



**INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE NaOH EN LA  
RESISTENCIA MECÁNICA A LA TENSIÓN DE UN MATERIAL  
COMPUESTO REFORZADO CON FIBRA DE BAMBÚ**

**SANTIAGO RAMIREZ MUÑOZ**

**UNIVERSIDAD ECCI  
FACULTAD INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA EN MECÁNICA INDUSTRIAL  
BOGOTÁ D.C.  
2017**

**INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE NaOH EN LA  
RESISTENCIA MECÁNICA A LA TENSIÓN DE UN MATERIAL  
COMPUESTO REFORZADO CON FIBRA DE BAMBU**

**SANTIAGO RAMIREZ MUÑOZ**

**Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:  
Tecnólogo en Mecánica Industrial**

**Directora:**

**Ing. Msc Sandra Patricia Romero Nieto**

**Línea de Investigación:  
Materiales y Procesos de manufactura  
Grupo de Investigación:  
Diseño Mecánico y Materiales GIDMyM  
2017**

*Se dedica este proyecto a Dios por permitirme una vez más lograr mis metas a mi familia en especial mis Padres por ser incondicionales y apoyarme en mi carrera, y a todas las personas que me apoyaron para este proyecto.*

**Gracias**

## **Agradecimientos**

Agradezco la colaboración de la Ingeniera Sandra Patricia Romero Nieto por brindarme sus conocimientos, y experiencia. También a la Ingeniera Mónica Ballén y al personal del laboratorio de química; al Ingeniero Andrés Guevara por sus colaboraciones en la realización de este proyecto y a la Universidad ECCI por facilitarme las herramientas necesarias para este proyecto.

## Resumen

El bambú es una de las plantas con mayor resistencia mecánica, por esta razón se utiliza como refuerzo en materiales compuestos, llegando a tener propiedades mecánicas cercanas a las aleaciones de aluminio (Hidalgo, 2014) Por otro lado, los materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras naturales presentan inocuidad química y baja densidad, bajo costo y son amigables con el medio ambiente.

En este trabajo se estudió un material compuesto de matriz polimérica de resina poliéster reforzado con fibras de bambú (*Guadua angustifolia*); La fibra se sometió a un tratamiento previo con NaOH a diferentes concentraciones 1%, 3% y 5% en peso para eliminar lignina y hemicelulosa quedando como constituyente la celulosa, esto se realizó para eliminar los componentes amorfos de la fibra (lignina y hemicelulosa) de tal manera que prevaleciera el componente cristalino (celulosa); lo cual mejora las propiedades mecánicas a tensión del material.

La fibra tratada se analizó por medio de la técnica Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) para verificar la eliminación de los componentes amorfos (lignina y hemicelulosa).

El material compuesto de resina poliéster reforzado con fibra de bambú se caracterizó en cuanto a sus propiedades mecánicas de tensión, de acuerdo a la norma ASTM D7205– 06 (Método de prueba estándar para propiedades de tracción de barras compuestas de matriz de polímero reforzadas con fibra), para determinar que tratamiento de la fibra con soda caustica (NaOH) logró las mejores propiedades mecánicas a tensión del material compuesto.

Palabras clave:

Espectrometría infrarroja, Fibra bambú, materiales compuestos, propiedades mecánicas, soda caustica.

### **Abstract**

Bamboo is one of the plants with the greatest mechanical resistance, which is why it is used as reinforcement in composite materials, having mechanical properties close to aluminum alloys (Hidalgo, 2014). On the other hand, polymer matrix composites reinforced with natural fibers have chemical innocence and low density, low cost and are environmentally friendly.

In this work a composite material of polymer matrix of polyester resin reinforced with fibers of bamboo (*Guadua angustifolia*) was studied; The fiber was subjected to pre-treatment with NaOH at different concentrations 1%, 3% and 5% by weight to remove lignin and hemicellulose, leaving cellulose as a constituent. This was done to eliminate the amorphous components of the fiber (lignin and hemicellulose) In such a way that the crystalline component (cellulose) prevailed; Which improves the tensile mechanical properties of the material.

The treated fiber was analyzed using the Fourier Transform Infrared Spectrometry (FTIR) technique to verify the removal of the amorphous components (lignin and hemicellulose).

The composite of bamboo fiber reinforced polyester resin was characterized for its mechanical tensile properties according to ASTM D7205-06 (Standard test method for tensile properties of fiber reinforced polymer matrix composite bars), To determine which treatment of the fiber with caustic soda (NaOH) achieved the best tensile mechanical properties of the composite.

**Keywords:**

Infrared Spectrometry Bamboo fiber, composite materials, mechanical properties, caustic soda.

## Tabla de contenido

	<b>Pág.</b>
Agradecimientos.....	4
Resumen .....	5
Abstract.....	6
Lista de figuras. ....	9
Lista de tablas .....	10
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo General.....	13
2.2 Objetivos Específicos .....	13
3. MARCO TEÓRICO .....	14
3.1.1 Materiales Compuestos:.....	14
3.1.1 Estructura:.....	15
3.2.2 Características:.....	15
3.2 CLASIFICACION EN FUNCION DEL TIPO DE MATRIZ.....	16
3.2.1 Materiales compuestos de matriz metálica (MMCs) .....	16
3.2.2 Materiales compuestos de matriz cerámica (CMCs):.....	16
3.3.3 Materiales compuestos de matriz polimérica (PMCs):.....	17
3.3 EN FUNCION DE LAS FIBRAS DE REFUERZO: .....	17
3.3.1 Materiales compuestos reforzados con partículas: .....	18
3.3.2 Materiales compuestos reforzados con fibras:.....	18

3.3.3 Celulosa .....	19
3.3.4 Hemicelulosa .....	20
3.3.5 Lignina .....	20
3.4 Resinas: .....	20
3.4 METODOS DE CONFORMADO EN MATERIALES COMPUESTOS. ....	23
3.6 ESPECTOMETRIA INFRARROOJA (FTIR).....	24
3.8 BAMBU.....	30
4. ANTECEDENTES .....	34
5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	36
6.1.1 Espectrometría Infrarroja FTIR .....	41
6.1.2 Resistencia mecánica a la tensión del material compuesto.....	42
7. Conclusiones.....	45
8. Recomendaciones .....	46
10. Anexos .....	50



### Lista de figuras.

Figura 1. Materiales compuestos reforzados con fibras .....	14
Figura 2. Matriz de aluminio reforzado en partículas.....	18
Figura 3. Materiales compuestos reforzados con fibras .....	19
Figura 4. Cadenas de celulosa y microfibrilla .....	19
Figura 5. Estructura de la célula vegetal .....	20
<b>Figura 6.</b> Tronco de pino resinero Fuente (Manchego, 2011).....	21
Figura 7. Sistema (FTIR) .....	24
Figura 8. Fibra de carbono.....	25
Figura 9. Poliéster.....	26
Figura 10 . Fibras de asbesto y vidrio .....	29
Figura 11. Fibras metálicas.....	30
Figura 12. Esquema árbol de bambú .....	31
Figura 13. Sección de la caña de bambú .....	32
Figura 14. Has vascular de bambú .....	33
Figura 15. Prototipos para soportes de espejos de automóvil con fibra de agave .....	35
Figura 16. Fabricación de las fibras a partir de la caña.....	36
Figura 17. Fibras tratadas químicamente con NaOH .....	37
Figura 18. Ensayo de espectroscopia infrarroja en el bambú.....	38
Figura 19. Conformando fibras de bambú.....	39
Figura 20. Prueba de tensión probetas de bambú .....	40
Figura 21 . Espectro de fibras 0 al 5 %. .....	41
Figura 22. Esfuerzo máximo en diferentes tratamientos con NaOH aplicados a la fibra.....	42
Figura 23. Ductilidad de muestras.....	43
Figura 24 . Módulo de elasticidad de las fibras. ....	44

### Lista de tablas

Tabla 1. Tipos y Características en las resinas.....	22
Tabla 2 . Bandas del espectro infrarrojo de las fibras de bambú.....	24
Tabla 3. Características y usos principales de las fibras naturales.....	27
Tabla 4. Características y usos principales de las fibras animales. ....	28
Tabla 5. Cálculo de porcentajes.....	37
Tabla 6 . Información de los tratamientos realizados a la fibra de bambú. ....	39
Tabla 7. Módulo de elasticidad de las probetas .....	44

## 1. INTRODUCCIÓN

En Colombia el estudio de materiales compuestos se ha limitado a la utilización de fibras sintéticas como refuerzo, tal es el caso de la fibra de carbono, vidrio y aramida; las fibras naturales también pueden ser refuerzo de materiales compuestos utilizados en aplicaciones como: arquitectónicas, en separaciones de espacios del sector automotriz y aeronáutico, como es caso de los marcos de las ventanas, los pisos, guanteras, millare y los paneles de las puertas.

A través de la historia las aleaciones de aluminio y el acero, han sido muy utilizados en el sector automotriz, aeronáutico, naval y de la construcción, pero en los últimos años se ha incursionado en el desarrollo de materiales compuestos, porque cumplen con las propiedades mecánicas requeridas en dichas aplicaciones son más resistentes al ataque químico, y más livianos que los metales (Arquitectura, 2015) (Segurado, 2004).

La fabricación de materiales compuestos se ha caracterizado industrialmente por la incomodidad que genera el uso de la fibra de vidrio, debido a su naturaleza y poca compatibilidad con la piel, su uso puede generar fuertes dermatitis y delicadas alergias que son difíciles de controlar. Lograr introducir como fase de refuerzo los materiales de origen vegetal puede mejorar considerablemente la calidad de vida de las personas que trabajan con este oficio, y de igual forma disminuye su exposición a partículas fibrosas que pueden ocasionar daños a nivel pulmonar. (expertos, 1989)

En la industria ha surgido la necesidad de investigar la producción de materiales con el uso de fibras naturales, para reducir el nivel de gasto energético y la contaminación; obtener materiales livianos y reducir los costos para su producción, investigaciones (Janssen., 2000) (Segurado, 2004), han encontrado que los materiales compuestos reforzados con fibras naturales tienen buenas características mecánicas.

Las fibras naturales son de menor costo y de mayor facilidad en el procesamiento que las sintéticas. Pero el problema en el uso de las fibras naturales radica, en la imposibilidad de encontrar una interface entre matriz y refuerzo, si no se le realiza un tratamiento superficial a la fibra o matriz.

La resina poliéster al ser más barata que otro tipo de resinas, como el epoxi, es una buena opción como matriz, dicha resina tiene buena tolerancia a los rayos ultravioleta. Las fibras naturales se han considerado durante mucho tiempo como buenos candidatos sustitutos de las sintéticas (ZN Azwa, 2012); por esta razón, en este trabajo de grado se desarrolló un material compuesto de resina poliéster reforzado con fibra de bambú y se trató la fibra con (hidróxido de sodio) NaOH para mejorar la adherencia de la fibra a la matriz, posteriormente se caracterizó en cuanto a su resistencia a la tensión y su estructura, para determinar que tratamiento realizado a la fibra obtiene el material con mejores propiedades mecánicas a tensión.

