



**DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE
MATRIZ POLIMERICA REFORZADO CON FIBRA DE BAMBU**

LAURA ALEJANDRA CABANZO SIERRA

JEIMMY KATHERINE PARDO HERNANDEZ

Universidad ECCI

Facultad de Ingeniería

Tecnología en Mecánica Industrial

Bogotá-Colombia

**DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE
MATRIZ POLIMERICA REFORZADO CON FIBRA DE BAMBÚ**

**LAURA ALEJANDRA CABANZO SIERRA
JEIMMY KATHERINE PARDO HERNANDEZ**

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:

Tecnólogo en Mecánica Industrial

Director (a):

Msc. Ing. Sandra Patricia Romero Nieto

Línea de Investigación:

Materiales y Procesos de Manufactura

Universidad ECCI

Facultad de Ingeniería

Tecnología en mecánica industrial

Bogotá-Colombia

2017

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración y el apoyo de la Profesora Sandra Patricia Romero Nieto por brindarnos sus conocimientos y experiencia para poder llevar a cabo el proyecto, a la Universidad ECCI por facilitarnos las herramientas necesarias para la elaboración ejecución del proyecto; a la Ingeniera Mónica Ballen del laboratorio de química, al Ingeniero Carlos Navarro y al Ingeniero Andrés Guevara por su apoyo técnico.

*Este proyecto lo dedicamos especialmente a
Dios, a nuestros hijos y familiares por
brindarnos el apoyo para poder adquirir el
conocimiento y competencias de nuestra
carrera.*

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	7
ABSTRACT	9
1. OBJETIVOS	11
1.1 OBJETIVO GENERAL	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
2. MARCO TEÓRICO	12
2.1 MATERIALES COMPUESTOS	12
2.2 MATRIZ	12
2.2.1 <i>Materiales compuestos de matriz metálica</i>	13
2.2.2 <i>Materiales compuestos de matriz cerámica</i>	14
2.3 REFUERZO EN MATERIALES COMPUESTO	15
2.3.1 <i>Materiales compuestos reforzados con partículas</i>	15
2.3.2 <i>Reforzados con partículas grandes</i>	15
2.3.3 <i>Reforzados con láminas</i>	16
2.3.4 <i>Reforzados con fibras</i>	17
2.4 CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS	17
2.4.1 <i>Fibras sintéticas</i>	17
2.4.2 <i>Fibras Naturales</i>	19
2.5 ANISOTROPÍA E ISOTROPÍA	22
ANISOTROPÍA	22
2.6 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES	22
2.6.1 <i>Resistencia a la tensión</i>	22
2.6.2 <i>Módulo de elasticidad</i>	23
2.6.3 <i>Ductilidad</i>	23
3. ANTECEDENTES	24
4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	26
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	32
5.1 ESPECTROSCOPIA INFRARROJO POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)	32
5.2 ENSAYO DE TENSIÓN	34
6. CONCLUSIONES	39
7. RECOMENDACIONES	40
8. BIBLIOGRAFÍA	41

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Primer lavado	27
Ilustración 2 Fibra vertida en la preparación NaOH	28
Ilustración 3 Neutralización de pH.....	29
Ilustración 4 Espectro de las fibras de bambú. Método: FTIR.....	32
Ilustración 5 Gráfica de esfuerzo de las diferentes probetas.....	35
Ilustración 6 Gráfica de ductilidad de las diferentes probetas	38

RESUMEN

Actualmente los materiales compuestos presentan altas propiedades mecánicas y baja densidad, es decir alta resistencia específica; lo que los hace atractivos para aplicaciones relacionadas al área del transporte, (por el ahorro en combustible), remplazando a los metales; los cuales poseen altas propiedades mecánicas pero son muy pesados.

En la industria ha surgido la necesidad de investigar la producción de materiales con el uso de fibras naturales para reducir el gasto energético y contaminación; algunas investigaciones encontraron que los materiales compuestos reforzados con fibras naturales tienen adecuadas propiedades mecánicas, para ser usados en aplicaciones como paneles internos de automóviles, aviones (Bressier, 2012) y aplicaciones arquitectónicas. Son livianos y su producción es más económica que las fibras sintéticas, ejemplos de estas aplicaciones la han mostrado empresas como Mercedes Benz, Toyota y Mitsubishi en el sector automotriz y en la industria aeronáutica las patentes que titulan estos materiales como compuestos verdes (Estados Unidos Patente n° US 2012/0148824 A1, 2012)

En este proyecto se fabricó un material compuesto de matriz polimérica de resina poliéster reforzada con fibra de bambú; la superficie de la fibra se trató químicamente con hidróxido de sodio a diferentes concentraciones para eliminar la lignina y hemicelulosa; que son componentes amorfos, de tal manera que predominara la celulosa que es un componente más cristalino; lo que mejora la adherencia entre matriz y fibra (Bressier, 2012). posteriormente se conformó el material compuesto y se caracterizó en cuanto a sus propiedades mecánicas a la tensión.

Para evidenciar la eliminación de lignina y hemicelulosa se caracterizó la fibra antes y después del tratamiento con la técnica de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). El material conformado se caracterizó en cuanto a sus propiedades mecánicas a tensión de acuerdo a ASTM D7205– 06 Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars (método de ensayo estándar de propiedades tensiles de barras de material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibra) y determinar que tratamiento de la fibra con NaOH logra las mejores propiedades mecánicas a tensión del material compuesto.

ABSTRACT

Currently the composite materials have high mechanical properties and low density, ie high specific strength; Which makes them attractive for applications related to transport, (for fuel savings), replacing metals, Which have high mechanical properties but are very heavy.

In the industry there has been a need to investigate the production of materials with the use of natural fibers to reduce energy expenditure and pollution; Some research has found that composite materials reinforced with natural fibers have adequate mechanical properties to be used in applications such as automotive interior panels, airplanes (Bressier, 2012) and architectural applications; Are lightweight and are produced more economically than synthetic fibers, examples of such applications have been shown by companies such as Mercedes \neg Benz, Toyota and Mitsubishi in the automotive sector and in the aircraft industry the patents that title these materials as green compounds U.S. Patent No. 2012/0148824 A1, 2012)

In this project a composite material of polymer matrix of polyester resin reinforced with bamboo fiber was made; The surface of the fiber was chemically treated with sodium hydroxide at different concentrations to remove lignin and hemicellulose; Which are amorphous components, such that cellulose which is a more crystalline component predominates; Which improves adhesion between matrix and fiber (Bressier, 2012) the composite material was subsequently formed and characterized in terms of its mechanical properties to tension.

In order to demonstrate the elimination of lignin and hemicellulose, fiber was characterized before and after treatment with Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The shaped material was characterized in terms of its mechanical properties under tension.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

Producir un material compuesto con matriz de resina poliéster reforzado con fibra de bambú y caracterizarlo en cuanto a sus propiedades mecánicas a la tensión.

1.2 Objetivos Específicos

- Fabricar el material compuesto tratando la fibra con concentraciones diferentes de hidróxido de sodio
- Caracterizar el material compuesto fabricado en cuanto a sus propiedades mecánicas a la tensión.
- Caracterizar el material compuesto estructura química por medio de un ensayo instrumental.
- Determinar el mejor tratamiento de la fibra de BAMBU con NaOH que logre el mayor esfuerzo máximo a tensión y la mayor ductilida

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Materiales compuestos

Los materiales compuestos son la unión de dos materiales de diferente naturaleza (cerámico con polímero; polímero con cerámico; cerámico con metal) para obtener propiedades mejoradas, que no se pueden lograr si se utilizaran dichos materiales de manera individual (Callister, 2009; Askeland, P Fulay, & Wendelin, 2011), estos materiales poseen una interface reconocible que los separa.

