



**FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL
COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON
FIBRA DE FIQUE Y CASCARA DE NUEZ DE MACADAMIA**

**María Camila Marín Villarraga
Edwin Arley Otálora Capador**

**Universidad ECCI
Facultad de Ingeniería
Tecnología en Mecánica Industrial
Bogotá-Colombia
2016**

**FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL
COMPUESTO DE MATRIZ POLIMERICA REFORZADO CON
FIBRA DE FIQUE Y CASCARA DE NUEZ DE MACADAMIA**

**María Camila Marín Villarraga
Edwin Arley Otálora Capador**

**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

2016

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de la Ingeniera Sandra Patricia Romero Nieto por brindarnos sus conocimientos y experiencia a la Ingeniera Mónica Ballen, Ingeniero Carlos Navarro y el Ingeniero Andrés Guevara por colaborarnos en la realización de este proyecto, a la Universidad ECCI por facilitarnos las herramientas necesarias para este proyecto y al Profesor Leonardo Pacheco por su apoyo en el análisis de (FTIR) espectroscopia Infrarroja por transformada de Fourier.

Agradecemos a Dios por darnos la fortaleza para seguir adelante a nuestros Padres por el apoyo que nos brindaron en este proceso para la realización de este proyecto a la Profe Sandra por confiar en nosotros y lograr el objetivo propuesto.

Gracias

Tabla de contenido

RESUMEN	9
JUSTIFICACIÓN	11
OBJETIVOS	12
CAPITULO 1. MARCO TEORICO	13
1.1 Historia y generalidades de los materiales compuestos	13
1.2 Materiales compuestos reforzados con fibras	13
1.3 Métodos de conformado en materiales compuestos reforzado con fibra	14
1.3.1 Conformado manual	14
1.3.2 Procesos de moldeo por inyección	15
1.3.3 Pultrusión	15
1.3.4 Vaciado centrifugado	15
1.4 Aplicaciones de los materiales compuestos en la industria	15
1.5 Fibras naturales	16
1.5.1 Fique	16
1.5.2 Macadamia	16
1.5.3 Celulosa, Lignina y Hemicelulosa	16
1.6 Resinas termoestables	18
1.6.1 Resina poliéster	18
1.7 Técnica de caracterización FTIR	19
2 CAPITULO 2. ANTECEDENTES	20
3 CAPITULO 3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	23
4 CAPITULO 4. RESULTADOS	31
4.1 Caracterización del material compuesto fabricado en la etapa 1	31
4.1.1 Resultados de la evaluación macroscópica	31
4.1.2 Ensayo estructural de infrarrojo por transformada de Fourier	32
4.1.3 Ensayo de tensión	33
5 CAPITULO 5 ANALISIS DE RESULTADOS	36
CONCLUSIONES	38
BIBLIOGRAFIA	40

TABLA DE FIGURAS

Figura 1 Material compuesto.....	13
Figura 2 Tipos de orientación de la fibra en materiales compuestos.....	14
Figura 3 Estructura química de lignina	17
Figura 4 Estructura química de la Hemicelulosa	17
Figura 5 Pared celular	18
Figura 6 longitud de onda.....	19
Figura 7 Extrusión	21
Figura 8 Mercedes-Benz clase s	21
Figura 9 Partes del material compuesto de Toyota Raum	22
Figura 10 Primer lavado	23
Figura 11 a y b Cascara de nuez de macadamia	24
Figura 12 Tamizado de la macadamia.....	24
Figura 13 Tratamiento de la fibra y del refuerzo.....	25
Figura 14 Peso de NaOH al 2%.....	26
Figura 15 Fibra y Refuerzo en el desecador	27
Figura 16 Ensayo de espectroscopia infrarroja en el fique	28
Figura 17 Pasos de conformado	29
Figura 18 Ensayo de tensión de fique	31
Figura 19 Macro estructura del material compuesto	32
Figura 20 Ensayo de espectrometría de las fibras	33
Figura 21 Grafica de esfuerzo de las diferentes probetas	34
Figura 22 Grafica de ductilidad de las diferentes probetas	35
Figura 23 Grafica de módulo de elasticidad de las diferentes probetas	35

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Porcentajes de NaOH	26
Tabla 2 propiedades de ensayo de tensión de los materiales compuestos	33

TABLA DE ANEXOS

Anexo 1 A, B, C, D y E Diagramas esfuerzo deformación	44
Anexo 2 A, B, C, D y E Diagramas esfuerzos-deformación	45
Anexo 3 A, B, C,D y E Diagrama esfuerzos-deformación	46
Anexo 4 A, B, C y D Diagramas esfuerzos-deformación.....	47
Anexo 5 A, B, C, D y E Diagramas esfuerzos-deformación	48
Anexo 6 A, B Ensayos de espectrometría	48

RESUMEN

En este proyecto se realizó un estudio exploratorio de la fabricación y caracterización de un material compuesto de resina poliéster reforzado con fibra de fique y cáscara de nuez de macadamia; se estudió el comportamiento del material en cuanto a propiedades mecánicas a tensión, la fibra de fique fue tratada químicamente con hidróxido de sodio (NaOH) para mejorar la adherencia a la matriz, ya que la fibra de fique es de origen natural y no posee un tratamiento para lograrla, como es el caso de las fibras sintéticas que poseen un recubrimiento que logra la inter fase entre matriz y refuerzo.

El tratamiento de la fibra de fique con la solución de NaOH, logra mejorar la adherencia de la fibra a la matriz, debido a que la solución de NaOH elimina la lignina y hemicelulosa presentes en la fibra, obteniendo como componente principal en la fibra, la celulosa que es un polímero natural, la adherencia se puede mejorar aún más con un tratamiento posterior, que consiste en adicionar un agente de acoplamiento que sirve de adhesivo entre la resina y la fibra.

En este proyecto se trató químicamente la superficie de la fibra con soluciones de NaOH a diferentes porcentajes, para eliminar la lignina y hemicelulosa y de esta manera, determinar la concentración de NaOH óptima. Como paso final se conformó el material compuesto de resina poliéster reforzado con fibra de fique y cáscara de nuez de Macadamia para luego caracterizarlo en cuanto a sus propiedades mecánicas de 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.

Palabras claves: material compuesto, fique, hidróxido de sodio, resina poliéster, lignina, hemicelulosa, fibra, celulosa, tensión.

SUMMARY

In this project we performed an exploratory study of the manufacture and characterization of a material compound of polyester resin reinforced with fique fiber and macadamia nut shell; the behavior of the material was studied for mechanical properties of tension, the fiber of fique was treated chemically with hydroxide of sodium (NaOH) to improve the adherence to the matrix, since the fiber of fique is from natural origin and does not possess a treatment to achieve it as it is the case of the synthetic fibers that possess a covering that achieves the interface among matrix and reinforcement.

The treatment of the fiber of fique with NaOH's solution, helps to improve the adherence of the fiber to the matrix due to the fact that NaOH's solution removes the lignin and hemicellulose presents in the fiber, obtaining as principal component in the fiber the cellulose that is a natural polymer. The adherence can be developed with an after treatment that consists on adding an agent of docking that works as an adhesive among the resin and the fiber.

In this project the surface of the fiber was treated chemically with NaOH's solutions on different percentages to remove the lignin and the hemicellulose therefore to determine the optimal concentration of NaOH for the solution. As a final step was consolidated the material compound of polyester resin reinforced with fique fiber and macadamia nut shell for being characterized along it's mechanical properties of tension according to ASTM D7205 - 06 Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars and to determine what treatment of the fiber with NaOH achieves the best mechanical properties of tension of the compound material.

Keywords: composite material, Hydroxide of sodium, Resin polyester, lignin, hemicellulose, cellulose, fiber

JUSTIFICACIÓN

En este estudio se analizó un material compuesto para verificar la opción futura de nuevas aplicaciones en diferentes sectores industriales como el automotriz, el aeronáutico y el naval buscan fabricar sus componentes en materiales livianos para disminuir el consumo de combustible. [1]

Los materiales compuestos logran tener una combinación adecuada de resistencia y baja densidad. En los últimos años, se ha intentado reducir el uso de fibras sintéticas (de vidrio y de carbono) por fibras naturales, ya que estas últimas son más económicas, livianas y amigables con el medio ambiente. [1]

Con el uso de materiales compuestos reforzados con fibras naturales se logra aligerar considerablemente la carrocería de autos, mediante el aprovechamiento de la menor densidad y menor costo de fibras naturales que proporciona el medio ambiente, por esto marcas como Mercedes-Benz, Toyota y Audi han utilizado estos materiales en los paneles internos de sus autos.

Mercedes-Benz utiliza una matriz epóxica con la adición de yute en los paneles de las puertas en sus vehículos de la clase E en el año 1996. [1] Otra aplicación de materiales compuestos con fibras naturales apareció en el mercado en 2000, cuando se puso en marcha el auto Audi A2 gama media: el revestimiento de las puertas paneles fueron hechos de poliuretano reforzado con fibras mixtas de lino y sisal.

Toyota a su vez pretende ser la marca líder en adopción de materiales ecológicos como el 100% de los bioplásticos. La fibra natural compuesto reforzado con fibras naturales se utiliza en el RAUM modelo 2003 en la cubierta del neumático de repuesto [1].

Este estudio también busca fabricar materiales sostenibles ambientalmente, ya que las fibras naturales gastan menos energía para su procesamiento que las sintéticas.

OBJETIVOS

Objetivo General

Fabricar y caracterizar en cuanto a las propiedades mecánicas a la tensión un material compuesto de resina reforzado con fibra de fique y cascara de nuez de Macadamia.

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 fabricado en cuanto a su estructura química por medio de un ensayo instrumental
- Determinar el mejor tratamiento de la fibra de fique y la cáscara de nuez de macadamia que logran la mayor adherencia y propiedades mecánicas a la tensión del material compuesto

CAPITULO 1. MARCO TEORICO

1.1 Historia y generalidades de los materiales compuestos

Un material compuesto es la unión de dos o más componentes que pueden ser de origen natural o sintético, cada uno con propiedades diferentes, que al combinarse mejoran las propiedades finales del material compuesto; están formados por una fase continua llamada matriz y una discontinua llamada refuerzo, como lo muestra la figura 1. [2]

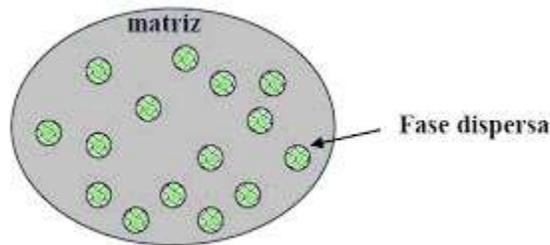


Figura 1 Material compuesto
Fuente. [2]

Los materiales compuestos se han desarrollado para aplicaciones en diferentes industrias como la automotriz, la naval, la aeronáutica y la estructural; porque pueden presentar la combinación de altas propiedades mecánicas y baja densidad [3]

1.2 Materiales compuestos reforzados con fibras

Los materiales compuestos reforzados con fibras son especiales para diseñar componentes que en servicio necesiten incrementar sus propiedades mecánicas porque al no estar discontinuo el refuerzo, la fuerza ejercida por el material se transmite de la matriz a la fibra [3].