Este trabajo surgió como la continuación del estudio que ha adelantado el semillero de investigación “Biocánica” de la Universidad ECCI al cual pertenezco, ya que anteriormente se había realizado un estudio de un material compuesto de la misma matriz y fibra; pero la fibra fue tratada con concentraciones de NaOH de 6 y 12% en peso quedando la incertidumbre del comportamiento del material compuesto al tratar la fibra a las concentraciones de 3 % y 5% en peso las cuales se estudiaron en este proyecto.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo General

Desarrollar y caracterizar un material compuesto de resina poliéster reforzado con fibra de bambú.

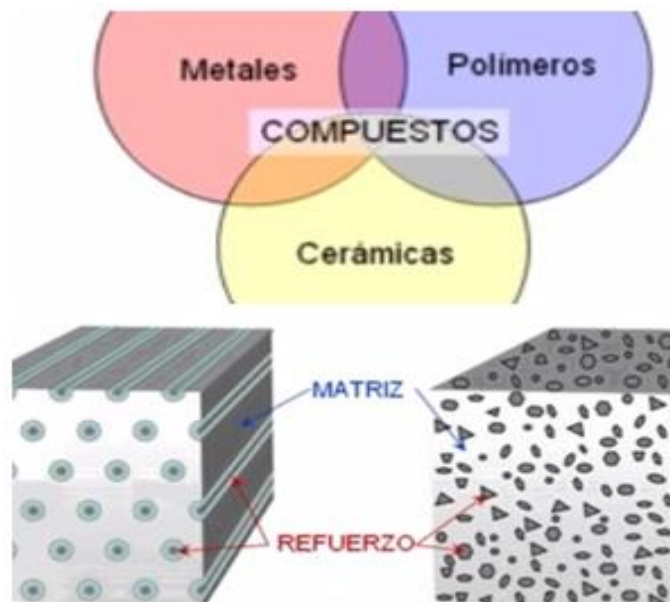
### 2.2 Objetivos Específicos

- ❖ Fabricar el material compuesto con diferentes tratamientos de la fibra con NaOH (hidróxido de sodio).
- ❖ Caracterizar el material compuesto fabricado en cuanto a sus propiedades mecánicas a la tensión.
- ❖ Caracterizar la fibra tratada por medio de la técnica FTIR (espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier).
- ❖ Determinar el mejor tratamiento de la fibra de bambú con NaOH, que logren las mayores propiedades mecánicas a la tensión del material compuesto.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1.1 Materiales Compuestos:

Los materiales compuestos están formados con materiales continuos y discontinuos, al material continuo se llama matriz y al discontinuo que usualmente es el más resistente y duro, se llama refuerzo( ver figura 1). Se han desarrollado para aplicaciones en diferentes industrias como la automotriz, naval, aeronáutica y la estructural; porque pueden presentar la combinación de altas propiedades mecánicas y baja densidad (Segurado, 2004) (R, 1998).



**Figura 1.** Materiales compuestos reforzados con fibras.  
Fuente (Fao, 2009).

### 3.1.1 Estructura:

**Refuerzo:** Su geometría es fundamental a la hora de definir las propiedades mecánicas del material (R, 1998).

**Matriz:** Es la responsable de las propiedades físicas y químicas, transmite los esfuerzos al agente esforzante, También lo protege y da cohesión al material (J. s. Gomez, 2013).

### 3.2.2 Características:

- Elevada resistencia mecánica frente a esfuerzos de tracción y flexión.
- Elevada ligereza.
- Alta estabilidad dimensional.
- Elevada resistencia a los agentes químicos y atmosféricos.
- Posibilidad de aislamiento térmico, acústico, y eléctrico.
- Baja transmisión de vibraciones, buen comportamiento a la fatiga.
- Elevada resistencia térmica. (R, 1998).

### **3.2 CLASIFICACION EN FUNCION DEL TIPO DE MATRIZ**

Los principales roles de la matriz, especialmente en los materiales compuestos de alto desempeño, son proveer un soporte para las fibras de refuerzo y transmitir localmente el esfuerzo que viaja de una fibra a otra. Adicionalmente, la matriz le da al material su forma, apariencia, superficie y resistencia al ambiente. (Domine, 2010).

Las funciones que debe desempeñar la matriz en los materiales compuestos están las siguientes:

- Dar estabilidad al conjunto, transfiriendo las cargas al refuerzo.
- Actuar como adhesivo, que mantiene fijas en su posición a las fibras de refuerzo.
- Proteger al refuerzo del deterioro mecánico y químico del ambiente exterior.
- Evitar la propagación de grietas.

#### **3.2.1 Materiales compuestos de matriz metálica (MMCs)**

Han sido desarrollados principalmente para componentes aeroespaciales y motores de automoción. Se clasifican en tres grandes grupos, reforzados con fibra continua, reforzados con fibra discontinua, y reforzados con partículas. (M.Ojeda, 2011).

Se mejora el comportamiento a fluencia respecto de la aleación base, obteniendo una direccionalidad de las propiedades. Este incremento de resistencia va unido a una disminución de la tenacidad de la aleación. Se requieren fibras especiales para evitar la reacción química fibra-matriz a altas temperaturas (M.Ojeda, 2011).

#### **3.2.2 Materiales compuestos de matriz cerámica (CMCs):**

Los principales objetivos que se persiguen en el reforzamiento de las cerámicas es aumentar su tenacidad, y por tanto, reducir su susceptibilidad a los defectos, mejorar su fiabilidad bajo la influencia de tensiones mecánicas. Los materiales frágiles, suelen presentar problemas a temperatura ambiente o próxima. El problema consiste en incrementar las propiedades para evitar cierto tipo de fractura sin sacrificar la resistencia. Los compuestos de matriz cerámica tratan de resolver esta cuestión de forma que puedan ser eficientes a bajas y altas temperaturas (Hidalgo, 2014).



### 3.3.3 Materiales compuestos de matriz polimérica (PMCs):

Los materiales Compuestos de Matriz Polimérica son mejor caracterizados y los de mayor utilización industrial. Desde 1980, aviones civiles y militares incorporan progresivamente estos materiales en su estructura externa representando cerca del 90 % pero se requiere todavía mejorar su tolerancia al daño, o capacidad de la estructura para soportar los accidentes usuales de servicio (corrosión, impactos, etc.). A causa de sus propiedades físicas, pueden ser moldeados con absoluta libertad de formas. (Segurado, 2004) (Valdes, 2014).

Pueden ser de varios tipos según el tipo de aplicación:

- **Termoplásticas:** Estos polímeros son los más populares usados en aplicaciones de bajos requisitos, utilizados en bolsas, bandejas, agriculturas entre otras. Actualmente se están empezando a emplear termoplásticos avanzados para altas prestaciones da nivel mundial (Lopez, 2001).

- **Termoestables:** Resisten elevadas temperaturas, la más común es la baquelita, este polímero fue el primero en sintetizarse a partir de fenol y formaldehido (proceso de Baekeland), para fabricación de mangos en elementos de cocina, eléctricos. También las más empleadas en materiales compuestos de altas prestaciones denominados resinas epoxi para adhesivos, y masillas con endurecedor. (Segurado, 2004).

- **Elastómeros:** Resisten esfuerzos considerables, experimentan deformaciones importantes pero recuperan la forma de esa tensión. Por ejemplo el neopreno, es utilizado en neumáticos y cintas transportadoras. (Fao, 2009).

### 3.3 EN FUNCION DE LAS FIBRAS DE REFUERZO:

Los elementos que se incluyen de refuerzo en los materiales compuestos permiten absorber las tensiones e incrementar la rigidez y la resistencia del material. Actúa como elemento resistente, y se encarga de soportar el esfuerzo mecánico (N. Cruz, 2014).

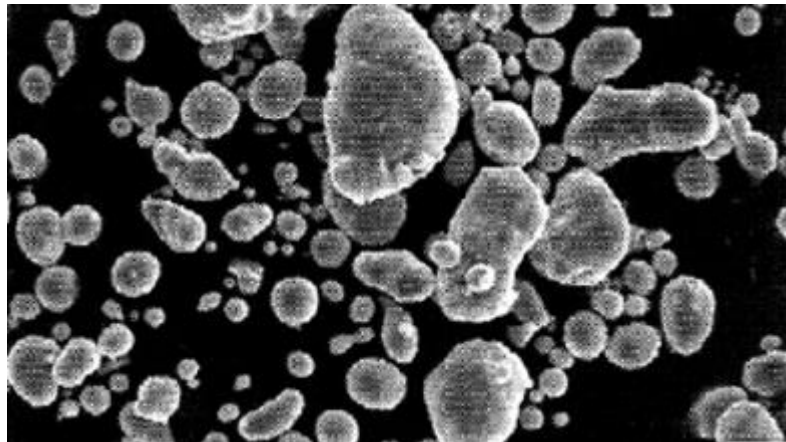
El objetivo es conseguir materiales con una elevada resistencia en bajas y altas temperaturas, y simultáneamente una baja densidad, por lo que se pretende conseguir una mejor relación resistencia-peso.

En los materiales compuestos se pueden emplear dos tipos de refuerzos:

- Refuerzos discontinuos (partículas, plaquetas o fibras cortas).
- Refuerzos continuos (fibras largas, tejidos o laminados).

### 3.3.1 Materiales compuestos reforzados con partículas:

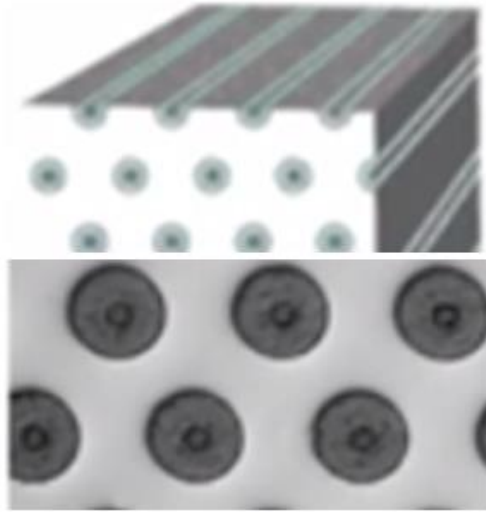
Se utilizan para polímeros (termoplásticos y termoestables). Sus Partículas deben ser equiaxiales (iguales dimensiones en todas direcciones), generalmente son isótropos, el aumento de refuerzo se consigue reduciendo el tamaño de la partícula, (ver figura 2). Mejorando la distribución en la matriz y Aumentando la concentración de partículas.



**Figura 2.** Matriz de aluminio reforzado en partículas.  
Fuente (N. Cruz, 2014).

### 3.3.2 Materiales compuestos reforzados con fibras:

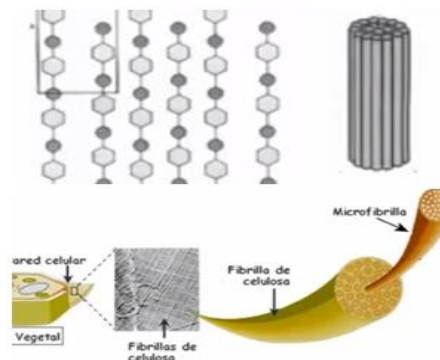
Son los más importantes tecnológicamente, los más habituales son de matriz polimérica (plásticos reforzados), presentan elevada resistencia, y baja densidad obteniendo elevadas propiedades específicas. Los materiales compuestos reforzados con fibras son de naturaleza anisótropa, ofreciendo excelentes propiedades en la dirección de las fibras (ver figura 3) (N. Cruz, 2014) (Tommy, 2004).