Los materiales compuestos tienen dos componentes denominados matriz y refuerzo:

2.2 Matriz

Las funciones de la matriz en los materiales compuestas son: (Askeland, P Fulay, & Wendelin, 2011):

- Soportar las fibras en la posición correcta
- Transferir la carga a las fibras
- Proteger las fibras contra daños durante la manufactura y uso del compuesto
- Evitar la propagación de grietas de las fibras hacia todo el compuesto

- Es la que aporta el control de la conducción del calor y la electricidad y , el ataque químico y el uso a temperaturas elevadas

Es necesario que la matriz y el refuerzo tengan un valor del coeficiente de dilatación térmica similar para que al dilatarse la matriz se dilate de igual manera el refuerzo (Askeland, P Fulay, & Wendelin, 2011)

La matriz y refuerzo deben tener adherencia para que actúen como un solo material por esto debe existir una interface entre los dos. El refuerzo mejora las propiedades del material compuesto pero debe queda bien impregnado de la matriz para evitar que quede expuesto el refuerzo al medio ambiente y se deteriore. (Askeland, P Fulay, & Wendelin, 2011)

2.2.1 Materiales compuestos de matriz metálica

Los materiales compuestos de matriz metálica son aquellos que presentan propiedades de alta resistencia, módulo de elasticidad, resistencia elevada a la temperatura y conductividad térmica y eléctrica. Estas propiedades se adquieren por la utilización de materiales de baja densidad como el aluminio, magnesio y titanio. Han sido estudiados y desarrollados principalmente en la industria aeroespacial y automotriz. (Groover m. p.)

2.2.2 Materiales compuestos de matriz cerámica

Los materiales cerámicos son aquellos que tienen ciertas propiedades como la rigidez, dureza en caliente, alta resistencia a las compresiones elevadas y densidades relativamente bajas.

Los materiales de matriz cerámica también presentan desventajas que son poca densidad y resistencia a la tensión volumétrica y son susceptibles a sufrir agrietamientos térmicos. Estos materiales se utilizan como matrices que incluyen la alúmina, carburo de boro, nitruro de boro, carburo de silicio, nitruro de silicio y carburo de titanio. (Groover m. p.)

2.2.3 Materiales compuestos de matriz polimérica

Los compuestos de matriz polimérica consisten en una fase primaria de polímero que está incrustada en una secundaria en forma de fibras, partículas u hojuelas.

En los materiales compuestos poliméricos se usan como matrices los tres tipos de polímeros básicos, termoplásticos, termofijos y elastómeros.

Estos materiales tienen buenas propiedades mecánicas, son resistentes a la corrosión y fatiga, son de fácil moldeo. Su campo de aplicación se ve realizado en la industria aeroespacial y automotriz debido a la relación de alta resistencia y bajo peso para mejorar la eficiencia de

combustible y capacidad de carga. (Groover m. p.). La ilustración 1 muestra un material compuesto reforzado por fibras visto por la técnica SEM.

2.3 Refuerzo en materiales compuesto

De acuerdo al tipo de refuerzo los materiales compuestos se clasifican en:

2.3.1 Materiales compuestos reforzados con partículas

Estos materiales están compuestos por partículas de un material duro y frágil dispersas discretas y uniformemente, rodeada por una matriz blanda y dúctil.

Los materiales reforzados con partículas se dividen en dos grupos, materiales reforzados con partículas grandes y reforzadas por dispersión. (Pinto, 2017)

2.3.2 Reforzados con partículas grandes

Contienen grandes cantidades de partículas gruesas que no bloquean el desplazamiento de las dislocaciones con eficacia. Producen combinaciones de propiedades, no mejoran la resistencia.

Indica las interacciones entre la matriz y las partículas a un nivel macroscópico, las interacciones matriz-partícula se describe mediante la mecánica continua. (Pinto, 2017)

Reforzados por dispersión

Son un tipo especial de materiales endurecidos por dispersión que contienen un tamaño de partículas de 10-25 nm (millonésima de milímetro) de diámetro. La resistencia disminuye al aumentar la temperatura, baja solubilidad en la matriz y no reaccione químicamente. (Pinto, 2017)

2.3.3 Reforzados con láminas

Estos materiales compuestos están formados por láminas apiladas y unidas por medio de un adhesivo. Las láminas pueden estar formadas por materiales diferentes, en este caso se llaman laminados híbridos.

Existen tres tipos de orientaciones en cada lámina, unidireccional cuando todas las fibras están paralelas, bidireccionales cuando la mitad de las fibras están orientadas en ángulo recto con respecto a la otra mitad y multidireccional cuando el material es isotrópico. Las propiedades de cada lámina dependen de la naturaleza de la fibra, presentación de la fibra, porcentaje de la fibra y orientación de la lámina. (mariano, 2011).

2.3.4 Reforzados con fibras

Son especiales cuando se quiere incrementar las propiedades mecánicas en el material como es el caso de la resistencia a la fatiga, el módulo de elasticidad, la resistencia a la tensión, la ductilidad, la energía de absorbida al impacto y aumentar la resistencia específica es decir lograr un mayor valor en la relación entre resistencia y densidad (Askeland, P Fulay, & Wendelin, 2011); debido a que el material transmite la fuerza que soporta de la matriz a las fibras, por esto para aplicaciones que se requieren aumento en las propiedades mecánicas se recomienda utilizar fibras largas (Askeland, P Fulay, & Wendelin, 2011).

2.4 CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS

2.4.1 Fibras sintéticas

Las fibras sintéticas son un tipo de fibra textil que se obtienen a través de los derivados del petróleo. Este tipo de fibras son totalmente químicas por que la síntesis de su materia prima es producida por el hombre y no es obtenida de un medio natural. Las fibras sintéticas tienen varias características las más sobresalientes son su gran resistencia y alta durabilidad. Sus principales aplicaciones son usadas en la fabricación de indumentaria, paracaídas y en las velas de los barcos.

Las fibras sintéticas más conocidas y utilizadas son el poliéster, poliamidas, acrílicas y polietilénicas. (Ucha, 2015)

Fibra de vidrio

La fibra de vidrio es un material compuesto de filamentos muy finos de vidrio unidos con resina. Sus propiedades son: resistencia química, peso ligero, aislamiento eléctrico, versatilidad, aislante térmico, es más económico que las fibras como las sintéticas o las naturales. Tienen grandes aplicaciones en la industria automotriz, medios marítimos, naves aeroespaciales. (atesadmin, 2016)

Fibra de carbono

La fibra de carbono es una fibra sintética constituida por finos filamentos de carbono. Este polímero es obtenido a partir de otro polímero llamado poliacrilonitrilo el cual consiste en hebras muy delgadas de carbono las cuales son agrupadas continuamente para la formación de un hilo de varias hebras, luego son colocadas sobre moldes para aplicarles resinas o plásticos para pegar los hilos formados. La fibra de carbono es resistente a la corrosión, a la humedad, a la formación de metal-carburos y resistentes al calor. La fibra de carbono se utiliza principalmente para reforzar materiales compuestos (Doiztua, 2013)

Fibra kevlar

Las fibras Kevlar lasa o poliparafenileno tereftalamida es un polímero altamente cristalino. La obtención de las fibras Kevlar fue complicada, destacando el aporte de Hebert Blade, que soluciono el problema de que disolvente emplear para el proceso. Una fibra de Kevlar es un arsenal de moléculas orientadas en paralelo como un paquete de espaguetis crudos. Esta colocación espacial es lo que proporciona las moléculas con estructura cristalina.

Las características de este tipo de fibras son, buena resistencia a la tracción, tienen menor densidad que la fibra de vidrio y carbono, baja resistencia a compresión, a diferencia de las fibras de carbono y vidrio, presentan una gran absorción de humedad en condiciones ambientales.

Sus principales aplicaciones son en la tecnología militar, ya que nos es muy útil en los blindajes, además para la fabricación de trajes de bomberos y fibras ópticas. (Gonzalez k. , 2013)

2.4.2 Fibras Naturales

Las fibras naturales son aquellas que las obtenemos del medio natural, animal o mineral. Estas son sometidas a tratamientos de purificación, limpieza e hiladura. A su vez se clasifican como son obtenidas, las fibras naturales animales como su nombre lo dice son aquellas que se obtienen de animales, estas fibras son proteínas resistentes a la mayoría de los ácidos orgánicos, algunas de este tipo son la lana, el algodón, el lino y la seda. Las fibras naturales de origen

vegetal son aquellas que aprovechamos de algún árbol natural como lo son la ceiba, el bambú, el árbol de banana, el kenafy el árbol de piña. (Whychoossee, 2014)

Fibra de Bambú

El árbol de Bambú es el de mayor crecimiento de todo el mundo, es la planta que más rápidamente crece, aproximadamente de 75 a 400 mm por día, el tallo del bambú es la parte la planta más significativa desde el punto de vista económico, se estima que en 35 años el tallo de bambú se puede hasta reproducir 15 kilómetros de postes aprovechables, sus altos módulos de elasticidad, son ideales para trabajos de construcción. (SA, Septiembre 26, 2007)

La fibra del bambú es un tipo de fibra reciclable. En Japón este material es tan importante que hoy en día llega a ser una materia prima con mayor importancia y que sobresale más que cemento y el acero.

