

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA  
FIBRA DE HOJA DE PIÑA EN COMPARACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO EN  
UNA MATRIZ DE POLIÉSTER**

**AUTOR:**

**JOSE LUIS VALLEJO CARDENAS**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PEREIRA**

**2020**

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA  
FIBRA DE HOJA DE PIÑA EN COMPARACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO EN  
UNA MATRIZ DE POLIÉSTER**

**AUTOR:**

**JOSE LUIS VALLEJO CARDENAS**

**Trabajo de investigación formativa**

**DIRECTOR:**

**JOSE LUIS TRISTANCHO REYES**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PEREIRA**

**2020**

## **Dedicatoria:**

A mis padres por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años gracias por brindarnos la educación a mí y a mis hermanos, por esto hemos llegado hasta aquí y nos convertimos en lo que somos.

## **Agradecimientos**

A mis profesores, compañeros y amigos que hicieron parte de este proceso formativo, pero en especial a PhD. Jose Luis Trisancho Reyes por su dedicación en el proceso al igual que Luisa María Montoya Zapata, Estephania Salazar Orozco y Dayana Villa Restrepo pertenecientes al SIMAV y quienes con su apoyo y colaboración permitieron el desarrollo de este proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. Introducción.....</b>	<b>10</b>
<b>2. Planteamiento del problema.....</b>	<b>11</b>
<b>3. Justificación .....</b>	<b>12</b>
<b>4. Objetivos .....</b>	<b>13</b>
4.1. Objetivo general .....	13
4.2. Objetivos específicos .....	13
<b>5. Marco teórico.....</b>	<b>14</b>
5.1. Materiales compuestos .....	14
5.2. Clasificación de los materiales compuestos.....	14
5.2.1. Matriz metálica .....	15
5.2.2. Matriz cerámica .....	15
5.2.3. Matriz polimérica .....	15
5.3. Polímero .....	15
5.3.1. Clasificación de los polímeros.....	16
5.4. Fibras naturales. ....	16
5.4.1. Celulosa .....	18
5.4.2. Hemicelulosa .....	18
5.5. Propiedades de la fibra de piña .....	18

<b>6. Metodología.....</b>	<b>19</b>
6.1. Revisión del estado del arte .....	19
6.2. Extracción de las fibras de hoja de piña.....	19
6.3. Probetas .....	21
6.3.1. Dimensiones .....	21
6.4. Caracterización mecánica .....	23
6.4.1. Esfuerzo de tensión.....	23
6.4.2. Módulo de elasticidad.....	24
6.4.3. Esfuerzo de flexión.....	25
<b>7. RESULTADOS.....</b>	<b>26</b>
7.1. ENSAYO DE TRACCIÓN.....	26
7.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD ENSAYO DE TRACCIÓN .....	28
<b>8. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>30</b>
<b>9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>32</b>
<b>10. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>33</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fases de un material compuesto [3] .....	14
Figura 2. Foto con microscopio de la fibra de piña. Fuente, el autor. ....	17
Figura 3. Esquema de una pared celular típica. [5].....	17
Figura 4. Hoja de piña.....	20
Figura 5. Cepillado de Hoja .....	20
<i>Figura 6. Fibra separada sin limpiar.....</i>	<i>20</i>
Figura 7. Fibras secando.....	20
Figura 8. Probetas fibra de piña para ensayo tracción. Fuente, el autor.....	22
<i>Figura 9. Probetas para ensayo Tracción. Fuente: Autor.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 10. Probeta ensayo Flexión. Fuente: Autor.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 11. Máquina Universal de Ensayos VEB [7].....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 12. Banco de ensayo para tensión y compresión ESM303 [8].....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 13. diagrama de carga [10].....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 14. Área transversal FHP bajo microscopio. Fuente: Autor.....</i>	<i>32</i>
Gráfico 1. Diagrama esfuerzo deformación.[9].....	25
Gráfico 2. Esfuerzo vs Porcentaje-disposición en fibra de vidrio. Fuente: Autor .....	27
Gráfico 3. Esfuerzo vs Porcentaje-disposición en fibra de hoja de piña. Fuente: Autor .....	28
Gráfico 4. Fuerza vs Deformación en fibra de hoja de piña 10%. Fuente: Autor .....	28
Gráfico 5. Esfuerzo a flexión vs Porcentaje fibra de hoja de piña 10%. Fuente: Autor .....	29
Gráfico 6. Esfuerzo a tracción para FV Y FHP. Fuente: Autor .....	30

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades físicas. [6] .....	18
Tabla 2. Dimensiones.....	21
Tabla 3. Esfuerzo de tracción Fibra de vidrio. Fuente: Autor .....	26
Tabla 4. Esfuerzo de tracción Fibra de hoja de piña.....	27
Tabla 5. Módulo de elasticidad. Fuente: Autor.....	29



## RESUMEN

En este trabajo se realizó la caracterización mecánica de un material compuesto de matriz de poliéster Cristalán 2836, reforzado con dos tipos de materiales: fibra de la hoja de piña variedad MD2 mejor conocida como oro miel y fibra de vidrio, con el propósito de comparar las propiedades mecánicas de los dos refuerzos.