La fibra puede estar en diferentes presentaciones como: Unidireccional, tejida y de diferentes tamaños la orientación y forma de las fibras, es una variable que determina las propiedades mecánicas y el carácter isotrópico o anisotrópico [3]. La figura 2 muestra los tipos de orientación de la fibra en materiales compuestos.

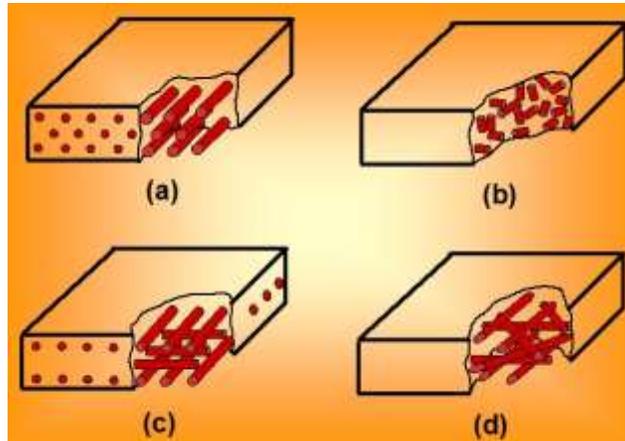


Figura 2 Tipos de orientación de la fibra en materiales compuestos
Fuente. [4]

- a) Fibras continuas unidireccionales.
- b) Fibras descontinuas orientadas al azar.
- c) Fibras ortogonales o tejidos.
- d) Fibras en capas múltiples.

Cuando en un material se evalúa una propiedad a diferentes direcciones y su valor es el mismo independientemente de la dirección que se mida, se dice que el material es Isotropico, si el valor de la propiedad cambia con la dirección el material es anisotropico [3]

Desde la antigüedad se han utilizado materiales compuestos, como es el caso del adobe que consistía en paga y barro. En la actualidad existen varios ejemplos de materiales compuestos como el concreto reforzado con acero, los discos de corte, las herramientas de corte, los vidrios de seguridad, las pastillas de freno, etc. [4]

1.3 Métodos de conformado en materiales compuestos reforzado con fibra

1.3.1 Conformado manual

El conformado manual es el más antiguo y primer método utilizado para conformar materiales compuestos, es el método de mayor uso cuando se utilizan fibras continuas.

El método consiste en fabricar una estructura que se compone por la fibra y la resina en un molde abierto capa sobre capa, estos moldes abiertos pueden ser fabricados en madera, acero y plástico teniendo en cuenta que el material compuesto no se adhiera al molde. [5]

1.3.2 Procesos de moldeo por inyección

El moldeo por inyección es bajo en costos y producción. Este método se limita para ser usado en conformado de materiales compuestos reforzados por fibras cortas ya que si son continuas el tornillo de la máquina de inyección reduce la longitud de la fibra y se puede presentar dificultad en el llenado del molde. [5]

1.3.3 Pultrusión

Este método de conformado se sumerge la fibra en resina. Ya empapada de resina se elabora una estructura luego de curada la matriz el material queda reforzado con fibras que son continuas en toda su longitud. Se lleva a un corte donde se deja grandes secciones rectas. [5]

1.3.4 Vaciado centrífugado

Este método es ideal para formas cilíndricas ya que consta de una combinación de resina líquida y fibra en pequeños trozos esto se vierte en un molde cilíndrico que gira y lleva los dos elementos (matriz y refuerzo) a la paredes del molde donde después se cura y da la forma del molde. [5]

1.4 Aplicaciones de los materiales compuestos en la industria

Los materiales compuestos se han implementado por sus propiedades adecuadas para muchas aplicaciones, ya que son la combinación de varios materiales que los materiales convencionales no tienen, combinaciones como aumento de las propiedades mecánicas, baja densidad y bajo costo se pueden lograr.

Los materiales compuestos se han evidenciado en la industria automovilística, naval, espacial, electrónica y aeronáutica. [2] Estos materiales han venido reemplazando materiales convencionales como el acero por materiales compuestos reforzados con fibra de vidrio y de carbono. [6]

En la actualidad se han estudiado nuevos materiales compuestos, que remplazan el refuerzo de fibras sintéticas por fibras naturales, como la fibra de fique, la de plátano, yute, para reducir la contaminación ambiental y al mismo tiempo obtener buenas propiedades mecánicas [7]

1.5 Fibras naturales

Las fibras naturales se dividen en 3 tipos: las fibras animales y fibras vegetal estas son las más importantes de las fibras naturales ya que las fibras minerales son de menos relevancia. Una de las diferencias de estas tres fibras naturales es que las vegetales son biodegradables mientras las de animal y mineral no por eso se estudia las fibras vegetales por las mejores para el medio ambiente.

1.5.1 Fique

El fique es una fibra que se emplea para la elaboración de costales o cuerdas que se pueden emplear el área de la agricultura. Se ha estudiado esta fibra para poder incorporarlas en el campo de la industria. Efectivamente los estudios realizados evidencian que esta fibra al tratarlas químicamente en su superficie, mejora sus propiedades mecánicas.

El fique es biodegradable, por lo tanto es una fibra que no contamina el medio ambiente [8].

1.5.2 Macadamia

La macadamia es una planta cuyo fruto es una nuez, se originó en Austria, se cultiva en ambientes de selva subtropical. Se inició su comercialización en los años 30 en Hawái [9] , se ha estudiado su cáscara en aplicaciones de biocombustibles. [10]

1.5.3 Celulosa, Lignina y Hemicelulosa

En las plantas se encuentran estos tres componentes que conforman la pared celular, las cuales le proporcionan dureza y resistencia, al mismo tiempo la capacidad de absorción de agua.

La lignina es la más abundante en las plantas, esta se forma en la reacción de fotosíntesis. [11]. La hemicelulosa se caracteriza por estar en la pared celular y absorbe humedad el ambiente. [12]. La celulosa es un polímero natural, tiene una

estructura lineal y fibrosa. La figura 3 muestra la celusa, hemicelulosa y lignina en la planta [13]

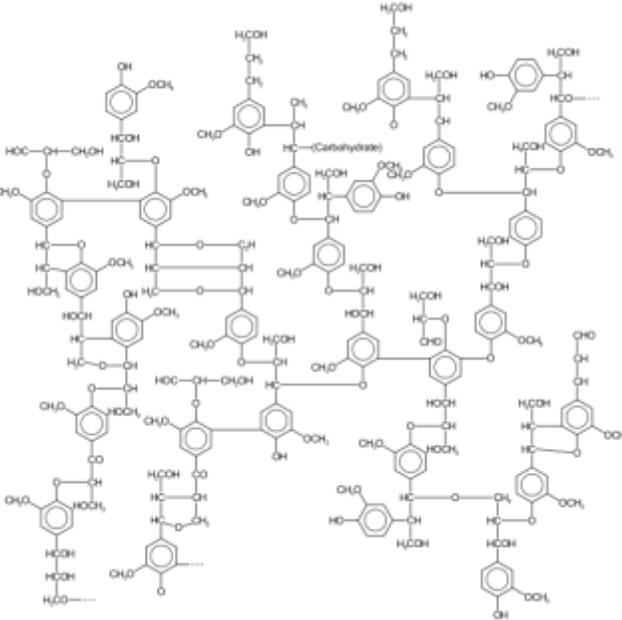


Figura 3 Estructura química de lignina

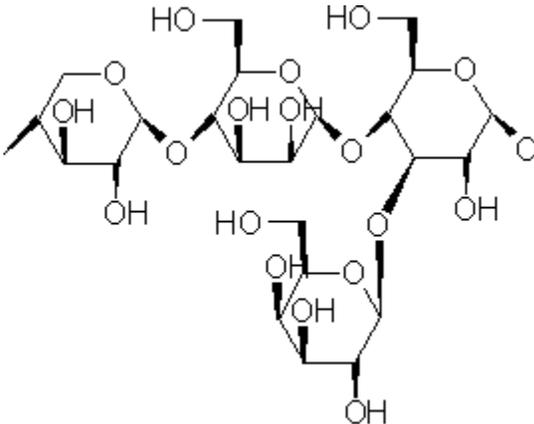


Figura 4 Estructura química de la Hemicelulosa

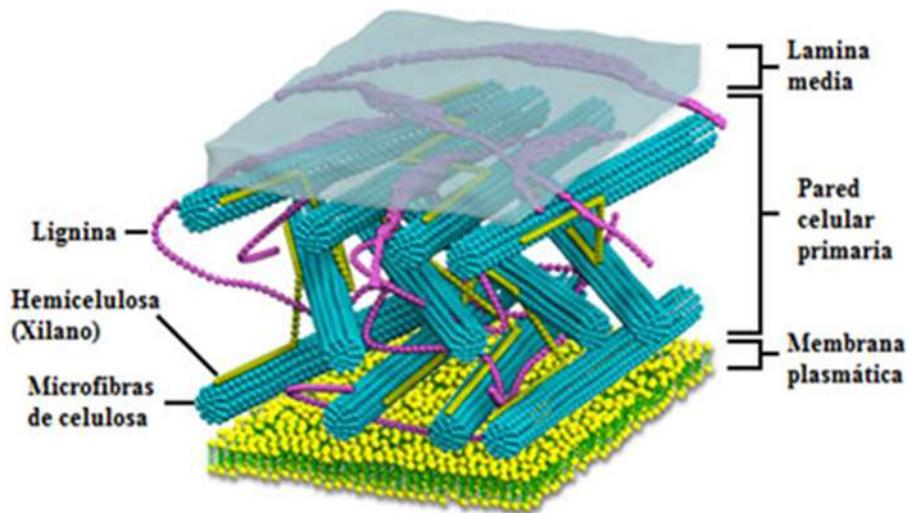


Figura 5 Pared celular
Fuente [13]

1.6 Resinas termoestables

Los termoestables es una clase de polímero característico por su comportamiento mecánico y térmico ya que tienen fuertes enlaces covalentes entre las cadenas. Es difícil reprocessarlos después de ocurrir la formación de enlaces covalentes, son más resistentes y más frágiles que los termoplásticos. Ejemplo de estos materiales son: Las resinas epóxica, poliéster, acrílicas y los adhesivos [3]

1.6.1 Resina poliéster

Las resinas poliéster, pertenece a los materiales termoestables, son líquidas y pueden curar a temperatura ambiente por medio de un catalizador y un a celador. Comercialmente existen las resinas pre-acelerada y acelerada, usualmente se utiliza como acelerante el octoato de cobalto al 3 % de concentración en monómero de estireno al 3 % y el catalizador es Peróxido de Metil-Etil-Cetona al 3 % [14]

El proceso que ocurre en transformación de líquido a sólido se llama curado, pero antes de pasar a sólido primero toma un estado viscoso donde en ese momento se puede manejar o dar forma antes del curado total. [14]

1.7 Técnica de caracterización FTIR

Esta técnica es muy utilizada para identificar que compuestos químicos están presentes en una muestra, su funcionalidad es proporcionar un espectro que analice la superficie de la muestra, como compuestos químicos, las muestras pueden ser orgánicas, inorgánicas o biológicas.