**Figura 3.** Materiales compuestos reforzados con fibras.  
Fuente (E M. , 2013).

### 3.3.3 Celulosa

Junto con la hemicelulosa y lignina, estos componentes se encuentran en la pared celular de las plantas (ver figura 5), proporcionando dureza y resistencia, al mismo tiempo la capacidad de absorción de agua. La Celulosa es el biopolímero más abundante en la Tierra. Consiste en cadenas lineales de micro fibrillas empaquetadas muy densamente, donde representan más de 50 % del peso. (Ver figura 4). Afecta la agregación entre fibras y a la absorción de humedad, concibe disminuir respectivamente su dispersión en materiales compuestos y su rigidez (J. Cesar Antonio, 1986).



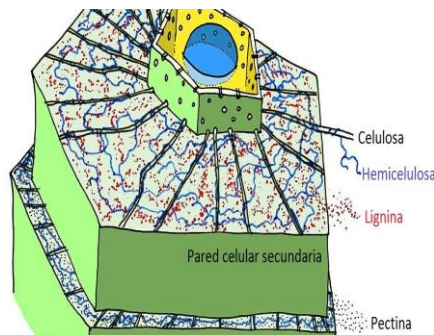
**Figura 4.** Cadenas de celulosa y microfibrilla  
Fuente (E M. , 2013).

### 3.3.4 Hemicelulosa

La función principal es su interacción con la celulosa y lignina, para proporcionar rigidez a la pared celular. Las cadenas de hemicelulosas se asocian con las microfibrillas de celulosa por su carácter polar (puentes de hidrógeno). Su comportamiento es principalmente visco-elástico, de gran importancia para proporcionar propiedades deseadas como grado de hidratación, plasticidad, flexibilidad, dureza, y absorción de agua. (Manchego, 2011).

### 3.3.5 Lignina

La lignina representa entre 25 y 33 % de la biomasa en especies coníferas. Detrás de celulosa y hemicelulosa, es el tercer biopolímero más abundante en la Tierra. Junto Con hemicelulosa forman una matriz alrededor de las microfibrillas de celulosa. Es de vital importancia para el organismo vegetal, desempeña funciones en el transporte de agua, nutrientes en el sistema vascular facilitando, por sus propiedades como estructura macromolecular. (Hidalgo, 2014).



**Figura 5.** Estructura de la célula vegetal.  
Fuente (Palacios, Santiago, & Guerrand., 2017).

### 3.4 Resinas:

Son Sustancias orgánicas segregadas por muchas plantas, en especial por árboles tipo conífera (ver figura 6). Existen diferentes resinas en el mercado. (Ver tabla 1) entre ellas se encuentran resinas naturales modificadas químicamente o sintéticas. Sufren un proceso de polimerización dando lugar a productos sólidos. Incluyendo los materiales termoplásticos, son utilizados en pigmentos y otros componentes para formar plásticos. (Pedro, 1984) (G. Koronis, 2014).

## Resinas termoestables

Las resinas termoestables son características por su comportamiento mecánico y térmico, tienen fuertes enlaces covalentes entre sus cadenas. Con excelentes propiedades resistentes. Ejemplo de estos materiales son: Las resinas epóxica, poliéster, acrílicas y los adhesivos (Manchego, 2011).

## Resina poliéster

Las resinas poliéster son líquidas, su función principal acontece en los procesos para transformación de líquido a sólido llamado curado y reacción exotérmica. (Ibérica, 2013), pero antes de pasar a sólido toma un estado viscoso donde en ese momento se puede manejar o dar forma antes del curado total. Pueden curar a temperatura ambiente por medio de un catalizador y un acelerador. Comercialmente existen las resinas pre-acelerada y acelerada, usualmente se utiliza como acelerante el octoato de cobalto. (Manchego, 2011).



**Figura 6.** Tronco de pino resinero.  
Fuente (Manchego, 2011).

**Tabla 1.** Tipos y Características en las resinas.

Resinas	Aplicaciones
<p><b>Alquídicas</b></p> <p>Excelentes propiedades eléctricas y térmicas, versatilidad en la flexibilidad y rigidez, buena resistencia química.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aislamiento eléctrico</li> <li>- Componentes electrónicos</li> <li>- Masillas</li> <li>- Pinturas</li> </ul>
<p><b>Polipropileno</b></p> <p>Incoloro, baja densidad, buena resistencia térmica, “irrompible”, excelente resistencia química, buenas propiedades eléctricas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipo médico (puede ser esterilizado)</li> <li>- Juguetes.</li> <li>- Componentes electrónicos.</li> <li>- Tuberías de producción y tubos.</li> <li>- Fibras y filamentos.</li> </ul>
<p><b>Polietileno</b></p> <p>Excelente resistencia química, bajo factor de potencia, baja fuerza mecánica.</p> <p>Excelente resistencia al vapor y humedad, amplio grado de flexibilidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aislamiento el alambre en los cables.</li> <li>- Recubrimientos.</li> <li>- Moldes.</li> <li>- Forros.</li> <li>- Tubo.</li> </ul>
<p><b>Epóxidos</b></p> <p>Excelente resistencia a la tracción, buenas propiedades de adhesión, excelentes propiedades eléctricas, buena resistencia al calor. Considerada la más resistente del mundo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laminados.</li> <li>- Adhesivos.</li> <li>- Construcciones de ingeniería.</li> <li>- Forros.</li> <li>- Hélices.</li> <li>- Recubrimientos de superficie.</li> </ul>

Fuente (P. Prinsen, 2010).

### **3.4 METODOS DE CONFORMADO EN MATERIALES COMPUESTOS.**

#### **Proceso en molde abierto**

El conformado manual es el más utilizado puesto que es más fácil y económico, todo depende de lo que se vaya a conformar y según esto se escoge el molde. Existen de acero, madera y plástico. Todo trata en que el molde no se adhiera para que su extracción sea fácil y la probeta salga en óptimas condiciones, Los materiales utilizados son resinas y fibras (P. Prinsen, 2010) (Gonzales, 2013).

#### **Proceso en moldes cerrados**

También llamado moldeo por inyección, transferencia o compresión. Las operaciones se realizan en moldes que consisten en dos secciones, se abren y cierran a cada ciclo del moldeo. En este método se introduce la fibra al molde cerrado y se inyecta la resina, se hace a presión y en frío, finalmente se deja solidificar y se procede a desmoldar, se utiliza para conformar fibras cortas ya que si son continuas la máquina de inyección reduce la longitud de dicha fibra (Ojeda, 2011).

#### **Proceso por centrifugado**

Se utiliza para fabricar tubos, camisas y objetos simétricos que se vacíen haciendo girar el molde alrededor de sus ejes, ya sea el horizontal o vertical. Pequeños trozos de fibras, combinadas con resinas líquidas se vacían en un molde cilíndrico que gira rápidamente.

La fuerza centrífuga presiona las fibras contra la pared del molde en donde tiene lugar el curado. La superficie interna es bastante lisa permitiendo la remoción. No necesita un corazón para formar la cavidad cilíndrica en el interior. Es muy característico este método, es perfecto para sacar probetas cilíndricas, porque funciona a grandes revoluciones y a gran velocidad. Esto ayuda a que la resina se adhiera a la fibra y seque más rápido, la fibra tiene que ir en partes pequeñas (M.Ojeda, 2011).

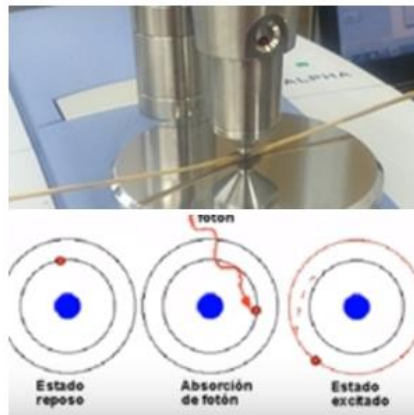
#### **Proceso por pultrusión**

La pultrusión produce secciones continuas rectas de sección transversal constante. (el estirado de la pieza de trabajo). Este método de conformado se sumerge la fibra en resina, se elabora una estructura luego de curada el material queda reforzado con fibras continuas en toda su longitud. Se lleva a un corte donde se deja grandes secciones rectas (Ojeda, 2011) (Gonzales, 2013).

### 3.6 ESPECTOMETRIA INFRARROJA (FTIR)

Permite la identificación de los grupos funcionales que presentan bandas de absorción en la zona de infrarrojo, provoca la vibración de grupos de átomos de la muestra que se analiza, la muestra absorbe energía en regiones de la parte infrarroja del espectro, produciendo la excitación molecular a una frecuencia de longitud de onda característica (E, 2003).

Las muestras pueden ser compuestos químicos orgánicos, inorgánicos o biológicos. El espectro. En este caso lo utilizamos para ver si eliminamos lignina y hemicelulosa en las fibras tratadas de bambú. (ver figura 7) Es muy útil porque el espectro en su conjunto constituye un criterio infalible para la identificación de una molécula (E, 2003). Las bandas de absorción características de los filamentos de bambú se indican en la tabla 2.



**Figura 7.** Sistema (FTIR).  
Fuente este estudio.

**Tabla 2 .** Bandas del espectro infrarrojo de las fibras de bambú.

Frecuencia (cm <sup>-1</sup> )	Identificación
3334	Grupos O-H vibración Extension
2927	C-H alquilo vibración Extension
1634	C-Car vibración Extension
1429	CH <sub>3</sub> alquilo vibración Doblez
1030	C-O alquilo vibración Extension

**Fuente** (Rodicio, 2006).



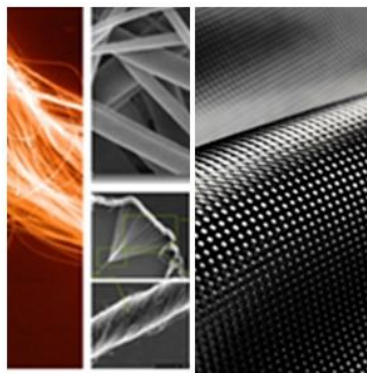
### 3.7 TIPOS DE FIBRAS

#### 3.7.1 Fibras sintéticas:

También llamadas fibras químicas sintéticas. Obtenidas del petróleo las ventajas de estas fibras son principalmente sus materias primas provenientes de la Naturaleza, pero que han sido tratadas por el hombre, tienen características de durabilidad y resistencia al ambiente, pero bajas en soportar el calor. Son utilizadas como refuerzo de neumáticos y en materiales compuestos para aviones, barcos, carros de alto rendimiento y equipamiento deportivo. Las más conocidas son: fibra de carbono, spandex, Kevlar, y poliéster. (Gonzales, 2013) (E M. , 2013) .

#### Fibra de carbono

Es una fibra sintética constituida por finos filamentos de carbono, cada filamento es la unión de muchas miles de fibras. Se fabrica a partir del polímero poliacrilonitrilo, tiene propiedades mecánicas similares al acero, y es tan ligero como la madera o el plástico. Por su dureza tiene mayor resistencia al impacto que el acero. Tiene muchas aplicaciones en la industria aeronáutica y automovilística, al igual que en barcos y en bicicletas, donde sus propiedades mecánicas y ligereza son muy importantes (figura 8) (N. Cruz, 2014).