Las fibras de hoja de piña fueron obtenidas de forma manual con la precaución de obtener fibras lo suficientemente largas, de igual forma el proceso de fabricación del material compuesto se realiza de manera manual variando en las probetas la disposición de las fibras y el porcentaje de fibra/resina. Las pruebas de resistencia mecánica tracción (material compuesto y grupo de fibra) y flexión se realizaron bajo los parámetros establecidos por las normas ASTM D3039, ASTM C1557-03 y D7264/D7264M – 15, respectivamente.

Los resultados obtenidos durante las pruebas de tracción y flexión arrojó un aumento de resistencia en el material al existir un incremento del refuerzo, en el ensayo de tracción se alcanzó una resistencia máxima de 21.96 MPa con configuración de la fibra en forma unidireccional, además el modulo de elasticidad de una sola fibra es de 389.68 MPa lo cual es representativo en fibras naturales de alto contenido de celulosa.

## 1. INTRODUCCIÓN

El auge de los materiales sintéticos en la industria moderna ha generado un creciente interés por el desarrollo de nuevos materiales compuestos, buscando siempre mejoras en las propiedades mecánicas de estos. Ahora bien, este crecimiento de nuevos materiales también ha incrementado los problemas medioambientales debido a que dichos materiales no son precisamente amigables con el medio ambiente, razón por la cual se ha visto un particular interés por desarrollar materiales que sustituyen adecuadamente los sintéticos y que además generen un menor impacto ambiental.

Con el objetivo de mitigar el daño ambiental y afectaciones a la salud generadas por el uso de la fibra de vidrio, a lo largo de este trabajo se planteó la necesidad de investigar una alternativa viable a la sustitución de la fibra de vidrio tomando como materia de estudio la fibra de hoja de la planta de piña, la cual presenta niveles alto de biopolímeros (celulosa y hemicelulosa) los cuales son los responsables de brindarle la resistencia que poseen las hojas de la planta y que para esta investigación brinda la dureza y resistencia a las fibras que se utilizarán como refuerzo.

Los parámetros que se tuvieron en cuenta para la comparación de los dos refuerzos son el porcentaje de fibra en el material y el tipo de disposición de la misma, existen otras variables que afectan directamente el comportamiento mecánico del material pero que para este estudio no fueron tomados en cuenta.

Finalmente, el uso de fibras vegetales como alternativa viable de sustitución para materiales sintéticos se encamina hacia la creciente conciencia creada para proteger el medio ambiente, en la cual tiene como objetivo impulsar la investigación, sostenibilidad y desarrollo de nuevos materiales amigables con el ambiente y el ser humano.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El uso de materiales compuestos para cumplir las necesidades ingenieriles ha impulsado cada vez más la investigación y producción de nuevos productos, que desde su concesión hasta terminar su ciclo útil estos materiales suponen un impacto a la salud humana y al medio ambiental.

En Colombia el uso de la fibra de vidrio en el sector industria ha aumentado en la última década con la fabricación de múltiples productos que utilizan como refuerzo esta fibra. En la fabricación de materiales compuesto de base polimérica y de refuerzo de fibra de vidrio se ha evidenciado que las partículas de fibra vidrio afecta la salud de los operarios que la manipula. Según Centro de Información de Sustancias Químicas, Emergencias y Medio Ambiente – CISTEMA, las afectaciones a la salud son producidas principalmente por dos tipos de exposición: Exposición aguda e Inhalación, las cuales suponen irritaciones en piel, ojos garganta y afecciones respiratorias. Finalmente, por su naturaleza sintética y prácticamente insoluble con el agua genera grandes cantidades de contaminación al terminar su ciclo útil.[1]

### **3. JUSTIFICACIÓN**

El presente estudio surge de la necesidad de encontrar un material compuesto que brinde una alternativa amigable con el medio ambiente y la salud humana, material cuyas propiedades mecánicas sean óptimas y similares a la fibra de vidrio, adicionalmente que presente un costo aceptable para la industria, como respuesta a estas necesidades anteriormente mencionadas se realiza el estudio de la fibra de hoja de piña como un material compuesto en una matriz polimérica. El uso de forma industrializada de este material podría significar un avance para la agricultura colombiana debido a que los cultivos de piña en Colombia generan una cantidad de desechos subutilizados que para los productores suponen un gasto adicional al tener que deshacerse de estos después de la cosecha.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo general**

Determinar las propiedades mecánicas de un nuevo material compuesto a base de matriz de resina de poliéster reforzada con fibras naturales de hoja de la planta de piña.

### **4.2. Objetivos específicos**

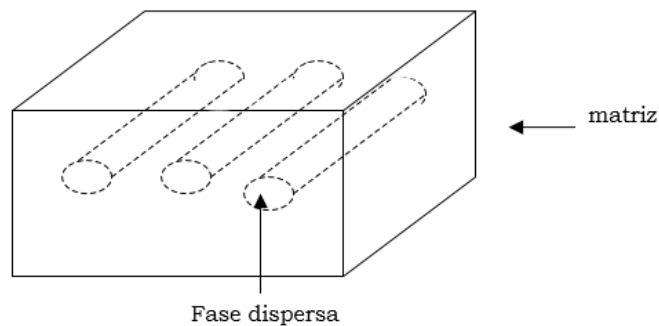
- Obtener un material compuesto de matriz de poliéster reforzado con fibras de hoja de la planta de piña, dispuestas, en forma aleatoria y longitudinal, al 5%,10 y 15% W/V(Peso/Volumen).
- Evaluar las propiedades mecánicas del material compuesto con matriz de poliéster reforzado con fibras de hoja de planta de piña al ser sometido a ensayos de tracción y flexión.
- Evaluar mediante microscopía características de la fibra de la hoja de la planta de piña.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1. Materiales compuestos

Se define como material compuesto todo sistema o combinación de materiales constituido a partir de una unión (no química, insolubles entre sí) de dos o más componentes, que da lugar a uno nuevo con propiedades características específicas, no siendo estas propiedades ninguna de las anteriores. [2]

Una de las características principales de los materiales compuestos es el estar constituidos por dos fases denominadas matriz que se utiliza como aglutinante y refuerzo o también conocida como fase dispersa, las cuales deben ser posible identificar por medios físicos ya que estas dos fases no se fusionan totalmente al crearse el material.



