



**INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO QUÍMICO DE LA FIBRA DE FIQUE EN LAS
PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO**

**Luis Emilio Burbano Narváez
Diego Alejandro Núñez Núñez**

**UNIVERSIDAD ECCI
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA
BOGOTÁ, D.C.
AÑO 2017**

**INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO QUÍMICO DE LA FIBRA DE FIQUE EN LAS
PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO**

**Luis Emilio Burbano Narváez
Diego Alejandro Núñez Núñez**

**Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecánico**

Directora:

Ing. MSC Sandra Patricia Romero Nieto

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

**UNIVERSIDAD ECCI
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA
BOGOTÁ D.C.
AÑO 2017**

Se dedica este proyecto a Dios por permitirnos lograr nuestros objetivos a nuestros Padres y a mi hermana Carolina por ser incondicionales y apoyarnos en nuestra carrera, a mi Esposa Camila, por acompañarme en este camino y a todas las personas que hicieron parte de este proyecto.

Gracias.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos por su colaboración y dedicación a la Ing. Sandra Patricia Romero por brindarnos sus conocimientos, a la Ing. Mónica Ballén por facilitarnos el laboratorio de química y sus respectivos implementos, al Ing. Andrés Guevara por su colaboración en el proyecto, al PhD. Leonardo Pacheco por brindarnos sus conocimientos en la parte química y poder sacar adelante este proyecto.

RESUMEN

En este proyecto se estudió la influencia del tratamiento químico superficial de la fibra de fique para mejorar la adherencia a la matriz de resina poliéster y de esta forma ser utilizada como refuerzo en materiales compuestos, la fibra se sometió a un tratamiento previo con NaOH al 2% en peso para eliminar lignina y hemicelulosa quedando como constituyente la celulosa, lo cual se evidenció utilizando la técnica FTIR (Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier).

La fibra fue sometida a tratamientos posteriores con propóxido de titanio, Amino propil-silano y anhídrido maléico, la matriz también se modificó químicamente con anhídrido maléico; el material compuesto se caracterizó en cuanto a sus propiedades mecánicas de tensión y micro estructuralmente utilizando la técnica de SEM (Microscopía electrónica de barrido) para verificar físicamente la adherencia entre matriz y fibra.

Los resultados indicaron que la mayor resistencia a la tensión la presentó el material compuesto reforzado con la fibra tratada con propóxido de titanio; debido a los enlaces presentes en este compuesto, los cuales interactuaron con el grupo éster de la resina poliéster. Este resultado se evidenció en la adherencia mostrada en el material al caracterizarlo por la técnica SEM.

La fibra tratada con amino propil silano, no obtuvo el resultado deseado, causando esto un bajo rendimiento del material, lo que pudo deberse a que el grupo amino no interactuó de la mejor manera con el grupo éster de la resina, causando baja adherencia y baja resistencia a la tensión.

La fibra tratada con anhídrido maléico, evidenció una mejora en las propiedades mecánicas a la tensión, sin embargo, durante el proceso se pudo evidenciar las complicaciones en cuanto a solubilidad del anhídrido en la matriz, lo cual generó un impedimento a la hora de generar la interfase entre los dos materiales, esto se pudo observar por medio de la técnica SEM en la cual están presentes los gránulos de anhídrido.

Palabras clave. Fibra de fique, NaOH, propiedades mecánicas, silanos, FTIR, SEM

ABSTRACT

In this work, the influence of the superficial chemical treatment of the fique fiber was studied to improve the adhesion to the polyester resin matrix and in this way to be used as a reinforcement in composites materials. The fiber was pre-treated with 2% wt. NaOH to remove lignin and hemicellulose, leaving cellulose as main component, which was evidenced using the Fourier Transform Infrared Spectrometry (FTIR) technique.

The fiber was treated again with titanium propoxide, amino propylsilane and maleic anhydride; the matrix was also chemically modified with maleic anhydride; the composite material was characterized in terms of its mechanical tensile properties and microstructurally using SEM technique, to physically verify the adhesion between matrix and fiber.

The results indicated that the composite material reinforced with the fiber treated with titanium propoxide presented the higher tensile strength; due to the bonds present in this composite material, which interacted with the ester group of the polyester resin. This result was evidenced in the adherence shown in the material when characterized by the SEM technique.

The fiber treated with amino propyl silane did not obtain the desired result, causing this a low yield of the material, which could be due to the fact that the amino group did not interact in the best way with the ester group of the resin, causing low adhesion and low Resistance to stress.

The fiber treated with maleic anhydride, showed an improvement in the mechanical properties to the tension, however, during the process it was possible to evidence the complications as to solubility of the anhydride in the matrix, which generated an impediment in the generation of the Interface between the two materials, this could be observed by means of the SEM technique in which the anhydride granules are present.

Keywords. Fiber, NaOH, mechanical properties, silanes, FTIR, SEM

CONTENIDO

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
1. INTRODUCCIÓN	12
2. MARCO TEORICO.....	14
2.1 Generalidades de un material compuesto	14
2.2 Métodos de conformado de materiales compuestos.	15
2.2.1 Conformado manual.....	15
2.2.2 Conformado por inyección	15
2.2.3 Conformado por centrifugado.....	15
2.2.4 Conformado por pultrusión.....	16
2.3 Generalidades y tipos de fibras	16
2.3.1 Fibras naturales.....	16
2.3.2 Fibras Animales.....	16
2.3.3 Seda.....	17
2.3.4 Fibras Vegetales	17
2.3.5 Fique	17
2.3.6 Lino	17
2.3.7 Fibras minerales.....	17
2.3.8 Fibras Sintéticas.....	18
2.3.9 Fibra de carbono	18
2.4 Tipos de resinas	18
2.4.1 Resina fenólica.....	18
2.4.2 Resina Aminas	18
2.4.3 Resina Poliéster	18
2.4.4 Resinas Poliéster Saturadas	19
2.4.4.1 Resina Alquídicica	19
2.4.4.2 Resina viniléster	20
2.4.5 Resinas Poliéster Insaturadas.....	20
2.4.5.1 Resina de poliéster ortoftálica	20
2.4.5.2 Resina de poliéster tereftálicas	21
2.4.5.3 Resina de poliéster isoftálicas	22
2.5 Caracterización sustancias características en la fibra de fique	23
2.5.1 Lignina.....	23
2.5.2 Hemicelulosa.....	24
2.5.3 Celulosa	24
3. ANTECEDENTES	26
4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	30
4.1 Materiales y Métodos	30
5. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS	36

5.1 Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier FTIR	36
5.2 Resistencia mecánica a la tensión del material compuesto	44
5.3 Ductilidad del material compuesto.....	49
6. CONCLUSIONES	52
7. RECOMENDACIONES	53
REFERENCIAS (BIBLIOGRAFÍA).....	¡Error! Marcador no definido.
9.ANEXOS	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estructura de la resina alquídica	19
Figura 2: Estructura de una resina viniléster, a partir de la adición de resina epoxi con ácido acrílico	20
Figura 3: Estructura molecular de la resina ortoftálica.	21
Figura 4: Estructura molecular de la resina tereftálicas.....	21
Figura 5: Estructura molecular de la resina isoftálicas	22
Figura 6: Estructura de la lignina.....	23
Figura 7: Estructura de la hemicelulosa.	24
Figura 8: Estructura de la celulosa.....	24
Figura 9: Fibra de fique virgen sometida al tratamiento con NaOH 2%pe durante media	31
Figura 10: Proceso de silanización de la fibra con amino propil silano.	32
Figura 11: Fibra de fique pretratada sometida a tratamiento con propóxido de titanio..	33
Figura 12: Se observa la resina con anhídrido maléico.....	34
Figura 13: Tratamiento a la fibra con anhídrido maléico.	34
Figura 14: Espectro de la fibra de fique virgen; Método: FTIR	36
Figura 15: Comparación entre espectro fibra de fique virgen y fibra de fique tratada con NaOH 2% peso	37
Figura 16: Comparación entre espectro fibra de fique virgen y fibra de fique tratada con NaOH 3% peso	38
Figura 17: Comparación entre fibra de fique tratada con NaOH 2% Peso y fibra tratada con amino propil silano.....	39
Figura 18: Estructura Amino propil silano.....	40

Figura 19: La comparación de los espectros tomados por la técnica FTIR de las fibras tratadas previamente con (NaOH) al 2% Peso y posteriormente con el propóxido de titanio.....	41
Figura 20: Estructura del propóxido de titanio.....	42
Figura 21: Se evidencia el espectro tratado por la técnica FTIR de la resina poliéster .	43
Figura 22: Reacción química de la resina poliéster.....	44
Figura 23: Resistencia a la tension del material compuesto con los diferentes tratamientos aplicados a la fibra.....	45
Figura 24: Comparación de los tratamientos aplicados en la fibra de fique; Método: SEM	47
Figura 25: Comparación de la microscopía obtenida de las fibras de fique	48
Figura 26: Ductilidad del material compuesto con los diferentes tratamientos químicos realizados a la fibra.	50

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Características de las diferentes fibras naturales.	27
Tabla 2: Tratamientos de la fibra de fique	30
Tabla 3: Resumen de la resistencia a la tensión de los tratamientos	45
Tabla 4 Resumen de la ductilidad de los tratamientos.....	49

1. INTRODUCCIÓN

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

En el sector automotriz se han utilizado las fibras naturales de bambú, plátano, lino y cáñamo como refuerzo de materiales compuestos para fabricar la parte interna de las puertas de los vehículos; estos materiales son los llamados compuestos verdes, cumpliendo los requerimientos en cuanto propiedades mecánicas óptimas para dicha aplicación, con una alta resistencia específica es decir una alta relación entre resistencia mecánica y densidad, siendo también resistente al ataque químico [1].

En Colombia, los materiales compuestos que utilizan como refuerzo fibras naturales, se pueden producir a bajo costo; debido a la facilidad en la adquisición de la fibra como recurso natural; la fibra de fique en Colombia se cultiva en los Departamentos de Santander, Cauca, Nariño y Cundinamarca; a pesar de esto, en nuestro país el fique sólo es usado en la elaboración de artesanías y empaques ; es por esto que se hace necesario estudiar la posibilidad de elaborar otros materiales como los materiales compuestos utilizando como refuerzo esta fibra para incrementar las propiedades mecánicas del material

Los materiales compuestos que utilizan como refuerzo fibras naturales; han incursionado mundialmente en la elaboración de las partes internas de vehículos, tales como, la guantera, el millaré, los marcos de las ventanas de aviones, los paneles de embarcaciones y aplicaciones arquitectónicas.

En este proyecto se eligió la fibra de fique como refuerzo en un material compuesto de matriz de resina poliéster, debido al bajo precio y la facilidad de adquisición en el País, que presentan sus componentes; siendo la función de la fibra participar en el incremento de las propiedades mecánicas a tensión de la matriz y de esta manera se obtiene un material compuesto útil para las aplicaciones mencionadas en el párrafo

anterior, en aplicaciones que no estén sometidos a ciclos de fatiga o que tengan que absorber alta energía de impacto [2]

La resina poliéster al ser más barata que otro tipo de resinas, como el epoxi, es una buena opción como matriz, dicha resina tiene buena tolerancia a los rayos ultravioleta [3].

En este proyecto se desarrolló un material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibra de fique y se caracterizó en cuanto a sus propiedades mecánicas de tensión; se eligió caracterizar el material en cuanto a estas propiedades porque, la fibra de fique se comporta mejor a la tracción que a la compresión [4].

El fique es de fácil obtención en Colombia, se cultiva en una temperatura promedio de 19 a 32°C y una altitud promedio 1300 y 2800 metros sobre el nivel del mar [5], estas características se consiguen en una gran parte del territorio colombiano, lo que puede incentivar a los campesinos en la participación y exploración de nuevos usos para el fique.

1. El objetivo general de este proyecto fue estudiar la influencia del tratamiento químico de la fibra de fique para ser utilizado como refuerzo de un material compuesto.
2. Los objetivos específicos fueron:
 - Establecer el tratamiento adecuado de la fibra de fique.
 - Establecer la proporción matriz fibra en el material compuesto.
 - Caracterizar el material compuesto en cuanto a su microestructura y propiedades mecánicas a tensión.
 - Relacionar la microestructura, las propiedades mecánicas y el tratamiento realizado a la fibra de fique.

2. MARCO TEORICO

2.1 Generalidades de un material compuesto

Al fabricar un material compuesto se hace necesario el uso de dos tipos de materiales uno de ellos es la matriz y el otro es el refuerzo el cual mejora las propiedades mecánicas de la matriz, optimizando su uso y ampliando el rango de las aplicaciones en el sector automotriz, debido a su baja densidad y costo [6].

Se designa como Materiales Compuestos los formados por la unión íntima de dos o más componentes para optimizar las propiedades de la combinación, para de esta forma mejorar sus propiedades mecánicas, Ejemplos el caso de los adobes: unión de arcilla y fibras de paja o el yeso reforzado con crines de caballo, etc. [6]

Existen diferentes tipos de materiales compuestos de acuerdo a la forma en que se encuentre el refuerzo: Reforzados con partículas, reforzados laminarmente y reforzados con fibras; estos últimos se diseñan para aplicaciones que busque materiales que resistan esfuerzos mecánicos, según la forma del material. [1]

Estos materiales se logran seleccionando combinaciones poco usuales de rigidez, resistencia, peso, rendimiento a altas temperaturas, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad, además de una matriz que tiene como función definir la forma geométrica del material y transmitir los esfuerzos de una fibra a otra. [1]

Para que un material compuesto se dé de forma exitosa, es necesario encontrar una buena interface entre matriz y fibra, además de una adecuada proporción entre estas dos, un desequilibrio en las proporciones del material puede conducir a una falla prematura en el material debido a su rigidez o por la inexistencia de adherencia al no existir una buena compactación de la combinación entre fibra y resina.

A través de la historia las fibras naturales y sintéticas se han ido consolidando cada día más y con ello la forma de conformar para brindar un mejor acabado y adherencia a los materiales, al inicio de todos los tiempos se dio el conformado manual, pero dado al avance tecnológico y la busca de mejorar las técnicas se desarrollaron técnicas como inyección, centrifugado, y pultrusión.

Las fibras utilizadas en la fabricación de materiales compuestos pueden ser: sintéticas como la fibra de vidrio, la fibra de carbono el kevlar y el nylon y naturales como: El cáñamo, el bambú, la guadua, el crin del caballo, la fibra de plátano, la paja y el fique; las fibras sintéticas poseen un recubrimiento que permite una adecuada adherencia a la matriz; mientras las naturales no poseen dicho recubrimiento y por esto es necesario tratarlas químicamente para lograr la adecuada interface entre matriz y fibra;

2.2 Métodos de conformado de materiales compuestos.

2.2.1 Conformado manual

El conformado manual es el más utilizado porque es más fácil y económico de hacer todo depende de lo que se vaya a conformar y según esto se escoge el molde. Hay de acero, madera, y plástico. Todo se trata que no se adhiera al molde para que su desmolde sea fácil y la probeta salga en óptimas condiciones, el molde debe ser un molde abierto, este es el más utilizado para conformar fibras continuas, en el caso de la fibra y la resina el molde más adecuado es el de acero. [7]

2.2.2 Conformado por inyección

Este método es semicontinuo en un molde cerrado que se introduce la fibra y se le va inyectando la resina este método se hace a presión y que este frío, ya echa esta operación se deja solidificar y se procede a desmoldar, este se utiliza para conformar fibras cortas ya que si son continuas la máquina de inyección reduce la longitud de dicha fibra. [8]

2.2.3 Conformado por centrifugado

Es muy característico este método porque es perfecto para sacar probetas cilíndricas, porque este funciona a grandes revoluciones y a gran velocidad y esto nos ayuda a que la resina se adhiera a la fibra y seque más rápido y la fibra tiene que ir en partes pequeñas no es un conformado continuo. [9]

2.2.4 Conformado por pultrusión

Este es un conformado continuo y su método es colocar la fibra en un recipiente lleno de resina para que la fibra absorba la resina, quede homogéneo y se pueden hacer grandes fibras. [10]

2.3 Generalidades y tipos de fibras

En los últimos tiempos los materiales compuestos han venido en auge tratando de remplazar los aceros, claro está que esto se da en algunas partes como en la parte automotriz, arquitectónica, naval. Estos materiales tienen unas grandes propiedades mecánicas, se han estudiado otros materiales compuestos para satisfacer las necesidades del mercado por eso se han encontrado las fibras naturales tales como el fique, amero, plátano, ya que esto solo se utilizaba para la parte textil, en la actualidad se están utilizando en la parte interna de los vehículos y con esto a su vez es amigable con el medio ambiente. [11]

2.3.1 Fibras naturales

Son fibras alargadas producidas por plantas, animales, y minerales con estas fibras se pueden tejer para sacar hilo y trozos más grandes, de todas estas las más importantes son las naturales porque su composición es más adecuada para mezclarla con las resinas poliéster y epoxi, la diferencia de estas fibras es que las vegetales son biodegradables por eso se estudian más porque se busca ayudar al medio ambiente. [12]

2.3.2 Fibras Animales

Las fibras de origen animal son proteínas resistentes a la mayoría de los ácidos orgánicos. También resisten, en unas condiciones determinadas, la acción de ciertos ácidos minerales como el ácido sulfúrico (H_2SO_4). Por el contrario, las bases o álcalis poco agresivos pueden dañar las fibras proteínicas y los álcalis fuertes como el hidróxido de sodio (NaOH) pueden disolverlas por completo. [13]

2.3.3 Seda

La seda es la sustancia de consistencia viscosa formada por la proteína llamada fibroína, que es segregada por las glándulas de ciertos artrópodos; el insecto que la segrega la expulsa al exterior de manera continua por un orificio, y es al contacto con el aire como se solidifica en forma de fibra. [14]

2.3.4 Fibras Vegetales

Las fibras vegetales son principalmente de celulosa, que, a diferencia de las proteínas de las fibras de origen animal, es resistente a los álcalis. Estas fibras son así mismas resistentes a la mayoría de los ácidos orgánicos, pero los ácidos minerales fuertes las destruyen. [15]

2.3.5 Fique

Este material tiene variedad de usos, tales como, la parte textil, la construcción y el sector automotriz, se obtiene de una planta llamada furcraea andina [41] de la cual se obtienen las fibras, las cuales pueden ser tejidas. Ésta es una fibra biodegradable, es económica y muy fácil de encontrar, gracias a sus innumerables aplicaciones se ha buscado remplazar materiales predominantes tales como aceros, polímeros y cerámicas. [16]

2.3.6 Lino

El lino tiene cualidades y características muy particulares, una de sus características más apreciadas es su capacidad de absorber humedad (hasta un veinte por ciento de su peso seco) sin resultar húmedo al tacto. Inversamente, tiene gran facilidad para liberar humedad a la atmósfera. Así se explica por qué el lino sigue siendo un tejido imprescindible en las prendas de moda de verano de todo el mundo. También por su capacidad de absorber humedad, el lino es uno de los tejidos de mayor utilidad en el hogar. Su fama de ser el mejor limpiador de vidrios se funda además en el hecho de que no pierde fibras. [17]

2.3.7 Fibras minerales

La fibra de vidrio es la única fibra de origen inorgánico (mineral) que se utiliza a gran escala en los tejidos corrientes. Se ha descubierto que la fibra de amianto, que se empleaba en el pasado en aislamientos y protecciones ignífugas, es cancerígena. Para

la fabricación de gasa se utiliza alambre fino de metal, mezclado con fibras orgánicas que forman un patrón determinado. [18]