**Figura 8.** Fibra de carbono.  
Fuente (E M. , 2013).

#### Spandex

También llamado elastano o lycra. Es un polímero con estructura de cadenas muy largas compuesto con el 85% de poliuretano segmentado (Spandex); obteniendo como resultado filamentos continuos que pueden retener su forma, por esta razón se combina con otras fibras como la lana, la seda o el rayón, para mejorar sus propiedades en la fabricación de ropa interior, en trajes, blusas, chaquetas, Y ropa deportiva (J. s. Gomez, 2013) (E M. , 2013).

### **Kevlar (p.aramida)**

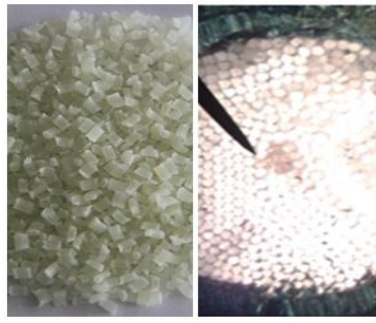
A diferencia de la fibra de carbono, presentan gran absorción de humedad en condiciones ambientales, su estructura contiene largas cadenas de poliparafenileno tereftalamida. Para luego ser tejido y brindar una mayor resistencia en diferentes direcciones, domina alta dureza, conductividad eléctrica baja, y alta resistencia química. Se pueden construir equipos sintéticos como los cascos de infantería, y material de aislamiento. El kevlar solo puede ser procesado mediante el proceso de fricción en solución, para controlar a voluntad sus propiedades porque su estructura cristalina no permite realizar otro proceso de transformado. (Lopez, 2001) (E M. , 2013).

### **Poliéster**

El poliéster es un término químico que se puede dividir en "poli" que significa mucho y "éster" que es una base química orgánica proveniente de los polímeros cuya cadena está formada por monómeros. (E M. , 2013).

Son sensibles a bases como hidróxido de sodio y metilammina, este causa la degradación de enlaces éster (pérdidas de propiedades físicas). Puede ser fibra para ropa, o filamentos de hilos artículos que no cambien mucho su forma como la ropa interior.

El ingrediente principal utilizado en la fabricación es el etileno y el proceso químico que produce el ácido de poliéster se denomina polimerización (figura 9).



**Figura 9.** Poliéster.  
Fuente (E M. , 2013).

### 3.7.2 Fibras naturales:

Son sustancias muy alargadas que se pueden hilar para obtener hebras, es producido por plantas, animales, y minerales. Entre ellas están las que se extraen de la vellosidad de algunas semillas como el algodón, el lino y el cáñamo. Fibras de follajes como el sisal, y fibras de cascara como las de coco en la tabla 3 se observan las fibras naturales más utilizadas en la industria (Fao, 2009). (ND, 2011).

**Tabla 3.** Características y usos principales de las fibras naturales.

Fibra	Características	Uso
Abacá	Gran resistencia mecánica, flotabilidad, y por el largo de sus fibras mide más de 3 metros.	La mercedes Benz, ha usado hilaza de abacá en sus automóviles, aun se emplea para hacer sogas, líneas de pesca y redes.
Algodón	Es casi celulosa pura, con suavidad y permeabilidad al aire, es la fibra más popular del mundo.	Es usada en Hilados e hilos en una amplia gama de ropa, también se utiliza para hacer lencería como sábanas, fundas de almohada, toallas.
Cáñamo	Resiste el moho, bloquea la luz ultravioleta, tiene propiedades naturales antibacteriales.	Son usadas para reforzar termoplásticos moldeados en la industria automotriz, además para hacer ropa, lona y papel.
Lino	Es un polímero de celulosa, su estructura es más cristalina, rizada y rígida para manejar.	La tela de Lino se usa entre los textiles para el hogar, y accesorios para decoración en interiores.
Sisal	Es una fibra, fuerte, durable, no absorbe humedad fácilmente.	Es usado como refuerzo en materiales plásticos, particularmente en componentes automotores, también en alfombras y papel de colgadura.

Fuente (ND, 2011).

### 3.7.3 Fibras Animales:

Las fibras de origen animal son proteínas resistentes, lana, pelo, secreciones, (ver tabla 4) como por ejemplo la seda. Resisten en condiciones determinadas el ambiente, y la acción de ciertos ácidos minerales como el ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). (Gonzales, 2013).

**Tabla 4.** Características y usos principales de las fibras animales.

Fibra	Características	Uso
Alpaca	Más fuerte que la lana de oveja, producen fibras suaves densas y cortas.	Es tejida en telas para ropa, la fibra Premium de la alpaca es la cría, esquilada de los animales jóvenes.
Angora	Esta lana es muy suave al tacto, debido a su baja cutícula. (revestimientos que proporcionan protección) Absorben el agua.	Ligera pero caliente, usada principalmente en ropas de malla como: bufandas, y guantes.
Cachemira	Tiene pequeños espacios de aire entre las fibras, lo que la hace cálida y liviana.	Es rara y costosa. Hilada y tejida, la producción anual de fibra se fabrican chaquetas deportivas.
Pelo de camello	Tan solo mide 16 micras pero es el más suave y valioso.	Por su calidad y escases es caro, fabrican accesorios de invierno.
Lana de Oveja	Ondulado natural, resistentes, elásticas y durables, multifuncional.	Es utilizable para ropa, telas para el hogar y textiles tecnificados debido, a su gran gama de diámetros.
Seda	Tiene buena absorción, baja conductividad y tiñe fácilmente.	Es usada para artículos de calidad, seda , papel de colgadura , tapices y alfombras
Crin de caballo	Crece en las crines y colas de los caballos, su textura puede ser rígida, fina y flexible.	Tapicería e interiores, artículos de joyería pulseras, collares, pendientes y broches.

Fuente. (Gonzales, 2013)

### 3.7.4 Fibras Minerales:

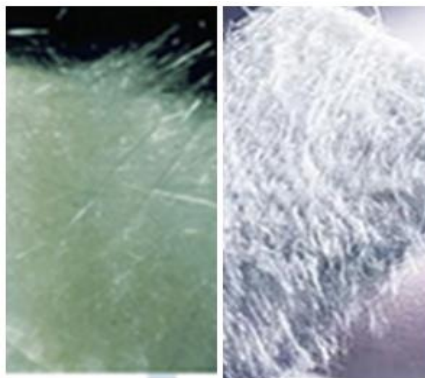
Se obtienen de minerales a partir de estructuras fibrosas como lanas de vidrio producidas por el hombre. Mencionado anteriormente estas fibras tienen efectos para la salud humana, por el método de fabricación, este produce alergias y enfermedades pulmonares (cáncer respiratorio). Es recomendable utilizar el equipo de protección personal. Actualmente se producen fibras de asbesto provenientes de la naturaleza; las procesadas o transformadas en fibra de vidrio, y fibra metálica (expertos, 1989).

#### Fibra de asbesto o amianto:

Es un grupo de minerales metamórficos fibrosos, y silicatos hidratados de magnesio. Son muy flexibles, muy finas y con una longitud de 1 a 3 mm. Se fabrican productos de material aislante y construcción. (E M. , 2013) (expertos, 1989).

#### Fibra de vidrio:

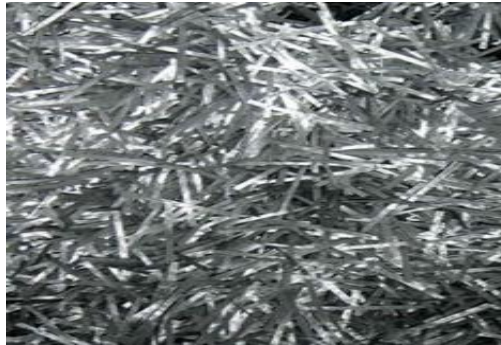
Es de origen inorgánico, (compuesto formado por distintos elementos) este material consta de numerosos filamentos muy finos basados en polímeros de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ). Es utilizado en gran escala para el tejido corriente. Se fabrica moldeando o soplando el vidrio fundido hasta formar hilos, contiene una forma pura de celulosa de alta cristalinidad, dureza, resistencia al agua, excelente aislante. Se usa en comunicaciones informáticas para las señales de óptica, telas de alta resistencias, recubrimientos en aislantes (ver figura 10). (expertos, 1989) (E M. , 2013).



**Figura 10.** Fibras de asbesto y vidrio.  
Fuente (E M. , 2013).

### **Fibra Metálica:**

Las fibras metálicas son cintas discontinuas a menores dimensiones aproximadamente entre 1 y 6 mm, al mezclarse con hormigón (cemento), mejora considerablemente sus propiedades mecánicas. Se obtienen del estiramiento de metales como oro, cobre, plata y acero. Es de gran dureza y resistencia, se utilizan para la mayoría de trabajos con construcción ya sea en autopistas, puentes, edificios. (Ver figura 11). (Fao, 2009) (Fibrometals, 2017).



**Figura 11.** Fibras metálicas.  
Fuente (E M. , 2013).

### **3.8 BAMBU**

La palabra bambú procede del idioma maratí, (lengua usada ampliamente en la india), no es considerado un árbol sino una caña dura, el diámetro que emerge del suelo se mantiene durante toda su vida, alcanza un máximo de resistencia entre los 3 y 6 años.

Pueden ser plantas pequeñas de menos de 1m de largo o más, aproximadamente 25m con los tallos desde medio centímetro de diámetro hasta 30cm de diámetro, están presentes de manera natural en todos los continentes a excepción de Europa (MUÑOZ, 2014).

Se puede encontrar de forma abundante en Colombia donde hay cuatro especies. En la región andina, es abundante la presencia de la *Guadua angustifolia* Kunth, en los llanos orientales y Orinoquia se encuentra la *Guadua Amplexifolia*. En el Amazonas y municipios de chocó se encuentran multitudes de *Guadua Superba* y la *Guadua Weberbauri* (LONDOÑO, 2002). (arquitectura, 2015).

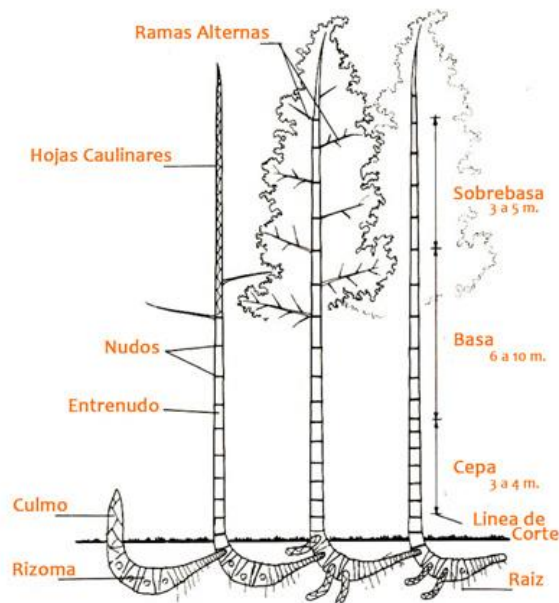
La especie requiere de suelos sueltos, fértiles con mediana profundidad, húmedos pero no inundables. Los suelos derivados de cenizas volcánicas y aluviales son los preferidos por la especie, especialmente suelos areno-limosos (fricción de limo) y arcillo-limosos de color amarillo

o amarillo rojizos. Hay otras condiciones climáticas que requiere esta planta como la temperatura de ambiente tropical . (Diaz, 2006) (LONDOÑO, 2002).