El Bambú pertenece a la familia de las gramíneas Bambusoidea, que consta de fibra de celulosa incrustado en una matriz lignina (Seema Jain RK, 1992). Las ventajas del bambú sobre otras fibras naturales son: su baja densidad, bajo costo, alta resistencia mecánica, alta rigidez y alta tasa de crecimiento.

El bambú también tiene algunas desventajas para varias aplicaciones, incluyendo alto contenido de humedad, la dificultad de extracción fina y fibras rectas y la degradación térmica durante la

fabricación. Más de 1.000 especies de bambú y aproximadamente 70 géneros crecen naturalmente en diversos climas con la abundancia particular en Asia y América del Sur (H, 2012). El bambú tradicionalmente se ha utilizado en la construcción y como material para la fabricación de herramientas para la vida diaria debido a su alta resistencia en relación al peso.

La estructura del tallo de bambú es un cilindro hueco, y el lado interior de cada tallo se divide por varios diafragmas que aparentan ser anillos desde el exterior. El espacio entre dos anillos se llama el "internodo", y las ramas crecen a partir de este espacio. La distancia entre cada nodo varía entre las especies (JJA, 2000). La pared del tallo se compone de muchos haces vasculares, proporcionando fuerza a la caña. El número de internodos se puede definir por la altura de la caña (Londono Ximena, 2002). En consecuencia, el tamaño medio, la densidad y el número de haces vasculares son parámetros importantes para caracterizar las especies de bambú. La anatomía de cañas de bambú se determina por sus propiedades físicas, que reflejan su utilidad. La densidad de la fibra de bambú aumenta a medida que disminuye el diámetro superior de la caña de bambú. Por lo tanto, la sección de la base tiene menores propiedades mecánicas, pero posee mayor capacidad para resistir la parte superior (Lo Tommy Y, 2004).

Propiedades de la fibra del bambú

- Antibiótico natural
- Buena permeabilidad y higroscopicidad
- Los productos talados son suaves y blandos
- La resistencia del bambú a la compresión es alta

2.5 Anisotropía e Isotropía.

Anisotropía

Anisotropía en materiales respecto a una propiedad: El valor de su propiedad (densidad, resistencia a la tensión, ductilidad) cambia de acuerdo a la dirección que se mida dicha propiedad (Askeland, P Fulay, & Wendelin, 2011).

Isotropía

Isotropía en materiales respecto a una propiedad: El valor de su propiedad (densidad, resistencia a la tensión, ductilidad) es el mismo independientemente de la dirección que se mida dicha propiedad (Askeland, P Fulay, & Wendelin, 2011).

2.6 Propiedades mecánicas de los materiales

2.6.1 Resistencia a la tensión

La resistencia a la tensión es el esfuerzo tensional por unidad de área a la que es sometido el material para provocar la rotura, por fracturación extensional. Esta propiedad es una indicación al grado de fuerza de un material para resistir fuerzas tirantes. (Joel, 2011).

2.6.2 Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad o también conocido como módulo de Young es la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria, es un parámetro característico de las propiedades de cada material. Indica la relación entre los incrementos de tensión aplicados en el ensayo de tracción y los incrementos de deformación longitudinal unitaria. (Gonzalez A. P., 2014)

2.6.3 Ductilidad

La ductilidad es la habilidad de un material a deformarse de manera permanente sin romperse cuando se aplique una fuerza, existen dos medidas comunes de la ductilidad. El porcentaje de la elongación cuantifica la deformación plástica permanente en falla es decir, no se incluye la deformación elástica recuperada después de la fractura midiendo la distancia entre las marcas calibradas en el espécimen antes y después de la prueba.

3. ANTECEDENTES

En la naturaleza es común la presencia de muchos materiales compuestos. La madera, es el material compuesto de fibras de celulosa embebidas en una matriz de lignina, y los huesos de los mamíferos están formados por una matriz porosa mineral reforzada con fibras de colágeno (Segurado., 2004)

La primera fibra natural compuesta se utilizó en la parte de un avión en los años 1920 y 1930 para reducir su peso (PM, 1936-1984)

Los compuestos que se refuerzan con fibras largas tienen el refuerzo continuo en todo el material y este puede estar alineado en una o varias direcciones (isotrópico y anisotrópico, respectivamente) (Ishai., 2006).

Las fibras naturales se caracterizan por ser hidrofílicas y el contenido de agua presente en estas afecta de manera negativa sus propiedades mecánicas, (Mark C. Symington, 2009).

El uso de fibras de bambú en distintos estudios ha abierto nuevas fuentes en el diseño de piezas basados en la fabricación de compuestos con fibras de bambú han desarrollado biocompuestos sostenibles para la industria (ABDUL, 2015)

Los materiales compuestos a base de bambú son biodegradables, no generan gases tóxicos ni dejan residuo sólidos en combustión, su peso es aproximadamente un tercio de las fibras de vidrio, no producen abrasión en las máquinas de procesamiento, presentan un módulo muy alto de elasticidad y también soportan las temperaturas del procesamiento del polipropileno (AK, 2008)

Las fibras naturales se usan en muchas aplicaciones, incluyendo la industria automotriz y de la construcción (AK, 2008). Aunque los investigadores han intentado recientemente utilizar fibras naturales en la industria aeroespacial, es un reto lograr la resistencia al fuego cuando se trabaja con fibras naturales (D, 2013).

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El procedimiento experimental planteado en este proyecto se divide en cuatro fases:

Fase 1. Tratamiento de la fibra de bambú con NaOH.

Fase 2. Caracterización química de la fibra de bambú tratada por medio de la técnica de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).

Fase 3. Conformado del material compuesto.

Fase 4. Caracterización de las propiedades mecánicas a tensión del material compuesto.

Fase 1. Tratamiento de la fibra de bambú con NaOH

La fibra de bambú se desprende en tiras entre 1,5 y 0,5 mm de diámetro y entre 9 y 7,2 mm de longitud, antes del desprendimiento se dejó el bambú un día en remojo con agua para facilitar el desprendimiento de la fibra, luego se lavó con agua la fibra de bambú para quitar cualquier impureza como lo muestra la ilustración 3.



Ilustración 1 Primer lavado

Fuente. Este Estudio

La fibra de bambú fue tratada con soluciones de NaOH a las concentraciones de 0%, 6 %, y 12 % en peso. Estas concentraciones se estudiaron de manera exploratoria porque en la universidad no se había radicado otro estudio.

Se realizó los cálculos de la proporción de agua destilada y NaOH que se debe utilizar para cada uno de las concentraciones. La tabla 1 muestra el detalle de las concentraciones de NaOH utilizadas.

Tabla 1 Porcentajes de NaOH

% de agua destilada	% de NaOH	Agua destilada en ml	NaOH en g
100	0	400	0
94	6		25.53
88	12		54.54

Fuente. Este Estudio

Se realizó la preparación de las soluciones de NaOH y se sumergieron en estas las fibras por 40 minutos. Se observó que la solución de NaOH se tomó una coloración café en los tratamientos de 6% y 12% esto muestra que posiblemente la hemicelulosa y lignina presentadas en la fibra se están desprendiendo de la pared celular. La Ilustración 7 muestra la fibra sumergida en NaOH después de 40 minutos



Ilustración 2 Fibra vertida en la preparación NaOH
Fuente. Este Estudio

Posteriormente la fibra se lavó con agua destilada para neutralizar el pH ($\text{pH}=7.0$), como lo muestra la ilustración 8. Esta se neutralizó para evitar la degradación de la fibra.



