE 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

**FIG. 4 Standard Flexural Test Specimen Drawing (SI)**


**D 7264/D 7264M – 07**



NOTE 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.  
 NOTE 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

**FIG. 5 Standard Flexural Test Specimen Drawing (Inch-Pound)**

NOTE 2—A support span-to-thickness ratio of less than 32:1 may be acceptable for obtaining the desired flexural failure mode when the ratio of the lower of the compressive and tensile strength to out-of-plane shear strength is less than 8, but the support span-to-thickness ratio must be increased for composite laminates having relatively low out-of-plane shear strength and relatively high in-plane tensile or compressive strength parallel to the support span.

NOTE 3—While laminate stacking sequence is not limited by this test method, significant deviations from a lay-up of nominal balance and symmetry may induce unusual test behaviors and a shift in the neutral axis.

**9. Number of Test Specimens**

9.1 Test at least five specimens per test condition unless valid results can be gained through the use of fewer specimens, such as in the case of a designed experiment. For statistically significant data the procedures outlined in Practice E 122 should be consulted. Report the method of sampling.

**10. Conditioning**

10.1 The recommended pre-test specimen condition is effective moisture equilibrium at a specific relative humidity as established by Test Method D 5229/D5229M; however, if the test requester does not explicitly specify a pre-test conditioning environment, conditioning is not required and the test specimens may be tested as prepared.

NOTE 4—The term *moisture*, as used in Test Method D 5229/D5229M, includes not only the vapor of a liquid and its condensate, but the liquid itself in large quantities, as for immersion.

10.2 The pre-test specimen conditioning process, to include specified environmental exposure levels and resulting moisture content, shall be reported with the data.

10.3 If there is no explicit conditioning process, the conditioning process shall be reported as “unconditioned” and the moisture content as “unknown.”

**11. Procedure**

11.1 Condition the specimens as required. Store the specimens in the conditioned environment until test time.

11.2 Following final specimen machining and any conditioning but before testing, measure and record the specimen width and thickness at the specimen mid-section, and the specimen length, to the specified accuracy.

11.3 Measure the span accurately to the nearest 0.1 mm [0.004 in.] for spans less than 63 mm [2.5 in.] and the nearest 0.3 mm [0.012 in.] for spans greater than or equal to 63 mm [2.5 in.]. Use the measured span for all calculations. See Annex A1 for information on the determination of and setting of the span.

11.4 *Speed of Testing*—Set the speed of testing at a rate of crosshead movement of 1.0 mm/min [0.05 in./min] for a specimen with standard dimensions. For specimens with dimensions that vary greatly from the standard dimensions, a crosshead rate that will give a similar rate of straining at the outer surface can be obtained via the method outlined in Test Methods D 790 for Procedure A and Test Method D 6272 for Procedure B.

11.5 Align the loading nose(s) and supports so that the axes of the cylindrical surfaces are parallel. For Procedure A, the loading nose shall be midway between the supports. For Procedure B, the load span shall be one-half of the support span and symmetrically placed between the supports. The parallelism may be checked by means of plates with parallel grooves into which the loading nose(s) and supports will fit when properly aligned. Center the specimen on the supports, with the long axis of the specimen perpendicular to the loading noses and supports. See Annex A1 for setting and measuring span.

11.6 Apply the force to the specimen at the specified crosshead rate. Measure and record force-deflection data at a


**D 7264/D 7264M – 07**

rate such that a minimum of 50 data points comprise the force deflection curve. (A higher sampling rate may be required to properly capture any nonlinearities or progressive failure of the specimen.) Measure deflection by a transducer under the specimen in contact with it at the center of the support span, the transducer being mounted stationary relative to the specimen supports. Do not use the measurement of the motion of the loading nose relative to the supports as this will not take into account the rotation of the specimen about the load and support noses, nor account for the compliance in the loading nose or crosshead.

**11.7 Failure Modes**—To obtain valid flexural strength, it is necessary that the specimen failure occurs on either one of its outer surfaces, without a preceding interlaminar shear failure or a crushing failure under a support or loading nose. Failure on the tension surface may be a crack while that on the compression surface may be local buckling. Buckling may be manifested as fiber micro-buckling or ply-level buckling. Ply-level buckling may result in, or be preceded by delamination of the outer ply.

**11.7.1 Failure Identification Codes**—Record the mode, area, and location of failure for each specimen. Choose a standard failure identification code based on the three-part code shown in Fig. 6. A multimode failure can be described by including each of the appropriate failure-mode codes between the parentheses of the M failure mode.