*Figura 1. Fases de un material compuesto [3]*

### 5.2. Clasificación de los materiales compuestos

Los materiales compuestos se pueden clasificar de diferentes formas, las más conocidas son: por el tipo de refuerzo y por el tipo de matriz, a continuación, se presenta la clasificación por matriz en la cual se identifica tres grupos principales.

### **5.2.1. Matriz metálica**

El principal uso de los materiales compuestos de matriz metálica es aplicaciones aeroespaciales y de automoción debido a que ofrece alta resistencia y bajo peso, como ejemplo encontramos las aleaciones de aluminio con refuerzos de fibra de boro.

### **5.2.2. Matriz cerámica**

Este tipo de matriz ofrece mejoras mecánicas de resistencia y tenacidad en comparación con los cerámicos tradicionales, como ejemplo encontramos la unión de carburo de silicio y las de óxido de aluminio

### **5.2.3. Matriz polimérica**

Este tipo de refuerzo ofrece buenas propiedades mecánicas, de resistencia a la corrosión y la facilidad para ser moldeada, el principal ejemplo de este tipo de material son los termoestables que están constituidos por una matriz polimérica y un refuerzo de fibra de vidrio o carbono.

Los anteriores grupos también se subdividen dependiendo del tipo de refuerzo incorporado: refuerzo con fibra continua, refuerzo con fibra discontinua y refuerzo con partículas.

## **5.3. Polímero**

La palabra polímero proviene etimológicamente del griego y significa “muchos miembros o partes”. Químicamente se define como un material constituido por grandes moléculas, las cuales se forman por la secuencia repetitiva de moléculas pequeñas o agrupaciones de átomos simples, enlazadas unas a otras por enlaces primarios (usualmente del tipo covalentes simples). Estas unidades estructurales sencillas que dan origen a los polímeros reciben el nombre de monómeros. [2]

### 5.3.1. Clasificación de los polímeros

Existen diferentes tipos de clasificación para los polímeros una de ellas es la clasificación de acuerdo con su comportamiento térmico, ya que de ese comportamiento depende la selección del proceso de obtención del material compuesto.

- **Elastómeros:** Tienen una temperatura de transición vítrea baja por lo que son quebradizos muy fácilmente a esta temperatura, son polímeros infusibles e insolubles como por ejemplo el caucho nitrilo, caucho estireno o el polibutadieno.
- **Termoestables:** No son fundibles ya que con el aumento de temperatura ocurre una degradación química llamada carbonización, como, por ejemplo, las resinas vinilester, poliéster, epoxi, fenólicas entre otras.
- **Termoplásticos:** Los termoplásticos son polímero que con una determinada temperatura pasan a una fase líquida, permitiendo que se le pueda moldear y posteriormente cuando su temperatura esté por debajo de los 40°C, se solidifique y mantenga su forma, ejemplo de estos materiales son el polipropileno, polietileno, poliuretano o los policarbonatos. [4]

Para la presente investigación se utilizó una matriz de resina poliéster insaturado, la cual corresponde a la clasificación de las termoestables.

### 5.4. Fibras naturales.

Las fibras vegetales naturales son paredes celulares que se encuentran en las partes del tallo y las hojas, estas paredes celulares están compuestas principalmente de de celulosa,



hemicelulosas, ligninas. La química y la estructura de las fibras determinan sus características, funcionalidades y eficiencias de procesamiento. [5]

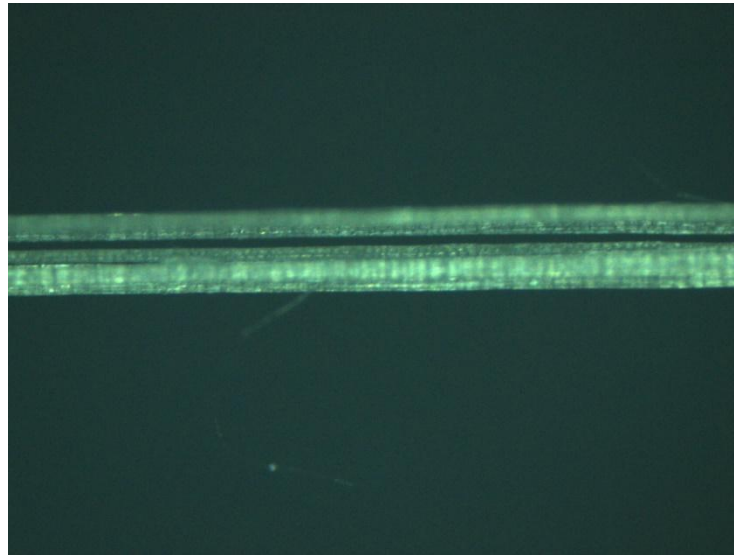


Figura 2. Foto con microscopio de la fibra de piña. Fuente, el autor.