El espectro infrarrojo funciona con una muestra que es colocada en una celda infrarroja, donde se somete a una luz infrarroja, la cual hace un barrido de la longitud de la onda. [15]. La figura 4 muestra un espectro obtenido por la técnica FTIR

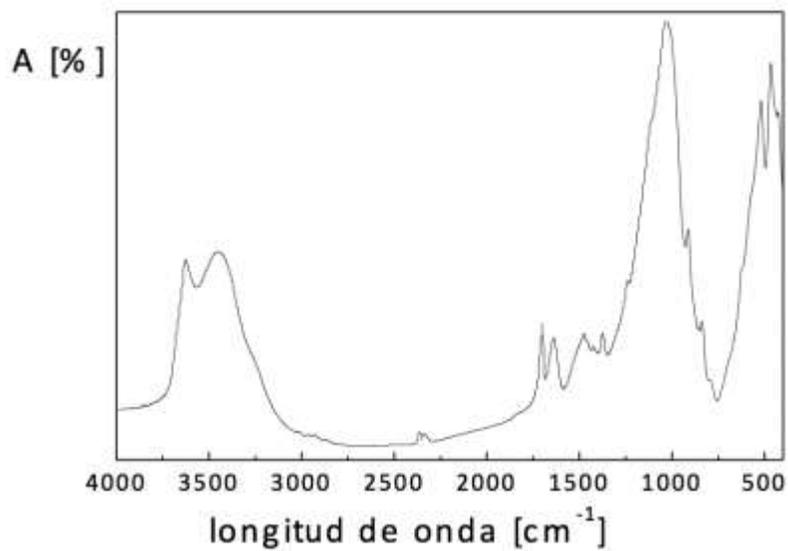


Figura 6 longitud de onda

Fuente [15]

2 CAPITULO 2. ANTECEDENTES

Las fibras utilizadas como refuerzo en materiales compuestos pueden ser naturales o sintéticas las fibras sintéticas, las naturales poseen un tratamiento químico para que se logre una adherencia con la matriz [16]

Los materiales compuestos reforzados con fibras naturales han sido utilizado utilizados ampliamente para aplicaciones en paneles de autos, tal es el caso de Mercedes-Benz, Toyota y Audi, utilizando fibra de yute, sisal y lino. Mercedes - Benz utiliza una matriz epoxi con la adición de yute en los paneles de las puertas en sus vehículos de la clase E; Audi con su vehículo A2 gama media, utilizó para los paneles de las puertas poliuretano reforzado con una mezcla de lino y sisal [1].

Las fibras naturales están compuestas por celulosa, lignina, hemicelulosa y pectinas, el tratamiento químico de la fibra consiste en eliminar los componentes diferentes de celulosa en la superficie de la fibra como es el caso de la lignina, hemicelulosa y pectinas esta modificación se realiza con una solución de hidróxido de sodio NaOH [17, 18, 19].

El Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Curtin ha estudió las propiedades a flexión de la cascara de nuez de macadamia como refuerzo de resina poliéster [10].

Estudios de las propiedades mecánicas a flexión e impacto de materiales compuestos reforzados con fibras de plátano, cáñamo y vidrio se han realizado [20]

El tratamiento de la solución alcalina con NaOH, se ha realizado para solubilizar las pectinas y las hemicelulosas en fibras de plátano. [21]

Los materiales compuestos reforzados con fibras naturales ofrecen varias innovaciones debido a sus propiedades estos son aplicados con método de extrusión que sirve para la producción de plásticos reforzados con fibras naturales, las fibras que más usan son la de yute, kenaf y sisal. Aun que otra muy utilizada es la de moldeo por inyección la cual es empleada para hacer perfiles huecos. [22]

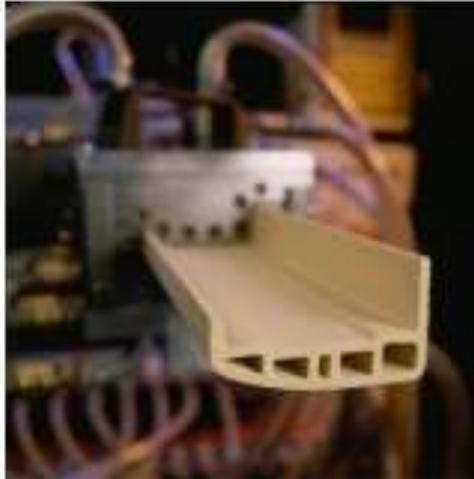


Figura 7 Extrusión
Fuente [22]

En la industria automotriz se han reforzado la resina de propileno con fibras vegetales, por eso algunos fabricantes han empleado partes en sus vehículos. Uno de estos fabricantes es Ford que usa plásticos reforzados por 20% de paja de trigo y espuma de soya, las partes que implementaron de este material fueron: charola de pisos, paneles de puerta y tablero. [22]



Figura 8 Mercedes-Benz clase s
[22]

Algunas empresas muy importantes emplean esta combinación de poliéster con fibras naturales. Por ejemplo Toyota emplea esta innovación en uno de sus modelos (Raum, Brevis, Celsior), en general en la cubierta de sus llantas, en los paneles de las puertas y el respaldo de los asientos. [22]

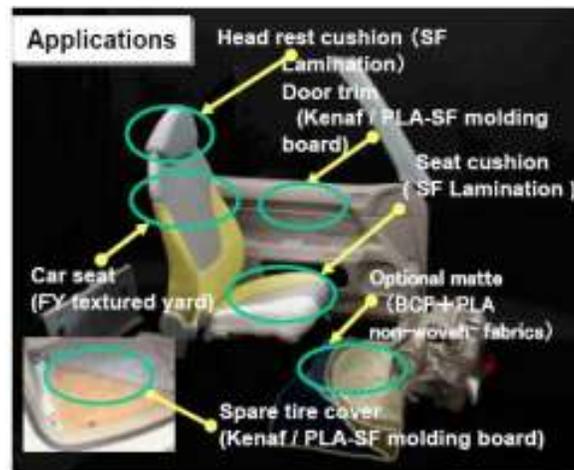


Figura 9 Partes del material compuesto de Toyota Raum [22]

La aplicación de los compuestos se realizó aproximadamente desde los años 50, gracias a este método se evita la contaminación debido a la reutilización de partes. Por esta razón las fibras naturales son más aplicadas en Europa. [22]

Las fibras naturales cada vez toman más importancia por su baja densidad ya que estos materiales se buscan por ser livianos y al mismo tiempo tener una rigidez, 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 para obtener un efecto beneficioso en las propiedades mecánicas. [23]

3 CAPITULO 3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El procedimiento experimental planteado en este proyecto se divide en cinco etapas:

Etapa 1. Tratamiento de la fibra de fique y la cáscara de nuez de macadamia con NaOH

Etapa 2. Caracterización química de la fibra de fique y la cáscara de nuez de macadamia tratadas por medio de la técnica FTIR

Etapa 3. Conformado del material compuesto

- a. Resina poliéster reforzado con fibra de fique y cáscara de nuez de macadamia;
- b. Resina poliéster reforzado con fibra de fique
- c. Resina poliéster reforzado con cáscara de nuez de macadamia

Etapa 4. Evaluación macroscópica de la homogeneidad del material compuesto

Etapa 5. Caracterización en cuanto a las propiedades mecánicas a tensión del material compuesto que presentó homogeneidad adecuada macroscópicamente

Etapa 1. Tratamiento de la fibra de fique y la cáscara de nuez de macadamia con NaOH

Se lavó la fibra de fique y la cáscara de nuez de macadamia para quitar cualquier impureza como lo muestra la figura 5



Figura 10 Primer lavado

Fuente. El Autor

La fibra de fique fue tratada con una solución de NaOH a las concentraciones de 3%, 5 %, 7 % y 10 %, la cascara de nuez de macadamia fue triturada como lo muestra la figura 6 (a y b)



a. Macadamia sin triturar



b. macadamia triturada

Figura 11 a y b Cascara de nuez de macadamia

La cáscara de la nuez de macadamia se tamizó con una serie de tamices de ASTM E11 utilizando un tamaño de partícula en el retenido del tamiz 10 que se encuentra entre (2000 a 500 micras) de la nuez como lo muestra la figura 7.



Figura 12 Tamizado de la macadamia
Fuente. El Autor

Tratamiento de la fibra y la cáscara de la nuez de macadamia

La fibra de fique y la cáscara de nuez de macadamia fueron tratada con hidróxido de sodio a las concentraciones que se relacionan a continuación:

Fibra de fique a concentraciones de 3 %, 5 %, 10% de NaOH, respectivamente.
Cáscara de nuez de macadamia a una concentración del 15 % de NaOH.

La figura 8 a muestra la preparación de las soluciones de NaOH. La fibra se vierte en la solución (figura 8b) y se deja que reaccione 20 min para que la lignina y hemicelulosa se desprendan de la fibra figuras (8c y 8d), y que son encargadas de retener el agua [24]



a. Mezclado de la solución



b. Vertimiento de la solución a la fibra



c. Fibra de fique tratada con NaOH



d. Cáscara de nuez de Macadamia con NaOH

Figura 13 Tratamiento de la fibra y del refuerzo

Fuente. El Autor

Pasados los 20 minutos se observó que la fibra con la solución de NaOH se volvió café esto muestra física que posiblemente la hemicelulosa y lignina presentadas en la fibra se están desprendiendo de la pared celular.

La Tabla 1 muestra las proporciones de agua destilada y NaOH utilizadas para obtener las soluciones de NaOH.