**12. Validation**

12.1 Values for properties at failure shall not be calculated for any specimen that breaks at some obvious, fortuitous flaw, unless such flaws constitute a variable being studied. Specimens that fail in an unacceptable failure mode shall not be included in the flexural property calculations. Retests shall be made for any specimen for which values are not calculated. If a significant fraction (>50 %) of the specimens fail in an unacceptable failure mode then the span-to-thickness ratio (for excessive shear failures) or the loading nose diameter (crushing under the loading nose) should be reexamined.

**13. Calculation**

**NOTE 5**—In determination of the calculated value of some of the properties listed in this section it is necessary to determine if the toe compensation (see Annex A2) adjustment must be made. This toe compensation correction shall be made only when it has been shown that the toe region of the curve is due to take up of the slack, alignment, or seating of the specimen and is not an authentic material response.

**13.1 Maximum Flexural Stress, Procedure A**—When a beam of homogenous, elastic material is tested in flexure as a

beam simply supported at two points and loaded at the midpoint, the maximum stress at the outer surface occurs at mid-span. The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 6):

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \tag{1}$$

where:

- $\sigma$  = stress at the outer surface at mid-span, MPa [psi],
- $P$  = applied force, N [lbf],
- $L$  = support span, mm [in.],
- $b$  = width of beam, mm [in.], and
- $h$  = thickness of beam, mm [in.].

**NOTE 6**—Eq 1 applies strictly to materials for which the stress is linearly proportional to strain up to the point of rupture and for which the strains are small. Since this is not always the case, a slight error will be introduced in the use of this equation. The equation will however, be valid for comparison data and specification values up to the maximum fiber strain of 2 % for specimens tested by the procedure herein described. It should be noted that the maximum ply stress may not occur at the outer surface of a multidirectional laminate.<sup>4</sup> Laminated beam theory must be applied to determine the maximum tensile stress at failure. Thus, Eq 1 yields an apparent strength based on homogeneous beam theory. This apparent strength is highly dependent on the ply-stacking sequence for multidirectional laminates.

**13.2 Maximum Flexural Stress, Procedure B**—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a beam simply supported at two outer points and loaded at two central points separated by a distance equal to 1/2 the support span and at equal distance from the adjacent support point, the maximum stress at the outer surface occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 7):

$$\sigma = \frac{3PL}{4bh^2} \tag{2}$$

where:

- $\sigma$  = stress at the outer surface in the load span region, MPa [psi],
- $P$  = applied force, N [lbf],
- $L$  = support span, mm [in.],
- $b$  = width of beam, mm [in.], and

<sup>4</sup> For the theoretical details, see Whitney, J. M., Browning, C. E., and Mair, A., "Analysis of the Flexure Test for Laminated Composite Materials," *Composite Materials: Testing and Design (Third Conference)*, ASTM STP 546, 1974, pp. 30-45.

First Character		Second Character		Third Character	
Failure Mode	Code	Failure Area	Code	Failure Location	Code
Tension	T	At loading nose	A	Top	T
Compression	C	Between loading noses	B	Bottom	B
Buckling	B	at Support nose	S	Left	L
interlaminar Shear	S	between Load and support nose	L	Right	R
Multi-mode	M(xyz)	Unknown	U	Middle	M
Other	O			Various	V
				Unknown	U

**FIG. 6 Flexure Test Specimen Three-Part Failure Identification Code**

$h$  = thickness of beam, mm [in.].

NOTE 7—The limitations defined for Eq 1 in Note 6 apply also to Eq 2.

13.3 *Flexural Strength*—The flexural strength is equal to the maximum stress at the outer surface corresponding to the peak applied force prior to failure. (for multidirectional laminates, see Note 6). It is calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting  $P$  equal the peak applied force.

13.4 *Flexural Stress at a Given Strain*—The maximum flexural stress at any given strain may be calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting  $P$  equal the applied force read from the force-deflection curve at the deflection corresponding to the desired strain (for multidirectional laminates, see Note 6). Equations for calculating strains from the measured deflection are given in 13.5 and 13.6.

13.5 *Maximum Strain, Procedure A*—The maximum strain at the outer surface also occurs at mid-span, and it may be calculated as follows:

$$\epsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad (3)$$

where:

$\epsilon$  = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],  
 $\delta$  = mid-span deflection, mm [in.],  
 $L$  = support span, mm [in.], and  
 $h$  = thickness of beam, mm [in.].