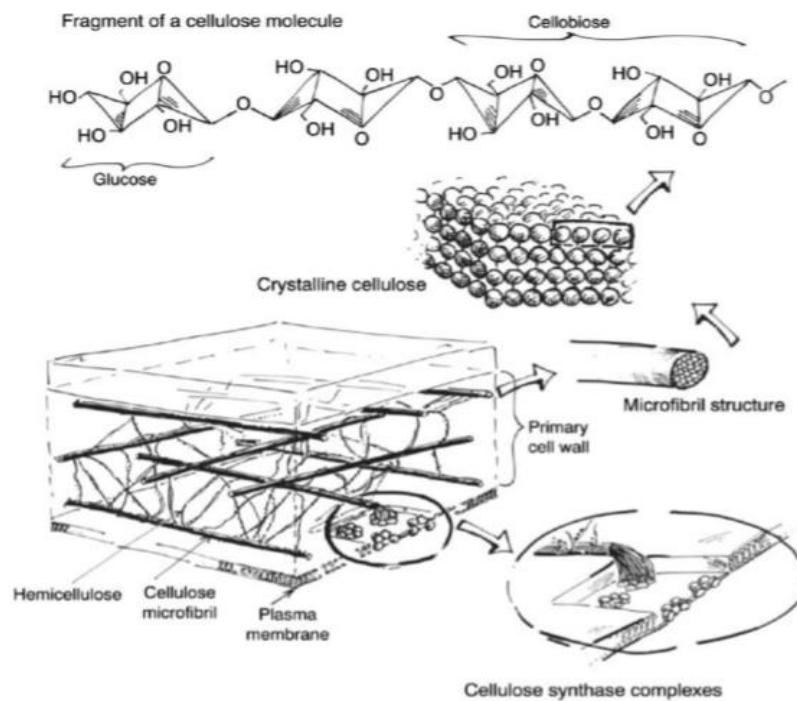


Figura 3. Esquema de una pared celular típica. [5]

### 5.4.1. Celulosa

La celulosa es un polímero lineal de glucosa. En su forma más simple, la celulosa es un polímero de carbohidrato lineal de unidades de glucosa unidas a  $\beta$ -1,4. Sin embargo, la unidad repetitiva básica de la celulosa es la celobiosa dímera, que comprende dos unidades de glucosa unidas por el enlace  $\beta$ -1,4, así como enlaces de hidrógeno intermoleculares. [5]

### 5.4.2. Hemicelulosa

Después de la celulosa, la hemicelulosa es el segundo carbohidrato más abundante de las paredes celulares de las plantas (Deblois y Wiegel, 1990). La hemicelulosa es un término colectivo para un grupo extremadamente heterogéneo de polisacáridos, que difiere tanto en composición como en estructura y dependiendo de sus orígenes. Polisacáridos no celulósicos tales como glucanos (un polímero de monómeros de d-glucosa -  $C_6H_{12}O_6$ ), mananos (un polímero de la azúcar manosa -  $C_6H_{12}O_6$ ), galactanos (un polímero de la galactosa de azúcar -  $C_6H_{12}O_6$ ), arabinans (un polímero de arabinosa -  $C_5H_{10}O_5$ ) y xilanos (un polímero altamente complejo de la pentosa azúcar xilosa -  $C_5H_{10}O_5$ ) comprenden hemicelulosas. [5]

## 5.5. Propiedades de la fibra de piña

Las fibras naturales presentan propiedades físicas diferentes, algunas de estas diferencias definen su comportamiento con la matriz y por ende también afecta las propiedades mecánicas del material final, en la “Tabla 1” se muestra las propiedades físicas de algunas fibras:

Tabla 1. Propiedades físicas. [6]

Fibra	Densidad ( $g/cm^3$ )	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Humedad (%)
Cáñamo <sup>a</sup>	1,48	88-90	7-10	1,5-2,0	3,5-8,0
Sisal	1,45	65	12	9,9	10
Plátano <sup>b</sup>	1,35	63-64	19	5	10-11
Piña <sup>b</sup>	1,53	81	-	12,7	13,5

## **6. METODOLOGÍA**

### **6.1. Revisión del estado del arte**

En la fase inicial de la presente investigación se hace una revisión de tipo bibliográfico sobre la fibra de hoja de piña, logrando con esto la obtención de todo tipo de información que se considere necesaria sobre los temas relevantes tales como procesos de extracción de la fibra, fabricación de las probetas de materiales compuestos y resultados obtenidos, finalmente esta información sirve para dar una base de comparación de los resultados obtenidos durante el desarrollo de este proyecto.

### **6.2. Extracción de las fibras de hoja de piña**

Para lograr extraer las fibras de las hojas se utiliza el método manual el cual consiste en cepillar con un escamador metálico las hojas, el cepillado de estas se hace sobre una superficie con agua corriente, con este proceso se logra la separación de las fibras del resto de materiales. El raspado de las hojas con el escamador fue realizado en forma ordenada y secuencial, iniciando en la parte superior de la hoja, raspando y peinando hasta llegar a la parte inferior. Al terminar, las fibras fueron separadas y sometidas a un proceso de limpieza manual para tratar de retirar el material adherido a las fibras. Finalmente, las fibras fueron puestas en un lugar seco y con buena iluminación natural para su secado, todo el proceso anterior se muestra en las imágenes 2-5.