Tabla 1 Porcentajes de NaOH

% de agua destilada	Agua destilada en g	% de NaOH	NaOH en g
98	113,9	2	2,32
97		3	3,52
95		5	5,99
90		10	12,66
85		15	20,10

Las cantidades de NaOH se pesaron utilizando la balanza analítica que se muestra en la figura 9



Figura 14 Peso de NaOH al 2%
Fuente. El Autor

Luego de tratada químicamente la fibra, se lavo (figura 10 a) para neutralizar el pH (pH=7.0) posteriormente se introdujo la fibra en un horno a 110°C por ocho para eliminar el agua superficial de la fibra, y se almacenó finalmente en un desecador (figura 10 b y c)



a. En jugado de la fibra



b. Fibras en el desecador



c. Refuerzo en el desecador

Figura 15 Fibra y Refuerzo en el desecador

Fuente. El Autor

Etapa 2. Caracterización química de la fibra de fique y la cascara de nuez de macadamia tratadas por medio de la técnica de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier FTIR

Las fibras y nuez tratadas se caracterizaron por medio de la técnica FTIR con el objetivo de visualizar la eliminación de lignina y hemicelulosa de la fibra y la nuez

El equipo FTIR (figura 11); era de marca Bruker, la resolución fue de 4cm^{-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 número de onda se encuentra entre 400 a 4000 cm^{-1} en el eje de las x.



Figura 16 Ensayo de espectroscopia infrarroja en el fique
Fuente. El Autor

Etapa 3. Conformado del material compuesto de resina poliéster reforzado con fibra de fique y nuez de macadamia

El material se conformó utilizando las siguientes combinaciones

- a. Resina poliéster reforzado con fibra de fique y nuez de macadamia;
- b. Resina poliéster reforzado con fibra de fique
- c. Resina poliéster reforzado con nuez de macadamia

La fibra conformada se eligió de acuerdo a los resultados obtenidos por la técnica FTIR (el detalle se visualiza en el aparte resultados). El método de conformado fue conformado del material compuesto fue conformado a mano.

La resina utiliza como matriz fue resina poliéster pre acelerada, el catalizador utilizado fue met peróxido (metil etil cetona), el porcentaje del catalizador fue del 2 % Se utilizó los 96 gramos de resina y 6 gramos de fibra de fique para todos los tratamientos; es decir una proporción 94 % en peso de resina y 6 % en peso de fibra de fique; esta proporción se escogió por ser la que la fibra se notaba físicamente impregnada, Como último paso se cierra el molde con el macho para hacer presión y se espera 20min para que polimerice y por último se desmolda, la polimerización completa dura 24 horas. La figura 12 muestra el proceso de conformado.



c. Pesó de la resina



b. Pesó del fique



a. Pesó de cáscara de
nuez de macadamia



f. Fibra impregnada



e. Cáscara de nuez
impregnada



d. Mezcla
refuerzo matriz



g. Curado

Figura 17 Pasos de conformado

Fuente. El Autor

Etapas 4. Evaluación macroscópica de la homogeneidad del material compuesto

La evaluación macroscópica se realizó por medio de estereoscopia a 8 y 10 aumentos; esto se realizó para observar la estructura macroscópica y discontinuidades del material compuesto utilizando las diferentes combinaciones de refuerzo.

Etapas 5. Caracterización en cuanto a las propiedades mecánicas a tensión del material compuesto que presentó homogeneidad adecuada macroscópicamente

La caracterización mecánica se realizó en cuanto a las propiedades de tensión del en una máquina de 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 de acuerdo a las dimensiones de la probetas de ensayo son de 10mm de 10mm de ancho y de largo 502mm.

Cada tratamiento que se realizó se hizo con 5 réplicas de acuerdo a ASTM D7205- 06, se determinó, las propiedades de Las propiedades mecánicas que se midieron fue resistencia a la tensión y esfuerzo máximo, la ductilidad, módulo de elasticidad y el promedio y desviación estándar de estas. La figura 13 muestra una probeta ensayada a tensión



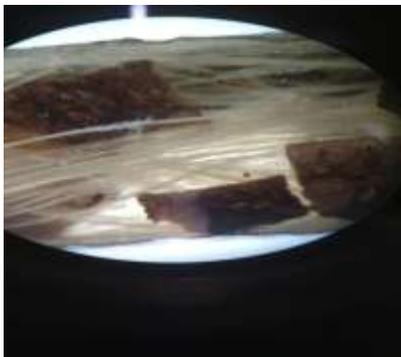
Figura 18 Ensayo de tensión de fique
Fuente. El Autor

4 CAPITULO 4. RESULTADOS

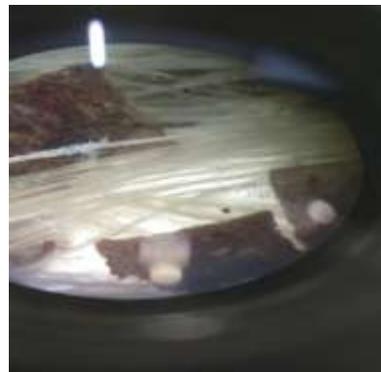
4.1 Caracterización del material compuesto fabricado en la etapa 1

4.1.1 Resultados de la evaluación macroscópica

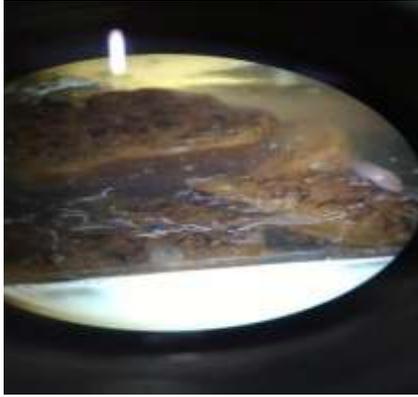
En el conformado del material compuesto reforzado con macadamia y fique, de acuerdo a la figura 14, se evidencia que la nuez de macadamia actúa como una discontinuidad (figura 14 a y b) , este comportamiento no se observó con el material compuesto reforzado con sólo fique (figura 14 d) donde el refuerzo se observa continuo, la figura 14 c muestra el material compuesto reforzado con sólo cáscara de nuez de macadamia y tiene apariencia uniforme



a. Refuerzo con macadamia y fique 8 X



b. Refuerzo con macadamia y fique 10 X



c. Refuerzo con macadamia 10 X



d Refuerzo con fique 10 X

Figura 19 Macro estructura del material compuesto

Fuente. EL Autor

4.1.2 Ensayo estructural de infrarrojo por transformada de Fourier

Según los espectros FTIR para las fibras de fique sin tratamiento y previamente tratadas con NaOH. Al comparar los espectros de los dos tipos de fibras (fique y nuez de macadamia) se pudo apreciar que al aplicar tratamiento en la fibra de fique con NaOH a las concentraciones (3%, 5% 10%) desaparecen los picos 2865 y 1370 cm^{-1} [25], presentes en la lignina, lo mismo sucede con el pico que esta entre 1732 cm^{-1} presente de la hemicelulosa; con esto se puede demostrar que hubo una remoción de estos componentes en la fibras de fique con tratamiento de NaOH, la fibra que no tenía tratamiento con NaOH (0% NaOH) tiene presente los picos mencionados anteriormente. La figura 15 muestra los espectros de las fibras y la cáscara de la nuez de macadamia.

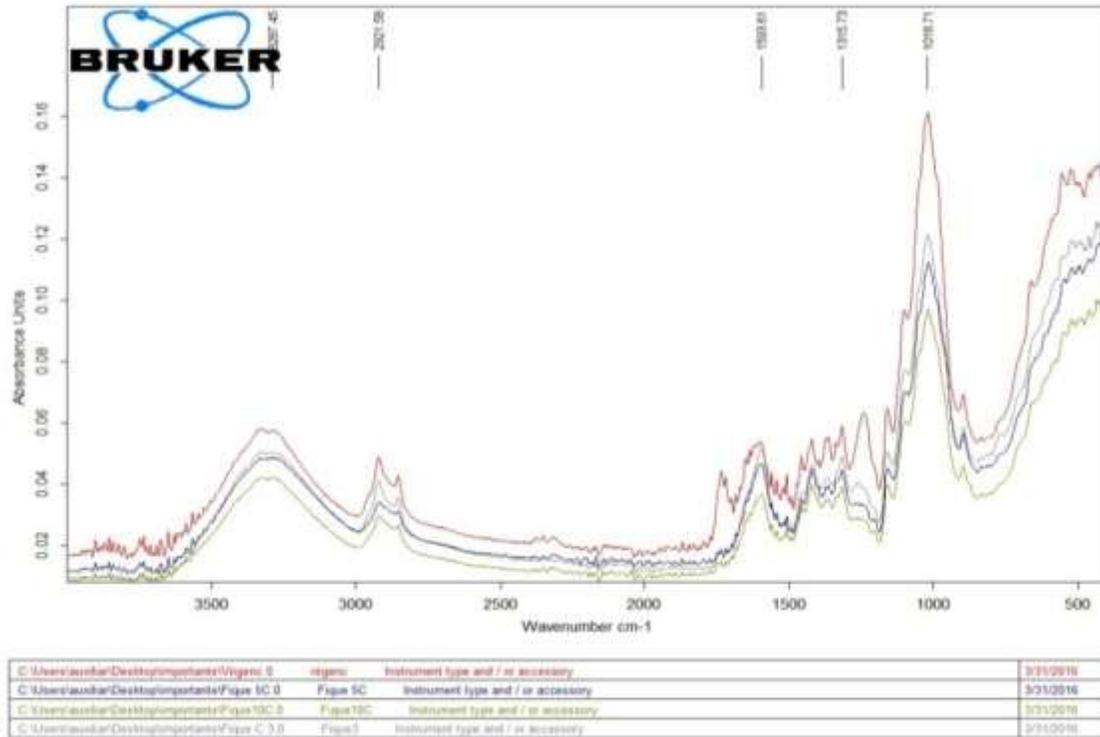


Figura 20 Ensayo de espectrometría de las fibras
Fuente. El Autor

4.1.3 Ensayo de tensión

Todas las probetas tuvieron un comportamiento frágil y no presentaron esfuerzo de fluencia, (porque la gráfica esfuerzo deformación es una línea recta), los datos de propiedades mecánicas se muestran en la Tabla 2

Tabla 2 propiedades de ensayo de tensión de los materiales compuestos

Tratamiento	Promedio Resistencia a la tensión MPa	Desviación estándar Resistencia a la tensión	Ductilidad Promedio % de elongación	Desviación estándar % de elongación
Resina	4,647778333	2,857802384	0,8	0,273861279
0% NaOH Fique	13,6323182	4,560906371	1,7	1,151086443
3 % NaOH Fique	16,0296851	2,9525254	1,3	1,036822068

5 % NaOH Fique	7,464928425	3,884828953	0,8	0,447213595
15 % NaOH Cáscara de Nuez	3,778611582	0,56923583	0,875	0,478713554

Fuente. El Autor

La figura 16 muestra una comparación del esfuerzo máximo de cada uno materiales a diferentes tratamientos e incluyendo la matriz polimérica.