Ilustración 3 Neutralización de pH

Fuente. Este Estudio

Luego se introdujo la fibra en un horno a 110°C por doce horas (Ilustración 9) para eliminar el agua superficial de la fibra y posteriormente se almacenó en un desecador para evitar que la humedad del ambiente sea adsorbida por la fibra como se muestra en la Ilustración 10.

Fase 2. Caracterización química de la fibra de bambú tratada por medio de la técnica de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier FTIR

La fibra de bambú tratada al 0%, 6% y 12% de NaOH, se caracterizó por medio de la técnica FTIR con el objetivo de corroborar si se eliminó o no la lignina y la hemicelulosa en el tratamiento de la fibra con NaOH, predominando la celulosa en las fibras tratadas (P, 2009), y la evidencia de la eliminación de compuestos químicos atribuidos a la presencia de estos componentes obtenidos superficialmente en la fibra luego de los tratamientos químicos con los agentes de acoplamiento

El equipo FTIR se muestra en la ilustración 11; su marca es Bruker, ¹, el tiempo de scan por muestra fue de 64 scans, el tiempo de background scan fue de 64 scans. El background se utiliza para limpiar el interior el programa de medidas anteriores; el rango del número de onda medido se encuentra entre 500 a 4000 cm^{-1}

Fase 3. Conformado del material compuesto de resina poliéster reforzado con fibra de bambú.

El material se conformó utilizando: Resina poliéster reforzado con fibra de bambú. El método de conformado del material fue por conformado a mano.

La resina manejada como matriz fue resina poliéster preacelerada, el catalizador utilizado fue met peróxido (metil etil cetona), el porcentaje del catalizador fue del 2 %. Se utilizó los 110 gramos de resina y 25 gramos de fibra de bambú para todos los tratamientos con NaOH; es decir una proporción 81,48% en peso de resina y 18,51 % en peso de fibra de bambú; esta proporción se eligió por ser la que la fibra se notaba físicamente impregnada.

Como último paso se cierra el molde con el dado para hacer presión y se espera 40 min para que polimerice y por último se desmolda, la polimerización completa dura 24 horas.

Fase4. Caracterización en cuanto a las propiedades mecánicas a tensión del material compuesto que presentó homogeneidad adecuada macroscópicamente

La caracterización de propiedades mecánicas a tensión se realizó en una máquina universal de ensayos Tinius Olsen. La norma utilizada para realizar el ensayo de tensión fue a ASTM D7205–06 Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars (método de ensayo estándar de propiedades tensiles de barras de material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibra); la velocidad de carga aplicada a la probeta fue de 10 mm/min; las dimensiones de la probetas estuvieron de acuerdo a la norma y fueron de 10mm de ancho y de largo 502mm. Ilustración 13. Por cada tratamiento que se realizó, se conformó 5 réplicas de acuerdo a ASTM D7205–06.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Espectroscopia infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)

En la ilustración 14 se muestra el espectro realizado mediante la técnica FTIR de la fibra tratada al 0%, 6% y 12%.

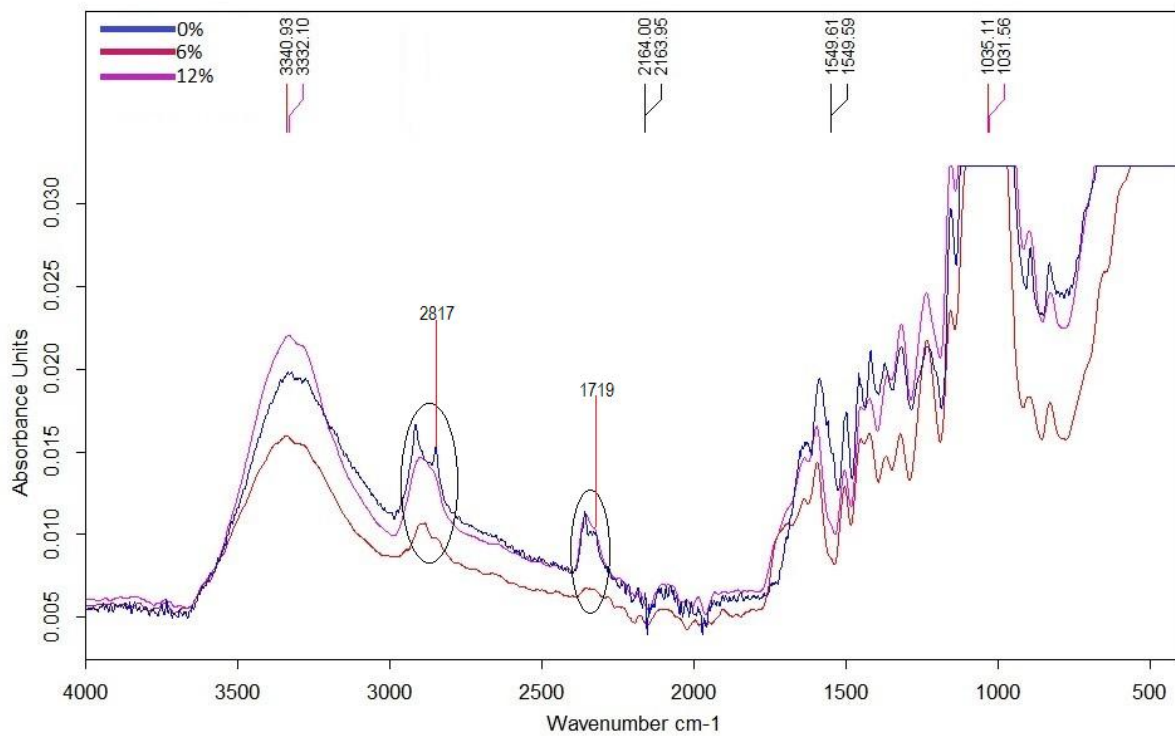


Ilustración 4 Espectro de las fibras de bambú. Método: FTIR

Fuente. Este Estudio

Al realizar el análisis de la técnica FTIR referente de las fibras de bambú con 0%, 6% y 12% de NaOH, en la Ilustración 14 se observa que el pico ubicado en 2817 cm^{-1} al aplicar el tratamiento con 6% de NaOH levemente desaparece y al aplicar el tratamiento con 12 % de NaOH desaparece en la fibra este pico que es atribuido a los enlaces CH_3 presentes en la lignina, también existió una leve disminución en el valor de absorbancia en el pico ubicado 1719 cm^{-1} atribuido al grupo carbonilo en la fibra, provenientes de la hemicelulosa, esto puede ser debido a que el tratamiento con NaOH removió a nivel superficial lignina y hemicelulosa presentes en la fibra (Muñoz, 2014) (A, 2006)

La lignina y la hemicelulosa son componentes amorfos y la celulosa es un componente cristalino, por esto en el tratamiento con NaOH en las fibras se busca la eliminación de los componentes amorfos, ya que los cristalinos mejoran las propiedades mecánicas en el material y la adherencia entre matriz y fibra, comportándose como si fueran un solo material. (Muñoz, 2014).

5.2 Ensayo de tensión

Esfuerzo Máximo

La tabla 2 muestra los datos de esfuerzo máximo de cada uno de los materiales compuestos a diferentes tratamientos e incluyendo la matriz polimérica.

Tratamiento	Promedio Resistencia a la tensión MPa	Desviación estándar Resistencia a la tensión	Coefficiente de variación
Resina	4,647778333	2,857802384	0,196956
0% NaOH bambú	8,780336667	0,711956628	8,108534501
6 % NaOH bambú	17,888075	3,600487052	20,12786201
12 % NaOH bambú	12,0973	1,432158588	11,83866307

Tabla 2 Tabla de esfuerzo de las diferentes probetas

Fuente. Este Estudio

En la ilustración 15 muestra la comparación del esfuerzo máximo de cada uno de los materiales a diferentes tratamientos e incluyendo la matriz polimérica.