13.6 *Maximum Strain, Procedure B*—The maximum strain at the outer surface also occurs at mid-span, and it may be calculated as follows:

$$\epsilon = \frac{4.36\delta h}{L^2} \quad (4)$$

where:

$\delta$  = mid-span deflection, mm [in.],  
 $\epsilon$  = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],  
 $L$  = support span, mm [in.], and  
 $h$  = thickness of beam, mm [in.].

### 13.7 Flexural Modulus of Elasticity:

13.7.1 *Flexural Chord Modulus of Elasticity*—The flexural chord modulus of elasticity is the ratio of stress range and corresponding strain range. For calculation of flexural chord modulus, the recommended strain range is 0.002 with a start point of 0.001 and an end point 0.003. If the data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate the flexural chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 5 (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8).

$$E_f^{chord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad (5)$$

where:

$E_f^{chord}$  = flexural chord modulus of elasticity, MPa [psi],  
 $\Delta\sigma$  = difference in flexural stress between the two selected strain points, MPa [psi], and  
 $\Delta\epsilon$  = difference between the two selected strain points (nominally 0.002).

13.7.1.1 Report the chord modulus of elasticity in MPa [psi] for the strain range 0.001 to 0.003. If a different strain range is used in the calculations, also report the strain range used.

NOTE 8—Shear deformation can seriously reduce the apparent flexural modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low span-to-thickness ratios.<sup>5</sup> For this reason, a high span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.

13.7.2 *Flexural Secant Modulus of Elasticity*—The flexural secant modulus of elasticity is the ratio of stress to corresponding strain at any given point on the stress-strain curve. The flexural secant modulus is same as the flexural chord modulus in which the initial strain point is zero. It shall be expressed in MPa [psi]. It is calculated as follows (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8):

13.7.2.1 *For Procedure A:*

$$E_f^{secant} = \frac{L^3 m}{4bh^3} \quad (6)$$

where:

$E_f^{secant}$  = flexural secant modulus of elasticity, MPa [psi],  
 $L$  = support span, mm [in.],  
 $b$  = width of beam, mm [in.],  
 $h$  = thickness of beam, mm [in.] and  
 $m$  = slope of the secant of the force-deflection curve.

13.7.2.2 *For Procedure B:*

$$E_f^{secant} = \frac{0.17L^3 m}{bh^3} \quad (7)$$

where  $E_f^{secant}$ ,  $m$ ,  $L$ ,  $b$ , and  $h$  are the same as for Eq 6.

13.7.3 Chord modulus of elasticity shall be reported although other definitions of moduli may also be used. However, when other definitions of moduli are used, it should be clearly indicated in the report.

13.8 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation, and coefficient of variation for each property determined:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (8)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{\frac{\left( \sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right)}{n-1}}$$

$$CV = 100 \cdot \frac{s_{n-1}}{\bar{x}}$$

where:

$\bar{x}$  = average value or sample mean,  
 $x_i$  = value of single measured or derived property,  
 $n$  = number of specimens,  
 $s_{n-1}$  = estimated standard deviation,  
 $CV$  = coefficient of variation in percentage.

<sup>5</sup> For discussion of these effects, see Zweben C., Smith, W. S., and Wardle, M. W., "Test Methods for Fiber Tensile Strength, Composite Flexural Modulus, and Properties of Fabric-Reinforced Laminates," *Composite Materials: Testing and Design (Fifth Conference)*, ASTM STP 674, 1979, pp. 228-262.

**14. Report**

14.1 The information reported for this test method includes material identification and mechanical testing data. These data shall be reported in accordance with Guides E 1309 and E 1471. At a minimum, the following should be reported:

- 14.1.1 The revision level or date of issue of the test method used.
- 14.1.2 The date(s) and location(s) of the testing.
- 14.1.3 The name(s) of the test operator(s).
- 14.1.4 The test Procedure used (A or B).
- 14.1.5 Any variations to this test method, anomalies noticed during testing, or equipment problems occurring during testing.
- 14.1.6 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer’s lot or batch number, source (if not from the manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.
- 14.1.7 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.
- 14.1.8 Ply orientation stacking sequence of the laminate.
- 14.1.9 If requested, report density, reinforcement volume fraction, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test data.
- 14.1.10 Average ply thickness of the material.
- 14.1.11 Results of any nondestructive evaluation tests.
- 14.1.12 Method of preparing the test specimens, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, and specimen cutting method.
- 14.1.13 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.
- 14.1.14 Type of test machine, grips, jaws, alignment data, and data acquisition sampling rate and equipment type.
- 14.1.15 Dimensions of each specimen to at least three significant figures, including specimen width, thickness, and overall length.
- 14.1.16 Conditioning parameters and results, and the procedure used if other than that specified in this test method.
- 14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.
- 14.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.
- 14.1.19 Number of specimens tested.
- 14.1.20 Load-span length, support-span length, and support span-to-thickness ratio.
- 14.1.21 Loading and support nose type and dimensions.
- 14.1.22 Speed of testing.