*Figura 4. Hoja de piña.*



*Figura 5. Cepillado de Hoja.*



*Figura 6. Fibra separada sin limpiar.*



*Figura 7. Fibras secando.*

### 6.3. Probetas

Se fabricó un molde de marco de aluminio y base de vidrio con las siguientes dimensiones 400mm x 20mm, para en este elaborar las probetas del material compuesto para los ensayo de acuerdo a las normas ASTM D 3039-08 y D7264/D7264M – 15.

La preparación del molde se hace momentos previos al vaciado mediante una buena limpieza y aplicación del desmoldante, de igual manera es necesario tener preparadas las cantidades de fibra y resina que se va a utilizar, evitando que el tiempo de fabricación se incremente y la resina no logre una buena adherencia con la fibra.

#### 6.3.1. Dimensiones

##### - Tracción material compuesto

Tabla 2. Dimensiones.

DISPOSICIÓN	PORCENTAJES	ANCHO	ALTO
UNIDIRECCIONAL	5%-10%-15%	1.5	25
ALEATORIO	5%-10%-15%	2.5	25



Figura 8. Probetas fibra de piña para ensayo tracción. Fuente, el autor.

- **Tracción grupo de fibras**

Sujetadores de fibra de dimensiones 120mm x 20mm.



*Figura 9. Probetas para ensayo Tracción. Fuente: Autor.*

Las probetas de flexión se realizaron con una relación espesor largo de 32:1, bajo las medidas recomendadas por la norma de 96mm x 13mm x 3mm. (largo, ancho, espesor).



*Figura 10. Probeta ensayo Flexión. Fuente: Autor*

## 6.4. Caracterización mecánica

Mediante el uso de equipos de la Universidad Tecnológica de Pereira se realizaron los ensayos de Tensión y Flexión con el propósito de caracterizar el material en cuanto a su resistencia máxima y módulo de elasticidad.

### 6.4.1. Esfuerzo de tensión.

Se realizó el ensayo de tensión para el material compuesto en el laboratorio de resistencia de materiales con una máquina de ensayos universal según lo establecido por la norma ASTM D3039, cuyas especificaciones para las dimensiones de las muestras son de 20 [cm] de largo, 1.2 [cm] de ancho y 0.4 [cm] de espesor. La norma establece que la velocidad del cabezal de la máquina debe ser de 2[*mm/min*], esta prueba se hizo para una serie de 5 muestras por porcentaje de fibra resina.



*Figura 11. Máquina Universal de Ensayos VEB [7]*

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

*Ecuación 1 esfuerzo de tensión.*

Dónde:

$\sigma_t$ : Esfuerzo a tensión máximo

$F$ : Carga axial

$A$ : Área transversal

#### 6.4.2. Módulo de elasticidad.

Para determinar la rigidez del material se utiliza el método establecido en la Norma ASTM D3039 y la ASTM C1557-03, comparando los resultados obtenidos en ambas pruebas, para con ellos determinar el aumento en su módulo de elasticidad al utilizar una matriz de poliéster.



Figura 12. Banco de ensayo para tensión y compresión ESM303 [8]

$$E_c = \frac{\Delta G}{\frac{\Delta L}{L}}$$

Ecuación 2. Módulo de elasticidad



Donde:

$E_c$ : Módulo de elasticidad

$\Delta G$ : Delta de esfuerzo (MPa)

$\Delta L/L$ : Deformación unitaria(mm/mm)

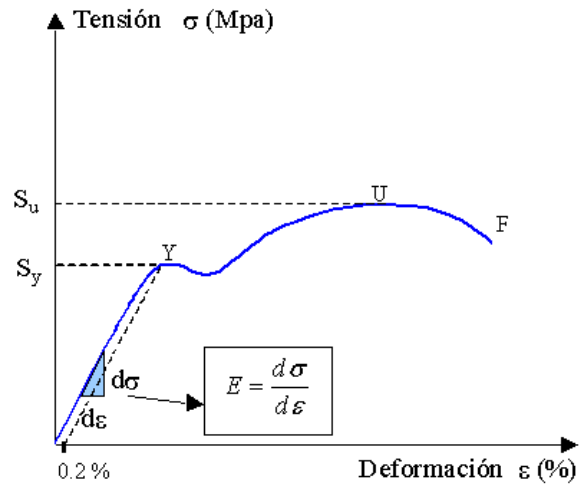


Gráfico 1. Diagrama esfuerzo deformación.[9]

### 6.4.3. Esfuerzo de flexión

La prueba de flexión se realizó bajo los lineamientos de la norma ASTM D7264/D7264M – 15, con el procedimiento A, el cual consiste en apoyar en dos puntos y aplicar la carga en el centro Figura 12.