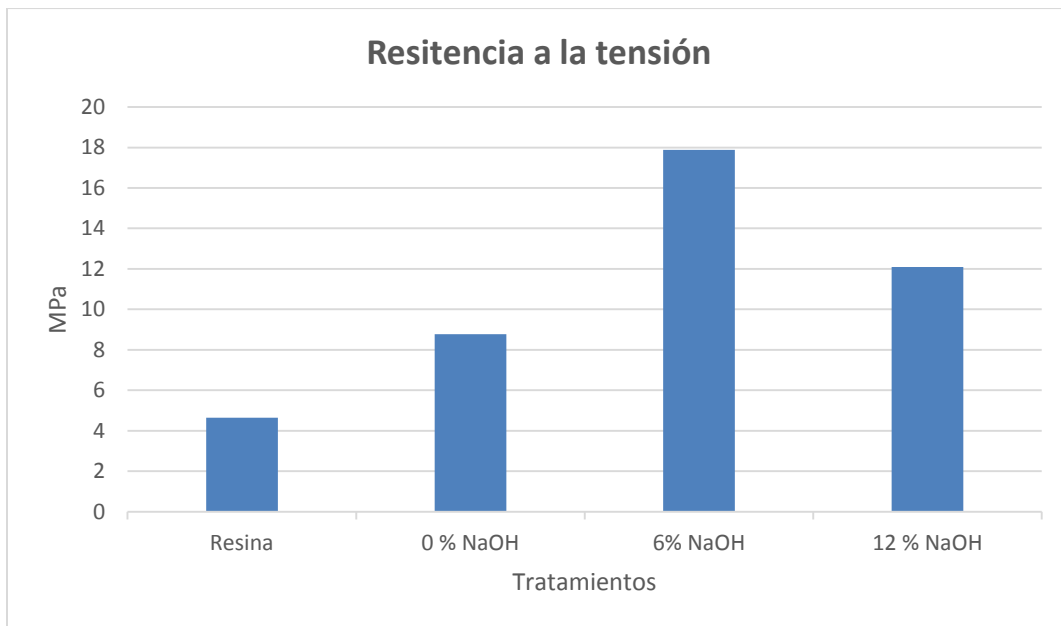


Ilustración 5 Gráfica de esfuerzo de las diferentes probetas

Fuente. Este estudio

De acuerdo a la ilustración 15 y la tabla 2, se observó que la resina poliéster tiene un esfuerzo máximo de 4,647MPa y al adicionar fibra de bambú sin tratamiento con NaOH, se evidencia que aumenta esta propiedad hasta 8,780MPa, el aumento experimentado en la resistencia mecánica del material con este último tratamiento llegó a ser de un 88,81 % respecto a la resina poliéster.

Si se compara el material compuesto que utilizó la fibra sin tratamiento y tratada con 6 % NaOH, en la ilustración 15 se puede observar que se obtiene una mayor resistencia mecánica a la

tensión en el material compuesto que utilizó la fibra tratada al 6 %, su aumento fue del 103.64 %.

Si compara el tratamiento del 12% de NaOH respecto al 6% de NaOH, se evidencia que disminuye esta propiedad, esto pudo ser atribuido a que aunque el tratamiento removió los componentes amorfos existió un deterioro de la fibra. A concentraciones superiores al 6 % como es el caso del 12 % experimenta una mayor disminución del esfuerzo máximo.

Las curvas esfuerzo deformación de todos los tratamientos, con sus respectivas replicas se encuentran en los anexos.

Ductilidad

En la tabla 3 se presentan los datos de ductilidad de cada uno de los tratamientos e incluyendo la matriz polimérica.

Tratamiento	Ductilidad Promedio % de elongación	Desviación estándar	Coficiente de variación
Resina	1,7	0,273861279	0.394600231
0% NaOH bambú	1,7	0,758287544	44.60514967
6 % NaOH bambú	2,2	0,758287544	34.46761565
12 % NaOH bambú	2,2	1,151086443	52.32211106

Tabla 3 Tabla de ductilidad de las diferentes probetas

Fuente. Este Estudio

En la ilustración 16 se muestra una comparación de la ductilidad de cada uno materiales a diferentes tratamientos e incluyendo la matriz polimérica

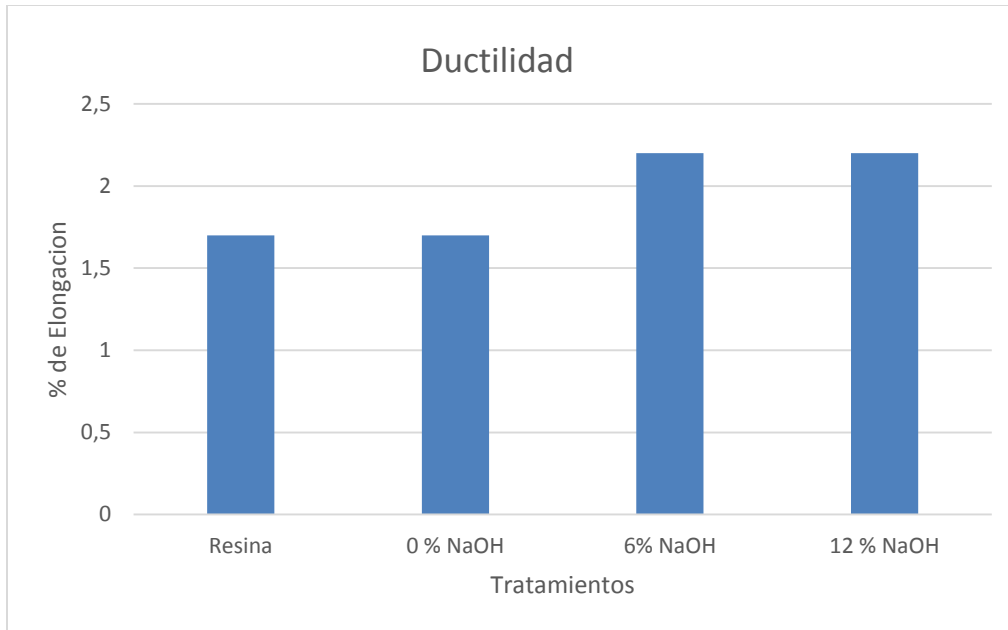


Ilustración 6 Gráfica de ductilidad de las diferentes probetas

Fuente. Este estudio

De acuerdo a la ilustración 16 y tabla 3, se puede observar que puede conseguirse con la fibra de bambú tratada al 6% y al 12% con NaOH un aumento en la ductilidad material respecto a la no tratada, esto puede deberse a la ausencia de lignina en las fibras tratadas, además existe una relación inversa entre el esfuerzo máximo y la ductilidad del material.

6. CONCLUSIONES

Analizando el material reforzado con fibra bambú su mejor propiedad mecánica de la matriz, es con una concentración de 6% de NaOH. Luego del 6% de concentración de NaOH se deteriora el material compuesto, esto se puede presentar porque la mayor concentración de NaOH deteriora la fibra.

La mejor ductilidad se presentó en la concentración al 6% de NaOH, esto puede ser logrado por la eliminación de lignina, esto se evidencia en la ilustración 14; análisis de la técnica FTIR.

Cuando se trató la fibra al 6% con NaOH, macroscópicamente no se vio que a la fibra le pasara nada, pero microscópicamente después del tratamiento con NaOH al 6% la fibra de bambú se puede deteriorar.

7. RECOMENDACIONES

Para incrementar aún más la resistencia mecánica se recomienda hacer un estudio al material reforzado con fibra bambú en concentración de NaOH del 0% al 6%.

Cuando se realice el proceso de conformado de resina poliéster y fibra de bambú se recomienda tener cuidado en homogenizar el material para evitar la porosidad, o partes sin resina.

Se recomienda utilizar otros métodos de conformado para sacar probetas y así tener datos uniformes ya que con el conformado a mano puede presentar dispersión en los datos.

Cuando se va conformar la fibra de bambú con NaOH, es algo muy dispendioso, porque en el momento de impregnar la fibra con NaOH; esta no es fácil ya que es rígida.

A la hora de desmoldar hay que ser precavidos para que la probeta salga en buenas condiciones y no se produzcan cizallamientos en la probeta.

8. BIBLIOGRAFÍA

(s.f.).