2.3.8 Fibras Sintéticas

Son las llamadas fibras químicas o textiles sintéticas, las ventajas de estas fibras son principalmente que no se depende de cosechas y el volumen de producción puede ser modificado a voluntad. Las propiedades de las fibras químicas pueden ser modificables a voluntad, como la resistencia, brillo, aunque tienen algunas desventajas como la absorción de agua. [19]

2.3.9 Fibra de carbono

La fibra de carbono es una fibra sintética compuesta por filamentos muy finos con un diámetro de 5 a 8 μm que están constituidos por la unión de miles de fibras de carbono. Normalmente, la fibra de carbono se utiliza mezclada con polímeros termoestables, siendo las resinas epoxi las más frecuentes, tiene aplicaciones en el sector aeronáutico, bicicletas, automoción y construcción. [20]

2.4 Tipos de resinas

Existen diferentes tipos de resinas en el mercado, entre ellas se encuentran resinas naturales modificadas químicamente o sintéticas polimerizadas

2.4.1 Resina fenólica

Esta clase de resina genera buena resistencia, estabilidad al calor y resistencia al impacto, alta resistencia a la corrosión por químicos, sus aplicaciones más comunes se encuentran en componentes eléctricos, adhesivos para cemento y moldes. [21]

2.4.2 Resina Aminas

Las aminas generan buena resistencia al calor, alta resistencia a solventes y químicos, además de tener una alta dureza superficial, este tipo de resina se encuentra principalmente en adhesivos, recubrimientos de papel y estructuras de decoración. [21]

2.4.3 Resina Poliéster

La resina poliéster posee una flexibilidad incomparable con las demás resinas, tiene alta resistencia al calor, químicos y llama, posee bajo costo, lo cual la hace la más usada en

los diferentes sectores industriales, además de tener excelentes características mecánicas y eléctricas, la resina poliéster se encuentra en el sector de la construcción, caña de pescar, componentes de aviones y barcos, recubrimientos y accesorios decorativos. [21]

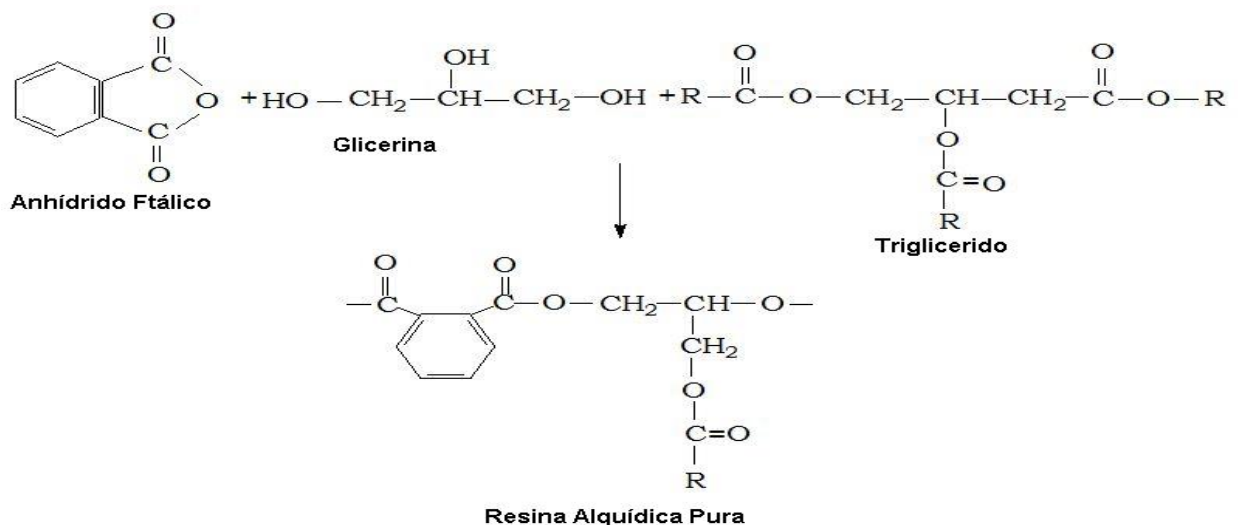
2.4.4 Resinas Poliéster Saturadas

Las resinas de poliéster saturadas son aquellas que se conforman por moléculas filiformes, estos se obtienen por medio de la reacción de un ácido dibásico con dioles, estos son usados generalmente en la industria textil. [43] [44]

2.4.4.1 Resina Alquílica

Las resinas alquílicas se obtienen mediante la combinación de los grupos carboxilo de los poliácidos y del hidroxilo de los polioles, una resina alquílica pura es un polímero formado por la reacción de anhídrido ftálico como diácido y glicerina o pentaeritritol como polioles y ácidos grados secantes, semisecantes, son comúnmente usados en pinturas y en tintas de impresión. [44]

Figura 1: Estructura de la resina alquílica

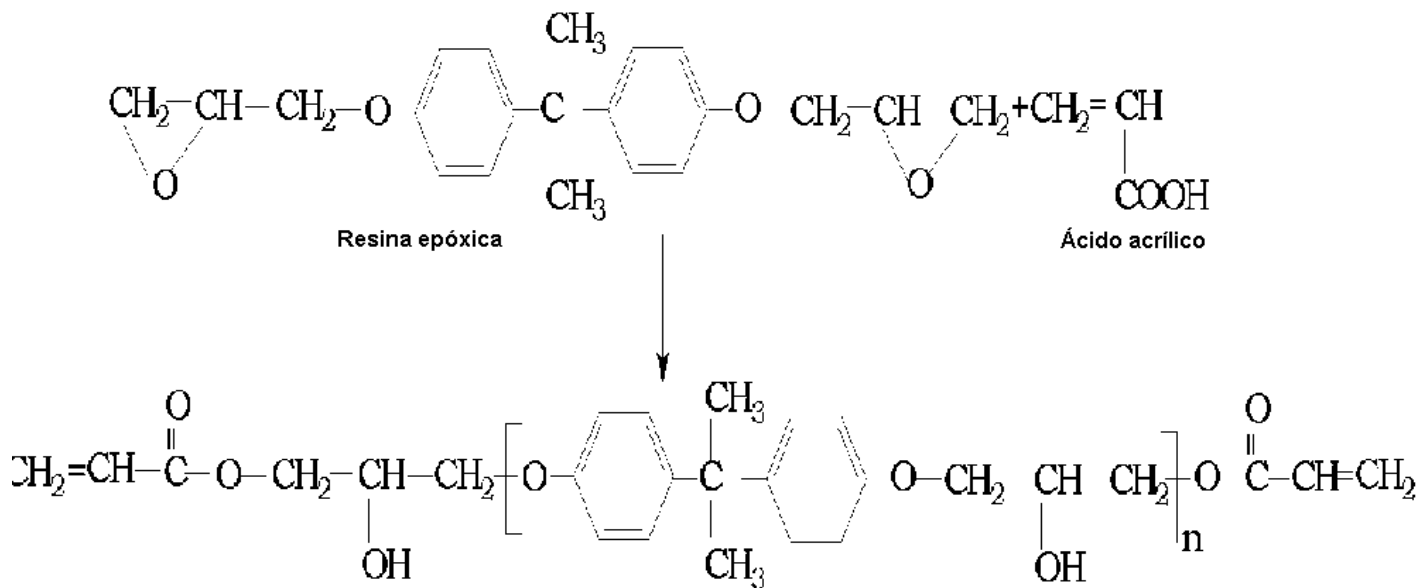


Fuente: [44]

2.4.4.2 Resina viniléster

La resina viniléster se obtiene por medio de la reacción de acrilato de glicidilo y metacrilato de glicidilo con bisphenol-A, estas resinas son muy reactivas y tienen una vida útil muy corta, las resinas viniléster tienen comportamiento termoplástico y son la parte intermedia entre resina epóxica y poliéster ya que tiene propiedades de ambos tipos de resina [44]

Figura 2: Estructura de una resina viniléster, a partir de la adición de resina epoxi con ácido acrílico



Fuente: [44]

2.4.5 Resinas Poliéster Insaturadas

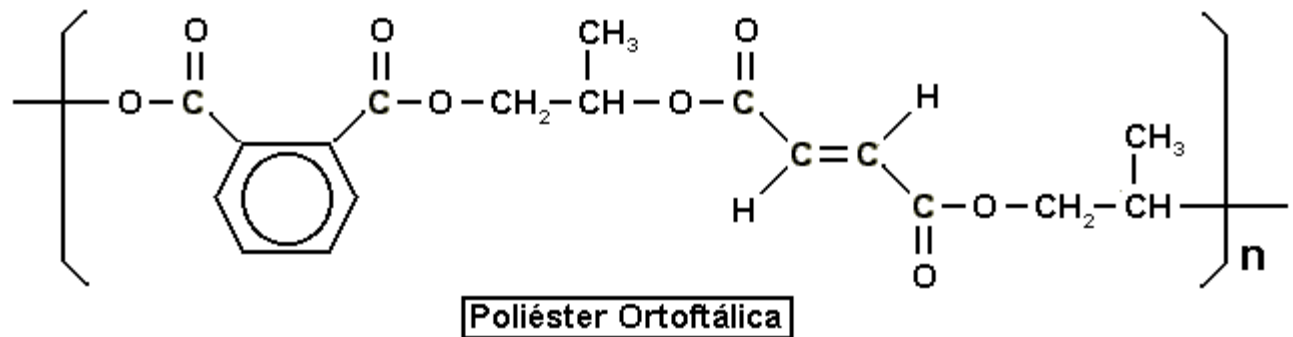
Las resinas de poliéster insaturadas son polímeros de condensación formados por la reacción de polioles (alcoholes polihídricos), con alcoholes o grupos funcionales hidroxilo y ácidos dibásicos saturados o insaturados.

2.4.5.1 Resina de poliéster ortoftálica

Las resinas de poliéster ortoftálicas son aquellas que se obtienen a partir de la reacción de anhídrido ftálico, estas resinas son utilizadas como ácidos modificadores, este tipo de resinas son altamente sensibles a los ataques químicos, son de bajo costo y se usan

para aplicaciones básicas donde se requieran propiedades estructurales moderadas. [45].

Figura 3: Estructura molecular de la resina ortoftálica.

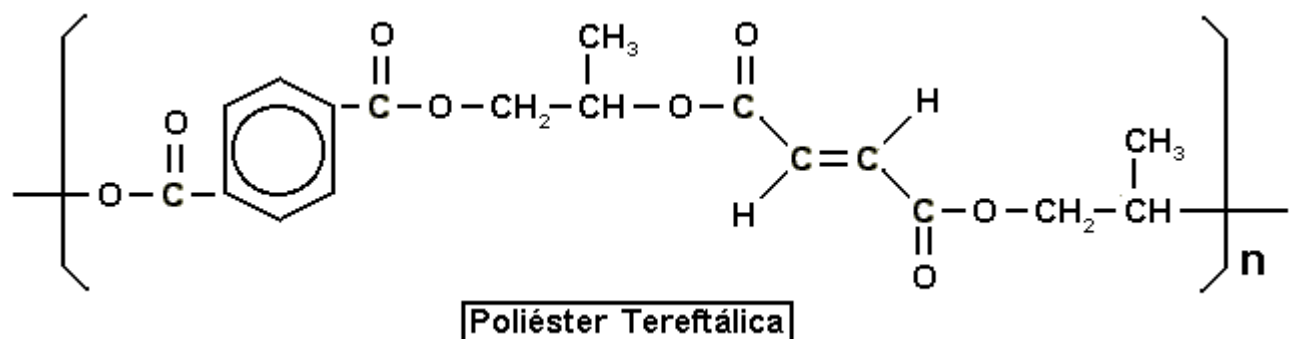


Fuente: [45]

2.4.5.2 Resina de poliéster tereftálicas

Las resinas de poliéster tereftálicas son aquellas obtenidas por la sustitución de parte de los ácidos por ácido tereftálico, muestran un desempeño similar a las resinas isoftálicas en cuanto a hidrólisis y resistencia al calor, sin embargo, posee baja resistencia a los rayos UV, por lo tanto, si es expuesta a rayos UV tiende a amarillarse con facilidad.

Figura 4: Estructura molecular de la resina tereftálicas

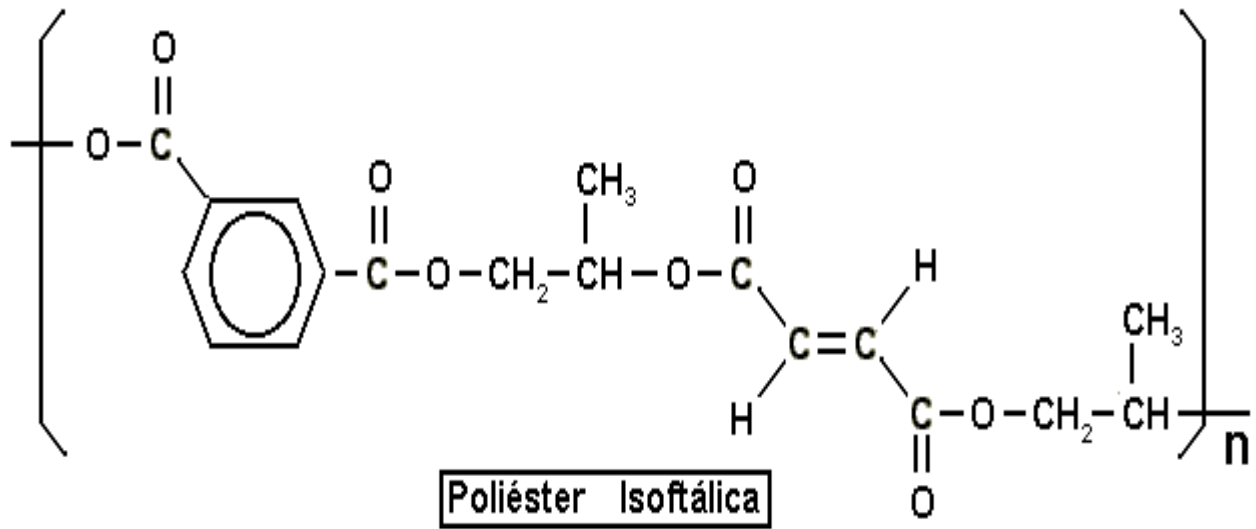


Fuente: [45]

2.4.5.3 Resina de poliéster isoftálicas

Este tipo de resinas son fabricadas a partir de ácidos isoftálico, son mucho más competentes estructuralmente que las ortoftálicas, tienen mayor resistencia a la corrosión, al ataque químico y a la temperatura. [45]

Figura 5: Estructura molecular de la resina isoftálicas

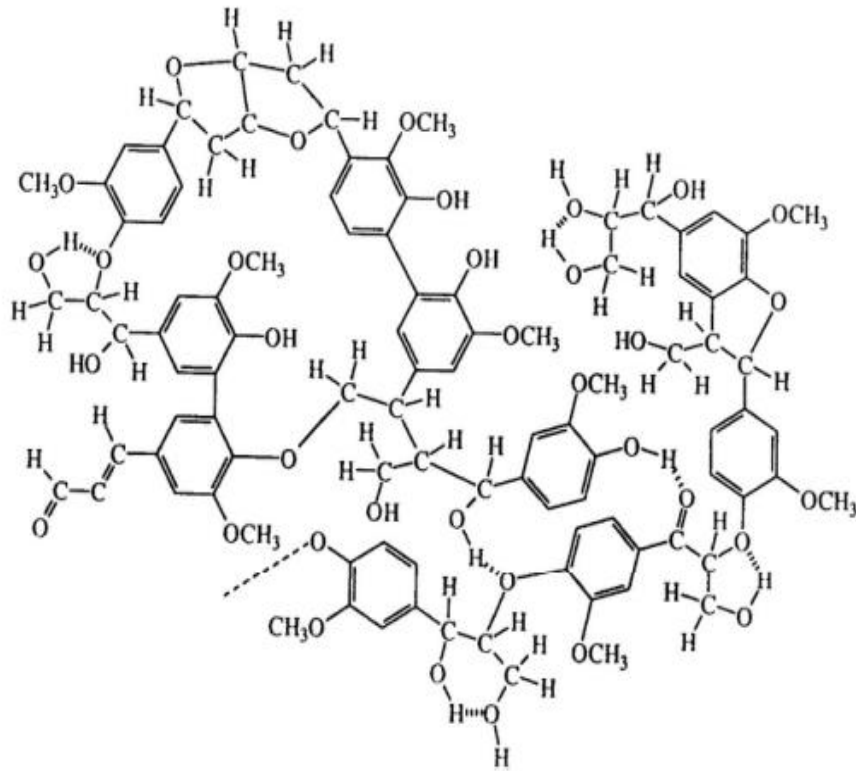


Fuente: [45]

2.5 Caracterización sustancias características en la fibra de fique

2.5.1 Lignina.

Figura 6: Estructura de la lignina.

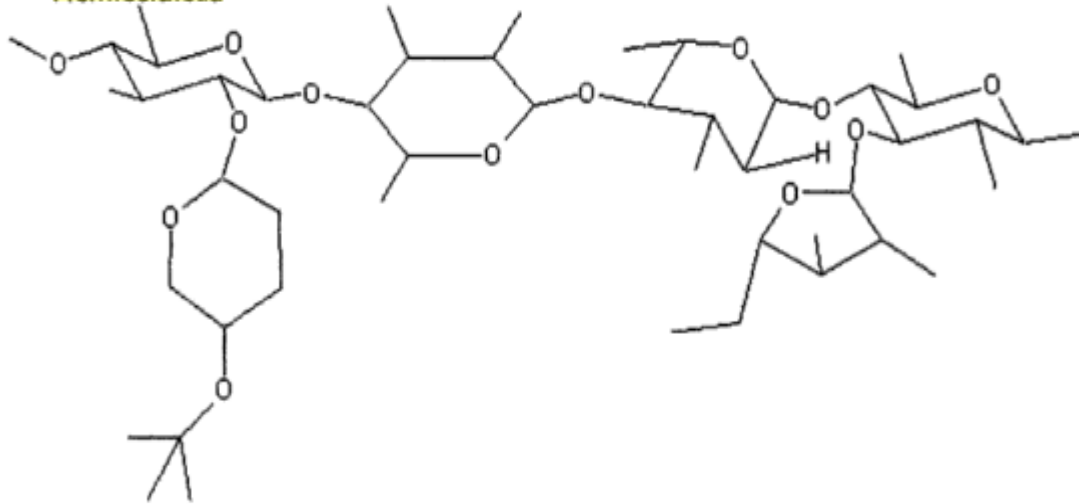


Fuente: [33]

Se puede observar la estructura molecular de la lignina, el cual es uno de los principales componentes de la fibra de fique o de cualquier fibra natural, la lignina no es una sustancia sino una mezcla de varios componentes, tales como, fenoles y ácidos fenólicos, los cuales crean enlaces entrecruzados formando la estructura evidenciada en la figura 1, la lignina tiene propiedades hidrofóbicas y de igual manera es de carácter amorfo. [34]

2.5.2 Hemicelulosa

Figura 7: Estructura de la hemicelulosa.