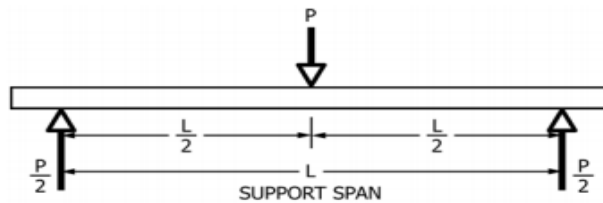


Figura 13. diagrama de carga [10]

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd}$$

*Ecuación 3 Esfuerzo de flexión*

Donde:

$\sigma_f$ : Esfuerzo de flexión (MPa)

$P$ : carga en el punto medio (N)

$L$ : Distancia entre apoyos (mm )

$b$ : Ancho de la probeta (mm)

$d$ : Espesor de la probeta (mm)

## 7. RESULTADOS

### 7.1. ENSAYO DE TRACCIÓN

El ensayo a tracción se efectuó bajo los parámetros establecidos por la norma ASTM D3039, obteniendo los resultados mostrados en la tabla 3-4. Las cuales presentan los valores de esfuerzo a tracción de las fibras de vidrio y la fibra de piña a diferente porcentaje y disposición.

*Tabla 3. Esfuerzo de tracción Fibra de vidrio. Fuente: Autor*

FIBRA DE VIDRIO				
PORCENTAJE [%]	DISPOSICIÓN	ÁREA [mm <sup>2</sup> ]	FUERZA PRM [N]	ESFUERZO [MPa]
5 U.	UNIDIRECCIONAL	45	595,94	13,24
5 A.	ALEATORIO	75	679,66	9,06
10 U.	UNIDIRECCIONAL	45	792,94	17,62
10 A.	ALEATORIO	75	863,13	11,51

Tabla 4. Esfuerzo de tracción Fibra de hoja de piña.

FIBRA DE PIÑA				
PORCENTAJE [%]	DISPOSICIÓN	ÁREA [mm <sup>2</sup> ]	FUERZA PRM [N]	ESFUERZO [MPa]
5 U.	UNIDIRECCIONAL	45	510,04	11,33
5 A.	ALEATORIO	75	596,23	7,95
10 U.	UNIDIRECCIONAL	45	988,08	21,96
10 A.	ALEATORIO	75	1.350,12	18

En ambas tablas se evidencia un aumento del esfuerzo al aumentar el porcentaje de fibra y una disminución respecto a las de disposición aleatoria tal como se puede observar en los siguientes gráficos:

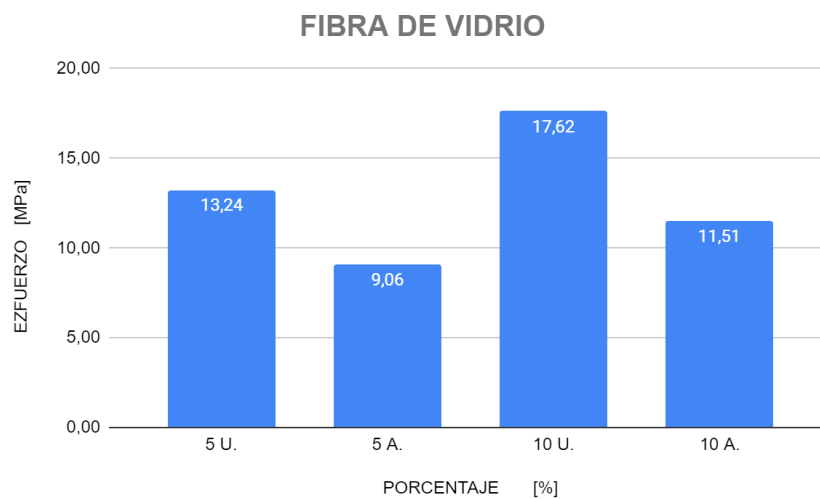


Gráfico 2. Esfuerzo vs Porcentaje-disposición en fibra de vidrio. Fuente: Autor

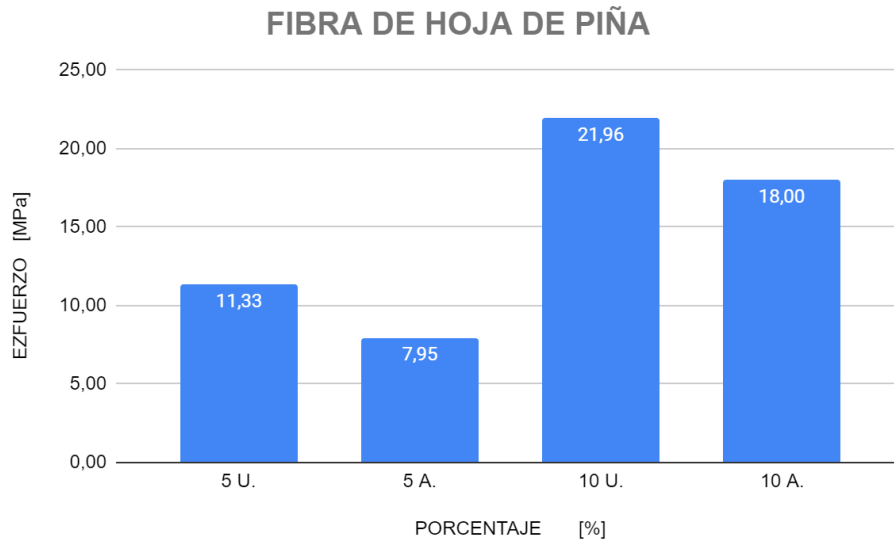


Gráfico 3. Esfuerzo vs Porcentaje-disposición en fibra de hoja de piña. Fuente: Autor

## 7.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD ENSAYO DE TRACCIÓN

Para el módulo de Young se hace referencia a los procedimientos en las normas ASTM D3039 Y ASTM C1557-03, con el fin de comparar los resultados obtenidos en ambos ensayos, dicha información se presenta en la tabla 5.