- Lu, T., Liu, S., Jiang, M., & Xu, X. (2014). Effects of modifications of bamboo cellulose fibers on the improved mechanical properties of cellulose reinforced poly(lactic acid) composite. *Composites: Part B*, 62, 191–197.
- A, C. C. (2006). Evaluacion de la influencia de diferentes condiciones de tratamientos superficieleas sobre el comportamiento de fibras de fique. medellin: tesis facultad ingenieria quimica, universidad pontifica bolivariana.
- A. Wechsler, M. Z. (2013). Macadamia (*Macadamia integrifolia*) shell and castor (*Rícinos communis*) oil based sustainable particleboard: A comparison of its properties with conventional wood based particleboard. *Materials and Design*, 117-123.
- ABDUL, H. (2015). The use of bamboo fibres as reinforcements in composite, *Biofiber Reinforcements in Composite*.
- ADMIN. (31 de enero de 2012). *tejido esturizado*. Obtenido de tejido esturizado: <https://tejidotexturizado.wordpress.com/>
- AK, A. G. (2008). Potencial de bambú en el desarrollo sostenible.
- Askeland, D. (2010). *The Science and Engineering of materials*. United States of Americ: CENGAGE Learning.
- Askeland, D. (2011). *Ciencia e Ingeniería de materiales*. Iztapalapa: Sergio R Cervantes Gonzalez.
- Askeland, D., P Fulay, P., & Wendelin, W. (2011). *Ciencia e Ingeniería de Materiales*. México D.F: Cengage learning.
- Asociación Naturland. (5 de Septiembre de 2014). *Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico: Macadamia*. Obtenido de http://www.naturland.de/fileadmin/MDb/documents/Publication/Espanol/macadamia_2005.pdf
- ASTM. (2011). Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars. *astm internacional*.
- atesadmin. (28 de 04 de 2016). *ESCOM aplicaciones tecnicas*. Obtenido de <http://www.atescom.es/fibra-vidrio-prpiedades-aplicaiones/>
- Bressier, M. G. (2012). *composite materials with bast fibres*.
- Callister, W. R. (2009). *Introduccion a la ciencia e ingenieria*. México.
- Censong Dong, I. J. (2012). Flexural properties of macadamia nutshell particle reinforced polyester composites. *compuestos reforzados con fibras*. (s.f.). Obtenido de http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/pfcm15_9_2.html
- D, E. (2013). Lino teje su camino en coches y aviones. *Eur Plast Noticias*.
- Districh, A. B. (2005). *Materiales Compuestos*. Barceona .

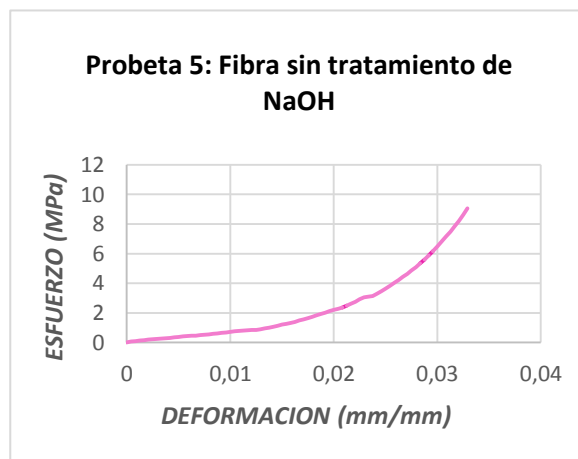
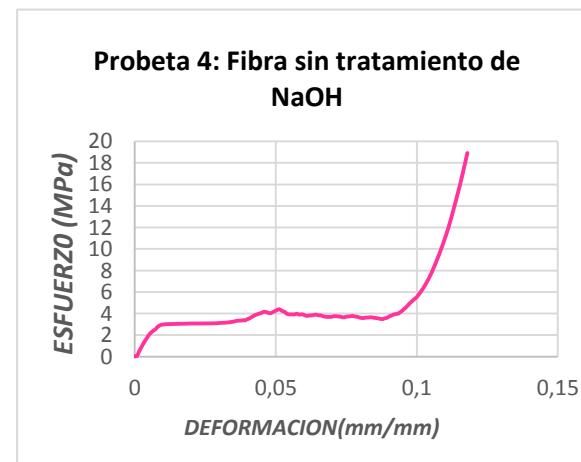
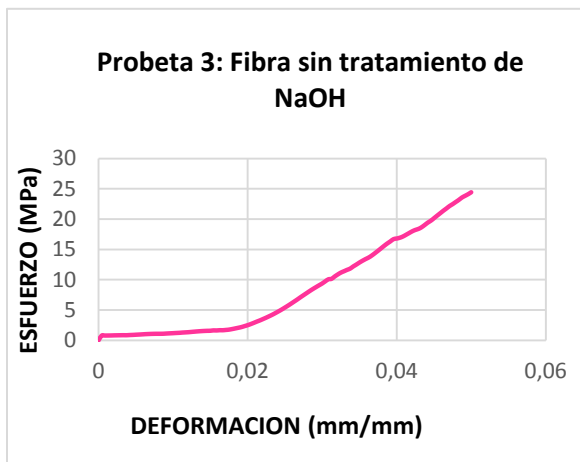
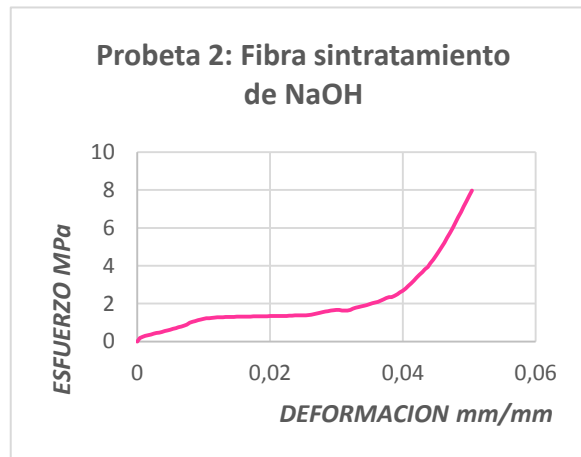
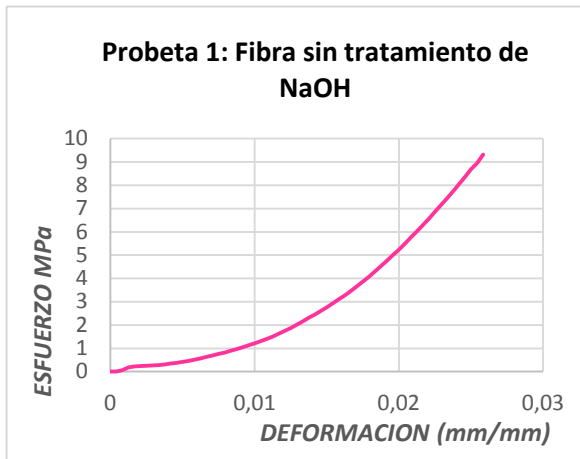
- Doiztua, S. (30 de 05 de 2013). *prezi*. Obtenido de <http://prezi.com/m/jt6euhgccbrh/fibra-de-carbono-propiedades-y-aplicaciones/>
- Domine, M. C.-S. (2013). *LIGNINA, ESTRUCTURA Y APLICACIONES: METODOS DE DESPOLIMERIZACION PARA LA OBTENCION DE DERIVADOS AROMATICOS DE INTERES INDUSTRIAL*. VALENCIA.
- encured. (2016). celulosa.
- Faris M. AL-Oqla, S. S. (2014). Natural fiber reinforced polymer composites in industrial.
- FERDINAND P. BEER, R. J. (s.f.). *MACÁNICA DE MATERIALES*. McGRAW - HILL.
- Georgios Koronis, A. S. (2013). Green composites: A review of adequate materials for automotive applications.
- Gil, A. (2012). *RESINAS DE POLIESTER*.
- Gomez, J. s. (2009). DISEÑO DE UN MATERIAL COMPUESTO CON FIBRA NATURAL PARA SUSTITUIR LA UTILIZACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO. Medellin: 1.
- Gonzalez, A. P. (24 de 06 de 2014). *mecapedia*. Obtenido de http://www.macapedia.uji.es/modulo_de_elasticidad.htm
- Gonzalez, k. (08 de 04 de 2013). *Blog spot*. Obtenido de http://fibrologia.blogspot.com.co/2013/04/kevlar_8.html?m=1
- Groover, m. p. (s.f.). *fundamentos de manufactura moderna*. Mc Graw hill.
- Groover, M. (s.f.). Proceso de formado para materiales compuestos con matriz polimerica . En M. Groover, *Fundamentos de la Manufactura Moderna*.
- H, A. K. (2012). Bamboo fibre.
- I. GUTIERREZ, R. Z. (2005). Influencia del Tratamiento con Vapor Sobre la Estructura y Comportamiento Físico-Mecánico de Fibras de Plátano. 16.
- international, A. (2011). Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars.
- Ishai., I. M. (2006). *Engineering mechanics of composite material*.
- Jiménez, A. M. (2013). fibra de platano. *un periodico*.
- JJA, J. (2000). Designing and building with bamboo The Netherlands Technical.
- Joel, A. L. (29 de 03 de 2011). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/mobile/doc/52158538/RESISTENCIA-A-LA-TENSION>
- K. , G., Silva , A., & Fontul, M. (2013). Green composites: A review of adequate materials for automotive applications. *Composites: Part B*, 120-127.
- Lo Tommy Y, C. H. (2004). The effect of fiber density on strength capacity.
- Londono Ximena, C. G. (2002). Characterization of the anatomy of Guaduaangustifolia (Poaceae: Bambusoideae) culms. J Am.
- Man Thi Hong Vu, H. P. (2004). Delignification of bam-`boo (bambusa procera acher): Part 1. kraft pulping and the subsequent oxygen delignification to pulp with a low kappa number. Industrial Crops and Products,.
- mariano. (11 de 07 de 2011). *Blogger*. Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/07/materiales-compuestos.html?m=1>