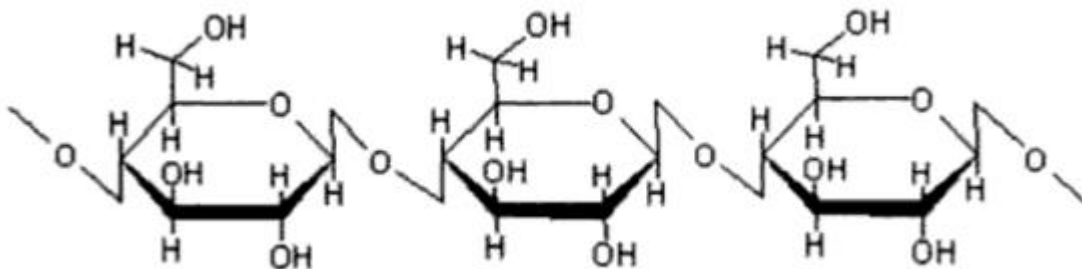


Fuente: [34]

Se observa la estructura molecular de la hemicelulosa, la cual es la más compleja de todos los carbohidratos estructurales, ya que posee una mezcla de polisacáridos, tales como xilosa, glucosa, arabinosa y el ácido glucurónico, estos componentes hacen a la hemicelulosa casi completamente amorfa.

2.5.3 Celulosa

Figura 8: Estructura de la celulosa.



Fuente: [34]

La celulosa es el componente mayoritario en las fibras de origen natural, así como también es el compuesto más abundante en la tierra, este compuesto cuenta con una estructura muy organizada lo cual le proporciona una gran inercia química, este compuesto es el que le confiere resistencia a la pared celular de la fibra, por tal razón se busca que sea el componente que quede presente siempre en la fibra [37], además de que su naturaleza es netamente cristalina, lo cual favorece la interacción entre los materiales, además de generar enlaces más fuertes, generando así mayor resistencia en el material.

3. ANTECEDENTES

- María F. Contreras y compañía: Dada la composición característica de la fibra de fique, la cual se basa en tejidos helicoidales los cuales aportan a la fibra una condición elástica, al aplicar ensayos de tensión se puede evidenciar que la fractura se da por la fractura de dichas fibras y el desgarramiento de la película protectora que dichas fibras tienen en su superficie, por tal razón el desempeño de las fibras podría mejorar en el material compuesto realizando un tratamiento químico en el cual se generan cadenas estructurales de moléculas que aumentan la adhesión entre los tejidos. [22]
- Pandey, R y compañía: Los tratamientos de alcalinización con soda cáustica aplicada a las fibras naturales (bambú), demuestra que es óptimo este tratamiento para la eliminación de componentes característicos de la fibra tales como la lignina, la hemicelulosa y la celulosa, además de mejorar las condiciones de absorción de las fibras [23]
- Gañan, P y compañía: Los tratamientos alcalinos para tratar la fibra en este caso soda cáustica (NaOH), demostró que dicho tratamiento químico aumenta la resistencia y el módulo elástico de la fibra de fique, por medio de la eliminación de la lignina y hemicelulosa lo cual hace que aumenten sus propiedades mecánicas, como lo es la resistencia a la tensión. [24]

La combinación del tratamiento alcalino a la fibra con Soda caustica y el uso de un silano que en el caso de la investigación fue trimetoxisilano, se evidencia el incremento de la resistencia mecánica a la tensión del material compuesto en un 50%, además de un incremento del 29% en la deformación plástica (E) del material. [24]

Por otro lado, se demostró que el uso del anhídrido maléico a una concentración del 5% peso/volumen, disminuye la propiedad mecánica a la tensión del material en un 14%, sin embargo, la combinación entre el tratamiento alcalino de soda caustica y el de anhídrido maléico al 5% peso/volumen aumentaron la propiedad mecánica a la tensión del material en un 36%. [24]

- Gómez, C y compañía: El Tratamiento de soda cáustica al 5% Peso/Volumen demuestra que la fibra no solamente ataca a los componentes de celulosa, sino también aumenta del módulo de las fibras, tratando las fibras con dicha sustancia,

entre 4 a 24 horas, demostró un aumento del módulo de elasticidad entre el 26 a 46% y bajo tensión incrementó su módulo entre el 35% y 228% respectivamente. [25]

- Koronis, G y compañía: Marcas de autos como Mercedes Benz, Toyota, BMW, Ford, Audi han utilizado materiales compuestos reforzados con fibras naturales para aplicaciones en los paneles internos de los vehículos y el tablero (millaré). [26]
- Rodríguez L y compañía: Las muestras elaboradas con fibras de fique presentaron un rompimiento irregular y alcanzaron más de dos veces la elongación que los materiales compuestos (MC) producidos con fibras del seudo tallo de plátano (FSP) evidenciando que las fibras de fique le brindan al material un comportamiento plástico, la cual la hace viable para las diferentes aplicaciones que requieran estabilidad dimensional y capacidad de soportar altas cargas. [27]
- M.D. Salvador y compañía: Las fibras presentan diferentes composiciones y propiedades físicas que presentan una elevada influencia en la compatibilidad con las matrices poliméricas tal como se evidencia en este proyecto y por tanto en las propiedades finales del compuesto. Esto causa dificultades en cuanto a caracterización del material y que este obtenga altas propiedades mecánicas a tensión. Algunos de los parámetros físicos más importantes de algunas de las fibras investigadas junto a la de otras fibras que se han obtenido de distintas referencias; en otra investigación se obtuvo las propiedades de la fibra de fique. [28]

Tabla 1: Características de las diferentes fibras naturales.

<i>Material</i>	<i>PEBD/Al</i>	<i>Fique</i>
Densidad (g/cm ³)	1,08	1,47
Absorción de agua (%)	0,12	60
Temperatura de fusión °C	107	---
Temperatura de degradación °C	---	220
Diámetro (µm)	---	0,24
Resistencia a tensión (MPa)	11	132,40
Módulo de elasticidad (GPa)	0,16	8,20-9,10
Elongación última (%)	46	9,80

- **Fuente:** [42]

- J. Saldarriaga y compañía. Para el desarrollo de este proyecto se empleó el silano 3-aminopropiltrimetoxi – silano, con una pureza del 97% el cual se considera grado analítico, de la casa fabricante Degussa Hüls. Durante el tratamiento se preparó una solución al 5% en la cual fueron sumergidas las fibras de fique. El tratamiento se aplicó a las fibras de fique con los mismos parámetros de tiempo y temperatura seguidos en el tratamiento con soda cáustica. A continuación, las fibras fueron lavadas y secadas a una temperatura de 100 ± 5 °C por 1 h [29], en este proyecto se hizo uso del amino propil silano el cual tiene la misma procedencia, usando los mismos parámetros de desarrollo, en el cual se trató la fibra durante una hora a temperatura ambiente.

Se observa que todas las probetas de materiales compuestos presentan una mayor tendencia a la captación de agua que la matriz pura, puesto que son de origen natural. Sin embargo, cuando son tratadas se puede apreciar que disminuye su capacidad de captar agua, indicando que los tratamientos son efectivos para reducir este comportamiento. Demostrando así que ambos tratamientos mejoran el desempeño del material compuesto., tanto con el proceso de alcalinización y tanto con el proceso de silanización. [29]

- M.F Muñoz y compañía. En cuanto a las fibras tratadas con NaOH, fue posible identificar una remoción de componentes, en especial de hemicelulosa y lignina; por tal razón fue el tratamiento principal aplicado en las fibras, después de dicho tratamiento por medio de técnicas como FTIR se puede saber la existencia de celulosa, mejorando las propiedades mecánicas a la tensión de las fibras. Además, una cantidad mayor de grupos hidroxilo de la celulosa quedan expuestos para que la reacción con el silano se facilite. [30]

Así mismo, vale la pena resaltar que los resultados indicaron que no existe una diferencia significativa en las propiedades mecánicas a tensión para todas las fibras que en alguna de sus etapas contaron con un tratamiento con NaOH, sugiriendo esto que la incorporación del agente acoplante y el proceso de pre-impregnación de la fibra no repercute en el desempeño mecánico del material [30]

Lo anterior deja intuir que las fibras de fique son susceptibles de ser utilizadas como refuerzo de matrices de naturaleza polimérica [30]

- Hidalgo, M. A.
Ventajas del empleo de las fibras como materia prima:
 1. Bajo peso específico, que se traduce en mayor resistencia y rigidez específica que el vidrio, por ejemplo (flexión).
 2. Se trata de un recurso renovable; la producción requiere poca energía, el CO₂ se utiliza mientras que el oxígeno se devuelve al medio ambiente.
 3. Producibles a bajo costo.
 4. El procesamiento es amigable; bajo desgaste de herramientas, no hay irritación de la piel.
 5. Es posible el reciclaje térmico, donde el vidrio causa problemas en los hornos de combustión.
 6. Buenas propiedades de aislamiento térmico y acústico.
 7. Pueden utilizarse con matriz polimérica virgen, reciclada, con cementos, como rellenos

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

4.1 Materiales y Métodos

Para conformar el material compuesto se utilizó como matriz resina poliéster comercial y como refuerzo fibra de fique virgen proveniente del Departamento de Nariño, Municipio de Chichaguy Colombia

La resina poliéster se eligió como matriz debido a que posee un bajo precio comparado a la resina epóxica.

Las fibras de fique fueron lavadas en el laboratorio con agua destilada usando un vaso de precipitado para retirar impurezas de la fibra, luego pretratadas con una solución de NaOH al 2% peso (con el fin de eliminar la lignina y hemicelulosa presente en estas); este porcentaje de NaOH fue elegido debido a que estudios realizados anteriormente en un semillero de investigación del cual hacíamos parte, mostró que esta concentración eliminaba dichos componentes; un posterior tratamiento superficial se realizó con agentes de acoplamiento de propóxido de Titanio, amino propil silano y anhídrido maléico, respectivamente con el fin de mejorar la adherencia a la matriz en el proceso de conformado.

Posteriormente, la fibra se sometió a un secado en un horno sin atmosfera controlada durante 4 horas a 105 °C para eliminar el agua superficial de la fibra

El conformado del material compuesto se realizó por el metodo de conformado a mano y las proporciones de resina y fibras fueron: 96 % peso resina y 4 % peso de fibra; de acuerdo al diseño de experimentos mostrado en la tabla 2

Tabla 2: Tratamientos de la fibra de fique

Refuerzo	Matriz	Notación del material conformado
Sin refuerzo	Resina poliéster sin tratamiento	Resina
Fique sin tratamiento químico	Matriz de resina poliéster sin tratamiento	Virgen
Fique tratado con NaOH al 2% peso	Matriz de resina poliéster sin tratamiento	NaOH 2 %
Fique pretratado con NaOH 2% + propóxido de titanio al	Matriz de resina poliéster sin tratamiento	Propóxido de Titanio

1 % peso		
Fique pretratado con NaOH 2% + amino propil silano al 0.7 % peso	Matriz de resina poliéster sin tratamiento	Amino propil silano
Fique pretratado con NaOH 2% + anhídrido maléico al 2% peso	Matriz de resina poliéster con tratamiento de anhídrido maléico al 2 %	Anhídrido maléico

La proporción de resina y fibra se obtuvo por medio experimental, al ser la fibra hidrofílica se usó una mayor cantidad de resina para poder empapar completamente la fibra, por medio del semillero de investigación llamado “Biocánica” se llegó a la conclusión con estudios preliminares que esta era la mejor proporción para que las fibras quedaran bien empapadas y así evitar que la probeta quedara con la fibra expuesta o con porosidades.

El tratamiento con NaOH, utilizó como solvente agua destilada, a temperatura ambiente, este procedimiento se hizo por media hora.

En la figura 9 se evidencia la fibra sometida al tratamiento con NaOH 2%pe

Figura 9: Fibra de fique virgen sometida al tratamiento con NaOH 2%pe durante media Hora.

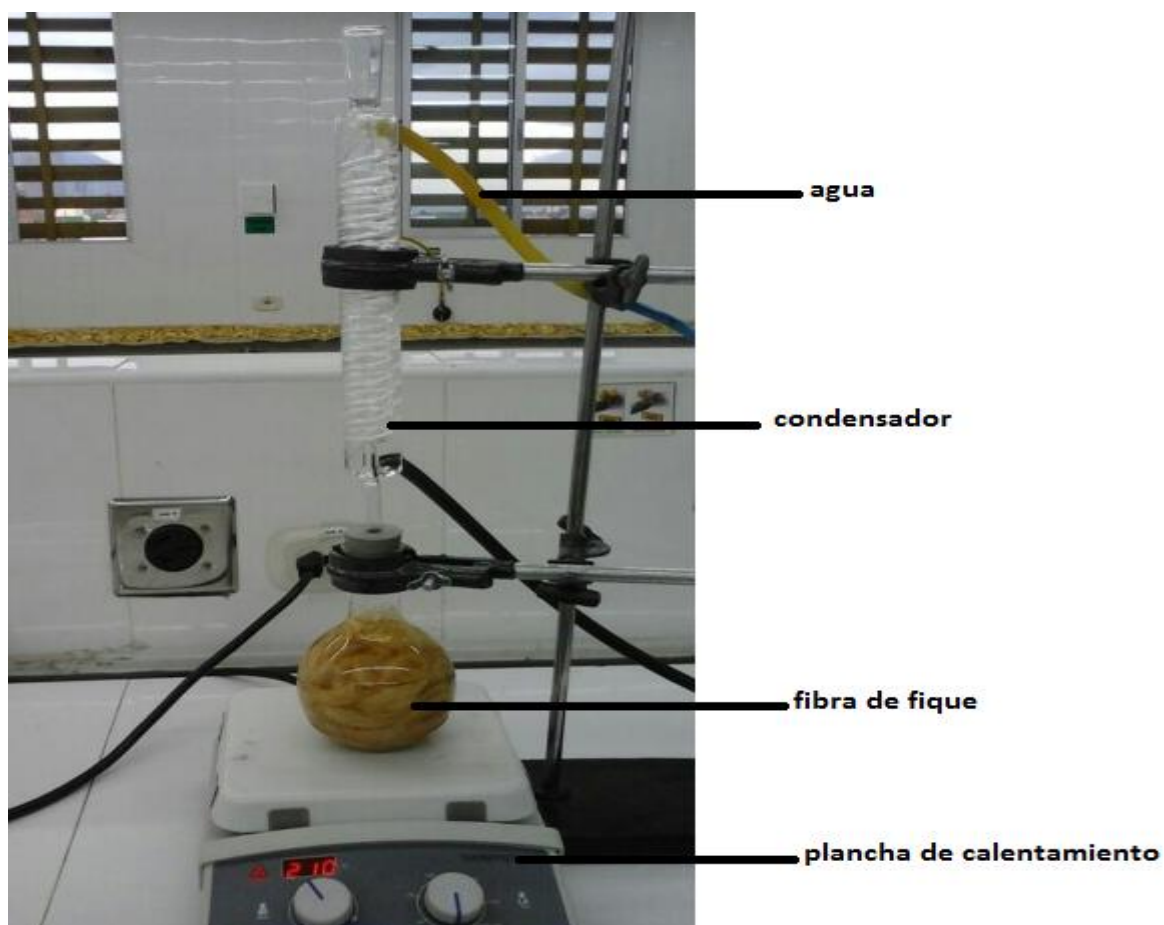


Fuente: Este estudio.

El tratamiento con amino propil silano utilizó como solvente metanol se realizó a 60 °C bajo reflujo de acuerdo a la figura 10.

En la Figura 10 se puede evidenciar la fibra pretratada con NaOH 2% peso, sometida a nuevo proceso de silanización, con amino propil silano, por medio de la técnica de condensado, la cual consiste en recircular los gases producidos a causa del calentamiento de la sustancia que en este caso fue amino propil silano con metanol, estos gases producidos se enfrían por medio del ingreso de agua fría, de este modo pasan a estado líquido y se recirculan por medio del serpentín, este tratamiento se realizó a una temperatura de 60°C por 1 hora, con una concentración de 0,7% peso de amino propil silano con metanol, se usó temperatura para acelerar la reacción del silano en la fibra y de este modo optimizar el tiempo del proceso.

Figura 10: Proceso de silanización de la fibra con amino propil silano.



Fuente: Este estudio.

El tratamiento con propóxido de titanio utilizó como solvente metanol se realizó a temperatura ambiente

En la figura 11 se puede observar la fibra de fique pretratada con NaOH 2% peso, sometida a otro proceso de silanización, este caso con Propóxido de titanio, se cubrió con papel aluminio para evitar el contacto directo con el ambiente y de este modo alterar los resultados de la prueba, al ser el propóxido de titanio una sustancia volátil y que cambia de estado fácilmente, se requiere tener en cuenta estas condiciones y de esta forma obtener el resultado esperado.

Figura 11: Fibra de fique pretratada sometida a tratamiento con propóxido de titanio



Fuente: Este estudio.

En la Figura 12 se observa el tratamiento con anhídrido maléico utilizó como solvente acetona y se realizó a temperatura ambiente

Figura 12: Se observa la resina con anhídrido maléico.



Fuente: Este estudio.

Se realizó un tratamiento con anhídrido maléico a la matriz, este tratamiento se inició con una concentración de 0.4% peso de anhídrido maléico con la resina, se agitó con un agitador manual de vidrio por 10 minutos, pasado este tiempo se evidenció que el químico no se disolvía en la matriz por lo cual se intentó realizar el mismo tratamiento al refuerzo.

Figura 13: Tratamiento a la fibra con anhídrido maléico.



Fuente: Este estudio

En la figura 13 se puede evidenciar la fibra sumergida en la solución de anhídrido maléico con acetona, la concentración empleada en este tratamiento fue de 8% peso de

anhídrido maléico con acetona, a temperatura ambiente por media hora, posterior a este tiempo se realizó un lavado a la fibra con acetona y se ingresó al horno sin atmosfera controlada a una temperatura de 105°C por 4 horas.

El material compuesto se caracterizó en cuanto a sus propiedades mecánicas de tensión en la maquina universal de ensayos de acuerdo a la norma ASTM D7205/D7205M-06; a 10 mm/min, el número de réplicas fue cinco por tratamiento; con un total de treinta ensayos

El material se caracterizó micro estructuralmente por medio de microscopia electrónica de barrido SEM utilizando 15 KV de energía de excitación de los electrones, este ensayo se realizó a todos los tratamientos del material compuesto, por medio de esta técnica se corrobora si hay o no adherencia entre la fibra y la matriz que genere una interface

Se utilizó la técnica de FTIR a 64 scans, en una escala de número de onda desde 400 a 4000 cm^{-1} para corroborar si se eliminó o no la lignina y la hemicelulosa en el pretratamiento de la fibra con NaOH predominando la celulosa en las fibras tratadas (P, 2009), y la evidencia de nuevos compuestos químicos obtenidos superficialmente en la fibra luego de los tratamientos químicos con los agentes de acoplamiento

Por último, se relacionó el tratamiento utilizado en las fibras (caracterizado por FTIR) con la adherencia del material compuesto (caracterizado por SEM) y con las propiedades mecánicas obtenidas.