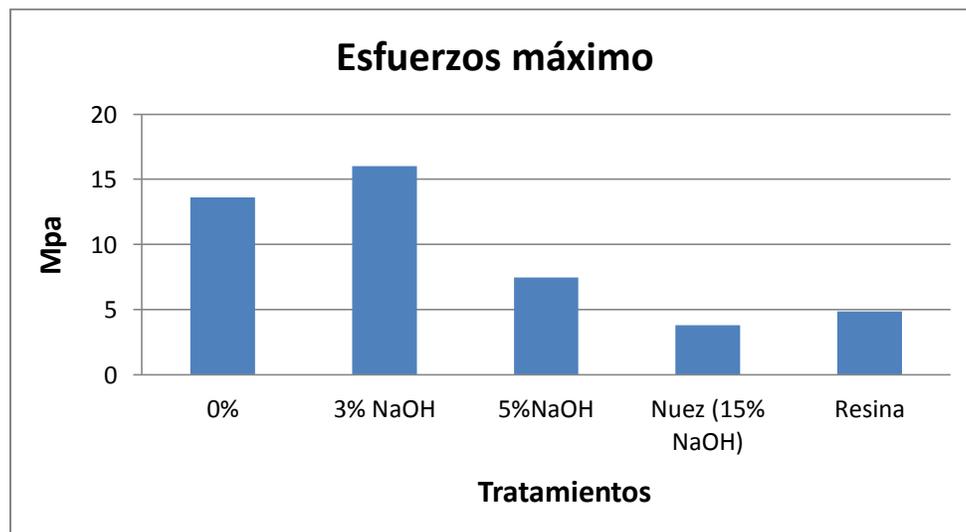


Figura 21 Grafica de esfuerzo de las diferentes probetas
Fuente. El Autor

En la figura 17 se muestra una comparación de la ductilidad de cada uno materiales a diferentes tratamientos e incluyendo la matriz polimérica.

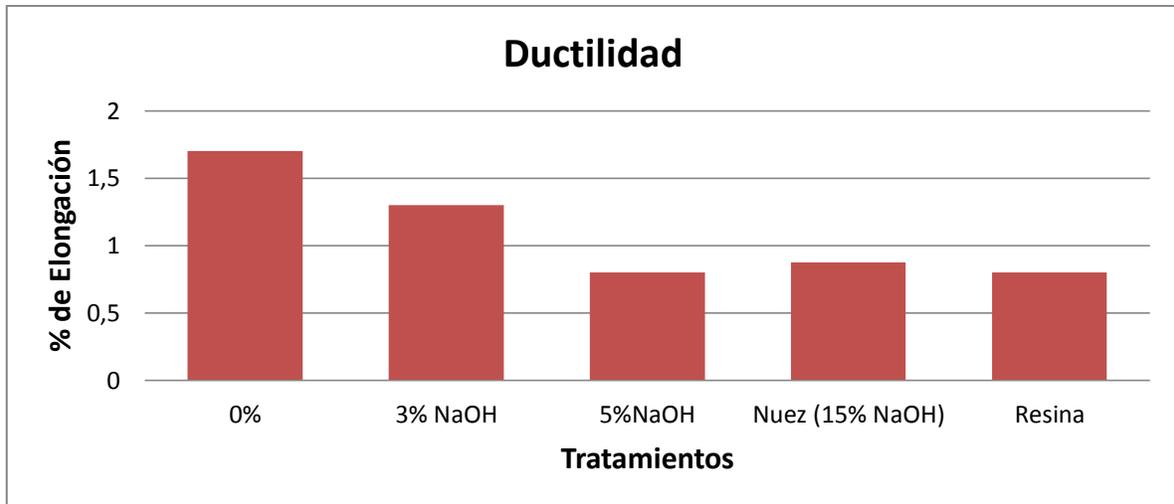


Figura 22 Grafica de ductilidad de las diferentes probetas
Fuente. El Autor

En la figura 18 se muestra una comparación del módulo de elasticidad de cada uno materiales a diferentes tratamientos e incluyendo la matriz polimérica.

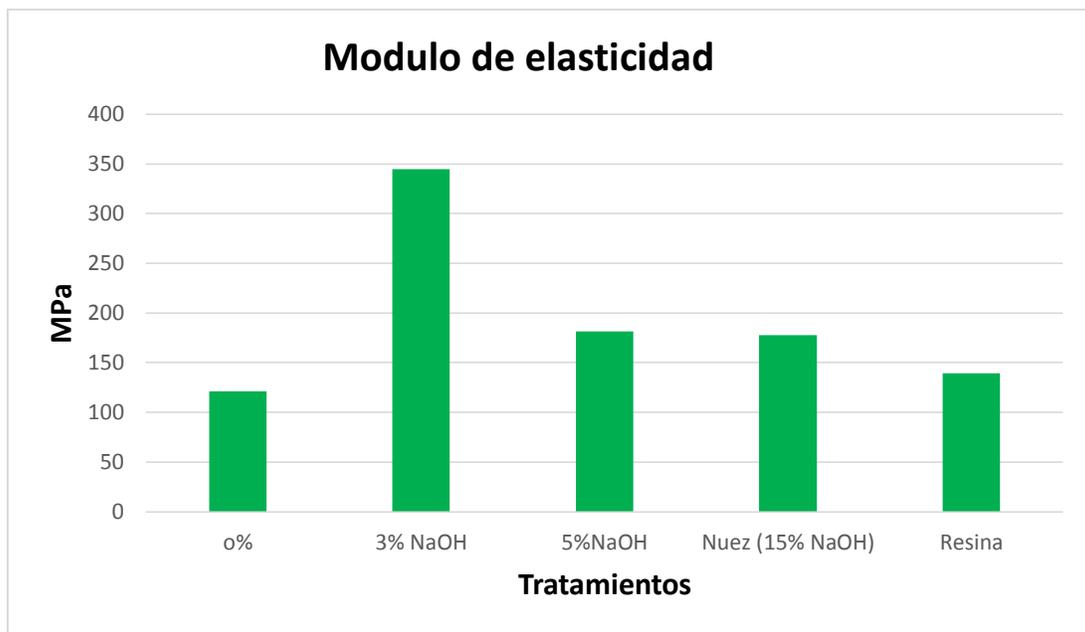


Figura 23 Grafica de módulo de elasticidad de las diferentes probetas
Fuente. El Autor

5 CAPITULO 5 ANALISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a la figura 16 la comparación del ensayo de tensión se observó que la resina poliéster tiene una resistencia mecánica o esfuerzo máximo de 4,85MPa y al adicionar fibra de fique sin tratamiento se evidencia que aumenta esta propiedad hasta 13,63MPa y al aumentar el porcentaje de NaOH al 3% en el tratamiento de la fibra se logra la mayor resistencia mecánica a la tensión llegando a 16,02MPa, el aumento experimentado en la resistencia mecánica del material con este último tratamiento llegó a ser de un 220 % respecto a la resina poliéster.

Tratamiento con NaOH a concentraciones superiores al 3 % como es el caso del 5 % experimenta una disminución del esfuerzo máximo en este caso solo llego a 7,46MPa.

Por otro lado la cáscara de nuez de macadamia que se trató con soda caustica a un 15% disminuye (figura 16) las propiedades mecánicas a tensión de la resina debido a que la cáscara de nuez actúa como un obstáculo en el refuerzo en lugar de ser el refuerzo en el material que sostenga la carga y se comporta como una discontinuidad del material, esto se puede evidenciar al observar la figura (14 a y b) En el material compuesto reforzado con nuez de macadamia , presentando menor resistencia mecánica que el reforzado con fibra de fique sin tratamiento siendo su resultado 3,77MPa

Es decir que cuando la resina está sola tiene una resistencia a la tensión de 5 MPa ksi en la teoría nos dice que debe tener 103, 4 MPa [16]; esta resina es comercial D-555 al adicionar la fibra de fique sin tratamiento se observa que aumenta su resistencia ya que la carga que se le ejerce al material compuesto, su fuerza se distribuye de la matriz a la fibra pero se mejora aún más con la fibra tratada al 3% de NaOH ya que al 3% ya existe una eliminación de lignina y hemicelulosa en la fibra este dato se puede corroborar por las gráficas de infrarrojo por transformada de Fourier ver (figura 15).

De acuerdo a la figura 15 Se comparó los espectros obtenidos en la fibra de fique tratada diferentes concentraciones de NaOH al 0%, 3% y 5% y se pudo observar que al 3% de NaOH desaparece 2 picos, que corresponden a lignina y hemicelulosa quedando solo celulosa estos picos son en el pico que se encuentra 1593.61 y el pico que se encuentra a 1315.73 estos dos picos se evidencian en la fibra tratada al 5% se sigue evidenciando la desaparición de los picos 1593.61 y 1315.73 de lignina y hemicelulosa pero lo que pasa es que la soda caustica posiblemente deteriora la fibra y por eso la resistencia mecánica del material disminuye. Se recomienda utilizar el 3% de NaOH en el tratamiento de la fibra.

Por otro lado, en cuanto a la ductilidad del material, el material se considera frágil no existió esfuerzo de fluencia no se evidencio en ningún tratamiento.

CONCLUSIONES

Analizando los refuerzos se recomienda no utilizar dos refuerzos uno particulado y la fibra porque el particulado se comporta como una discontinuidad para un material compuesto, se recomienda utilizar solamente refuerzo de fibra o particulado

El material reforzado con fibra fiqué mejoró las propiedades mecánicas de la matriz pero hubo mejor resultado cuando se trataba con una concentración hasta de 3% de NaOH

Luego del 3% de concentración de NaOH se deterioraba el material compuesto, esto se puede presentar porque la mayor concentración de NaOH deteriora la fibra.

La cáscara de nuez de macadamia no es recomendable a tensión ya que no es fibra continua

La resina poliéster sola tenía una resistencia mecánica solo del 1 Ksi mientras que se dice que tiene 15Ksi

Recomendaciones

Para incrementar aún más la resistencia mecánica sería ideal en otro estudio aplicar un agente de acoplamiento que haga un enlace más fuerte entre la resina y la fibra.