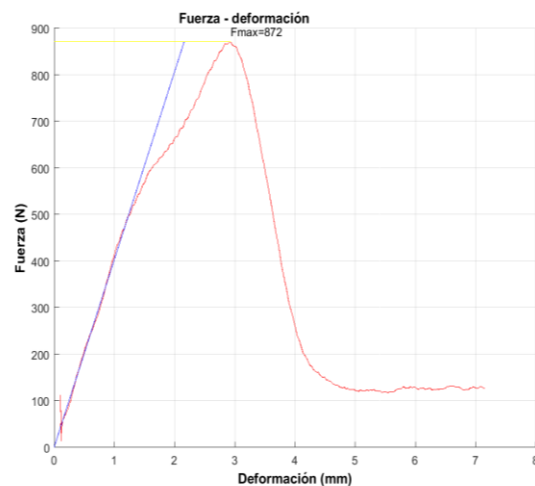


Gráfico 4. Fuerza vs Deformación en fibra de hoja de piña 10%. Fuente: Autor

Tabla 5. Módulo de elasticidad. Fuente: Autor

PORCENTAJE [%]	MATERIAL	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]
5	COMPUESTO F.V.	1174,602
5	COMPUESTO F.H.P.	983,55
10	COMPUESTO F.V.	1496,45
10	COMPUESTO F.H.P.	1323,16
N/A	FIBRA HOJA DE PIÑA	389,689

## 7.1. ENSAYO DE FLEXIÓN

Este ensayo fue realizado a muestras de fibra de hoja de piña con porcentajes de 5% y 10%, dichos resultados se presentan en el siguiente gráfico:

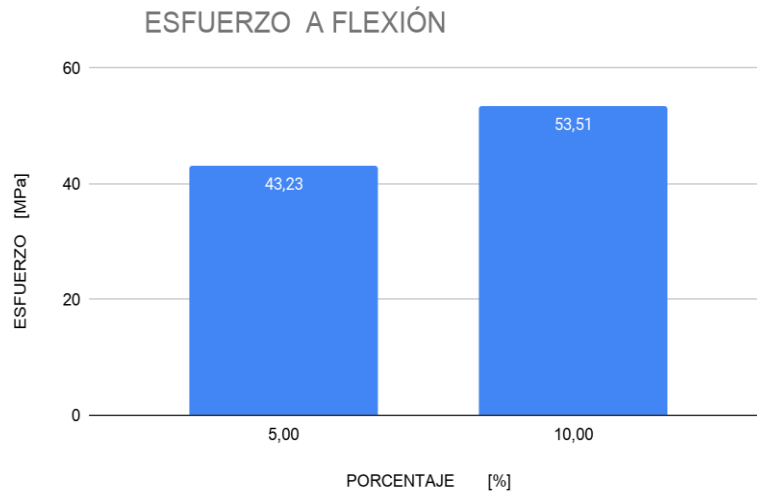


Gráfico 5. Esfuerzo a flexión vs Porcentaje fibra de hoja de piña 10%. Fuente: Autor

## 8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con el propósito de realizar una adecuada caracterización mecánica de la fibra de la hoja de piña y compararla con la fibra de vidrio, se realizaron los ensayos de tracción a una fibra, tracción al material compuesto y flexión.

Para los ensayos de tracción se puede observar que la disposición es un factor clave para el aumento de la resistencia, proporcionando en las fibras ubicadas de forma unidireccional una resistencia máxima promedio de 21.96 MPa para el porcentaje de 10%, comparándola con el mismo porcentaje, pero distinta disposición aumenta en un 18% su capacidad de respuesta. En cuanto a la fibra de vidrio el aumento por cambio de disposición está entre el 30% y el 35% para los porcentajes de 5% y 10%. Para ambos materiales el aumento de la resistencia a la tracción por disposición es muy significativo debido a que solo depende de la ubicación de las fibras sin cambiar el porcentaje de fibra en la matriz.

Además, comparando las propiedades ofrecidas por cada material a diferente porcentaje y disposición se observa que la fibra de vidrio está por encima de la fibra de hoja de piña en porcentaje del 5% con una diferencia de 1.908MPa en disposición unidireccional y 1.112MPa en aleatorio, pero en porcentaje mayores la fibra de piña presentó diferencias para la disposición unidireccional y la aleatoria de 4.33MPa y 6.49MPa.