### Partes de la guadua

El rizoma, tallo o culmo, las ramas y las hojas. El rizoma es el sistema de soporte de la guadua, tiene una parte superficial y una parte subterránea donde se encuentran las raíces de la planta, las cuales se ramifican y propagan generando brotes de nuevas guaduas.

El culmo es su tallo y sale del rizoma. Se caracteriza por tener forma cilíndrica y hueca con segmentos separados transversalmente con entrenudos y nudos; la distancia entre los nudos puede variar entre 10cm y 40 cm de longitud de acuerdo a la variedad y posición en altura del culmo. Poseen dos tipos de hojas, crecen desde las ramas y desde los tallos (basales y caulinares). (Ver figura 12) según el lugar adonde crece, su floración es muy poco habitual. (arquitectura, 2015) (LONDOÑO, 2002).

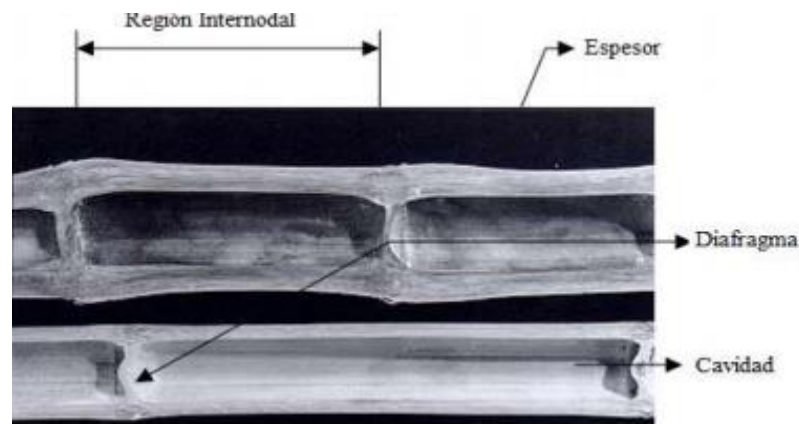


**Figura 12.** Esquema árbol de bambú.  
Fuente (arquitectura, 2015).

### Características físicas

Las fibras se concentran más en la pared exterior, esto hace que el material tenga mayor resistencia a las cargas externas que actúan durante su vida en la naturaleza. Este aspecto es importante y debe ser considerado a la hora de realizar un análisis del material, debido a su influencia en el comportamiento mecánico, Como se puede apreciar en la (figura 13) la cavidad y el diafragma (CONBAM, 2005).

La fuerza de compresión aumenta con la edad, los bambúes de 6 años resisten 2.5 más que una guadua al crecer un año. (Barreto, Walter , 2003) la zona externa tiene una firmeza de tracción de 3 veces más respecto al interior de la pared. El rompimiento es muy diferente a la madera convencional porque las grietas longitudinales no pueden extenderse a todo su largo, debido a los nudos. Es un material muy poco inflamable por su alta densidad reduciendo la capacidad de carga, al llenar una tira de bambú con agua y se aplica calor puede llegar a hervir y no quemarse porque resiste temperaturas de 400 grados. (CONBAM, 2005).



**Figura 13.** Sección de la caña de bambú.

Fuente (ARBELÁEZ, 200).

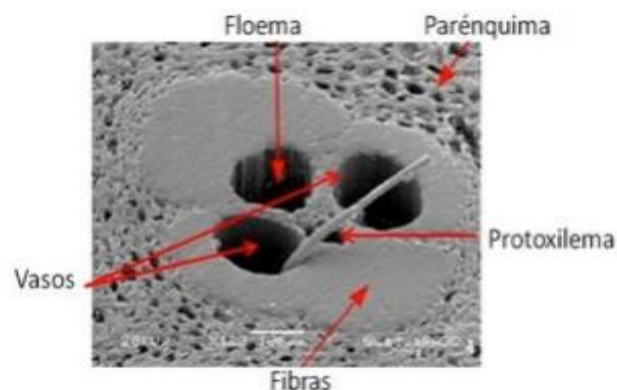
### Anatomía del culmo del bambú *Guadua angustifolia* Kunth

En la sección transversal de los culmos en los bambúes, incluyendo la *Guadua angustifolia*, se pueden distinguir: la corteza exterior, la capa interna, los haces vasculares y el tejido parenquimático. (Ver figura 14).



La corteza es la parte exterior del culmo y tiene la función de proteger la parte interna e impedir el paso de agua que pueda deteriorar el tejido interno (P. Prinsen, 2010). Posee parejas de células cortas de sílice que dan características de dureza e impermeabilidad. Las células de la epidermis están cubiertas de celulosa, en la *Guadua angustifolia* no se evidencia un recubrimiento de cera hallada en otros bambúes.

La capa interna, está compuesta de capas de células que rodean la cavidad interna de la guadua. Los haces vasculares están compuestos por un sistema conductivo (formado por dos vasos, el floema y el protoxilema), el tejido parenquimatosos comunica los tubos que forman el sistema conductivo y los haces de fibras (P. Prinsen, 2010).



**Figura 14.** Has vascular de bambú.  
Fuente (ZN Azwa, 2012).

### Propiedades mecánicas de la planta

El bambú para ser utilizado debe cumplir las siguientes recomendaciones (Segurado, 2004) (ABDUL, 2015). La edad adecuada para su uso con fines estructurales debe estar entre los 4 y los 6 años. Además se deben aplicar todos los recursos para protegerla mediante el diseño del contacto con la humedad, la radiación solar, los insectos y los hongos. La clasificación mecánica debe satisfacer las recomendaciones, en relación con su capacidad a resistir cargas de compresión paralela, corte paralelo, flexión y tracción, así como, en su módulo de elasticidad (ABDUL, 2015).

#### 4. ANTECEDENTES

En cualquier lugar de la naturaleza se encuentran materiales compuestos, por ejemplo, en fibras de plantas como lino, yute y cáñamo entre otras. Por su parte, materiales como la madera está compuesta de celulosa entre una matriz suavemente ajustada llamada lignina. Nuestro cuerpo humano está constituido también de proteínas llamadas fibra de colágeno, en una matriz de proteínas duras formando los huesos y tendones. (Díaz, 2006)

Las tecnologías estructurales de la aviación y automotriz han evolucionado en la fabricación de partes utilizando materiales convencionales como madera y tela, hasta otros de mejores propiedades como aluminio, acero o titanio; los materiales compuestos se han estudiado desde 1948 buscando mejoras en las estructuras aeronáuticas y automotrices (Hernández., 2016)

Las fibras de bambú fueron utilizadas alrededor de 1952 por el Ingeniero Antonio I de León en la fabricación de paneles tejidos en el fuselaje de aviones. Así mismo, ingenieros japoneses hicieron las primeras hélices de bambú transformadas en láminas para aviones, resultando ser más elásticas y durables. (Díaz, 2006)

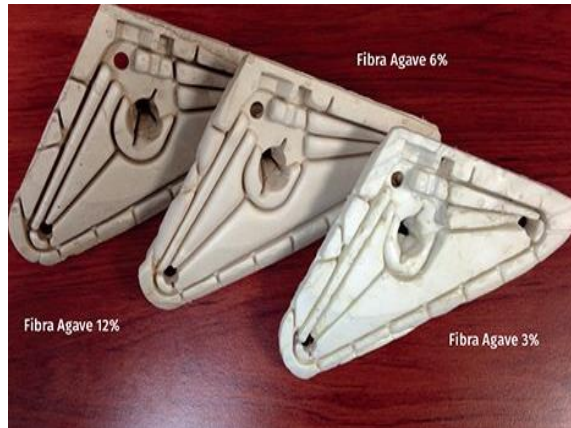
Desde el siglo XX el problema era lograr disminuir el peso, el desgaste y facilitar la aerodinámica logrando incorporar fibras naturales en piezas de aviación y autopartes de vehículos. Con la fibra de vidrio, carbón y boro disminuyeron gran cantidad de fallas como la fatiga en componentes aeronáuticos y automotrices. En la actualidad, la investigación en este campo va dirigida a mejorar la resistencia a la corrosión por medio del uso de solventes (INDOAMERICANA, 2003)

(R. Pandey, 2014) y compañía realizaron tratamientos de alcalinización con soda cáustica aplicada a las fibras naturales (fique), demostrando que es óptimo este tratamiento para la eliminación de componentes característicos de la fibra tales como la lignina y la hemicelulosa.

Las compañías de vehículos que se están esforzando actualmente por ser más sustentables son las marcas Mitsubishi, Mercedes Benz, Toyota, BMW, Ford, Audi que desde hace ocho años elaboran estrategias “Green Plastics”: un programa en el que se fabrican resinas a base de plantas en aplicaciones para asientos, paneles internos, tableros (millaré) y tapetes a partir de maíz, bambú, agave o caña de azúcar. (OECD, 2005 )

La ensambladora Daimler – Chrysler es uno de los líderes mundiales en usar fibras naturales en las carrocerías de vehículos desde 1995 (creces, 2001). En Estados Unidos, la empresa de aviación Boeing Comercial Airplanes lanzó la aeronave para pasajeros en 2009 más sofisticada, pero con materiales naturales reforzados en la estructura interna de sus asientos. (Creces, 2001)

En México recientemente, la empresa Plásticos e Inyectores de Saltillo (PEISSA) y el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) fueron noticia nacional, gracias al desarrollo de plásticos microcelulares con compuestos orgánicos de la fibra del agave tequilana como se muestra en la Figura 15. (Hernández., 2016)



**Figura 15.** Prototipos para soportes de espejos de automóvil con fibra de agave  
Fuente (Hernández., 2016)

Las fibras naturales cada vez toman más importancia por su bajo peso, durabilidad y economía así como su alta rigidez, por lo anterior, estos materiales se quieren emplear más en el área aeroespacial y automotriz. A través de los años se ha investigado diferentes métodos para mejorar la tenacidad de la matriz y así obtener un efecto beneficioso en las propiedades mecánicas.

## 5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El procedimiento experimental se dividió en cinco etapas:

**Etapa 1. Extracción de las fibras**

**Etapa 2. Tratamiento de las fibras**

**Etapa 3. Caracterización química de la fibra de bambú tratada por medio de la técnica de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier FTIR.**

**Etapa 4. Conformado del material compuesto de resina poliéster reforzado con fibra de bambú.**

**Etapa 5. Caracterización en cuanto a las propiedades mecánicas a tensión del material compuesto.**

**Etapa 1. Extracción de las fibras**

Antes de realizar el tratamiento químico, se adquirió la caña de bambú virgen y posteriormente se logró la extracción de sus fibras en tiras de aproximadamente entre 1 mm de diámetro x 9 mm de longitud. Este procedimiento se realizó con las herramientas y maquinas en un taller de ebanistería utilizando los elementos de seguridad. La figura 16 muestra el proceso de extracción de las fibras de bambú.



**Figura 16.** Fabricación de las fibras a partir de la caña.  
Fuente. Este estudio.

## Etapa 2. Tratamiento de las fibras:

Las fibras de bambu fueron lavadas con agua y luego tratadas con soluciones de NaOH al 1% , , 3% y 5% en peso; para preparar las soluciones se utilizó agua destilada y el tiempo de tratamiento de la fibra fue de 20 minutos, para que la lignina y hemicelulosa se desprendan de esta, ya que son las encargadas de retener el agua ( ver figura 17) El objetivo de este primer tratamiento fue eliminar la lignina y la hemicelulosa. (MUÑOZ, 2014).