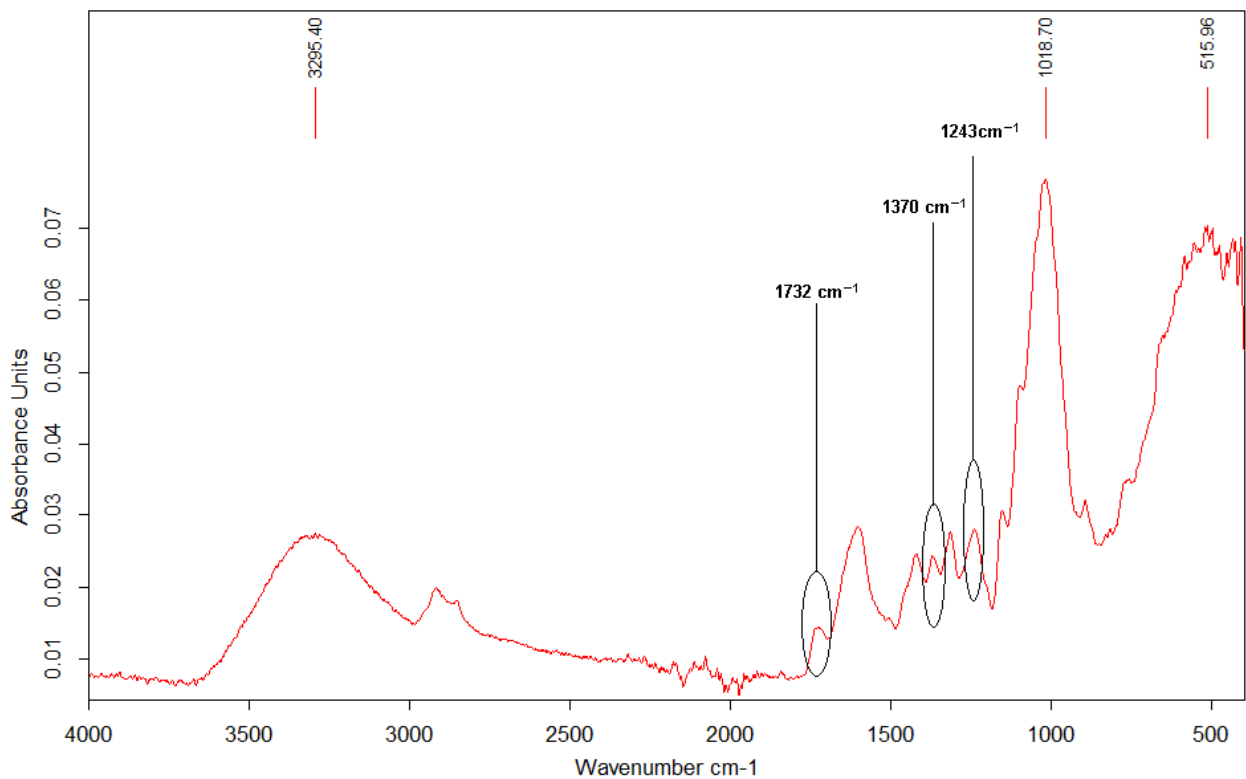
Se demostró por medio de investigaciones anteriores realizadas en el semillero llamado "Biocánica" de la universidad ECCI que la fibra se degrada con el tratamiento de soda caustica al 3% peso, disminuyendo sus propiedades mecánicas, por tal razón se escogió el tratamiento de NaOH 2% peso, como pretratamiento de la fibra.

5. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier FTIR

En la figura 14. Se muestra el espectro realizado mediante la técnica FTIR de la fibra virgen.

Figura 14: Espectro de la fibra de fique virgen; Método: FTIR

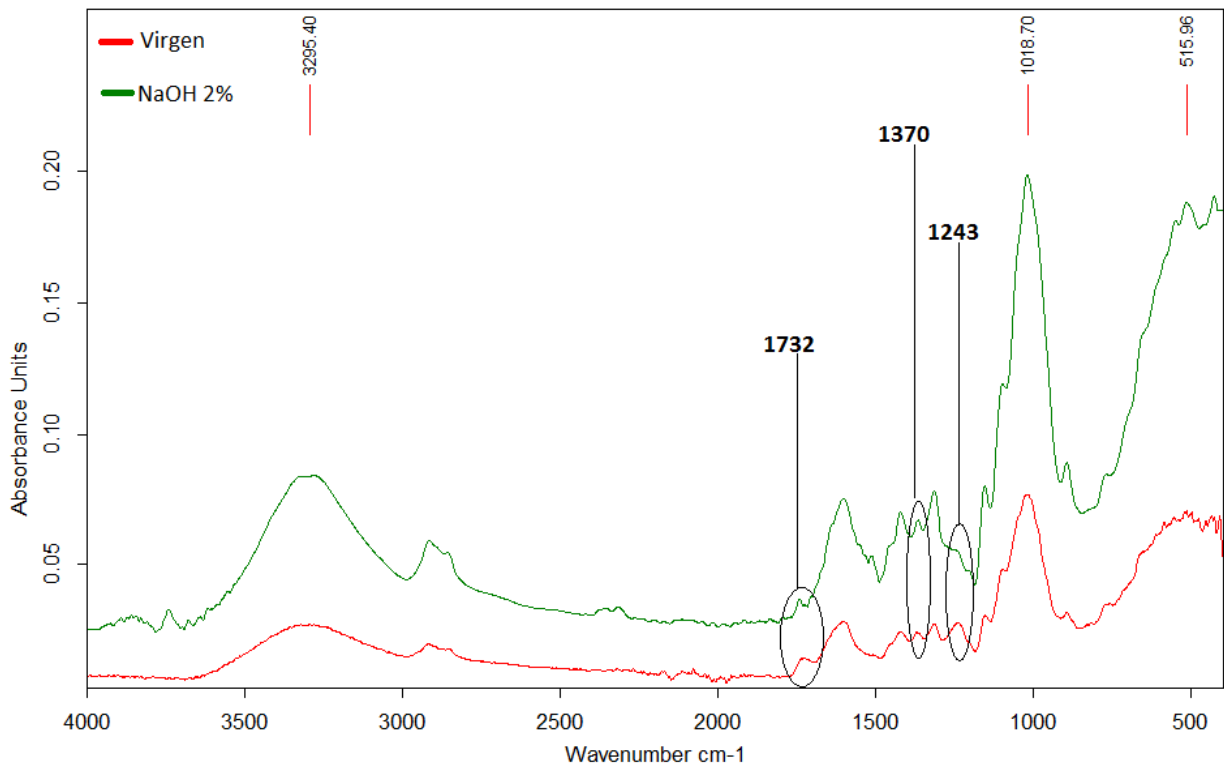


Fuente: Este Estudio

En la figura 14, se evidencian las bandas características de las fibras naturales que se encuentran en los valores de número de onda 1243 cm^{-1} correspondientes al grupo C-O, la banda 1370 cm^{-1} correspondiente al grupo C-H, las cuales hacen parte de la estructura de la lignina, también se puede evidenciar la banda 1732 cm^{-1} correspondiente a la presencia de grupos carbonilo presentes en la hemicelulosa. [30]

En la figura 15. Se muestra la comparación de los espectros realizados mediante la técnica FTIR a la fibra virgen y tratada con NaOH al 2 % peso

Figura 15: Comparación entre espectro fibra de fique virgen y fibra de fique tratada con NaOH 2% peso

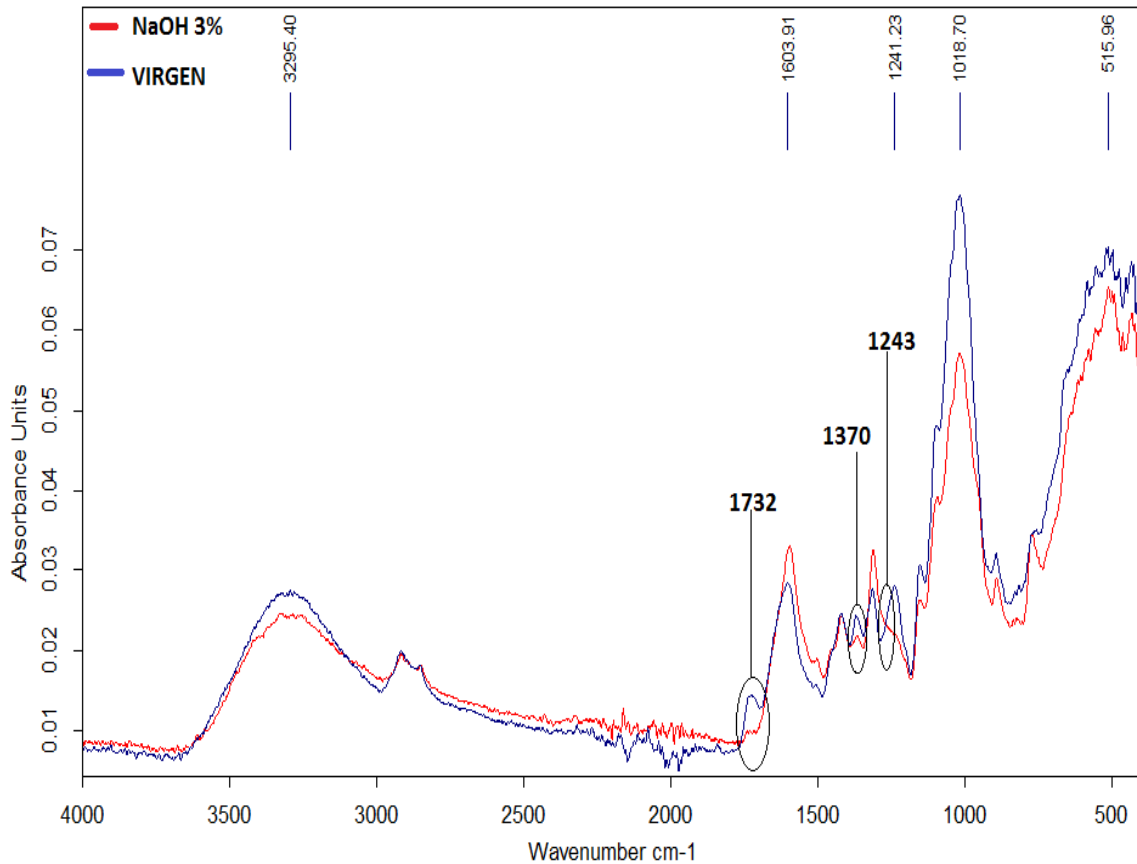


Fuente: Este estudio

En la figura 15 se evidencia que al aplicar el tratamiento superficial a la fibra con NaOH desaparecieron y disminuyeron bandas características de los grupos funcionales característicos de los componentes de lignina y hemicelulosa de las fibras naturales, tales como la banda 1370 y 1243 las cuales están atribuidas a los enlaces CH₃, C-H y C-O presentes en la lignina, también se aprecia una disminución de la banda 1732 cm⁻¹, la cual se asocia a la presencia de grupos carbonilo en la fibra, provenientes de la hemicelulosa y las pectinas, lo cual evidencia que el tratamiento con soda cáustica es efectivo para la remoción y disminución de sustancias como lignina y hemicelulosa, otros estudios han mostrado resultados similares. [30]

En la figura 16. Se muestra la comparación de los espectros realizados mediante la técnica FTIR a la fibra virgen y tratada con NaOH al 3 % peso

Figura 16: Comparación entre espectro fibra de fique virgen y fibra de fique tratada con NaOH 3% peso

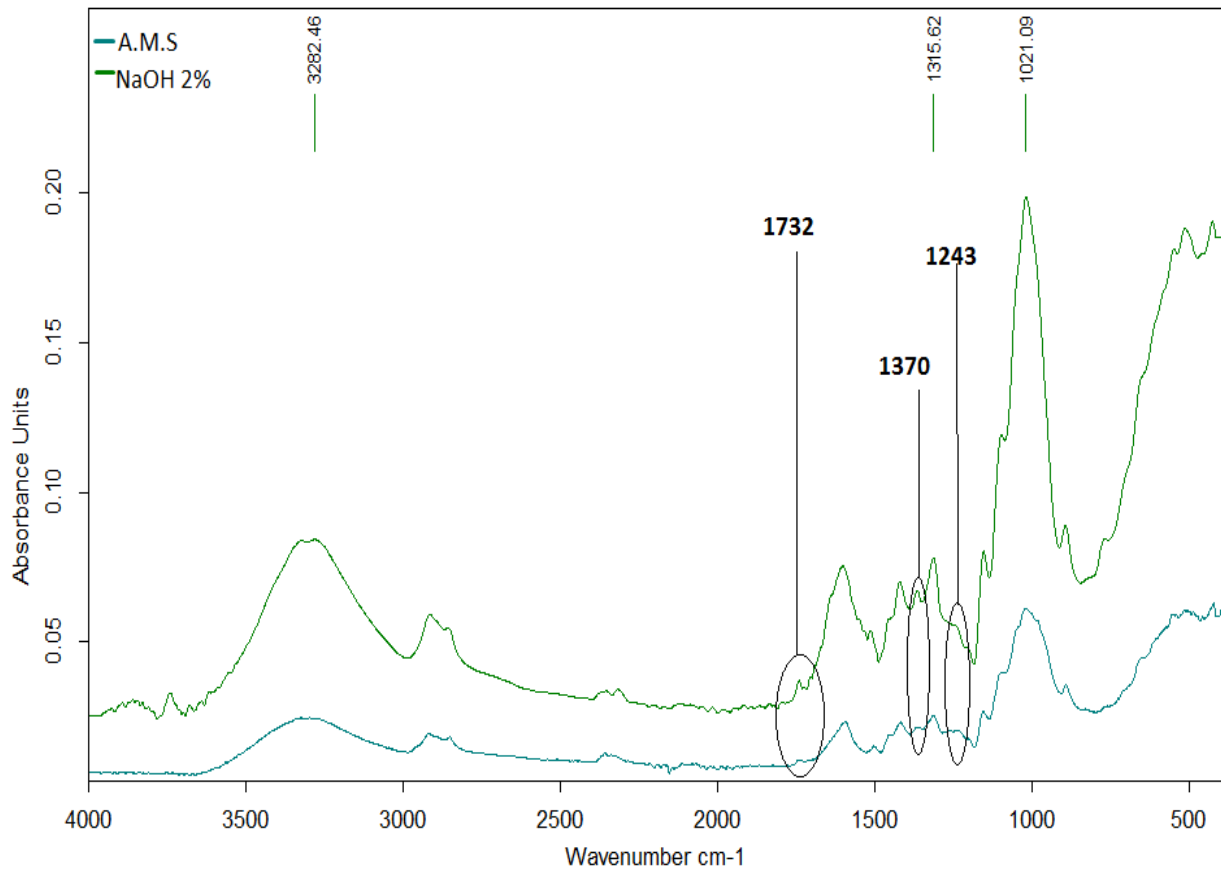


Fuente: Este estudio

En la figura 16 se puede observar que la diferencia entre los tratamientos de fibra de fique virgen y NaOH al 3%, en la cual se muestra que, en la banda 1243 cm⁻¹ correspondiente a la lignina desaparece su pico y en la zona de la celulosa en la banda 1370 cm⁻¹ disminuyó el pico correspondiente a la hemicelulosa y en la banda 1732 cm⁻¹ no desaparece el pico, este tratamiento de alcalinización a pesar de que elimina componentes característicos tales como la lignina y la hemicelulosa.

En la figura 17. Se muestra la comparación de los espectros realizados mediante la técnica FTIR a la fibra tratada con NaOH al 2% peso y fibra tratada con amino propil silano.

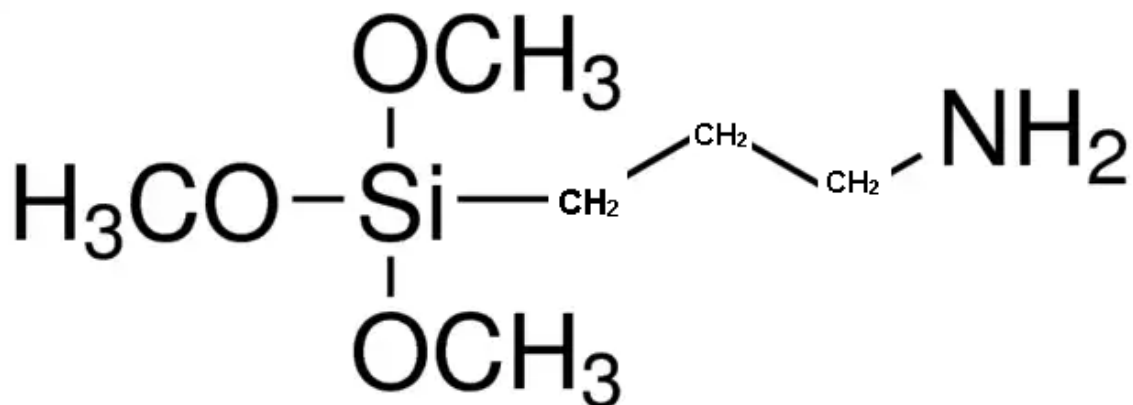
Figura 17: Comparación entre fibra de fique tratada con NaOH 2% Peso y fibra tratada con amino propil silano.



Fuente: Este estudio

Al realizar el análisis de la técnica FTIR entre fibra de fique tratada con amino propil silano y fibra de fique tratada con NaOH al 2% peso, se puede encontrar que en la zona de la banda 1243 cm⁻¹ y 1370 cm⁻¹ desapareció el pico característico correspondiente a lignina, también se puede observar una disminución en el pico de la banda 1732 cm⁻¹ el cual corresponde a hemicelulosa, esto puede ser debido a que el tratamiento con amino propil silano removió la lignina y hemicelulosa.

Figura 18: Estructura Amino propil silano.



Fuente: [36]

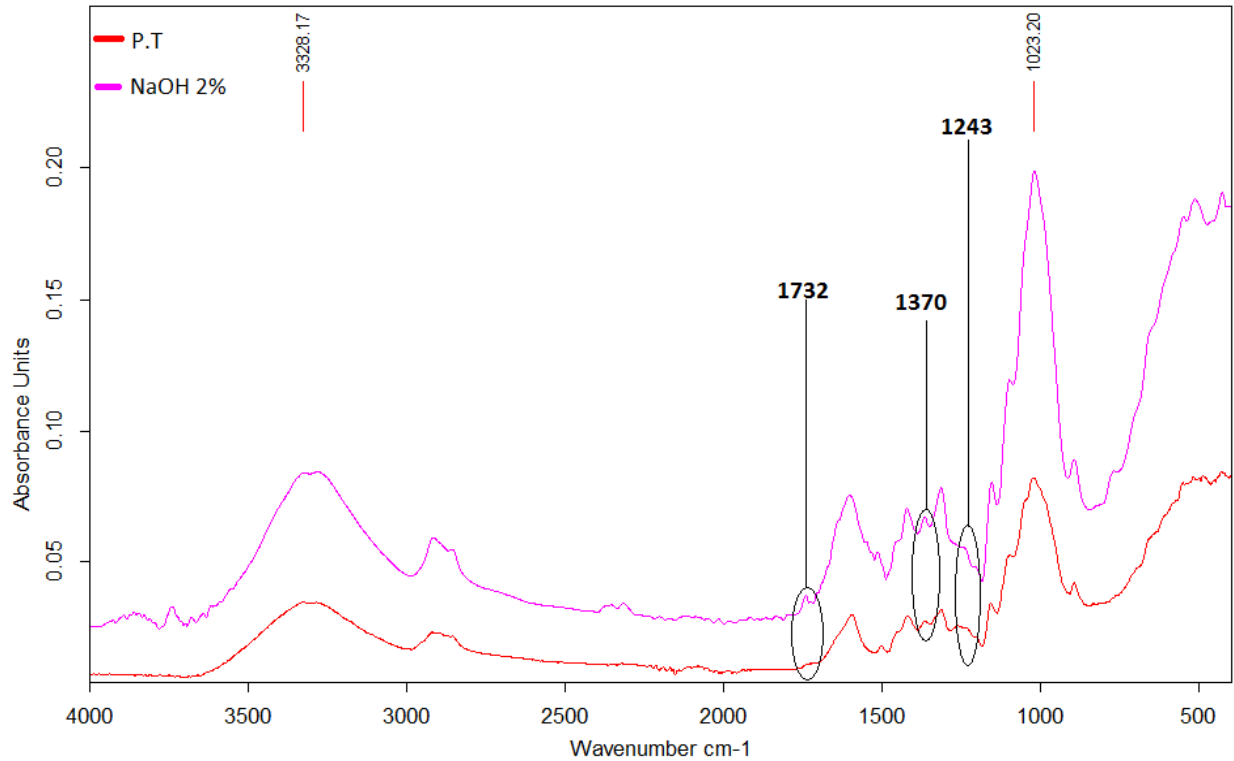
Como se evidencia en la figura 18, se encuentran moléculas de silicio en el compuesto de amino propil silano, se esperaba que las moléculas de oxígeno interactuaran con la celulosa de la fibra, el cual si se obtuvo por medio de un enlace covalente, el bajo rendimiento del material se cree que se produjo por el grupo funcional NH_2 , ya que no tuvo ninguna interacción con los grupos éster de la resina poliéster y de este modo no cumplió la función esperada, la cual era crear un enlace iónico con la resina y de este modo lograr un material compuesto más resistente. CH_2

A pesar de que con el pretratamiento de NaOH 2% peso, se eliminó parte de la lignina y la hemicelulosa presente en la fibra, al proceder con el tratamiento de amino propil silano se pudo observar por medio de la técnica FTIR, que dicho componente eliminó gran parte del restante de lignina y hemicelulosa, este resultado es óptimo debido a que la lignina y hemicelulosa son componentes amorfos los cuales causan que se creen enlaces más débiles en la fibra.