BIBLIOGRAFIA

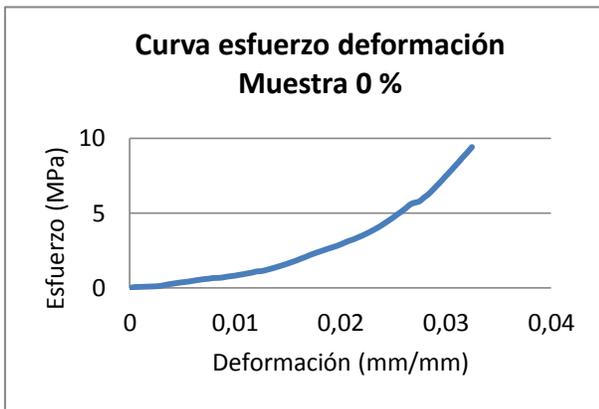
- [1] A. S. M. F. Georgios Koronis, «Green composites: A review of adequate materials for automotive applications,» 2013.
- [2] Mariano, «Tecnología de plasticos,» lunes julio 2011. [En línea]. Available: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/07/materiales-compuestos.html>.
- [3] D. Askeland, Ciencia e Ingeniería de materiales, Iztapalapa: Sergio R Cervantes Gonzalez, 2011.
- [4] «compuestos reforzados con fibras,» [En línea]. Available: http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/pfcm15_9_2.html.
- [5] M. Groover, «Proceso de formado para materiales compuestos con matriz polimerica,» de *Fundamentos de la Manufactura Moderna*.
- [6] R. Z. J. C. P. I. GUTIERREZ, «Influencia del Tratamiento con Vapor Sobre la Estructura y Comportamiento Físico-Mecánico de Fibras de Plátano,» vol. 16, 2005.
- [7] A. SERNA, «LA PATRIA.COM,» 13 SEPTIEMBRE 2013. [En línea]. Available: <http://www.lapatria.com/descubriendo/tratan-la-fibra-de-platano-para-hacer-plasticos-43524>.
- [8] M. PRIETO, «fibra de fique,» veo verde, 22 julio 2009. [En línea]. Available: <https://www.veoverde.com/2009/07/fibra-de-fique/>.
- [9] Asociación Naturland, «Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico: Macadamia.,» 5 Septiembre 2014. [En línea]. Available: http://www.naturland.de/fileadmin/MDB/documents/Publication/Espanol/macadamia_2005.pdf.
- [10] I. J. D. Censong Dong, «Flexural properties of macadamia nutshell particle reinforced polyester composites,» 2012.
- [11] M. C.-S. y. M. E. Domine, «LIGNINA, ESTRUCTURA Y APLICACIONES: METODOS DE DESPOLIMERIZACION PARA LA OBTENCION DE DERIVADOS AROMATICOS DE INTERES INDUSTRIAL,» VALENCIA, 2013.
- [12] P. Prinsen, «Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis estructural de sus ligninas,» Sevilla, 2010.
- [13] encured, «celulosa,» 2016.
- [14] A. Gil, «RESINAS DE POLIESTER,» 2012.
- [15] A. V. Teresa M. Piqué, «USO DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA CON TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR) EN EL ESTUDIO DE LA HIDRATACIÓN DEL CEMENTO,» *SciELO*, vol. 3, nº 2, pp. 62-71, 2012.

- [16] D. Askeland, *The Science and Engineering of materials*, United States of America: CENGAGE Learning, 2010.
- [17] M. F. Muñoz Velez, M. A. Hidalgo Salaza y J. H. Sulmina Hernandez, «Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos. Influencia de la modificación superficial,» *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 12, nº 2, pp. 60-70, 2014.
- [18] P. Zakikhani, R. Zahari, M. Sultan y D. Majid, «Extraction and preparation of bamboo fibre-reinforced composites,» *Materials and design*, vol. 63, pp. 820-828, 2013.
- [19] H. Sharifah y S. A., «Modified polyester resins for natural fibre composites,» *Composites Science and Technology*, pp. 525-535, 2005.
- [20] M. R. C. D. R. Bhoopathi, «Fabrication and Property Evaluation of Banana-Hemp-Glass Fiber,» 2014.
- [21] U. G. S. V. b. ,. G. T. c. Silviya Elanthikkal, «microfibras de celulosa producidas a partir de desechos de plantas de platano: Aislamiento y caracterización,» 2010.
- [22] A. B. Tadeusz Majewski, «Desarrollo y aplicaciones actuales de los plásticos reforzados por fibras naturales,» *MEMORIAS DEL XIX CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM*, 2013.
- [23] L. G. I. V. Yentl Swolfs, «Fibre hybridisation in polymer composites: A review,» *elservier*, 2014.
- [24] L. J. Rodriguez, «fibra de platano competira con las de vidrio y carbon,» *unperiodico*, pp. 98-117, 23 08 2013.
- [25] M. A. H.-S. R. J. H. M.-H. MARIO FERNANDO MUÑOZ-VELEZ, «FIBRAS DE FIQUE UNA ALTERNATIVA PARA EL REFORZAMIENTO DE PLÁSTICOS. INFLUENCIA DE LA MODIFICACIÓN SUPERFICIAL,» vol. 12, nº 2, 2014.
- [26] S. S. Faris M. AL-Oqla, «Natural fiber reinforced polymer composites in industrial,» 2014.
- [27] M. A. H.-S. R. H. M.-H. MARIO FERNANDO MUÑOZ-VELEZ, «FIBRAS DE FIQUE UNA ALTERNATIVA PARA EL REFORZAMIENTO DE PLÁSTICOS. INFLUENCIA DE LA MODIFICACIÓN SUPERFICIAL,» vol. 12, nº 2, 2014.
- [28] A. international, «Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars,» 2011.
- [29] J. s. Gomez, *DISEÑO DE UN MATERIAL COMPUESTO CON FIBRA NATURAL PARA SUSTITUIR LA UTILIZACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO*, Medellin: 1, 2009.
- [30] ADMIN, «tejido esturizado,» 31 enero 2012. [En línea]. Available: <https://tejidotexturizado.wordpress.com/>.
- [31] A. M. E. Jiménez, «fibra de platano,» *un periodico*, 2013.
- [32] M. A. H. J. H. M. Mario Fernando Muñoz, «FIBRAS DE FIQUE UNA ALTERNATIVA PARA EL REFORZAMIENTO DE PLÁSTICOS. INFLUENCIA DE LA MODIFICACIÓN SUPERFICIAL,» 2014.

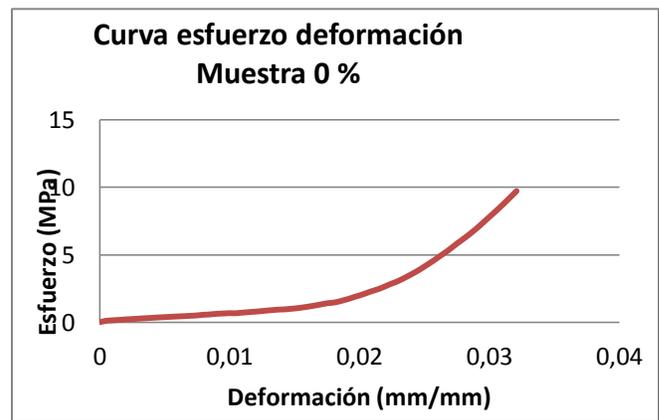
- [33] M. Z. C. J. R. B. N. S. A. Wechsler, «Macadamia (*Macadamia integrifolia*) shell and castor (*Rícinos communis*) oil based sustainable particleboard: A comparison of its properties with conventional wood based particleboard,» *Materials and Design*, pp. 117-123, 2013.
- [34] L. J. R. Sepúlveda, «Elaboración de un material biocompuesto a partir de la fibra de plátano,» Universidad Nacional de Colombia, manizales , 2014.
- [35] ASTM, «Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars,» *astm internacional*, 2011.
- [36] . G. K. , . A. Silva y . M. Fontul, «Green composites: A review of adequate materials for automotive applications,» *Composites: Part B*, pp. 120-127, 2013.
- [37] P. P. Martín, A. Gonzalez Garcia, N. Lapena, S. Fita Bravo, V. Martinez Sanz y F. Marti Ferrer, «Green aircraft interior panels». Estados Unidos Patente US 2012/0148824 A1, 14 Junio 2012.
- [38] L. Tingju, M. Jiang, Z. Jiang y D. Hui, «Effect of surface modification of bamboo cellulose fibers on mechanical properties of cellulose/epoxy composites,» *Composites: Part B*, vol. 51, p. 28–34, 2013.
- [39] T. Lu, S. Liu, M. Jiang y X. Xu, «Effects of modifications of bamboo cellulose fibers on the improved mechanical properties of cellulose reinforced poly(lactic acid) composite,» *Composites: Part B*, vol. 62 , p. 191–197, 2014.
- [40] P. Ruchi , R. Lakhan Prasad y A. Nasreen Ghazi , «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*, vol. 3, p. 593–602, 2015.

Anexos

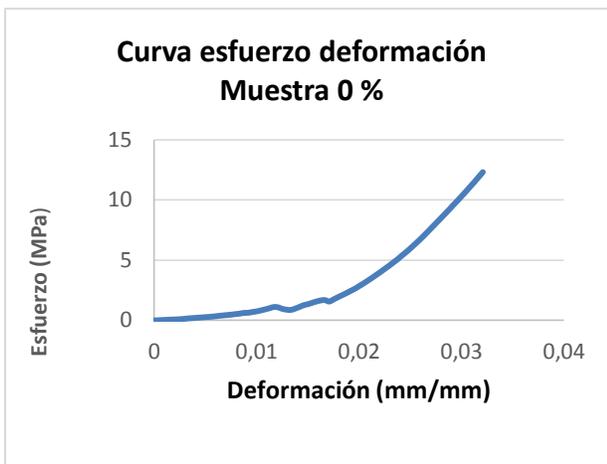
a. Diagrama esfuerzo-Deformación probeta 1