Las soluciones de NaOH presentaban un pH de 14; por esta razón luego de pasar por el tratamiento, las fibras se lavaron con agua hasta obtener un pH neutro (pH=7.0).

La tabla 5 muestra los datos utilizados para calcular las cantidades de agua y NaOH necesarios para obtener las soluciones.

**Tabla 5.** Cálculo de porcentajes.

porcentaje	Agua destilada		gr NaOH
5%	300 gr	95%	15,78 gr
3%	300 gr	97%	9,27 gr
1%	300 gr	99%	3,03 gr

Fuente. Este Estudio.

La figura 17 Muestra las fibras sumergidas en una solución de NaOH.



**Figura 17.** Fibras tratadas químicamente con NaOH.

Fuente. Este estudio.

Posteriormente las fibras se sometieron a un proceso de secado al horno a 105°C en un tiempo de 12 horas y posteriormente se almacenaron en un desecador durante 12 horas.

### **Etapa 3. Caracterización química de la fibra de bambú tratada por medio de la técnica de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier FTIR.**

Las fibras tratadas se caracterizaron por medio de la técnica FTIR con el objetivo de visualizar la eliminación de lignina y hemicelulosa. El equipo FTIR era de marca Bruker, la resolución fue de  $4\text{cm}^{-1}$ , el tiempo de scan por muestra fue de 64 scans, el tiempo de background scan de 64 scans. El background se utiliza para limpiar el interior el programa de medidas anteriores; el número de onda se encuentra entre  $400$  a  $4000\text{ cm}^{-1}$  en el eje de las x, como resultado de este ensayo se obtuvo un espectro. La figura 18 muestra una imagen del equipo FTIR.



**Figura 18.** Ensayo de espectroscopia infrarroja en el bambú.  
Fuente. Este estudio.

### **Etapa 4. Conformado del material compuesto de resina poliéster reforzado con fibra de bambú**

La fibra conformada se eligió de acuerdo a los resultados obtenidos por la técnica FTIR. El material compuesto de resina reforzada con fibra de bambú, se fabricó por conformado a mano, utilizando una sola proporción de fibra/resina en cada concentración que fue de 18.4 gr en fibra, 81.4gr % resina. La proporción de catalizador fue de 4% para cada fibra tratada con NaOH (1%,3%,5%) la tabla 6 muestra el diseño e experimentos empleado.

**Tabla 6 .**Información de los tratamientos realizados a la fibra de bambú.

Proporción fibra de bambú / matriz de resina	Catalizador
Tratamiento de la fibra 18.4 gr Resina 81.4 gr	Con una concentración de 1% = 1.4 gr Con una concentración de 3% = 1.8 gr Con una concentración de 5% = 2.2 gr

Fuente. Este estudio.

El proceso de conformado se llevó a cabo como se describe a continuación:

Primero se realizó una limpieza a los moldes de conformado, luego se aplicó vaselina como lubricante, posteriormente se introdujo la fibra y la resina catalizada y finalmente tiene lugar el proceso de curado con un tiempo de duración de 45 minutos para desmoldar el material compuesto; el tiempo total de curado del material compuesto fue de 24 horas. La resina utilizada como matriz fue resina poliéster pre acelerada, el catalizador utilizado fue met peróxido (metil cetona) (R. Pandey, 2014). La figura 19 muestra el material en proceso de conformado.



**Figura 19.** Conformando fibras de bambú.

Fuente. Este estudio.

### **Etapa 5. Caracterización en cuanto a las propiedades mecánicas a tensión del material compuesto**

El material compuesto se caracterizó en cuanto a sus propiedades mecánicas de tensión en la maquina universal de ensayos de acuerdo a ASTM D7205/D7205M-06; método de ensayo estándar de propiedades de barras de material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibra) , con una velocidad de carga de 5 mm/min, el número de réplicas fue 5 por tratamiento con un total de 10 ensayos. La figura 20 muestra la máquina universal de ensayos.



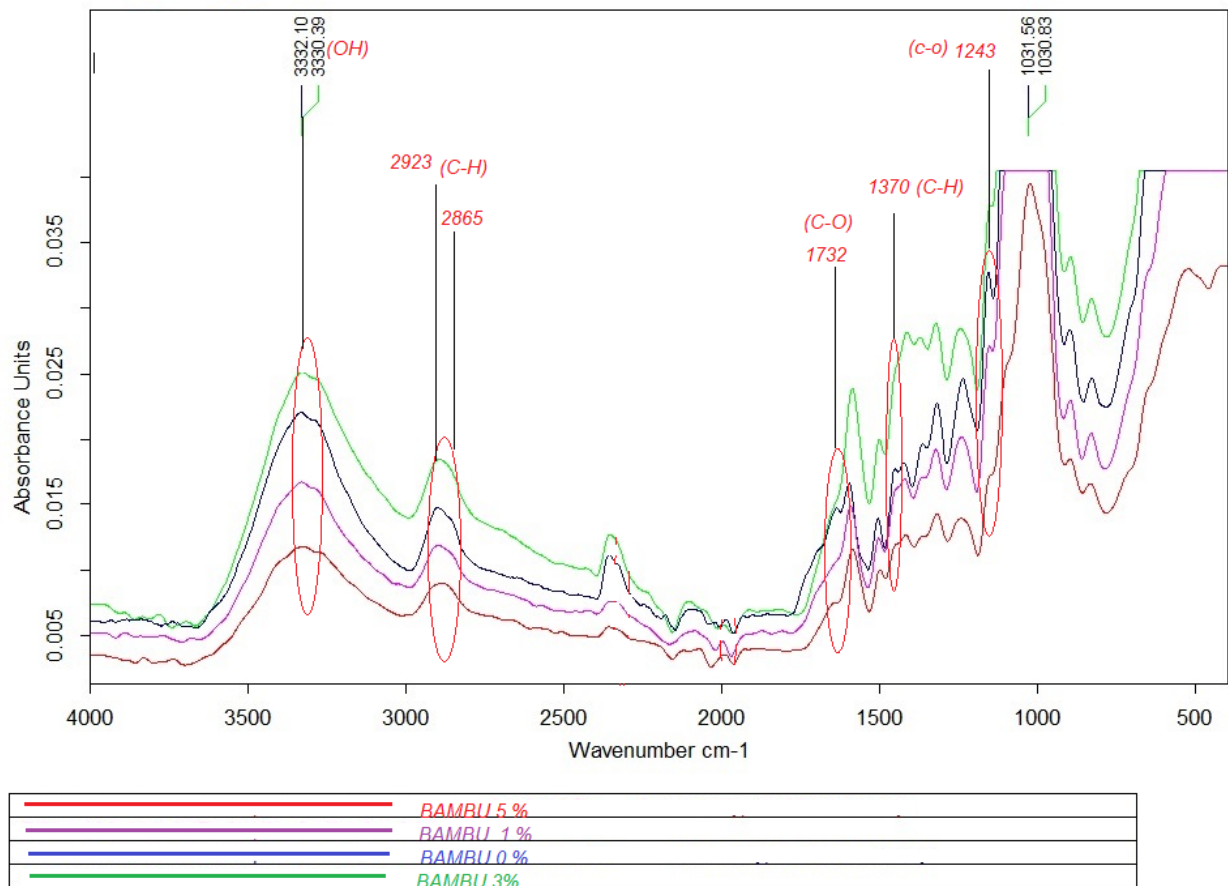
**Figura 20.** Prueba de tension probetas de bambu.  
Fuente. Este Estudio.



## 6. RESULTADOS

### 6.1.1 Espectrometría Infrarroja FTIR

La figura 21 muestra la comparación de los espectro de las fibras de bambú tratadas con 0% NaOH; 1% NaOH, 3% NaOH y 5 % de NaOH.



**Figura 21.** Espectro de fibras 0 al 5 %.

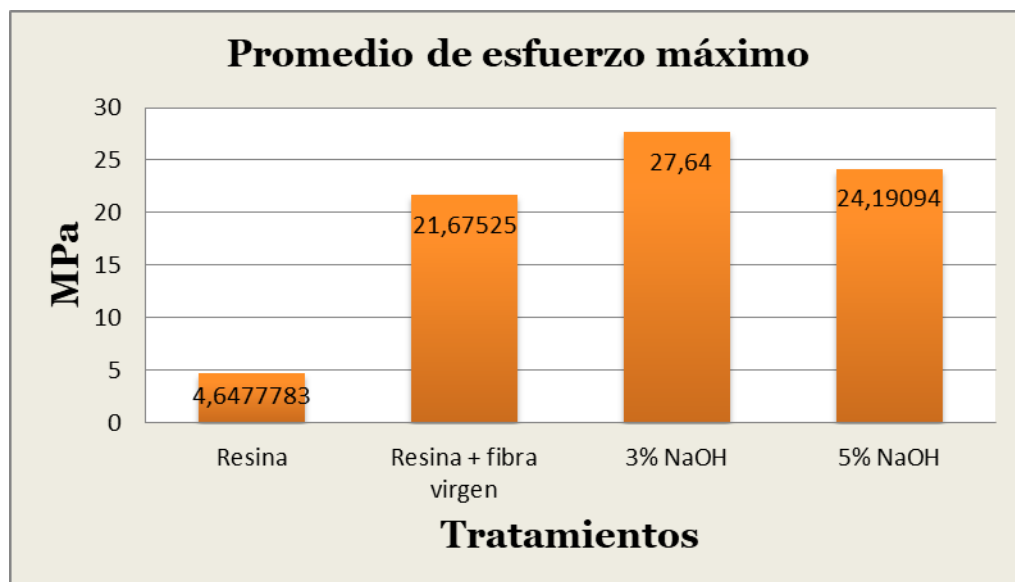
Fuente. Este estudio.

En la figura 21, se observan que las bandas  $1243\text{ cm}^{-1}$  y  $1370\text{ cm}^{-1}$  atribuidas a enlaces (C-O) y (C-H) provenientes en la estructura de lignina, desaparecen, al emplear el tratamiento con 3% de NaOH. Al aplicar el tratamiento con 1% y 5 % existe una disminución leve en el valor de absorbancia en estas bandas lo que muestra que disminuye la concentración de estos componentes superficialmente en la fibra (MUÑOZ, 2014).

También se analiza la banda  $1732\text{ cm}^{-1}$  perteneciente a enlaces (C-O) de grupos carbonilo ubicado en la hemicelulosa de la fibra que desaparece su pico con el tratamiento al 3% de NaOH. Se encontró una disminución en absorbancia con el tratamiento de 1% y 5% de NaOH. Esta disminución en los componentes amorfos de la fibra pueden mejorar, las propiedades mecánicas en el material, y la adherencia entre matriz y fibra, comportándose como si fueran un solo material. (MUÑOZ, 2014).

### 6.1.2 Resistencia mecánica a la tensión del material compuesto

En la figura 22 se muestran los valores la resistencia a la tensión de los materiales compuestos utilizando la fibra de bambu como refuerzo en sus diferentes tratamientos.



**Figura 22.** Esfuerzo máximo en diferentes tratamientos con NaOH aplicados a la fibra.  
Fuente. Este estudio.

En la figura 22 se observa que la resina poliéster tiene un esfuerzo máximo de 4,65 MPa, el material compuesto reforzado con fibra de bambú virgen presenta un esfuerzo máximo de 21,67MPa aumentando un 360 % su resistencia mecánica a la tensión.