La ductilidad del material se cree mejoró debido a la existencia de enlaces secundarios o enlaces de Van Der Waals, los cuales también están presentes en los polímeros, estos disminuyen la resistencia del material, pero por otro lado mejoran sus propiedades plásticas.

En la figura 19. Se muestra la comparación de los espectros realizados mediante la técnica FTIR a la fibra tratada con NaOH al 2% peso y fibra tratada con propóxido de titanio.

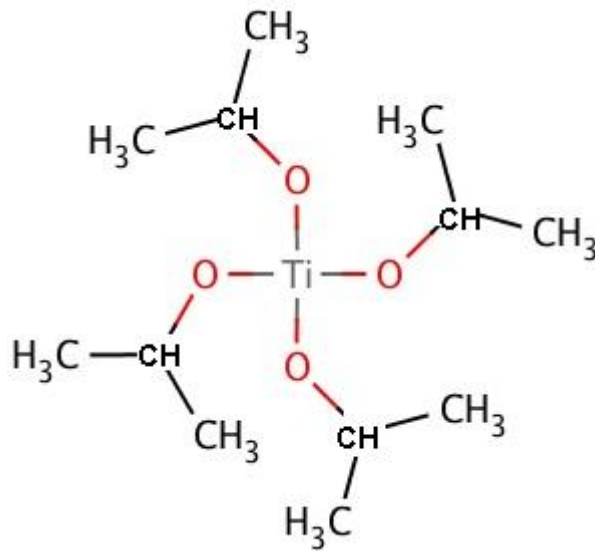
Figura 19: La comparación de los espectros tomados por la técnica FTIR de las fibras tratadas previamente con (NaOH) al 2% Peso y posteriormente con el propóxido de titanio



Fuente: Este estudio

Al realizar el análisis con la técnica de FTIR entre la fibra de fique tratada con propóxido de titanio y fibra de fique tratada con NaOH al 2% se encuentra que en la banda 1243 cm⁻¹ y 1370 cm⁻¹ desapareció el pico perteneciente a la lignina, también se puede observar que la banda 1732 cm⁻¹ correspondiente a la hemicelulosa fue eliminada totalmente por el tratamiento con propóxido de titanio, la eliminación total de la hemicelulosa y la lignina, fue un factor influyente para que la fibra tuviera un desempeño óptimo a tensión, ya que sin estos componentes la interface que se genera entre los dos materiales, matriz(resina poliéster) y fibra(fibra de fique) es óptima y se comportan como si fueran un solo material.

Figura 20: Estructura del propóxido de titanio.

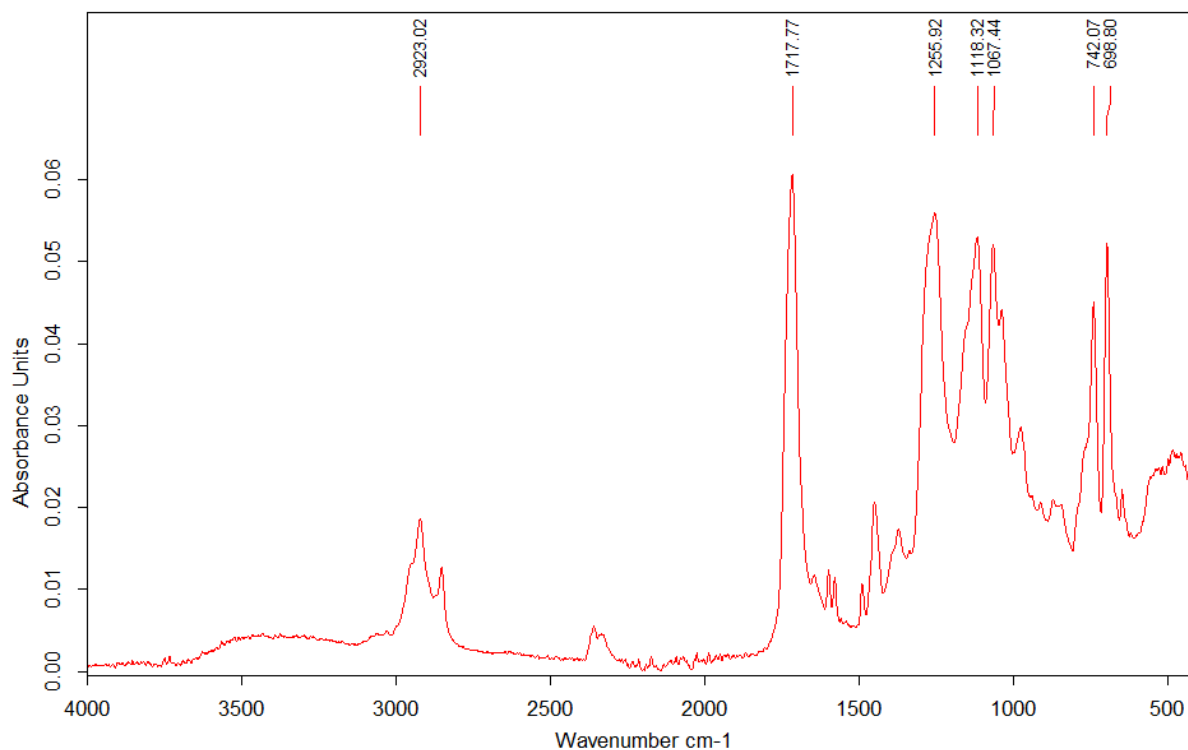


Fuente: [38]

En la figura 20, se observa la estructura molecular del propóxido de titanio, en este proceso se obtuvo buenos resultados debido a que se generó buena interacción entre los grupos funcionales OH provenientes de la fibra de fique y con los grupos éster de la resina poliéster, esto se demuestra por medio de la resistencia lograda con el material compuesto, al ser disminuida la cantidad de lignina y hemicelulosa por parte del pretratamiento con NaOH 2% pe, se cree el buen desempeño de este material se debe a que eliminó en su totalidad a la hemicelulosa y la lignina presente en la fibra.

Además de generar enlaces iónicos entre el titanio y átomos no metálicos del oxígeno proveniente del OH y por otro lado con el oxígeno proveniente del grupo éster, indicando esto que se obtuvo el resultado esperado con dicho tratamiento, el enlace iónico al tener mayor energía de enlace que el covalente, pudo ser el motivo de la mejora de las propiedades iniciales de la fibra de fique virgen y también aumentando el desempeño de la resina.

Figura 21: Se evidencia el espectro tratado por la técnica FTIR de la resina poliéster

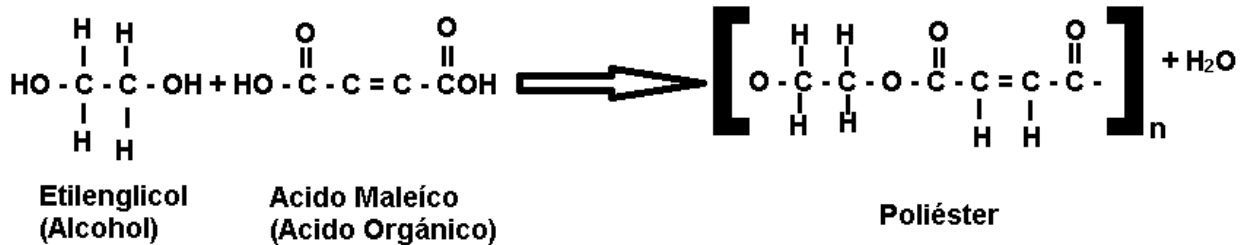


Fuente: Este estudio

En la figura 21, se puede observar el espectro obtenido a la resina poliéster, en la cual se evidencian tres picos característicos de esta resina, uno de ellos la banda $1717,77 \text{ cm}^{-1}$ la cual evidencia la presencia de grupos éster en la resina, también se evidencia la banda $1118,32 \text{ cm}^{-1}$ y $1067,44 \text{ cm}^{-1}$ las cuales interpretan la presencia de grupos C=C provenientes de alcoholes, éteres, ésteres ácidos carboxílicos, anhídridos.

Por otra parte se observan tres bandas diferentes, banda $742,07 \text{ cm}^{-1}$, $698,80 \text{ cm}^{-1}$ las cuales evidencian la presencia de grupos C=X provenientes de cloruro y la banda $1255,99 \text{ cm}^{-1}$ la cual evidencia la presencia de enlaces S=O provenientes de los sulfatos y sulfoamidas [32], estas tres últimas bandas no son características de la resina poliéster, debido a que la resina empleada en este proyecto es de carácter comercial, dichas sustancias pueden deberse a impurezas en la resina.

Figura 22: Reacción química de la resina poliéster



Fuente: [39]

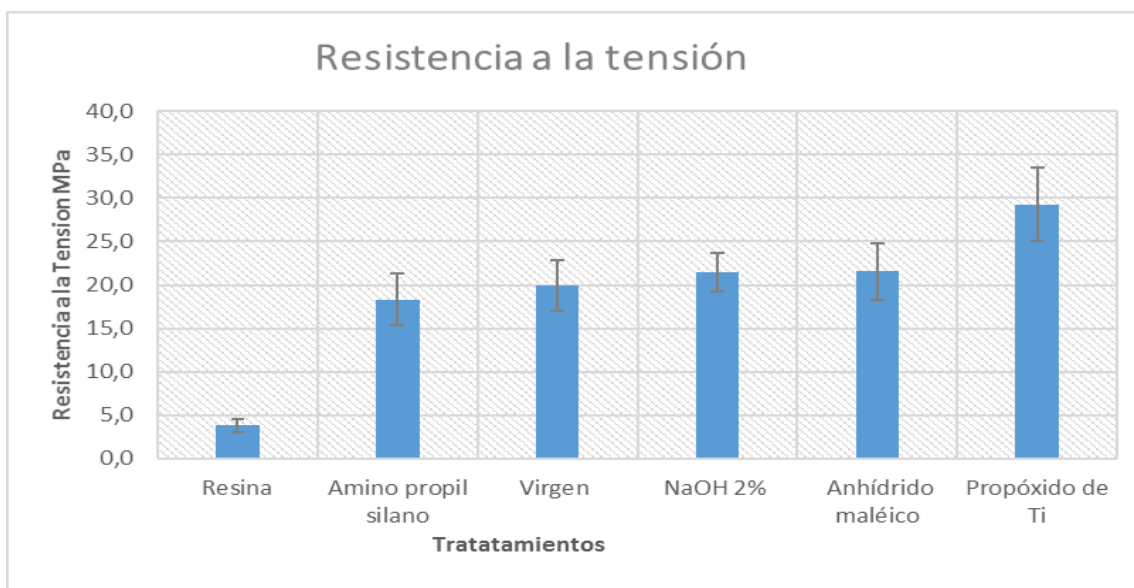
En la figura 22 se puede observar la reacción química que se desarrolla para obtener resina poliéster, el enlace éster se produce por la reacción entre un alcohol y un ácido orgánico, que en el caso de la resina poliéster específicamente es etilenglicol con ácido maléico, la resina se forma por la reacción entre un diol (alcohol con dos grupos OH) y un diácido, el cual cuenta con un doble enlace muy reactivo. [40]

Debido a que el tratamiento con anhídrido maléico fue el último tratamiento escogido para la fibra, se dificultó el uso del equipo de espectroscopía infrarroja FTIR, puesto que el equipo se encontraba en proceso de compra en la universidad y no se encontraba disponible para hacer estas pruebas, por otro lado, este proyecto se financió a partir de recursos propios, por lo tanto la compra de la acetona se salió de nuestro alcance económico, por otra parte, la acetona al ser un químico usado en la elaboración de estupefacientes tiene restricción de compra.

5.2 Resistencia mecánica a la tensión del material compuesto

En la figura 23 se muestra la resistencia a la tensión de los materiales compuestos utilizando la fibra de fique como refuerzo y sus diferentes tratamientos

Figura 23: Resistencia a la tensión del material compuesto con los diferentes tratamientos aplicados a la fibra



Fuente: Este Estudio

La tabla 3 muestra los resultados de resistencia a la tensión de los tratamientos

Tabla 3: Resumen de la resistencia a la tensión de los tratamientos

Tratamiento	Resistencia a la tensión promedio (MPa)	Desviación estándar	Coficiente de variación
Resina	3,8	0,7	19,7
Virgen	19,9	2,9	14,6
NaOH 2%	21,5	2,2	10,3
Propóxido de Ti	29,2	4,2	17,5
Amino propil silano	18,3	3,0	16,1
Anhídrido maléico	21,5	3,4	16,5

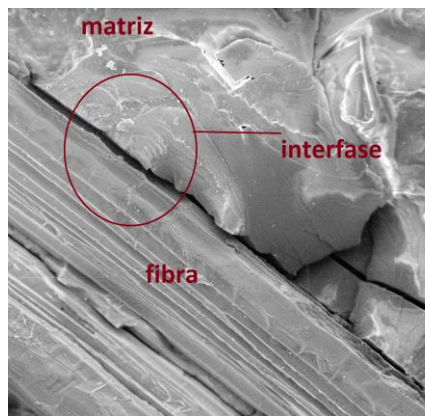
De acuerdo a la figura 16 se evidencia que la resistencia mecánica a la tensión de la resina poliéster es de 4MPa y al adicionar fibra de fique virgen este valor aumentó a 20MPa, obteniendo una mejora del 400%.

Utilizando como refuerzo fibra de fique con tratamiento superficial de NaOH al 2% peso, se obtuvo un esfuerzo máximo a la tensión de 21 MPa, este valor supera levemente (7.5 %) al valor obtenido utilizando fibra de fique virgen, esto pudo ser atribuido a la desaparición de lignina de la fibra, evidenciado con la desaparición del pico a 1370 cm^{-1} y disminución del correspondiente a 1273 cm^{-1} en la caracterización con FTIR, observado en la figura 14.

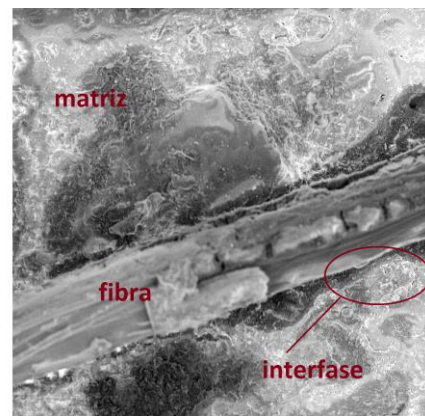
El tratamiento superficial a la fibra que presentó la mayor resistencia a la tensión fue el correspondiente propóxido de titánio, con un valor de 29 MPa, este tratamiento mostró un aumento del 663.15 % respecto a resina y de un 45 % en esta propiedad respecto al material compuesto que utilizó fibra virgen, este último incremento puede deberse a que el tratamiento eliminó casi en su totalidad el remanente de lignina que tenía en el tratamiento con NaOH evidenciado en la desaparición de los picos correspondientes a 1245 cm^{-1} y 1370 cm^{-1} y la totalidad de la hemicelulosa evidenciado en el pico 1732 cm^{-1} en el análisis por FTIR mostrado en la figura 8. Otro factor que pudo contribuir a la mejora en esta propiedad puede ser la mayor adherencia que se evidenció en las pruebas de SEM al utilizar como refuerzo propóxido de Titanio respecto a la utilización de la fibra virgen y pretratada con NaOH como se evidencia en la figura 17 (a-c)

En la figura 24 se muestra la comparación entre los tratamientos fibra de fique virgen, NaOH2% y Propóxido de Titanio mediante la técnica SEM

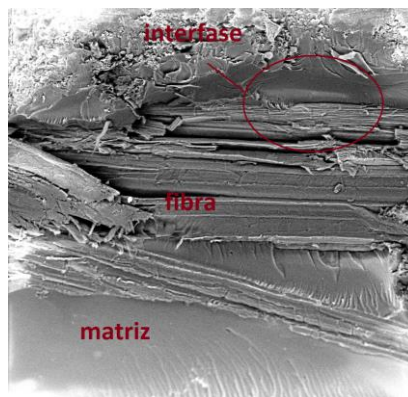
Figura 24: comparación de los tratamientos aplicados en la fibra de fique; Método: SEM



a. Fibra de fique virgen



b. Fibra tratada con NaOH 2%pe



c. Fibra tratada con propóxido de titanio.

La figura 24a evidencia el material compuesto conformado con fibra de fique virgen en el cual se puede observar que la interfase entre matriz y fibra es inexistente, se puede ver una separación entre los dos materiales, la cual es causada por la presencia de lignina y hemicelulosa en la fibra de fique, esto causa la poca interacción entre los dos materiales.

Como se puede observar en la figura 24b el tratamiento con NaOH aplicado a la fibra mejora la interacción entre los dos materiales, a causa de la eliminación o disminución de la lignina y hemicelulosa presente en las fibras naturales, se puede evidenciar que hay una mejor interfase entre matriz y fibra, lo cual deja como resultado unas mejores propiedades mecánicas a la tensión en el material compuesto.

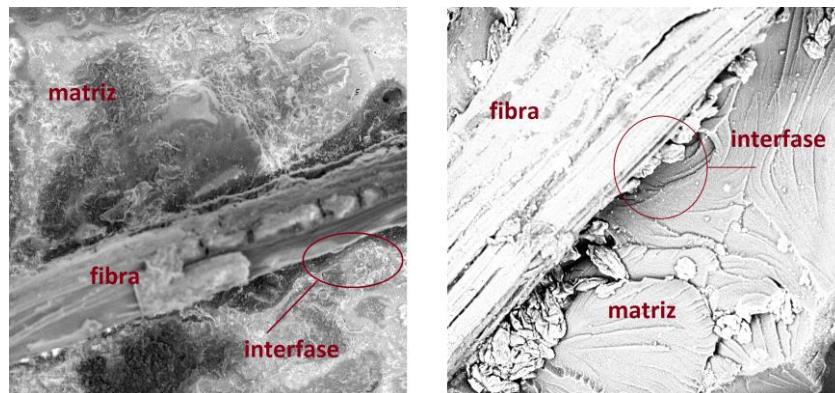
En la figura 24c correspondiente al material compuesto conformado con fibra de fique tratada con propóxido de titanio, se evidencia que la matriz y la fibra se comportan

como una sola, se evidencia que los dos materiales se unieron muy bien se muestra que no hay grietas esto demuestra que hubo una muy buena interfase, por lo tanto, fue el mejor en propiedades mecánicas a tensión.