- Mariano. (lunes de julio de 2011). *Tecnología de plásticos*. Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/07/materiales-compuestos.html>
- Mario Fernando Muñoz, M. A. (2014). FIBRAS DE FIQUE UNA ALTERNATIVA PARA EL REFORZAMIENTO DE PLÁSTICOS. INFLUENCIA DE LA MODIFICACIÓN SUPERFICIAL.
- MARIO FERNANDO MUÑOZ-VELEZ, M. A.-S.-H. (2014). FIBRAS DE FIQUE UNA ALTERNATIVA PARA EL REFORZAMIENTO DE PLÁSTICOS. INFLUENCIA DE LA MODIFICACIÓN SUPERFICIAL. 12(2).
- MARIO FERNANDO MUÑOZ-VELEZ, M. A.-S.-H. (2014). FIBRAS DE FIQUE UNA ALTERNATIVA PARA EL REFORZAMIENTO DE PLÁSTICOS. INFLUENCIA DE LA MODIFICACIÓN SUPERFICIAL. 12(2).
- Mark C. Symington, W. M. (2009). Tensile testing of cellulose based natural fibers for structural composite applications. .
- Martín, P. P., Gonzalez Garcia, A., Lapena, N., Fita Bravo, S., Martinez Sanz, V., & Marti Ferrer, F. (14 de Junio de 2012). *Estados Unidos Patente nº US 2012/0148824 A1*.
- Muñoz Velez, M. F., Hidalgo Salaza, M. A., & Sulmina Hernandez, J. H. (2014). Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos. Influencia de la modificación superficial. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 60-70.
- Muñoz, m. f. (2014). Fibras de fique.
- Pinto, I. (15 de Junio de 2017). *ACADEMIA*. Obtenido de http://www.academia.edu/22315799/Materiales_compuestos_reforzados_con_particulas
- PM, M. (1936-1984). *Materiales compuestos de fibra . resina para estructuras primarias de aeronaves*.
- PRIETO, M. (22 de julio de 2009). *fibra de fique*. (veo verde) Obtenido de fibra de fique: <https://www.veoverde.com/2009/07/fibra-de-fique/>
- Prinsen, P. (2010). *Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis estructural de sus ligninas*. Sevilla.
- R. Bhoopathi, M. R. (2014). Fabrication and Property Evaluation of Banana-Hemp-Glass Fiber.
- Rodriguez, L. J. (23 de 08 de 2013). fibra de platano competira con las de vidrio y carbon. *unperiodico*, págs. 98-117.
- Ruchi , P., Lakhan Prasad, R., & Nasreen Ghazi , A. (2015). Utilization of NaOH modified *Desmostachya bipinnata* (Kush grass) leaves and *Bambusa arundinacea* (bamboo) leaves for Cd(II) removal from aqueous solution. *Journal of Environme Chemical Engineering*, 3, 593–602.
- SA, k. y. (Septiembre 26, 2007). *Sastry la red internacional del bambu y el roten* .
- Seema Jain RK, L. S. (1992). Comportamiento mecánico de bambú Propiedades mecánicas del bambú.
- Seema Jain RK, L. S. (1992). Comportamiento mecánico de bambú y bambú, Propiedades mecánicas del bambú.
- Segurado., J. (2004). *Micromecánica computacional de materiales compuestos reforzados*. Madrid.
- Sepúlveda, L. J. (2014). *Elaboración de un material biocompuesto a partir de la fibra de plátano*. manizales : Universidad Nacional de Colombia.