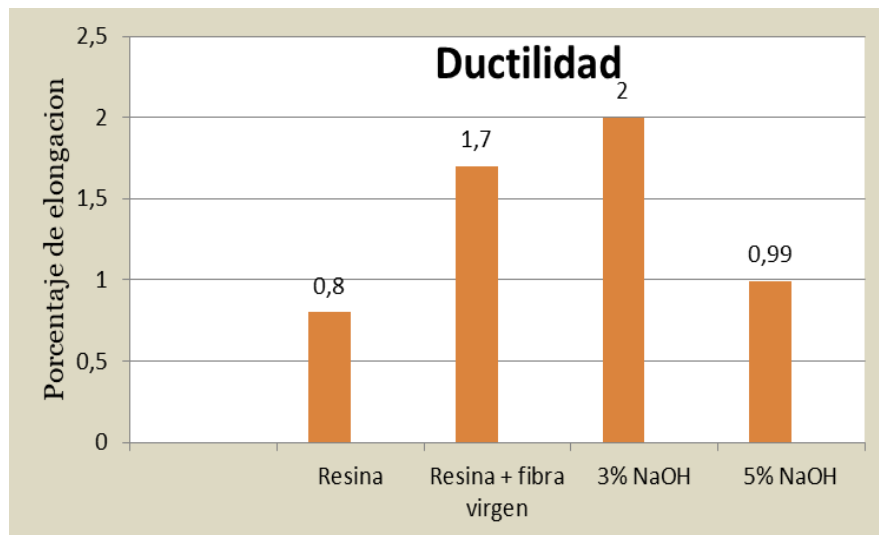
La fibra tratada al 3% de NaOH presentó el mayor valor del esfuerzo máximo con 27.64 MPa, esto puede ser atribuido a que esta concentración logró la eliminación completa de hemicelulosa y lignina evidenciados por FTIR, y que son los componentes amorfos de la fibra; la presencia de estos componentes disminuyen las propiedades mecánicas del material compuesto (MUÑOZ, 2014).

La fibra tratada con un porcentaje de 5% NaOH aunque disminuyó el valor del esfuerzo máximo respecto a la del 3 % NaOH, presentó un mayor valor que el material compuesto reforzado con fibra virgen, esto pudo ser atribuido a que al aumentar la concentración de NaOH. La fibra sufre un desgaste que repercute en sus propiedades mecánicas a tensión.

### 6.1.3 Ductilidad

La figura 23 muestra los porcentajes de elongación de cada una de las probetas tratadas con NaOH (soda caustica). Allí se evidencia que el material compuesto que utilizó como refuerzo fibra tratada al 3 % NaOH presentó el mayor valor de ductilidad y esto puede ser atribuido a la remoción de los componentes amorfos de la fibra (lignina y hemicelulosa).

También se evidencia que la fibra de bambu aumenta la ductilidad del material al compararse con la resina.



**Figura 23.** Ductilidad de muestras.  
Fuente. Este estudio.

### 6.1.4 Módulo de elasticidad

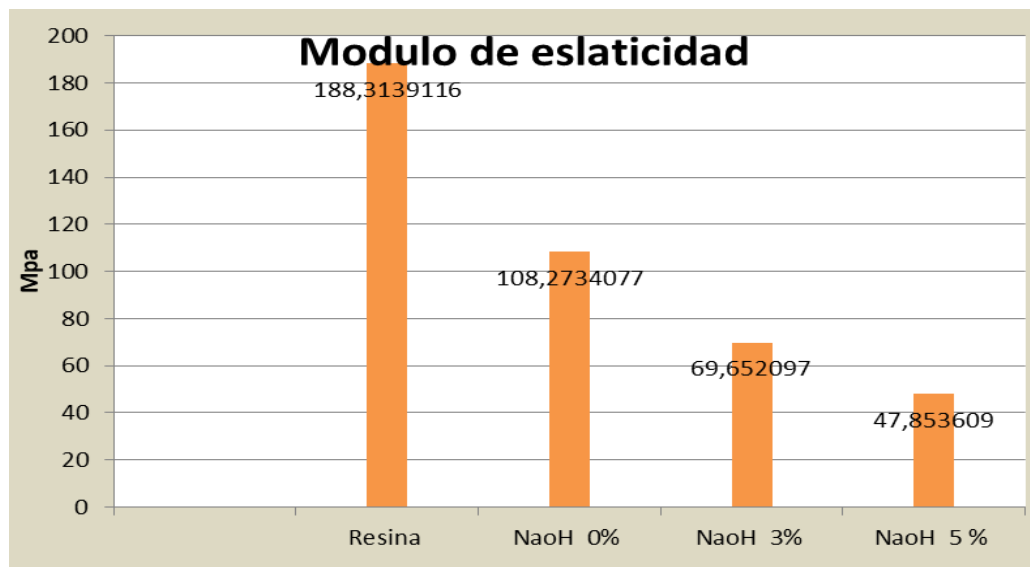
En la tabla 7 muestra el módulo de elasticidad de cada material en diferentes tratamientos y la matriz polimérica.

**Tabla 7.** Modulo de elasticidad de las probetas .

TRATAMIENTO	Promedio de elongacion	Desviacion Estandar	Coefficiente de variacion
Resina	188,3139116	215,4011981	114,3841134
NaoH 0%	108,2734077	47,28311466	43,67010852
NaoH 3%	69,652097	22,43719706	32,21323966
NaoH 5 %	47,853609	22,67205259	47,37793697

Fuente. Este estudio.

La figura 24 se muestra una comparacion de l mudulo de elasticidad de cada una de las fibras tratadas incluyendo la matriz polimerica .



**Figura 24 .** Módulo de elasticidad de las fibras.

Fuente. Este estudio.

De acuerdo a la tabla 8 los coeficientes de variación fueron muy altos, porque no se logró usar extensómetro lo cual no fue una medida precisa.

## 7. CONCLUSIONES

La resina poliéster más fibra de bambú tratada con soda caustica mejoró la resistencia a la tensión en concentraciones 3% y 5 % respecto al material compuesto que utiliza como refuerzo la fibra virgen debido a la eliminación de lignina y hemicelulosa.

La fibra tratada al 1 % de acuerdo al análisis con FTIR no eliminó los picos correspondientes a los grupos funcionales atribuidos a la hemicelulosa y lignina.

La fibra de bambú tratada al 5 % disminuyó su resistencia a la tensión comparado con la fibra tratada al 3 % , esto puede deberse a que a 5% de NaOH la fibra se degrada.

Con respecto a la resistencia a tensión se puede evidenciar que la resina poliéster más fibra de bambú tratado NaOH (soda caustica) mejoró la resistencia a la tensión respecto al material compuesto que utiliza como refuerzo la fibra virgen debido a la eliminación de lignina y hemicelulosa.

El tratamiento con NaOH que presentó el mayor valor de resistencia mecánica y ductilidad fue el correspondiente a 3 % NaOH.

El proceso de conformado es sencillo, lo único que se debe hacer es tener las fibras al igual diámetro verificar la cantidad para cada probeta, lo más complicado es sacar las fibras inventar un sistema para su fabricación.

## 8. RECOMENDACIONES

Cuando se haga la mezcla entre agua destilada y soda caustica, es necesario hacer uso de un agitador magnético para la mezcla quede homogénea y de esta forma evitar que la fibra quede con gránulos de soda caustica, afectando la calidad del ensayo.

Para el proceso de conformado en lo posible realizarlo en zonas de buena ventilación y también trabajar en el extractor del laboratorio de la universidad.

Limpiar bien los moldes después de tener el tratamiento realizado para evitar que la resina se pegue en ellos.

Hacer bien los cálculos de resina y catalizador .Tener un buen balance porque de lo contrario hará reacción química y puede ser peligroso, mantener las gafas de protección al momento de ingresar a hacer las prácticas.

Mantener un uso responsable sobre las sustancias químicas, y elementos de laboratorio y además de esto desecharlos de manera segura. También trabajar con los implementos de seguridad y así evitar accidentes innecesarios.

Verificar el estado de la máquina de tensión antes de iniciar la prueba algunas veces se encuentra desajustada en lo posible verificar el estado de las mordazas para evitar que la probeta resbale.

Seguir trabajando con el bambú, esta planta tiene propiedades muy parecidas a los aceros además de ser una fibra natural se logran grandes aportes para la sociedad y beneficio al planeta.

## 9. REFERENCIAS

- ABDUL, H. (2015). «The use of bamboo fibres as reinforcements in composite. *Biofiber Reinforcements in Composite*,.
- ARBELÁEZ, A. (2009). *La estructura morfológica del culmo de la Guadua Angustifolia Kunth*. . arquitectura, h. d. (14 de 10 de 2015). *Las propiedades mecánicas del bambu* .
- Barreto, Walter . (2003). *La guadua en laminado y pegado estructura*.
- Beatriz, V. H. (2006). Escuela de Ingeniería de Antioquia. *Fibras naturales, Escuela de Ingeniería de Antioquia*, .
- Brente, S. a. (s.f.). Society of Manufacturing . *Fundamental of Composites*.
- CONBAM. (23 de 07 de 2005). *Construir con Bambú 'Guadua angustifolia'* . Obtenido de <http://www.conbam.info/pagesES/properties.html>
- creces, R. (2001). Nuevos materiales . *Como se pueden transformar los materiales débiles y quebradizos en elementos en elementos fuertes y duros?* , 10.
- Diaz, F. (2006). El pequeño manual del bambu . Merida venezuela : ciudadelas del fenix.
- Domine, E. (2010). *LIGNINA, ESTRUCTURA Y APLICACIONES: METODOS DE DESPOLIMERIZACION PARA LA OBTENCION DE DERIVADOS AROMATICOS DE INTERES INDUSTRIA*.
- E, M. (23 de 02 de 2013). *Fibras sintéticas y especiales* . Obtenido de <http://todosobrelasfibrassinteticas.blogspot.com.co/2013/02/fibras-sinteticas-y-especialesel.html>
- E, M. L. (2003). *Estudio de las características físicas de haces de fibra guadua* .
- expertos, G. y. (1989). *SEGURIDAD EN LA UTILIZACIÓN DE FIBRAS MINERALES Y SINTÉTICAS* , 110.
- Fao. (2009). *fibras naturales* . Obtenido de Tejidos antiguos .
- Fibrometals. (2017). *Fibras metálicas* . Obtenido de <http://www.fibrometals.ro/es/fibras-metalicas/>
- G. Koronis, A. S. (2014). *compuestos y sus aplicaciones* .
- garavito, E. c. (2011). *Ensayo de tension protocolo* , 12.
- Gonzales, K. (7 de 04 de 2013). *Fibras sintéticas y especiales* . Obtenido de <http://fibrologia.blogspot.com.co/2013/04/fibras-sinteticas.html>
- Hernández., F. S. (29 de 04 de 2016). *Plastics technology MEXICO* . Obtenido de <http://www.pt-mexico.com/noticias/post/desarrollan-polmeros-con-fibra-de-agave-para-autos-y-aviones>
- Hidalgo, M. A. (2014). *COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y VISCOELÁSTICO DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS NATURALES*.
- Ibérica, G. C. (23 de 09 de 2013). *PROPIEDADES RESINA POLIÉSTER*. Obtenido de <http://www.gazechim.es/blog/131-resina-poliester1.pdf?tmpl=component>
- INDOAMERICANA, C. E. (2003). *COMPUESTOS . AVIATION TRAINING CENTER*, 22.
- Ishai, .. O. (2006.). *Engineering mechanics of composite material*.
- J. Cesar Antonio. (1986). *Desarrollo y prueba de bambú fibras de plástico reforzado,» 1986*.
- J. s. Gomez. (2013). *diseño de un material compuesto para sustituir las fibras de vidrio*.
- Janssen., J. J. (2000). *Designing and building with bamboo The Netherlands Technical*.
- LONDOÑO, X. C. (2002). *Characterization of the anatomy of Guadua angustifolia*.
- Lopez, D. (2001). *materiales compuestos aplicaciones* .
- M.Ojeda. (2011). *Moldeo manual de materiales compuestos* .
- Manchego, M. (2011). *ipos de resinas y sus aplicaciones*,.
- Manchego, M. (2011. ). *Tipos de resinas y sus aplicaciones*.
- MUÑOZ, M. F. (2014). *FIBRAS DE FIQUE UNA ALTERNATIVA PARA ELREFORZAMIENTO DE PLÁSTICOS*.
- MUÑOZ, M. F. (s.f.). *FIBRAS DE FIQUE UNA ALTERNATIVA PARA ELREFORZAMIENTO DE PLÁSTICOS. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*.
- N. Cruz, «. n. (7 de 04 de 2014). *Fibras naturales y artificiales*. Obtenido de <http://www.sc.ehu.es/iawfemaf/archivos/materia/industrial/libro11c.pdf>.