Los tratamientos de la fibra con anhídrido maléico y amino propil silano no evidenciaron una mejora considerable de la resistencia mecánica a la tensión respecto al material compuesto reforzado con fibra tratada con NaOH 2 % pe; esto se debió a que no existió una interfase evidente entre matriz y refuerzo de acuerdo a las figuras obtenidas en SEM de acuerdo a la figura 18 (a-c)

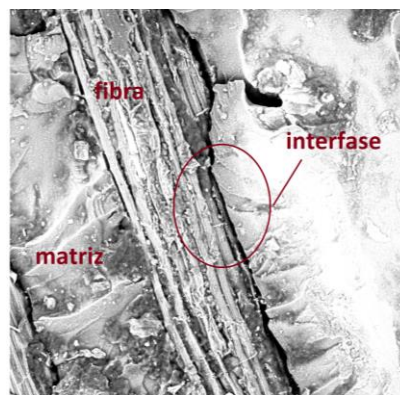
En la figura 25 se muestra la comparación entre los tratamientos NaOH2%, Anhídrido Maléico y Amino Propil Silano mediante la técnica SEM

Figura 25: Comparación de la microscopía obtenida de las fibras de fique



a. Fibra de fique con NaOH 2%

b. Fibra tratada con Anhídrido Maléico.



c. Fibra tratada con Amino Propil Silano.

En la figura 25 a –c se puede evidenciar que la interfase entre la matriz y fibra se asemejan entre las micrografías, siendo esta muy deficiente, mostrando la figura 25 b

(tratamiento con anhídrido maléico) partículas que se desprenden de la fibra y la matriz y que pudo ser el factor que imposibilitó aún más la adherencia entre la matriz y fibra, dichas partículas pueden deberse a residuos de anhídrido maléico, que no se disolvieron en la resina causando que el material tuviera la más baja resistencia a la tensión.

5.3 Ductilidad del material compuesto

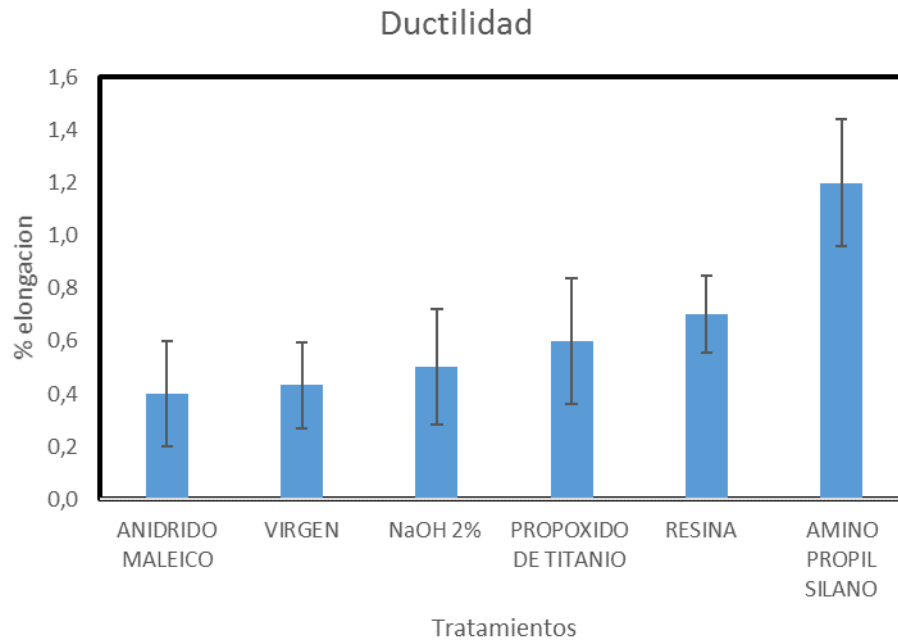
La tabla 4 muestra los resultados de ductilidad del material compuesto

Tabla 4 Resumen de la ductilidad de los tratamientos

Tratamiento	% Elongación	Desviación estándar	Coeficiente de variación
Resina	0,7	0,2	27
Virgen	0,4	0,2	38
NaOH 2%	0,5	0,2	47
Propóxido de Ti	0,6	0,2	39
Amino propil silano	1,2	0,2	20
Anhídrido maléico	0,4	0,1	40

En la figura 26 se muestra la comparación de los valores de ductilidad de los materiales compuestos con los diferentes tratamientos

Figura 26: Ductilidad del material compuesto con los diferentes tratamientos químicos realizados a la fibra.



Fuente: Este Estudio

De acuerdo a la figura 26, se puede observar que el porcentaje de elongación de todos los tratamientos no supera el 1.2 %; lo que indica que todos los tratamientos se comportan de manera frágil.

Las curvas esfuerzos deformación de los anexos 1, 2, 3, 4 y 6 muestran una sección lineal en toda la curva, lo que indica que sólo existió deformación elástica en el material estas curvas corresponden a la resina poliéster, los materiales compuestos con fique tratado con NaOH 2 %peso, Anhídrido maléico, propóxido de titanio y fibra de fique virgen, respectivamente.

En el caso del material compuesto que utilizó como tratamiento en la fibra el amino propil silano, las curvas esfuerzo deformación del anexo 5 presentan una leve zona de deformación plástica en especial tres muestras; esto se evidencia en la leve mejora de la ductilidad presentada en este tratamiento, mostrando un aumento del 71.4 %, respecto a la resina como muestra la figura 26.

La mejora de la ductilidad del material compuesto que utilizó la fibra tratada con amino propil silano pudo deberse a la presencia de enlaces secundarios o de Van Der Waals [1], al hacer contacto la superficie de la fibra tratada con la resina.

Los polímeros están constituidos por macromoléculas las cuáles cuentan con enlaces secundarios (Van Der Waals), estos enlaces mantienen el material unido, sin embargo, dichas fuerza son menores a las que producen los enlaces primarios, esta es la razón por la cual los polímeros son materiales menos resistentes que los aceros o las cerámicas. [46]

Mientras que los enlaces primarios involucran fuerzas de atracción de átomo a átomo, los enlaces secundarios (Van Der Waals) implican fuerzas entre moléculas o intermoleculares, en estos enlaces no se transfieren ni se comparten electrones, por lo tanto, son más débiles. [46]

Los demás tratamientos disminuyeron el porcentaje de elongación de la resina, esto pudo deberse a que todos incrementaron las propiedades mecánicas a la tensión, disminuyendo la ductilidad. [1]

La celulosa al ser un polímero natural poseé muchos enlaces covalentes, los cuales están unidos por enlaces glucosídicos siendo estas uniones alfa 1-4 y alfa 1-6, al retirar la hemicelulosa presente en la fibra la cual es amorfa, se favorece que se lleven a cabo enlaces secundarios, de tipo puentes de hidrogeno, en los cuales al existir cargas dentro de ellos se convierten en enlaces tipo Van Der Waals, los cuales le dan estabilidad y mejoran la resistencia mecánica en la fibra.

En cuanto a ductilidad las conformaciones de enlaces secundarios tales como puentes de hidrogeno y Van Der Waals, permiten que el material mejore sus propiedades de ductilidad; Debido a que la fibra de fique no es un material homogéneo dificultó la reacción con el amino propil silano, lo cual se evidenció a la hora de hacer el tratamiento, se observó lugares blancos en la reacción, lo cual denota que no se dio de manera óptima.

6. CONCLUSIONES

- Con respecto a la resistencia a tensión se puede evidenciar que la resina poliéster más fibra de fique tratada con soda cáustica mejoró la resistencia a la tensión respecto al material compuesto que utiliza como refuerzo la fibra virgen debido a la eliminación de lignina y hemicelulosa
- El que mejor interfase tuvo entre matriz y fibra fue el propóxido de titanio evidenciada por medio de SEM, por lo tanto, fue el mejor tratamiento, en el cual el material compuesto tuvo la mayor resistencia mecánica a la tensión.
- En la prueba de tensión la probeta de NaOH al 2% tuvo una mejora frente a la probeta de fibra virgen, debido a la eliminación de sustancias características de todas las fibras naturales.
- El porcentaje resina fue 96% peso y 4% peso de fibra, se llegó a esta relación, por medio experimental, debido al comportamiento hidrofílico de la fibra se usó una alta proporción de resina.
- El tratamiento con Anhídrido Maléico mejoró levemente las propiedades mecánicas a tensión del material compuesto, sin embargo, este tratamiento no mejora la interfase entre matriz y fibra.
- El Amino propil silano mejora las propiedades mecánicas en cuánto a ductilidad, pero no es un tratamiento óptimo para mejorar la interfase entre los materiales, depende de su aplicación puede o no usarse.
- El mejor tratamiento aplicado a la fibra fue un preliminar con NaOH 2% peso y un tratamiento posterior con Propóxido de titanio.

7. RECOMENDACIONES

- Cuando se realice la conformación de resina poliéster y fibra de fique tener cuidado de que quede homogénea para que no haya porosidad, ni partes sin resina.
- A la hora de hacer el secado de la fibra hay que dejarla no un tiempo mayor a 4 horas a una temperatura no mayor a 105 °c porque se degrada la fibra.
- Se recomienda al realizar el ensayo de tensión, limpiar la probeta con un agente disolvente para evitar que la probeta se resbale de las mordazas y se generen esfuerzos residuales en la probeta
- Mantener un uso responsable sobre las sustancias químicas, saber su ficha de seguridad y además de esto desecharlos de manera segura, evitando contaminación ambiental.
- Cuando se haga el corte de la fibra es necesario que todas queden de la misma longitud, para que la probeta quede con la misma cantidad de fibra en todos sus lados.
- Seguir estudiando la influencia de los tratamientos químicos sobre las fibras de origen natural, puesto que son posibles materiales futuros que pueden reemplazar algunos de los materiales ya existentes.
- 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.
- Se recomienda el uso de resina de grado analítico, para evitar posibles impurezas en la resina, además de tener un mayor esfuerzo a la tensión.

Bibliografía

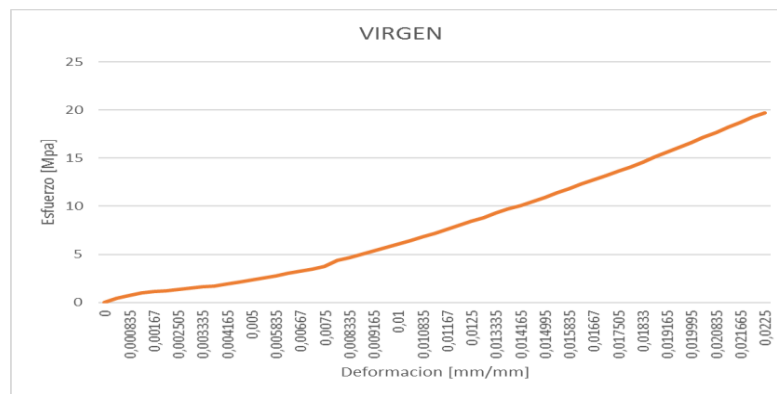
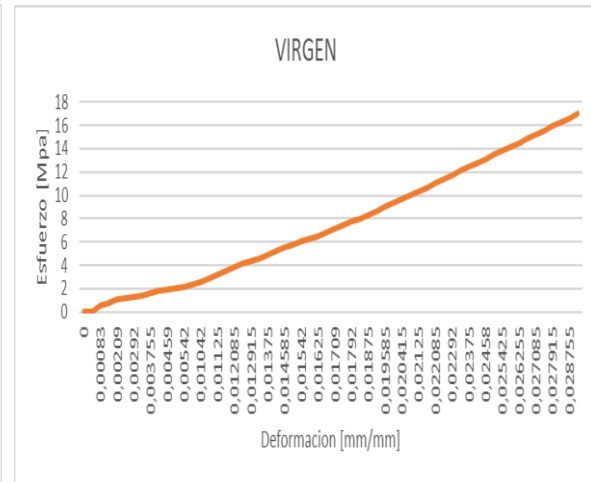
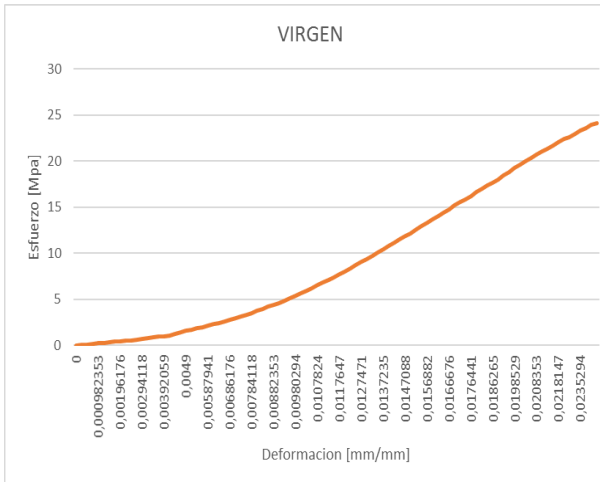
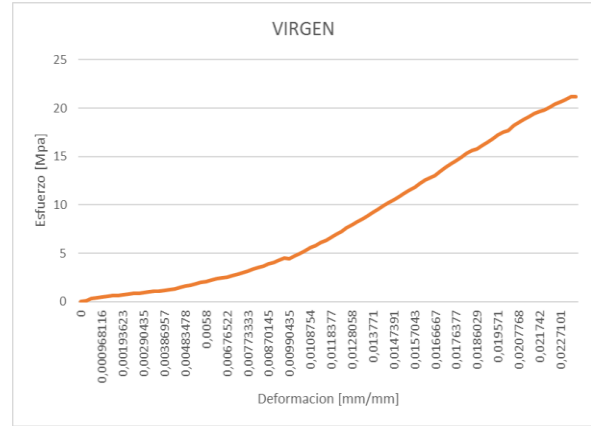
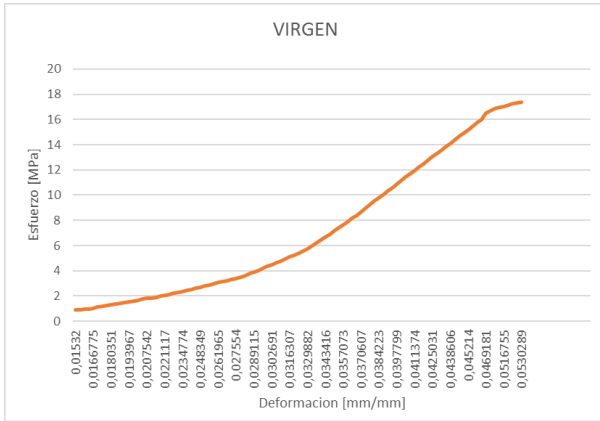
- [1] D. R. Askeland, Ciencia e ingeniería de los materiales, International Thompson, 2010.
- [2] W. A. H. A. M. María F. Contreras, 17 10 2008. [En línea]. Available: <http://www.rlmm.org/archives.php?f=/archivos/S01/N1/RLMMArt-09S01N1-p57.pdf>.
- [3] M. Aguilar, «Carmas,» 08 03 2007. [En línea]. Available: <http://www.carmas.com.ar/blogg.html>.
- [4] S. Galvis, «Universidad Autonoma De Nuevo León,» 12 2013. [En línea]. Available: ingenierias.uanl.mx/61/61_analisis.pdf.
- [5] J. P. Amilcar Mojica, «Banco de la republica,» 14 07 2004. [En línea]. Available: <http://www.banrep.gov.co/es/eser-13>.
- [6] D. E. López, «Materiales Compuestos Aplicaciones,» *Informes de la construcción*, p. 45, 2001.
- [7] M. Ojeda, «Moldeo manual de materiales compuestos (hand lay-up),» 01 11 2011. [En línea]. Available: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/11/moldeo-manual-de-materiales-compuestos.html>. [Último acceso: 15 10 2016].
- [8] U. d. oviedo, «Tema 11: Moldeo por inyección,» 12 06 2012. [En línea]. Available: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion11.MOLDEO.POR.INYECCION.pdf>. [Último acceso: 10 11 2016].
- [9] Lanbide, «Lanbide Servicio vasco de empleo,» 10 01 2009. [En línea]. Available: http://apps.lanbide.euskadi.net/descargas/egailancas/certificados/modulo/VICI0109.MF0644_1.pdf. [Último acceso: 10 11 2016].
- [10] M. d. p. r. S.L., «El proceso de pultrusión y características,» 26 10 2010. [En línea]. Available: http://www.mplr.net/wp-content/uploads/2012/03/MP_Caracteri%CC%81ticas-PRFV-perfiles1.pdf. [Último acceso: 11 10 2016].
- [11] A. G. J. J. A. I. A. L. H. C. Diego Villalón, «UTILIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS EN LA CONSTRUCCIÓN,» [En línea]. Available: http://digital.csic.es/bitstream/10261/6313/1/IIJIC_Diego.pdf. [Último acceso: 10 11 2016].
- [12] Fao, «Fibras naturales: Tejidos antiguos, geotextiles modernos,» 2009. [En línea]. Available: <http://www.naturalfibres2009.org/es/fibras/>. [Último acceso: 10 11 2016].
- [13] EcuRed, «Fibra,» [En línea]. Available: <https://www.ecured.cu/Fibra>. [Último acceso: 11 11 2016].
- [14] T. d. l. c. textil, «Las fibras naturales de origen animal,» [En línea]. Available: http://www.detextiles.com/files/cap_04.pdf. [Último acceso: 11 11 2016].
- [15] P. P. V. J. Cegarra J, «Estructura física y química de las fibras naturales,» 1998. [En línea]. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/meiq/perez_1_oa/capitulo1.pdf. [Último acceso: 11 11 2016].
- [16] Geotexan, «Materiales textiles para usos técnicos,» 27 03 2013. [En línea]. Available: <http://geotexan.com/materiales-textiles-para-usos-tecnicos-1/>. [Último acceso: 12 11 2016].
- [17] T. Bages, «Aspectos técnicos del lino,» [En línea]. Available: http://www.tejidosbages.com/pdf/aspectos_tecnicos_lino.pdf. [Último acceso: 12 11 2016].
- [18] N. Cruz, «Fibras naturales y artificiales,» 07 04 2014. [En línea]. Available: <http://www.sc.ehu.es/iawfemaf/archivos/materia/industrial/libro11c.pdf>. [Último acceso: 12 11 2016].