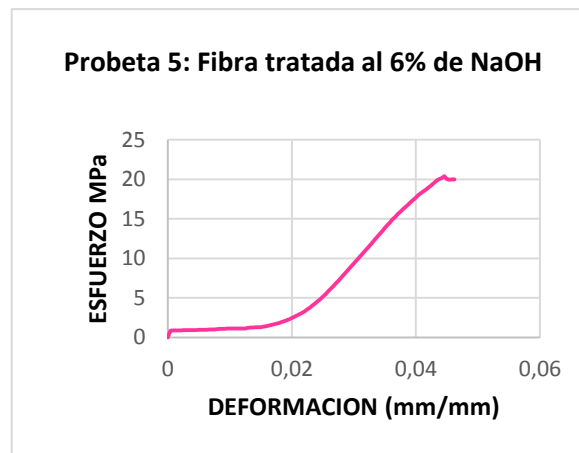
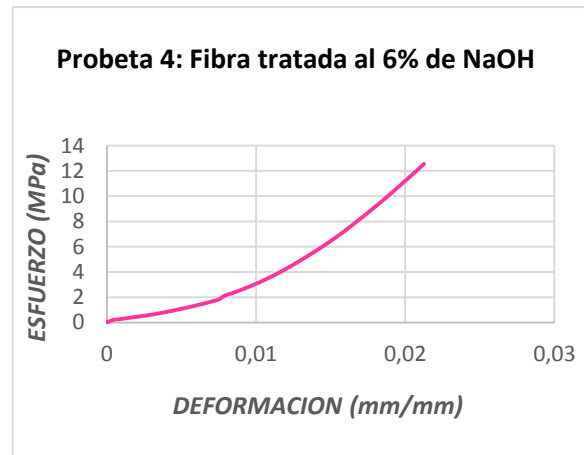
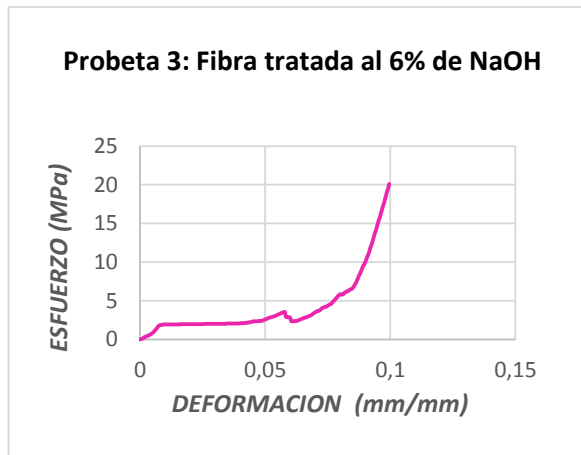
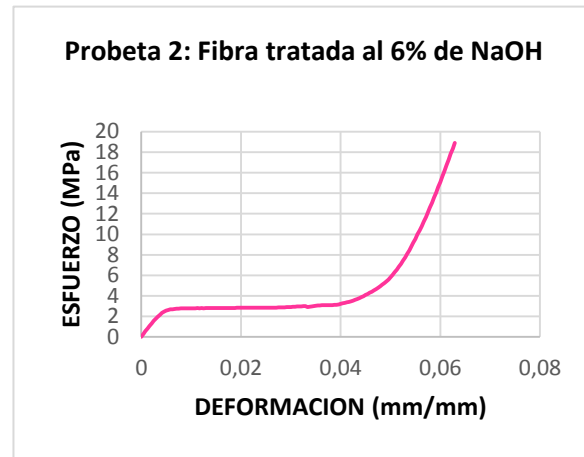
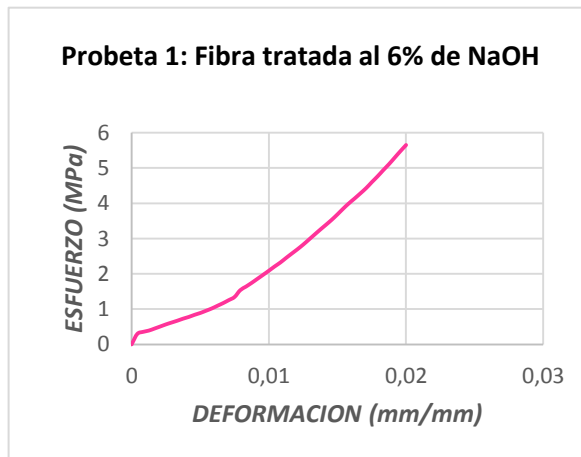
- SERNA, A. (13 de SEPTIEMBRE de 2013). *LA PATRIA.COM*. Obtenido de LA PATRIA.COM: <http://www.lapatria.com/descubriendo/tratan-la-fibra-de-platano-para-hacer-plasticos-43524>
- Sharifah, H., & A., S. (2005). Modified polyester resins for natural fibre composites. *Composites Science and Technology*, 525-535.
- Silviya Elanthikkal, U. G. (2010). microfibras de celulosa producidas a partir de desechos de plantas de platano: Aislamiento y caracterizacion.
- Tadeusz Majewski, A. B. (2013). Desarrollo y aplicaciones actuales de los plásticos reforzados por fibras naturales. *MEMORIAS DEL XIX CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM*.
- Teresa M. Piqué, A. V. (2012). USO DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA CON TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR) EN EL ESTUDIO DE LA HIDRATACIÓN DEL CEMENTO. *SciELO*, 3(2), 62-71.
- Tingju, L., Jiang, M., Jiang, Z., & Hui, D. (2013). Effect of surface modification of bamboo cellulose fibers on mechanical properties of cellulose/epoxy composites. *Composites: Part B*, 51, 28–34.
- UC, J. (1986). Desarrollo y prueba de bambú fibras de plástico reforzado.
- Ucha, F. (01 de 11 de 2015). *definicion ABC*. Obtenido de <https://www.definicionabc.com/general/fibras-sinteticas.php>
- Whychoossee, L. (10 de 12 de 2014). *prezi*. Obtenido de <https://prezi.com/m/-4cyvimxocra/fibras-naturales-de-oigen-vegetal/>
- Yentl Swolfs, L. G. (2014). Fibre hybridisation in polymer composites: A review. *elservier*.
- Zakikhani, P., Zahari, R., Sultan, M., & Majid, D. (2013). Extraction and preparation of bamboo fibre-reinforced composites. *Materials and design*, 63, 820-828.

Anexos

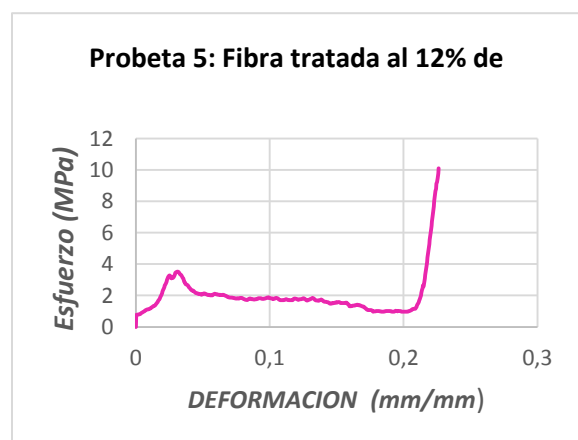
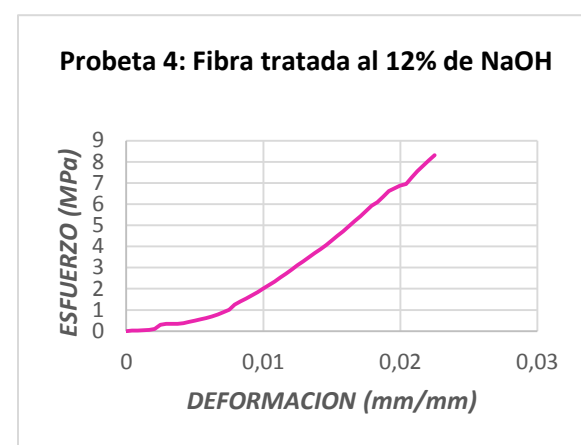
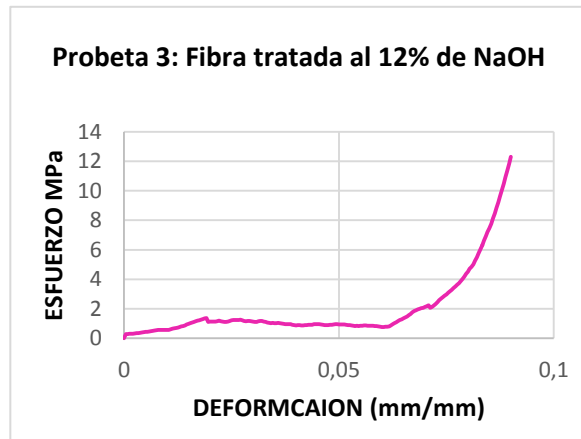
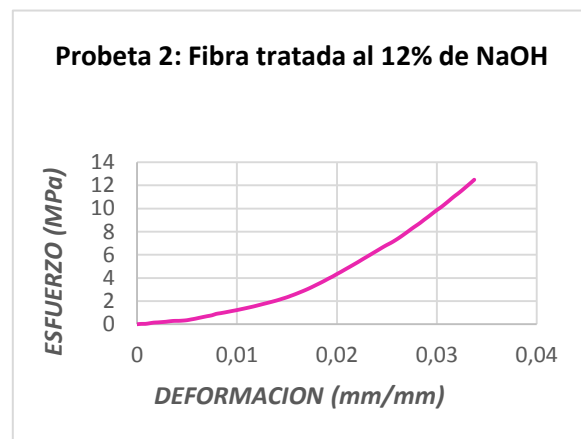
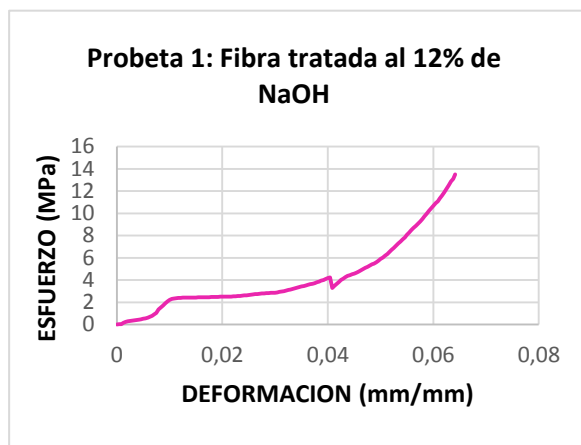
Anexo 1. Curvas esfuerzo deformación para el material compuesto de resina poliéster reforzado con fibra de bambú sin tratamiento de NaOH



Anexo 2. Curvas esfuerzo deformación para el material compuesto de resina poliéster reforzado con fibra de bambú con tratamiento de solución de 6% de NaOH



Anexo 3. Curvas esfuerzo deformación para el material compuesto de resina poliéster reforzado con fibra de bambú con tratamiento de solución de 12% de NaOH



Anexo 5. Curvas esfuerzo deformación para resina poliéster.