- ND. (2011). *fibras textiles* , 69.
- OECD. (2005 ). *El medio ambiente y la líneas directrices de la OECD para empresas multinacionales* . Paris : OECD.
- Ojeda, M. (11 de 11 de 2011). */moldeo-manual-de-materiales-compuestos.html*. Obtenido de : <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/>
- P. Mark C. Symington. (2009). *Tensile testing of cellulose based natural fibers for structural composite applications*.
- P. Mark C. Symington. (2009. ). P. Mark C. Symington. *Tensile testing of cellulose based natural fibers for structural composite applications*.
- P. Prinsen. (2010). P. Prinsen, «Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis estructural de sus ligninas.
- Palacios, A., Santiago, L., & Guerrand., D. (2 de 03 de 2017). *UTILIZACIÓN DE ENZIMAS DE MACERACIÓN EN VINIFICACIÓN EN TINTO*. Obtenido de <http://urbinavinos.blogspot.com.co/2017/03/utilizacion-de-enzimas-de-maceracion-en.html>
- Pedro, M. (15 de 06 de 1984). *resina para estructuras primarias de aeronaves*. Obtenido de Materiales compuestos de fibra.
- R, D. (1998). Ciencia e ingeniería de los materiales . En ASKELAND (pág. 550). Mexico .
- R. Pandey, R. P. (14 de 06 de 2014). *Utilization of NaOH modified Desmostachya bipinnata*. Obtenido de removal from aqueous solution: <http://www.scienced>
- Rodicio, J. C. (2006). *Espectroscopia de transformada de Fourier*, 46.
- Ruchi, P. (2010). Askeland. *Ciencia e ingeniería de los materiales*,.
- S. a. Brete. (2004). Fundamental of Composites,.
- Segurado, J. (2004). Micromecánica computacional de materiales compuestos reforzados.
- Tommy, H. L. (2004). *The effect of fiber density on strength capacity*.
- valdes, J. (2014). *Fibra de Plátano/Banano (Musa paradisiaca) Modificada Químicamente*.
- ZN Azwa, B. Y. (2012). bamboo fire .
- M.Ojeda. (2011). Moldeo manual de materiales compuestos .
- Manchego, M. (2011). *ipos de resinas y sus aplicaciones*,.
- Manchego, M. (2011. ). *Tipos de resinas y sus aplicaciones*.
- MUÑOZ, M. F. (2014). *FIBRAS DE FIQUE UNA ALTERNATIVA PARA ELREFORZAMIENTO DE PLÁSTICOS*.
- MUÑOZ, M. F. (s.f.). *FIBRAS DE FIQUE UNA ALTERNATIVA PARA ELREFORZAMIENTO DE PLÁSTICOS. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*.
- N. Cruz, «. n. (7 de 04 de 2014). *Fibras naturales y artificiales*. Obtenido de <http://www.sc.ehu.es/iawfemaf/archivos/materia/industrial/libro11c.pdf>.
- ND. (2011). *fibras textiles* , 69.
- OECD. (2005 ). *El medio ambiente y la líneas directrices de la OECD para empresas multinacionales* . Paris : OECD.
- Ojeda, M. (11 de 11 de 2011). */moldeo-manual-de-materiales-compuestos.html*. Obtenido de : <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/>
- P. Mark C. Symington. (2009). *Tensile testing of cellulose based natural fibers for structural composite applications*.
- P. Mark C. Symington. (2009. ). P. Mark C. Symington. *Tensile testing of cellulose based natural fibers for structural composite applications*.
- P. Prinsen. (2010). P. Prinsen, «Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis estructural de sus ligninas.
- Palacios, A., Santiago, L., & Guerrand., D. (2 de 03 de 2017). *UTILIZACIÓN DE ENZIMAS DE MACERACIÓN EN VINIFICACIÓN EN TINTO*. Obtenido de <http://urbinavinos.blogspot.com.co/2017/03/utilizacion-de-enzimas-de-maceracion-en.html>
- Pedro, M. (15 de 06 de 1984). *resina para estructuras primarias de aeronaves*. Obtenido de Materiales compuestos de fibra.
- R, D. (1998). Ciencia e ingeniería de los materiales . En ASKELAND (pág. 550). Mexico .
- R. Pandey, R. P. (14 de 06 de 2014). *Utilization of NaOH modified Desmostachya bipinnata*. Obtenido de removal from aqueous solution: <http://www.scienced>
- Rodicio, J. C. (2006). *Espectroscopia de transformada de Fourier*, 46.
- Ruchi, P. (2010). Askeland. *Ciencia e ingeniería de los materiales*,.
- S. a. Brete. (2004). Fundamental of Composites,.



- Segurado, J. (2004). Micromecanica computacional de materiales compuestos reforzados.
- Tommy, H. L. (2004). *The effect of fiber density on strength capacity*.
- valdes, J. (2014). *Fibra de Plátano/Banano (Musa paradisiaca) Modificada Químicamente*.
- ZN Azwa, B. Y. (2012). bamboo fire .

## 10. ANEXOS

### Anexo 1. Tablas ensayo de tensión

Resultados de las probetas sometidas a tensión 5%.

ENSAYO DE TENSION PROBETAS DE BAMBU							
NaOH	Muestra	Espesor	Ancho	Longitud IN	Longitud FN	∇Max	Elongacion
5%	A	9mm	10mm	505mm	510mm	27,3481	0,99%
5%	B	10mm	10mm	505mm	506mm	20,9367	0,19%
5%	D	10mm	10mm	502mm	508mm	24,2233	1,19%
5%	E	9,5mm	10,5mm	504mm	510mm	24,2233	1,19%
5%	F	9,5mm	11mm	503mm	510mm	24,2233	1,39%
Promedio						24,19094	0,99%

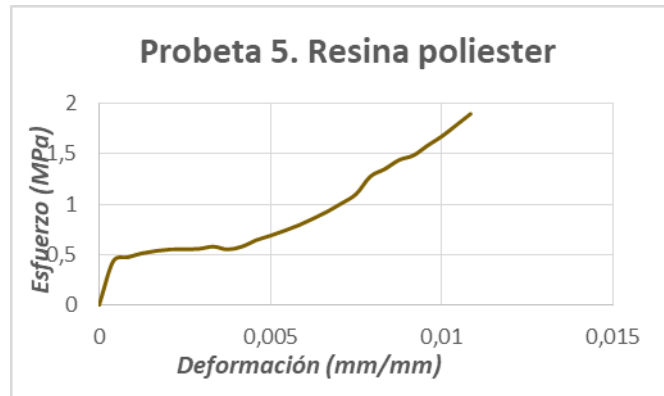
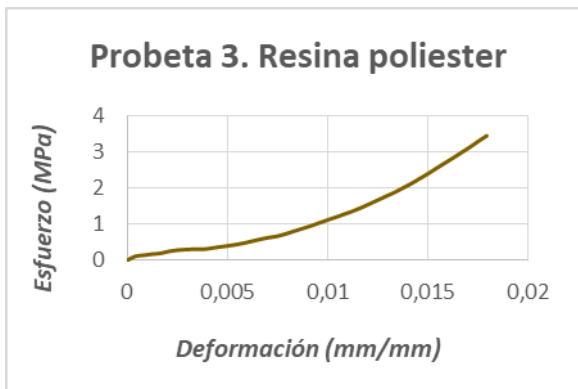
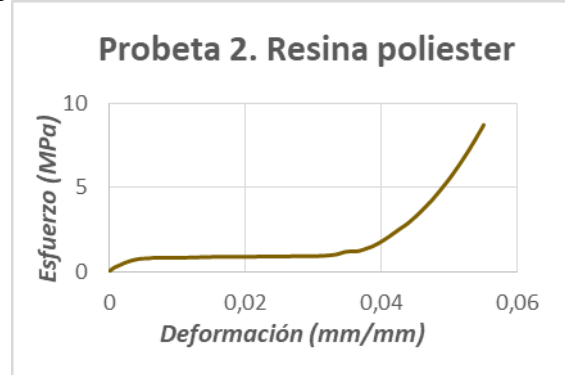
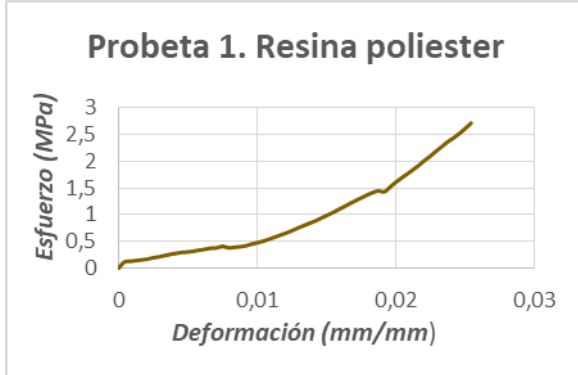
Fuente este estudio.

Resultados de las probetas sometidas a tensión 3%

NaOH	Muestra	Espesor	Ancho	Longitud IN	Longitud FN	∇Max	Elongacion %
3%	1,00	11mm	10,5mm	506mm	510mm	31,53	0,79%
3%	2,00	10,5mm	12,5mm	504mm	512mm	29,29	1,58%
3%	3,00	10,5mm	12,5mm	500mm	506mm	26,45	1,20%
3%	5,00	10mm	12mm	503mm	510mm	33,38	1,39%
3%	6,00	11mm	13,5mm	500mm	510mm	17,56	2%
promedio						27,64	0,01

Fuente. Este estudio.

## Anexo 2. Curvas esfuerzo deformación para resina poliéster.



Anexo 3. Curvas esfuerzo deformación para el material compuesto de resina poliéster reforzado con fibra de bambú sin tratamiento de NaOH.