- [19] A. Dental, «Fibra de carbono: Un nuevo material para la rehabilitación oral,» [En línea]. Available: <http://www.arrobidental.com/inc/Article-Fibra-de-carbo-Dr-canto.pdf>. [Último acceso: 16 11 2016].
- [20] M. Manchego, «Tipos de resinas y sus aplicaciones,» 2011. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/41793278/Tipos-de-Resinas-y-Sus-Aplicaciones>. [Último acceso: 19 11 2016].
- [21] W. A. H. A. M. María F. Contreras, «FRACTOGRAFÍA DE LA FIBRA NATURAL EXTRAIDA DEL FIQUE Y DE UN MATERIAL COMPUESTO REFORZADO CON TEJIDO DE FIBRA DE FIQUE Y MATRIZ RESINA POLIESTER,» 20 07 2009. [En línea]. Available: <http://www.rlmm.org/archives.php?f=/archivos/S01/N1/RLMMArt-09S01N1-p57.pdf>.
- [22] R. Pandey, R. Prasad, N. Ansari y R. Murthy, «Utilization of NaOH modified *Desmostachya bipinnata* (Kush grass) leaves and *Bambusa arundinacea* (bamboo) leaves for Cd(II) removal from aqueous solution,» 14 06 2014. [En línea]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343714001316>. [Último acceso: 15 11 2016].
- [23] P. Gañan y I. Mondragon, «Fique fiber-reinforced polyester composites: Effects of fiber surface treatments on mechanical behavior,» *Kluwer Academic Publishers*, vol. 39, pp. 3121-3128, 2004.
- [24] C. Gomez, V. Alvarez, P. Gañan y A. Vasquez, «Fique Fibers: Enhancement of the Tensile Strength of Alkali Treated Fibers During Tensile Load Application,» *Fibers and Polymers*, vol. 14, n° 5, pp. 632-640, 2012.
- [25] G. Koronis, A. Silva y M. Fontul, «Green composites: A review of adequate materials for automotive applications,» *Elsevier*, n° 44, pp. 120-127, 2012.
- [26] L. Rodríguez y W. A. O. C. E. Sarache, «Compuestos de Poliéster Reforzados con Fibra de Plátano/Banano (*Musa paradisiaca*) Modificada Químicamente. Comparación con Fibra de Vidrio y Químicamente Fique (*Furcraea andina*),» *Información tecnológica*, vol. 25, n° 5, 2014.
- [27] V. A. A. N. O. S. R. L. F. M. M.D. Salvador, «CARACTERIZACIÓN DE FIBRAS VEGETALES UTILIZADAS COMO REFUERZO EN MATRICES TERMOPLÁSTICOS,» *Universidad Politécnica de Valencia*, pp. 1-4, 2008.
- [28] J. C. P. G. J. Saldarriaga, «Comportamiento a hidrólisis de composites de matriz epóxica y fibras colombianas,» *Revista investigaciones aplicadas*, vol. 1, n° 1, pp. 39-45, 2007.
- [29] M. A. H. S. J. H. M. H. M.F Muñoz Vélez, «FIBRAS DE FIQUE UNA ALTERNATIVA PARA EL REFORZAMIENTO DE PLÁSTICOS INFLUENCIA DE LA MODIFICACIÓN SUPERFICIAL,» *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 12, n° 2, pp. 60-70, 2014.
- [30] M. A. Hidalgo, «COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y VISCOELÁSTICO DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS NATURALES. CASO: PEBD-Al-Fique,» *Universidad Autónoma de Occidente*, pp. 3-275, 2014.
- [31] R. J. Rubinson K.A., *Análisis Instrumental*, Pearson Educación, 2000.
- [32] Z. E. Taiz L, *Fisiología Vegetal*, Estados Unidos de América: Universitat Jaume I, 2006.
- [33] M. Pabón, *Facultad de ciencias: Notas de clase*, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2004.
- [34] D. Hull, *Materiales compuestos*, Barcelona: Reverté, S. A., 1987.
- [35] Sigma-Aldrich, «Sigma-Aldrich,» Dorf Ketal, [En línea]. Available: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/205273?lang=en®ion=CO>. [Último acceso: 2017 01 15].
- [36] A. S. M. Hernández, *Tratado de nutrición*, Madrid: Diaz de santos, S. A., 1999.
- [37] S. c. Biotechnology, «Santa cruz biotechnology,» [En línea]. Available: <https://www.scbt.com/scbt/product/titanium-iv-isopropoxide-546-68-9>. [Último acceso: 01 03 2017].

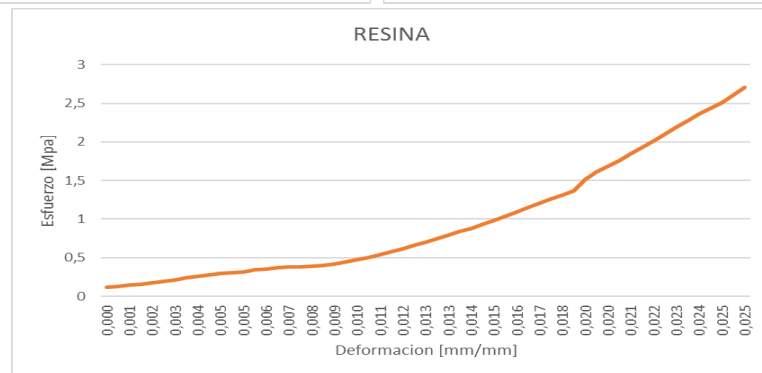
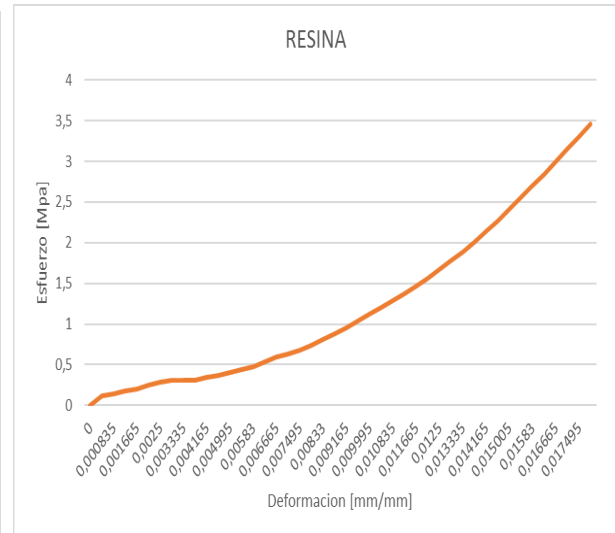
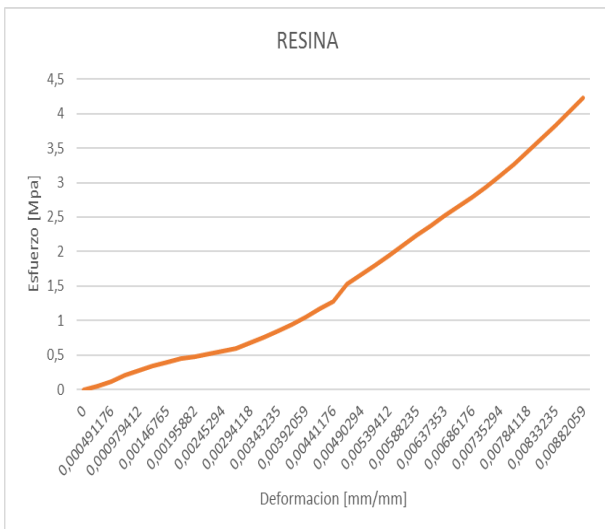
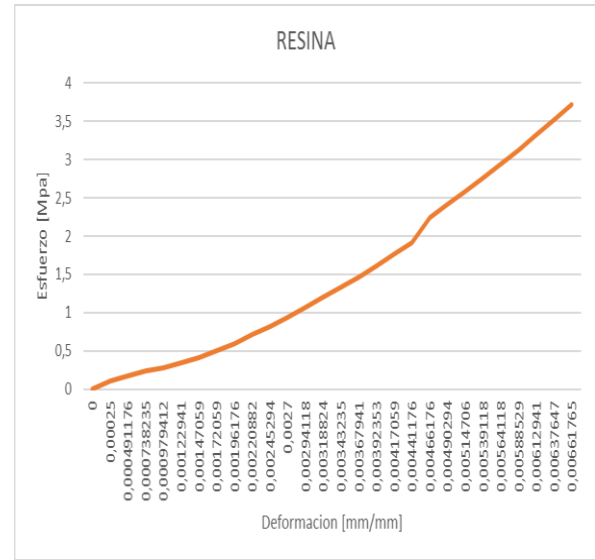
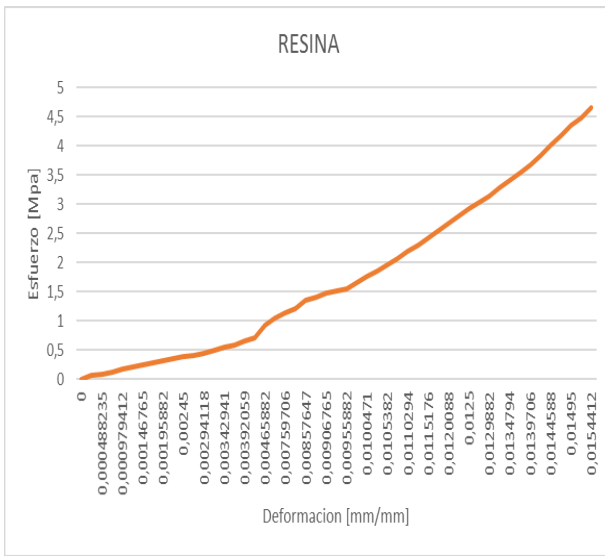
- [38] C. C. R. Seymour, *Introducción a la química de los polímeros*, Barcelona: Reverté S. A., 2002.
- [39] U. p. d. Valencia, «Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales,» Universidad politécnica de Valencia, [En línea]. Available: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_6.html. [Último acceso: 01 03 2017].
- [40] K. Mondragon, «fibras sintéticas 1,» 2013. [En línea]. Available: <http://fibrologia.blogspot.com.co/2013/04/fibras-sinteticas.html>.
- [41] J. León, *Botánica de los cultivos tropicales*, San José, Costa Rica: Agroamérica, 2000.
- [42] M. M. K. Q. M. Hidalgo, «Análisis mecánico del compuesto polietileno aluminio reforzado con fibras cortas de fique en disposición bidimensional,» *Latinoamérica de metalurgia y materiales*, vol. 32, n° 1, pp. 89-95, 2012.
- [43] W. Nutsch, *Tecnología de la madera y el mueble*, Bogotá, Colombia: Reverté, S.A., 2005.
- [44] B. Dholakiya, «Unsatured polyester resin for specialty applications,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.intechopen.com/books/howtoreference/polyester/unsaturated-polyester-resin-for-specialty-applications>. [Último acceso: 13 03 2017].
- [45] Silaex, «Silaex Brasil,» [En línea]. Available: <http://www.silaex.com.br/poli%C3%A9ster.htm>. [Último acceso: 14 03 2017].
- [46] M. Groover, *Fundamentos de la manufactura moderna*, Ciudad de México, México: The McGraw-Hill companies, 2007.

9.ANEXOS

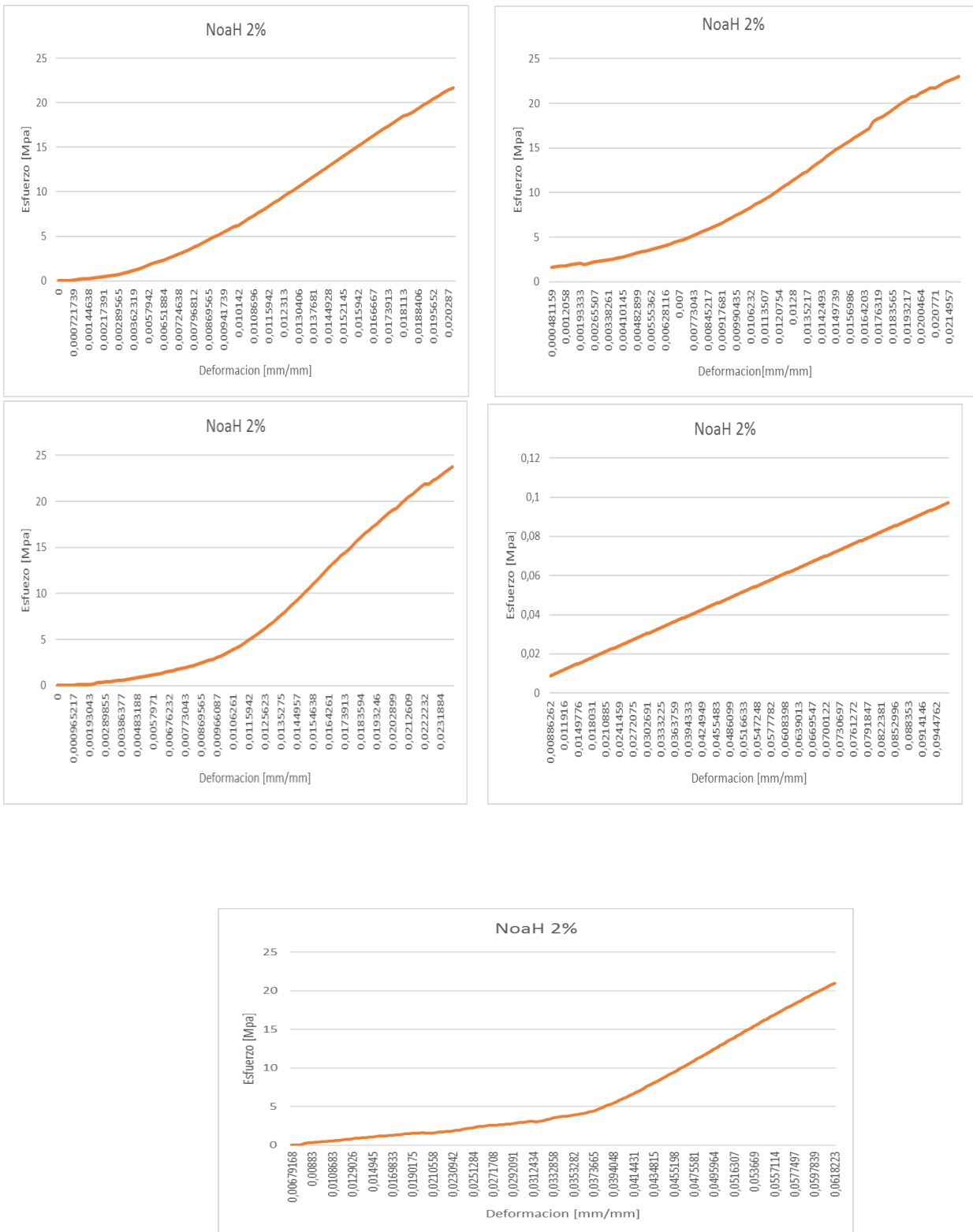
Anexo 1 Curvas esfuerzo deformación del material compuesto resina más fibra de fique sin ningún tratamiento



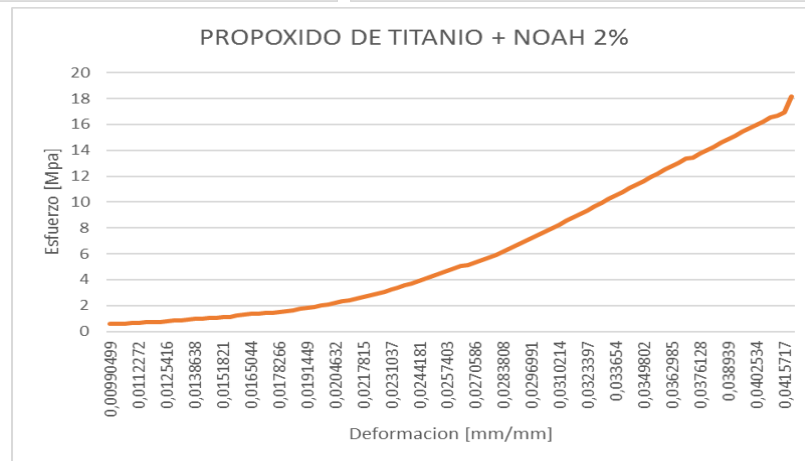
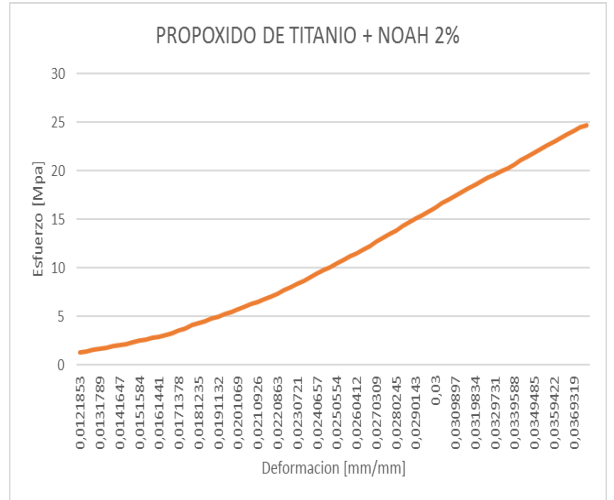
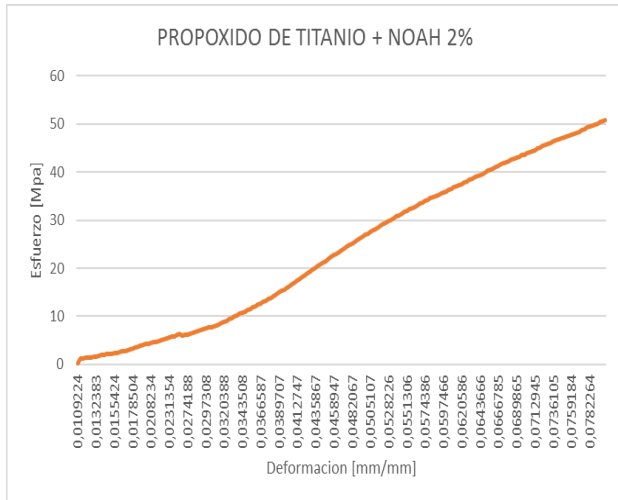
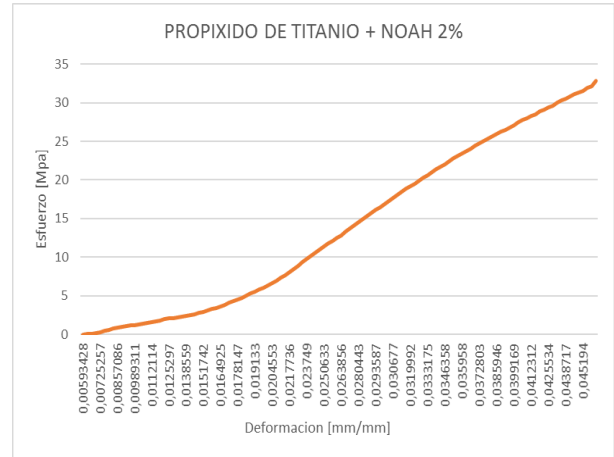
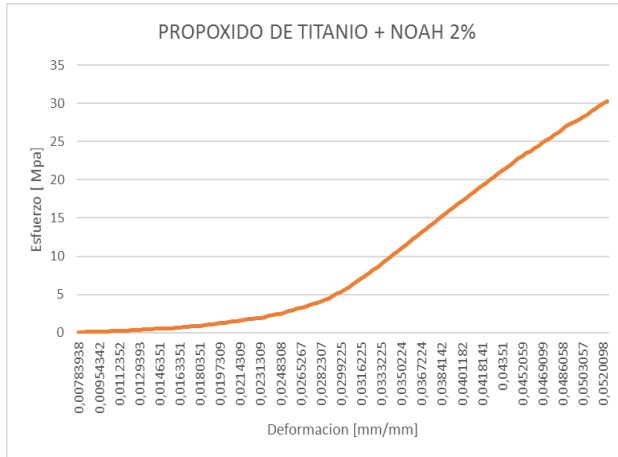
Anexo 2 Curvas esfuerzo deformación del material compuesto con solo resina