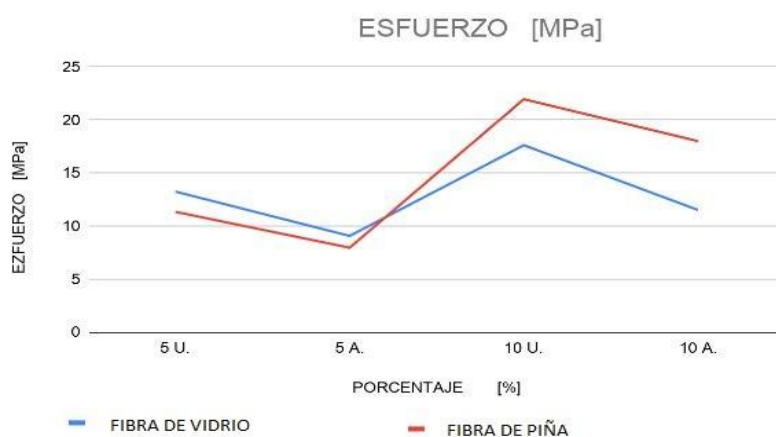
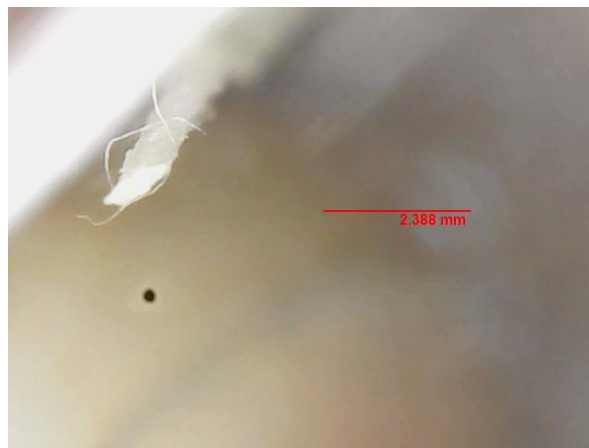


Gráfico 6. Esfuerzo a tracción para FV Y FHP. Fuente: Autor

El comportamiento típico de los materiales frágiles es presentar una zona elástica seguida de una rotura instantánea sin pasar por una deformación plástica tal como se presentó en los ensayos realizados.

El módulo de elasticidad para una sola fibra fue de 389.689 MPa , mientras que para el material compuesto los valores son de 983.55 MPa y 1323.16 MPa para los porcentajes de 5% y 10% respectivamente, mostrando un aumento en el módulo de Young proporcional al incremento del porcentaje de fibra presente en el material compuesto, para las probetas de 10% de fibra se evidencia un aumento significativo del 25.66% respecto a las probetas de 5%, incremento que generaría un mayor rango de confianza sobre el adecuado funcionamiento del material en futuras aplicaciones.



*Figura 14. Área transversal FHP bajo microscopio. Fuente: Autor*

Finalmente, el ensayo a flexión se hizo bajo el método establecido en la norma D7264/D7264M – 15 y utilizando los parámetros de relación espesor/altura para la fabricación de la probeta.

Los valores de resistencia máxima a la flexión promedio fueron calculados a partir de los datos de fuerza Máxima obtenidos durante el ensayo.

Los resultados arrojaron 43.23Mpa al 5% y 53.51 al 10%, con una diferencia del 19% entre porcentajes lo cual se debe a un aumento del material de refuerzo en la matriz, pero que dependiendo de las necesidades puede significar un aumento no tan significativo respecto al aumento de fibra necesaria para la fabricación y que repercute en un mayor costo de materia prima.

## 9. CONCLUSIONES

La fabricación manual de las probetas bajo presión atmosférica genera en el material la aparición de pequeñas burbujas y una disminución en la adherencia de la interface lo cual afecta directamente su resistencia, pero esta fabricación es muy similar a la usada en las pequeñas y medianas industrial de la fibra de vidrio.

La respuesta a la tracción genera un aumento mucho mas significativo por su disposición que por su porcentaje de fibra /resina, llegando a ofrecer una respuesta a la tracción de hasta 21.96Mpa para una disposición unidireccional.

Todos los ensayos mecánicos realizados en el presente trabajo arrojaron un aumento de la resistencia a la tracción, flexión y módulo de elasticidad al aumentar el porcentaje de fibra en el material compuesto.

El contenido de celulosa que presenta las fibras de hoja de piña se encuentra entre las mas altas de las fibras naturales atribuyéndole cualidades mecánicas de resistencia altas, las cuales pueden ser aprovechadas en aplicaciones industriales.



## 10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] MANEJO SEGURO DE LA FIBRA DE VIDRIO. Centro de Información de Sustancias Químicas, Emergencias y Medio Ambiente – CISTEMA
- [2] MATERIALES COMPUESTOS. Alejandro Besesednjak Dietrich. 2005
- [3] CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS Y PROPIEDADES MECÁNICAS. Universidad Centroamericana Jose Simeón Cañas.
- [4] OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MATERIAL COMPUESTO RESINA POLIÉSTER - FIBRA DE PIÑA. andrés mauricio alvarado castiblanco. universidad libre. 2017.
- [5] INDUSTRIAL APPLICATIONS OF NATURAL FIBRES STRUCTURE, Properties and Technical Applications. Jorg Mussig. Department of Biomimetics, Hochschule Bremen – University of Applied Sciences, Bremen, Germany.
- [6] VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE FIBRAS VEGETALES COMO REFUERZO DE PLÁSTICOS INDUSTRIALES. Salvador. Redisa 2008.
- [7] LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, Facultad de ingeniería Mecánica. Portal principal de la Universidad Tecnológica de Pereira.
- [8] BANCO DE ENSAYO PARA TENSIÓN Y COMPRESIÓN ESM303 Directindustry.es.
- [9] ENCICLOPEDIA VIRTUAL DE INGENIERÍA MECÁNICA.
- [10] STANDARD TEST METHOD FOR FLEXURAL PROPERTIES OF POLYMER MATRIX COMPOSITE MATERIALS ASTM D7264/D7264M-15.