14.1.23 Transducer placement on the specimen, transducer type, and calibration data for each transducer used.

14.1.24 Force-deflection curves for each specimen. Note method and offset value if toe compensation was applied to force-deflection curve.

14.1.25 Tabulated data of flexural stress versus strain for each specimen.

14.1.26 Individual flexural strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure load was less than the maximum load prior to failure.

14.1.27 Individual strains at failure and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.28 Strain range used for the flexural chord modulus of elasticity determination.

14.1.29 Individual values of flexural chord modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.30 If an alternate definition of flexural modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

14.1.31 Individual values of the alternate (see above) flexural modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.32 Individual maximum flexural stresses, and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test in which the failure load was less than the maximum load before failure.

14.1.33 For flexural modulus only tests: maximum load applied, strain at maximum applied load, and calculated flexural modulus of elasticity ( $E_f$ ).

14.1.34 Individual maximum flexural strains and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test that was truncated to 2 % strain.

14.1.35 Failure mode and location of failure for each specimen.

**15. Precision and Bias**

15.1 *Precision*—The data required for the development of precision is not currently available for this test method.

15.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

**16. Keywords**

16.1 fiber-reinforced composites; flexural properties; stiffness; strength

**D 7264/D 7264M – 07**

**ANNEXES**

**(Mandatory Information)**

**A1. MEASURING AND SETTING SPAN**

A1.1 For flexural fixtures that have adjustable spans, it is important that the span between the supports is maintained constant or the actual measured span is used in the calculation of flexural stress, flexural modulus and strain, and the loading noses are positioned and aligned properly with respect to the supports. Some simple steps as follows can improve the repeatability of results when using adjustable span fixtures.

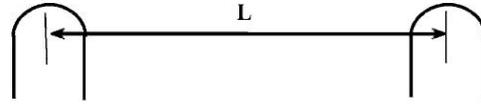
*A1.2 Measurement of Span:*

A1.2.1 This technique is needed to ensure that the correct span, not an estimated span, is used in calculation of results.

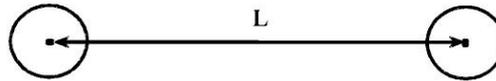
A1.2.2 Scribe a permanent line or mark at the exact center of the support where the specimen makes complete contact. The type of mark depends on whether the supports are fixed or rotatable (see Figs. A1.1 and A1.2).

A1.2.3 Using a vernier caliper with pointed tips that is readable to at least 0.1 mm [0.004 in.], measure the distance between the supports, and use this measurement of span in the calculations.

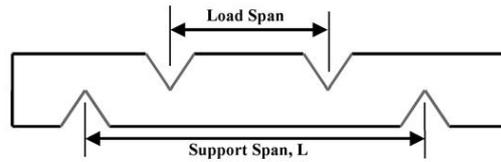
A1.3 *Setting the Span and Alignment of Loading Nose(s)*—To ensure a constant day-to-day setup of the span and ensure the alignment and proper positioning of the loading nose(s), simple jigs should be manufactured for each of the standard setups used. An example of a jig found to be useful is shown in Fig. A1.3.



**FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports**



**FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports**



**FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports**

**A2. TOE COMPENSATION**

A2.1 In a typical force-deflection curve (see Fig. A2.1) there is a toe region, AC, which does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a take-up of slack and alignment, or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as flexural modulus, and deflection at failure, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the deflection, or extension axis.

A2.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (see Fig. A2.1), a continuation of the linear (CD) region is constructed through the zero axis. This intersection (B) is the corrected zero deflection point from which all deflections must be measured. The slope can be determined by dividing the change in force between any two points along the line CD (or its extension) by the change in deflection at the same two points (measured from Point B, defined as zero-deflection).

A2.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (see Fig. A2.2), the same kind of toe correction of zero-deflection point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection Point H'. This is extended to intersect the deflection axis at Point B', the corrected zero-deflection point. Using Point B' as zero deflection, the force at any point (G') on the curve can be divided by the deflection at that point to obtain a flexural chord modulus (slope of Line B'G').