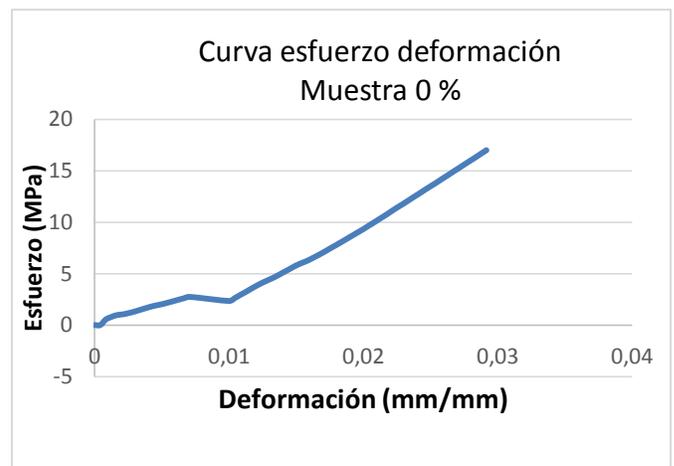
b. Diagrama esfuerzo-Deformación probeta 2



c. Diagrama esfuerzo-Deformación probeta 3



d. Diagrama esfuerzo-Deformación probeta 4



e. Diagrama esfuerzo-Deformación probeta 5



a. Diagrama

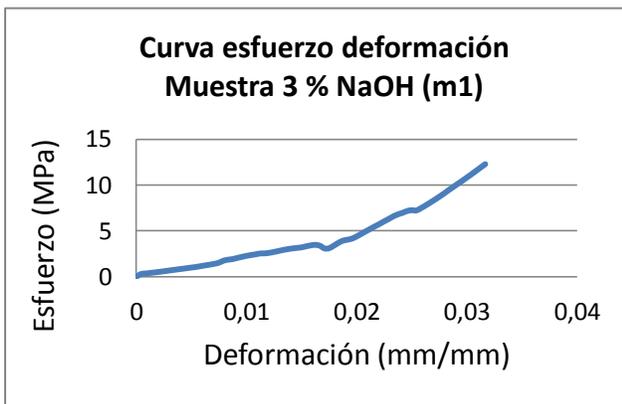
b. Diagrama

probeta 1

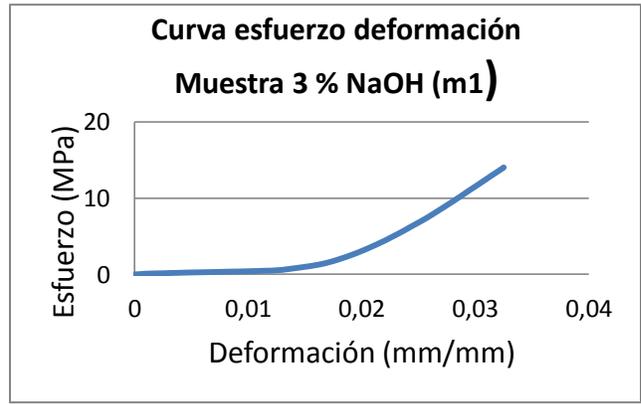
probeta 2

esfuerzo-

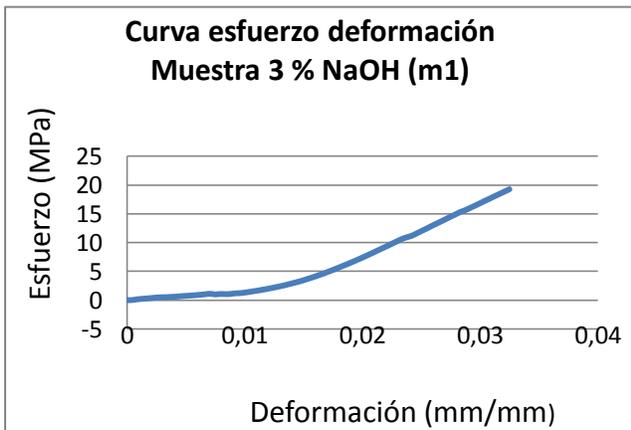
esfuerzo-
Deformación
Deformación de la



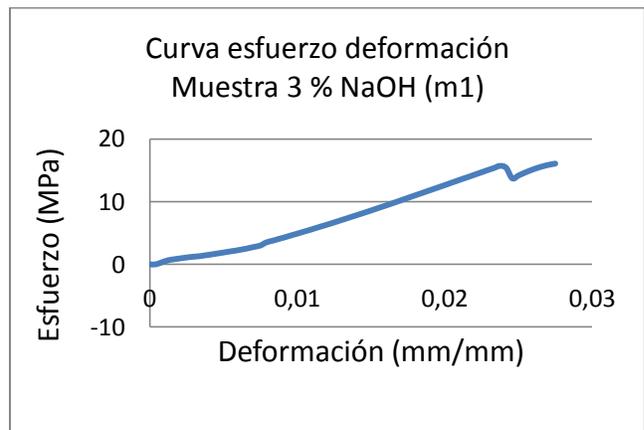
c. Diagrama esfuerzo-
Deformación probeta 3

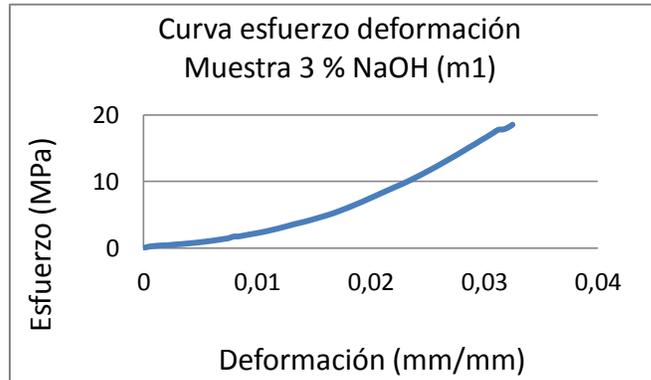


d. Diagrama esfuerzo-
Deformación probeta 4



e. Diagrama esfuerzo-
Deformación probeta 5

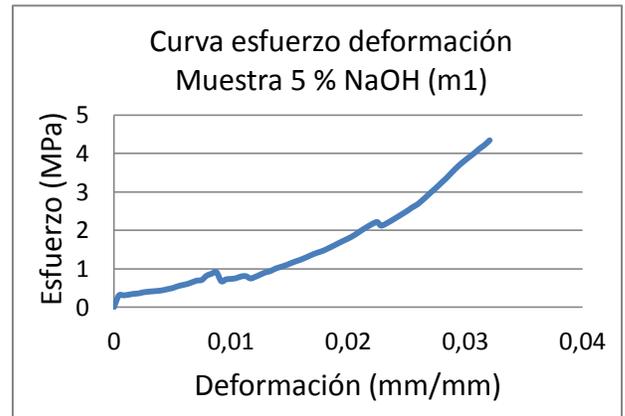
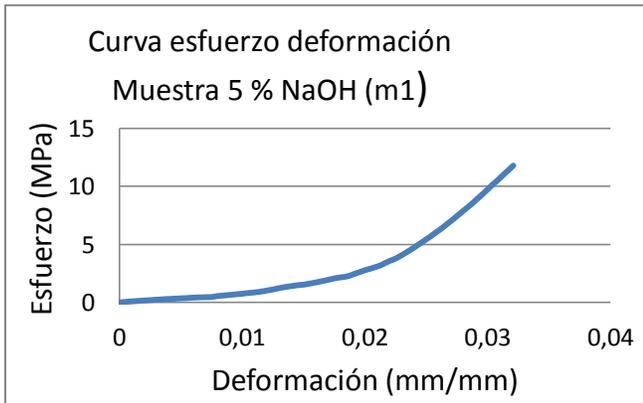




Anexo 2 A, B, C, D y E Diagramas esfuerzos-deformación

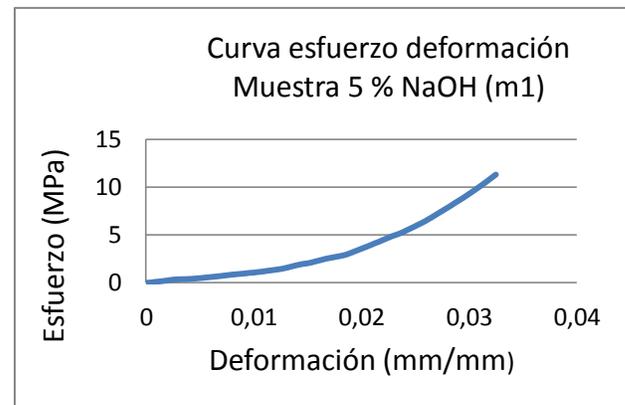
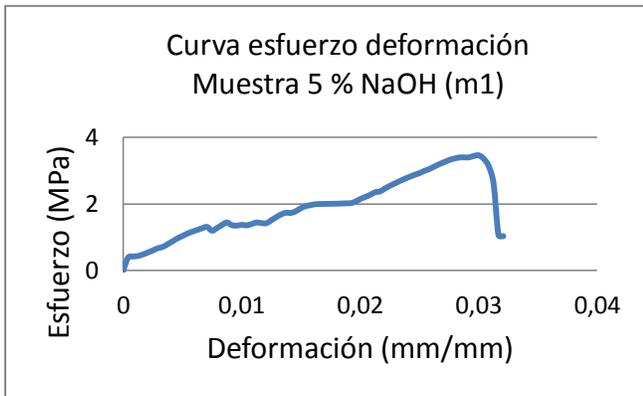
a. Diagrama esfuerzo-Deformación probeta 1

b. Diagrama esfuerzo-Deformación probeta 2

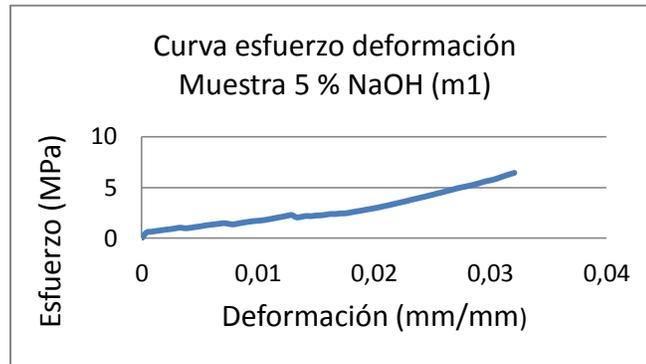


c. Diagrama esfuerzo-Deformación probeta 3

d. Diagrama esfuerzo-Deformación probeta 4



e. Diagrama esfuerzo-deformación probeta 5



Anexo 3 A, B, C,D y E Diagrama esfuerzos-deformación

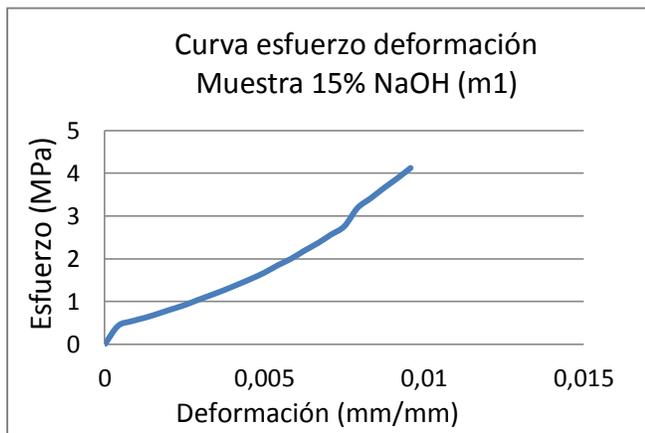
a. Diagrama

esfuerzo-

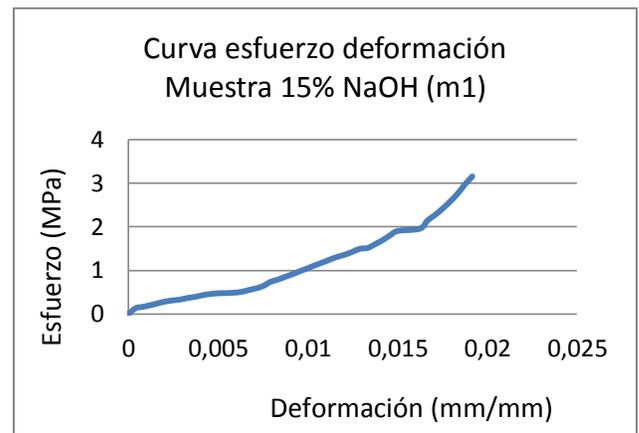
b. Diagrama esfuerzo-

Deformación probeta 1

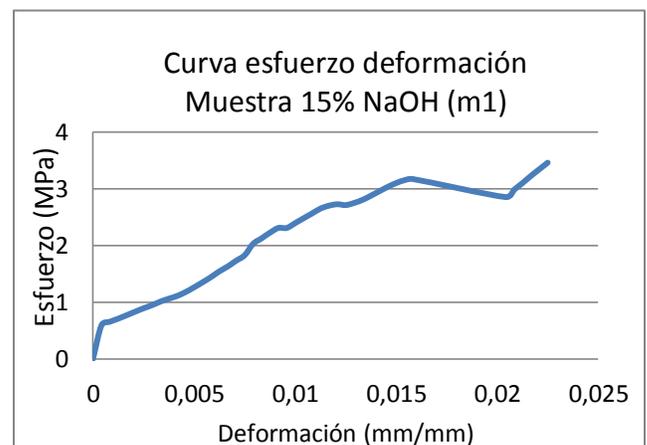
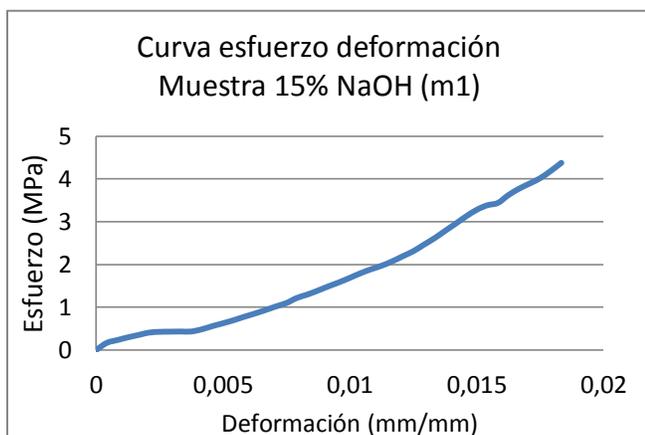
Deformación probeta 2



c. Diagrama esfuerzo-Deformación probeta 3

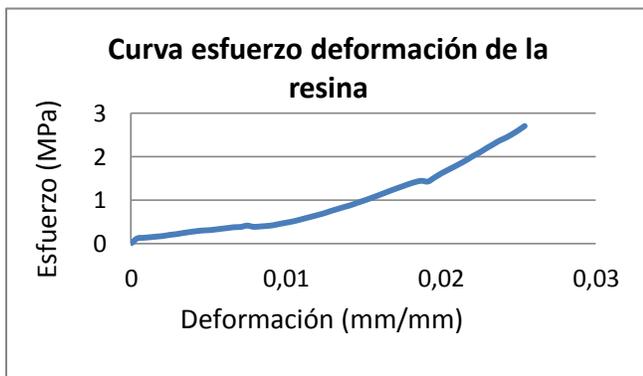


d. Diagrama esfuerzo-Deformación probeta 4

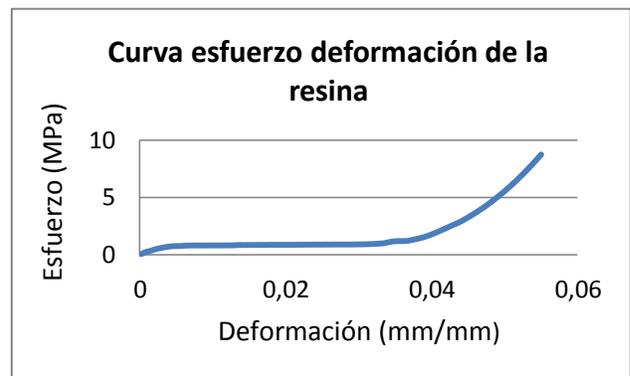


Anexo 4 A, B, C y D Diagramas esfuerzos-
deformación

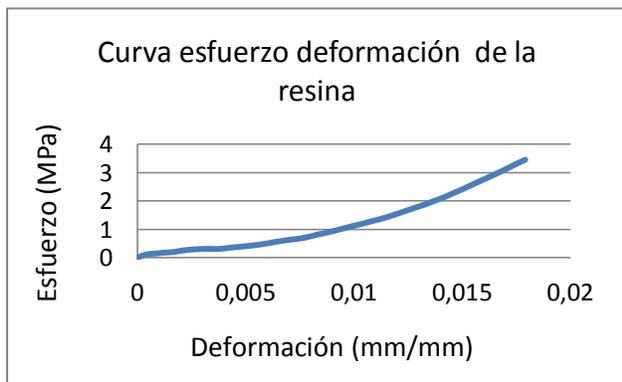
a. Diagrama esfuerzo-
Deformación probeta 1



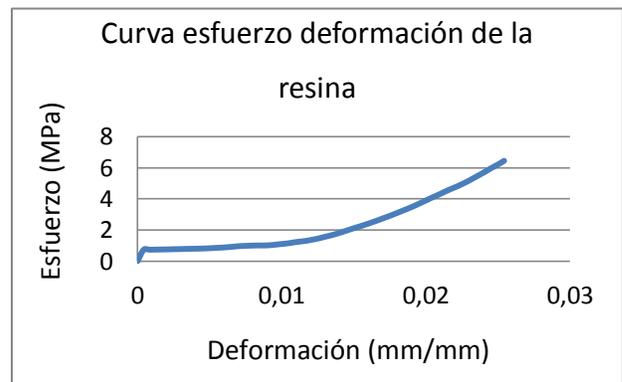
b. Diagrama esfuerzo-
deformación probeta 2



c. Diagrama esfuerzo-
Deformación probeta 3

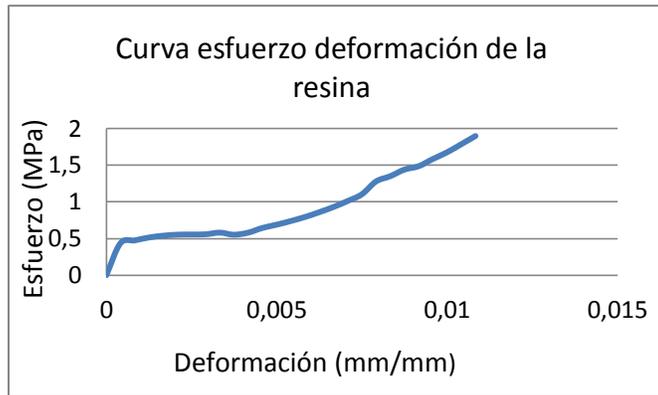


d. Diagrama esfuerzo-
deformación probeta 4



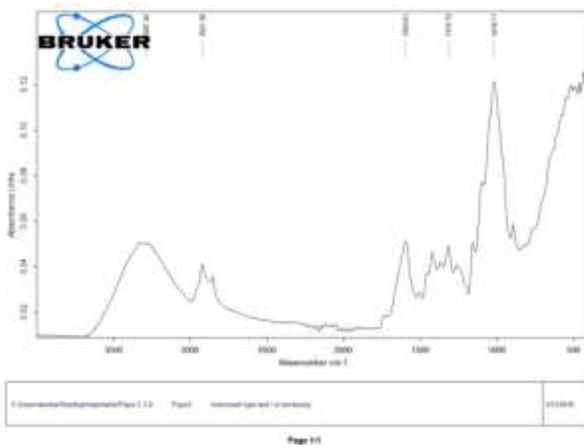
e. Diagrama esfuerzo-

Deformación probeta 5

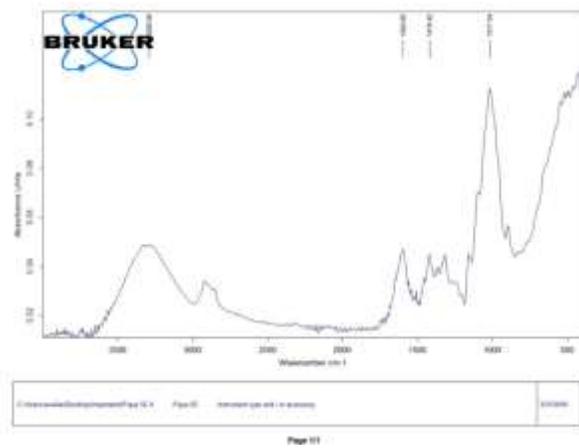


Anexo 5 A, B, C, D y E Diagramas esfuerzos-deformación

a. Ensayo de espectrometría en la fibra de 3%

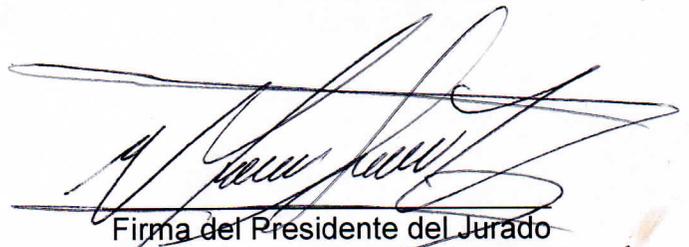


b. Ensayo de espectrometría en la fibra de 5%

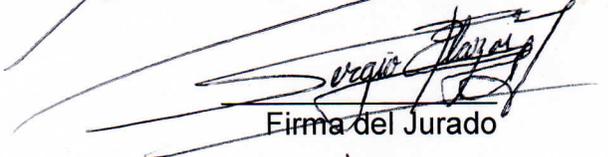


Anexo 6 A, B Ensayos de espectrometría

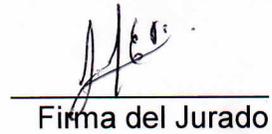
Nota de aceptación



Firma del Presidente del Jurado



Firma del Jurado



Firma del Jurado

Bogotá Julio 18 de 2016