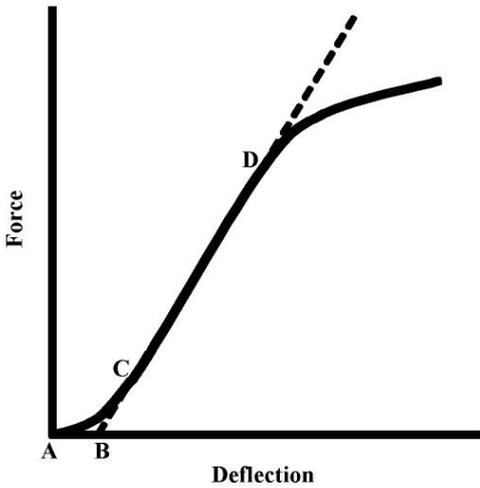


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

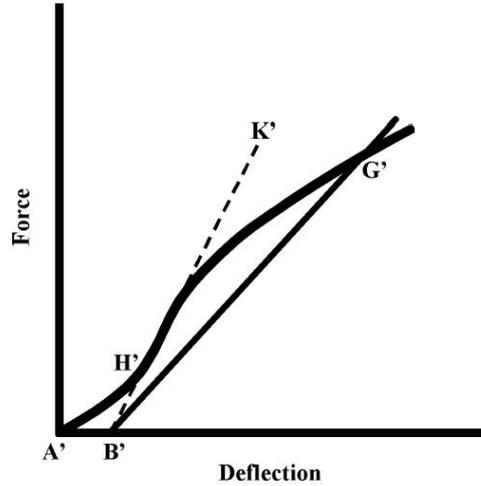


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

## Anexo 5. Análisis Urkund

### Document Information

Analyzed document	PValencia-TESIS FINAL .pdf (D144813678)
Submitted	2022-09-26 01:18:00
Submitted by	
Submitter email	pvalenciad@utn.edu.ec
Similarity	7%
Analysis address	esmore.utn@analysis.orkund.com

### Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>TESISLUNAFIBRADECOCO.docx</b> Document TESISLUNAFIBRADECOCO.docx (D20332578)
<b>SA</b>	<b>tesis Diego Carrillo.pdf</b> Document tesis Diego Carrillo.pdf (D12434720)
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/21971">https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/21971</a> Fetched: 2022-09-26 01:20:00
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.utn.edu.ec/direccion/#1638195159181-36625c2c-87c5">https://www.utn.edu.ec/direccion/#1638195159181-36625c2c-87c5</a> Fetched: 2022-09-26 01:20:00
<b>SA</b>	<b>Informe Resina Poliester.pdf</b> Document Informe Resina Poliester.pdf (D40248537)
<b>W</b>	URL: <a href="http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/abaca0/es/">http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/abaca0/es/</a> Fetched: 2022-09-26 01:19:00
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.nazza.es/blog/8_Usos-resina-poliester.html">https://www.nazza.es/blog/8_Usos-resina-poliester.html</a> Fetched: 2022-09-26 01:19:00
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.eafit.edu.co/servicios/centrodelaoratorios/infraestructura/laboratorios/Documents/Guia%20de%20manejo%20de%20resinas.pdf">https://www.eafit.edu.co/servicios/centrodelaoratorios/infraestructura/laboratorios/Documents/Guia%20de%20manejo%20de%20resinas.pdf</a> Fetched: 2022-09-26 01:19:00
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.repsol.com/es/productos-y-servicios/quimica/productos/estireno/index.cshtml">https://www.repsol.com/es/productos-y-servicios/quimica/productos/estireno/index.cshtml</a> Fetched: 2022-09-26 01:20:00
<b>W</b>	URL: <a href="https://quivensa.com/producto/estireno-monomero/">https://quivensa.com/producto/estireno-monomero/</a> Fetched: 2022-09-26 01:20:00
<b>W</b>	URL: <a href="http://www.piqsa.com/wp-content/uploads/2018/07/Octato_de_COBALTO-12_-_HOJA-Te%CC%88CNICA.pdf">http://www.piqsa.com/wp-content/uploads/2018/07/Octato_de_COBALTO-12_-_HOJA-Te%CC%88CNICA.pdf</a> Fetched: 2022-09-26 01:19:00
<b>W</b>	URL: <a href="http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14232/1/Cap.4-Investigaci%C3%B3n%20cuantitativa%20y%20cualitativa.pdf">http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14232/1/Cap.4-Investigaci%C3%B3n%20cuantitativa%20y%20cualitativa.pdf</a> Fetched: 2022-09-26 01:19:00
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.redalyc.org/pdf/181/18112179017.pdf">https://www.redalyc.org/pdf/181/18112179017.pdf</a> Fetched: 2022-09-26 01:19:00
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.mts.com/la/applications/materials/test-standard/astm/astm-d7264">https://www.mts.com/la/applications/materials/test-standard/astm/astm-d7264</a> Fetched: 2022-09-26 01:19:00
<b>SA</b>	<b>Urkund.docx</b> Document Urkund.docx (D14992173)
<b>W</b>	URL: <a href="https://plastitec.mx/acrilico.html#:~:text=El%20acr%C3%ADlico%20es%20un%20pol%C3%ADmero,en%20l%C3%A1minas%20de%20medidas%20est%C3%A1ndar.">https://plastitec.mx/acrilico.html#:~:text=El%20acr%C3%ADlico%20es%20un%20pol%C3%ADmero,en%20l%C3%A1minas%20de%20medidas%20est%C3%A1ndar.</a> Fetched: 2022-09-26 01:19:00
<b>W</b>	URL: <a href="http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13769">http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13769</a> Fetched: 2022-09-26 01:18:00
<b>SA</b>	<b>TESIS DARWIN ALOMALIZA.pdf</b> Document TESIS DARWIN ALOMALIZA.pdf (D104439567)
<b>W</b>	URL: <a href="https://criteriosdigital.com/datos/depto-economico-y-comercio/exportacion-abaca-ingreso-economia-ecuador/">https://criteriosdigital.com/datos/depto-economico-y-comercio/exportacion-abaca-ingreso-economia-ecuador/</a> Fetched: 2022-09-26 01:19:00
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.google.com/maps/place/Ingenieria+Textil+UTN/@0.3787419,-78.1230864,18z/data=!4m5!3m4!1s0x8e2a3b4573ee6185:0xaccdd8e286efad45!8m2!3d0.37795">https://www.google.com/maps/place/Ingenieria+Textil+UTN/@0.3787419,-78.1230864,18z/data=!4m5!3m4!1s0x8e2a3b4573ee6185:0xaccdd8e286efad45!8m2!3d0.37795</a> Fetched: 2022-09-26 01:19:00
<b>W</b>	URL: <a href="http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11204">http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11204</a> Fetched: 2022-09-26 01:19:00
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.nazza.es/content/14-productos-fibra-vidrio">https://www.nazza.es/content/14-productos-fibra-vidrio</a> Fetched: 2022-09-26 01:19:00

## Anexo 6. Certificado de La UEmprende traducción del resumen



### ABSTRACT

The research goal is to create a composite material with polyester resin and abaca fiber for the automotive sector. Abaca fiber is a natural fiber that can replace fiberglass because of its high strength, light weight, low cost, and good mechanical properties.

For the development of the composite material, the preparation of the matrix is investigated by determining the following composition: 75% polyester resin, 25% styrene as a diluent, 0.2% cobalt octoate, and 1.5% MEK peroxide, the latter must be added according to the weight of the resin with styrene. The laminates are made up of 5% abaca fiber reinforcement of two lengths: 15 and 30mm, and the remaining 95% are matrix, Thus obtaining 40 specimens of which 20 were for traction tests carried out in the physical laboratory of the textile program at Tecnica del Norte University "UTN" and the remaining specimens for flexion tests in the Material Mechanics Laboratory of the University of the Forces Armed "ESPE".

The tensile strength tests (maximum force) measured in Newtons (N) are determined using the Titan 5 dynamometer, the tests are carried out on rectangular cylinders of 50mm x 150mm x 3.2mm, for laminates of glass fiber as abaca fiber. The universal test machine MTS TK/T50002 is used to determine the maximum force, strain, maximum stress, and modulus of elasticity. Tests are performed on test pieces with measurements of 12.7mm x 127mm x 3.2mm. Then the statistical analysis is performed using THE SOFTWARE PAST 4, it allows us to obtain the tests of normality to determine the 95% reliability of the tests, besides projecting the results in a graphical way for the analyst's understanding.

According to the results, glass fiber laminates score higher in mechanical tests of tensile strength and flexion than abaca fiber laminates.

*Reviewed by Victor Raúl Rodríguez Viteri*