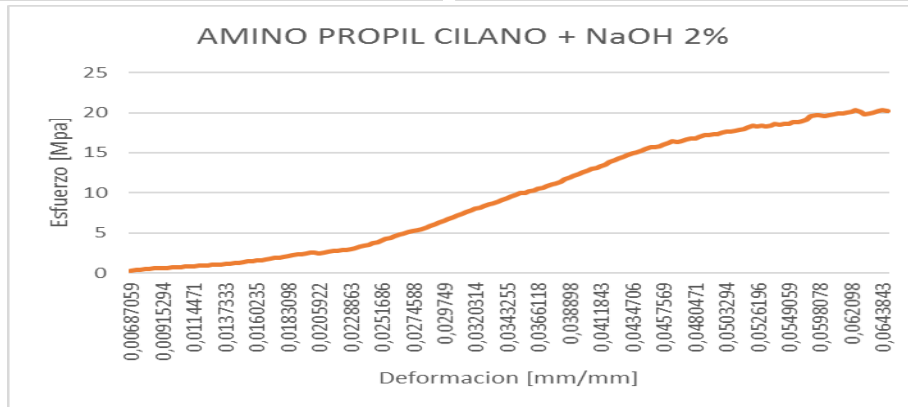
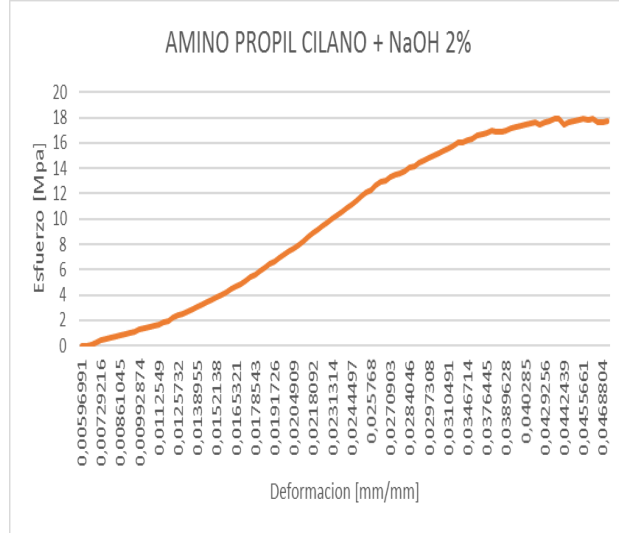
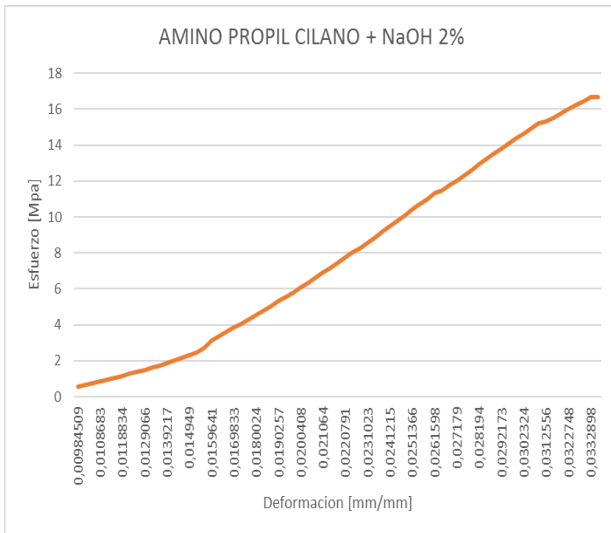
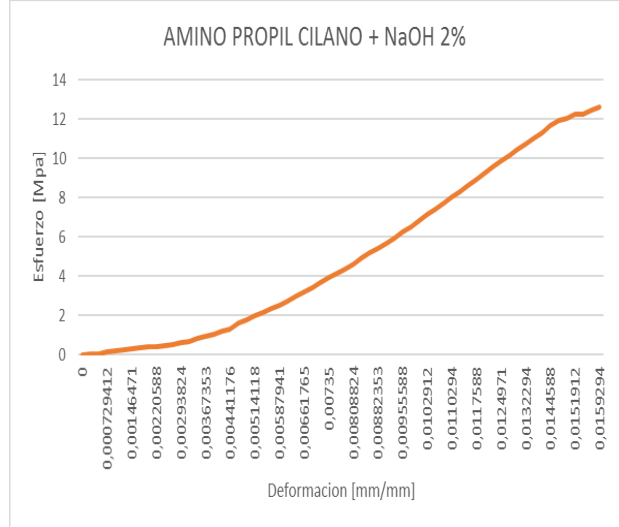
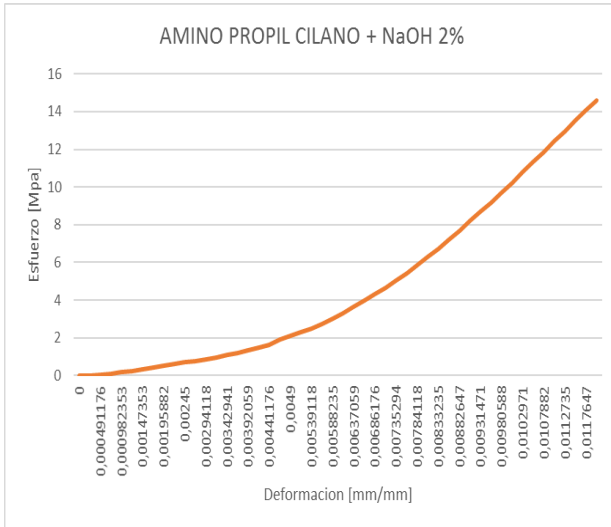
Anexo 3 Curvas esfuerzo deformación del material compuesto resina más NaOH 2%



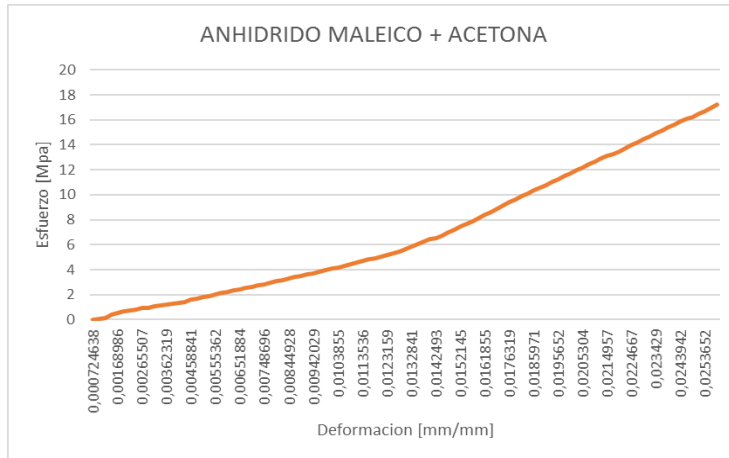
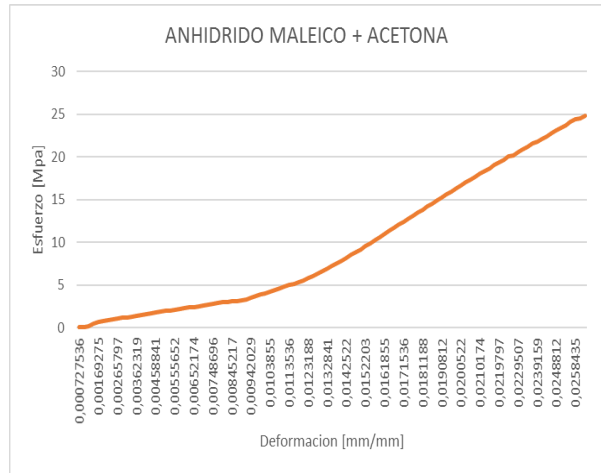
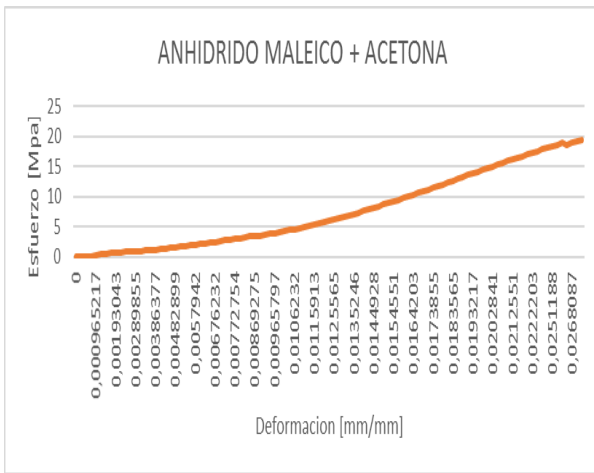
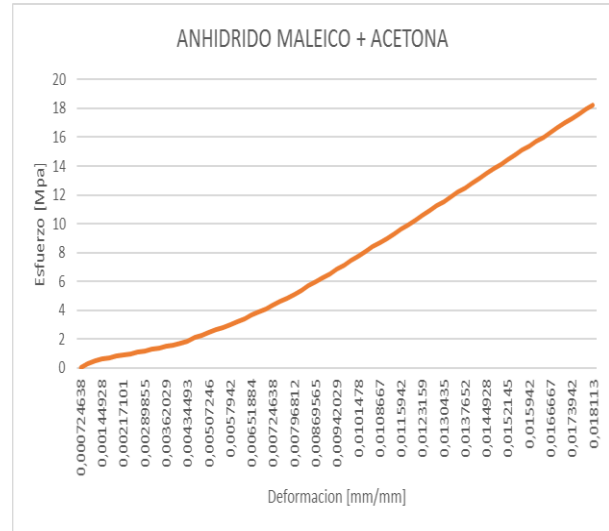
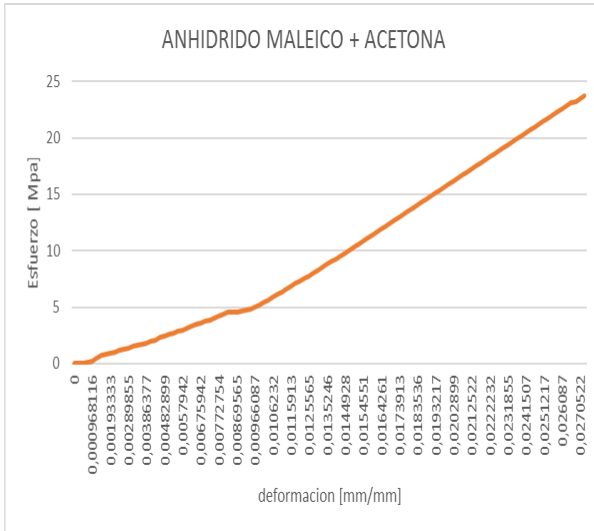
Anexo 4 Curvas esfuerzo deformación del material compuesto resina más propóxido de titanio más NaOH 2%



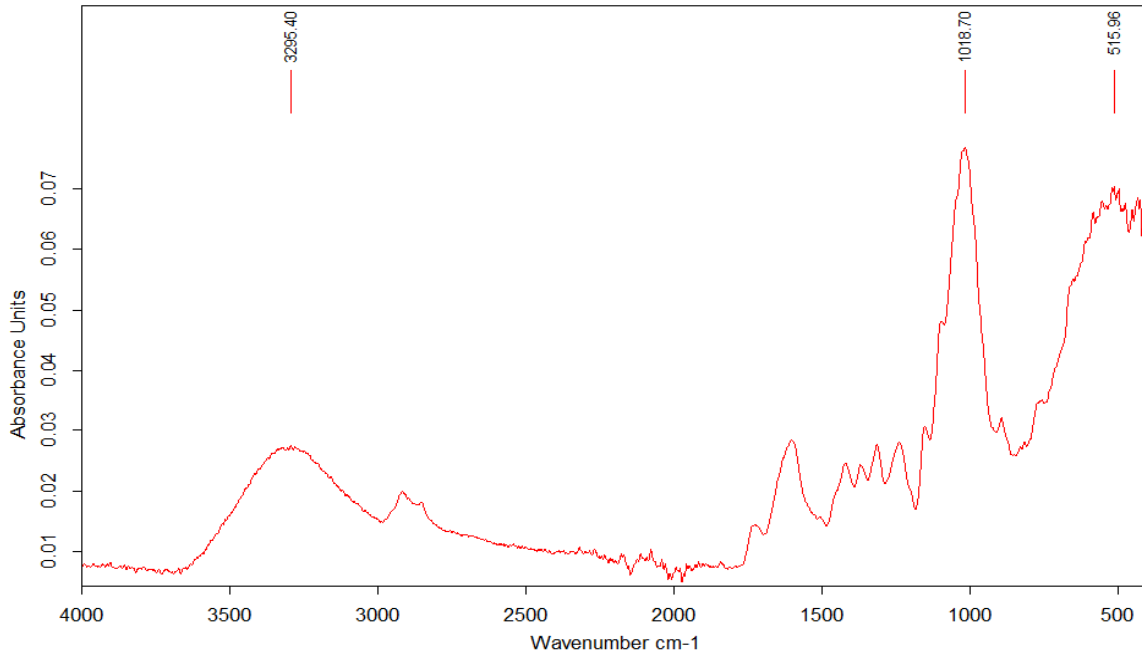
Anexo 5 Curvas esfuerzo deformación del material compuesto resina más amino propil silano más NaOH 2%



Anexo 6 Curvas esfuerzo deformación del material compuesto resina más anhídrido maléico más acetona



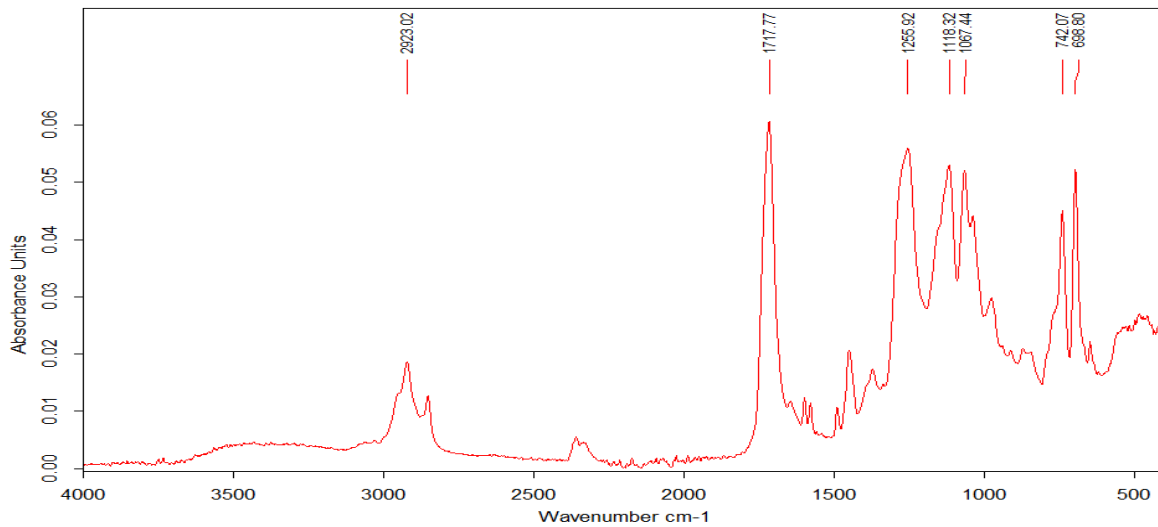
Anexo 7 se muestra el espectro de la fibra virgen mediante la tecnica (FTIR)



ESPECTRO FIBRA DE FIQUE VIRGEN; MÉTODO: FTIR

Page 1/1

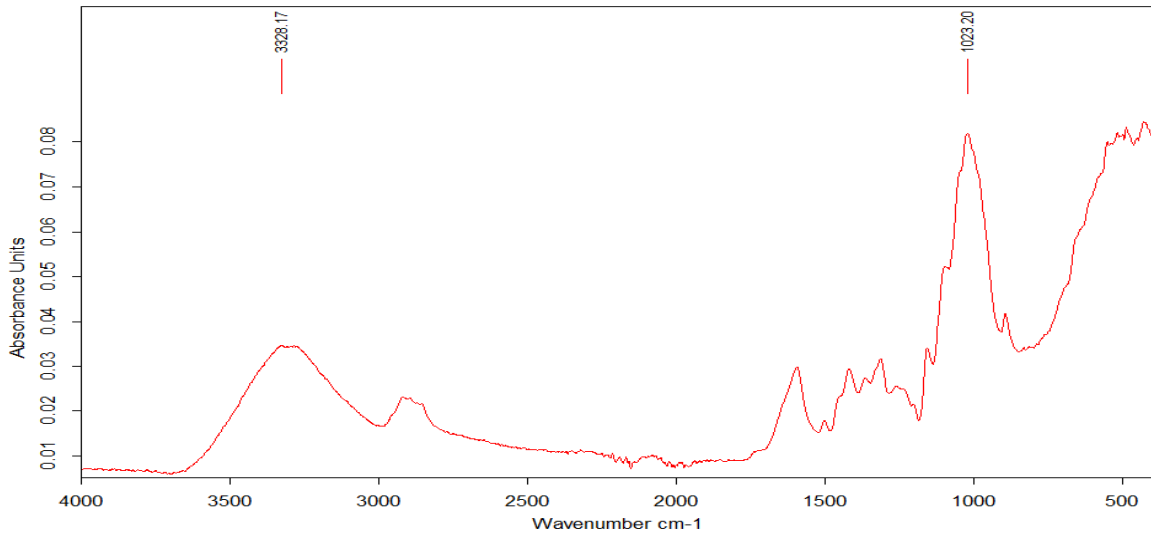
Anexo 8 se muestra el espectro de la resina poliéster mediante la tecnica (FTIR)



ESPECTRO RESINA POLIÉSTER; MÉTODO: FTIR

Page 1/1

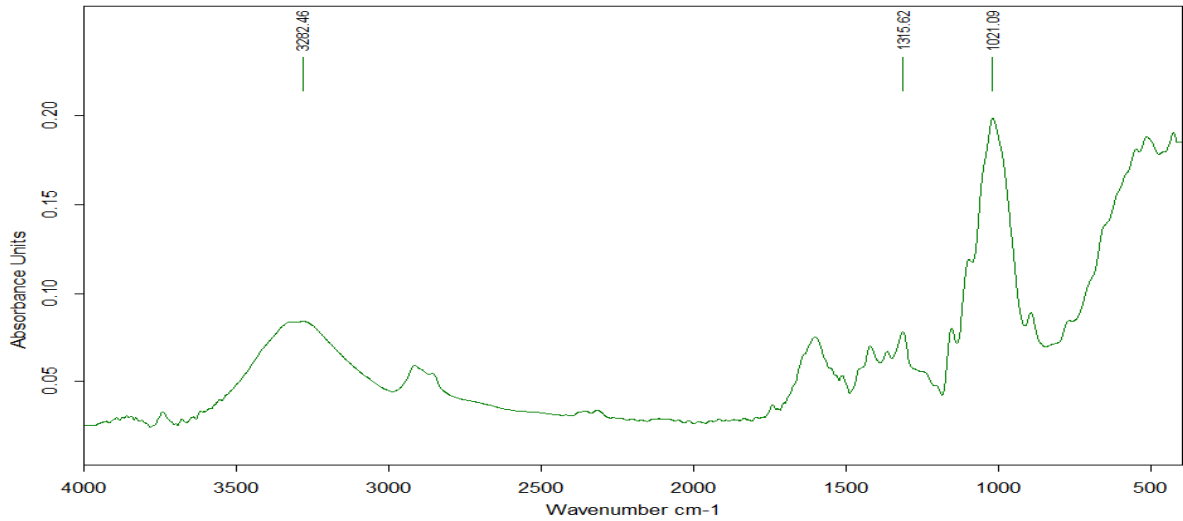
Anexo 9 se muestra el espectro de propoxido de titanio mediante la tecnica (FTIR)



ESPECTRO FIBRA DE FIQUE TRATADA CON PROPOXIDO DE TITANIO;
MÉTODO: FTIR

Page 1/1

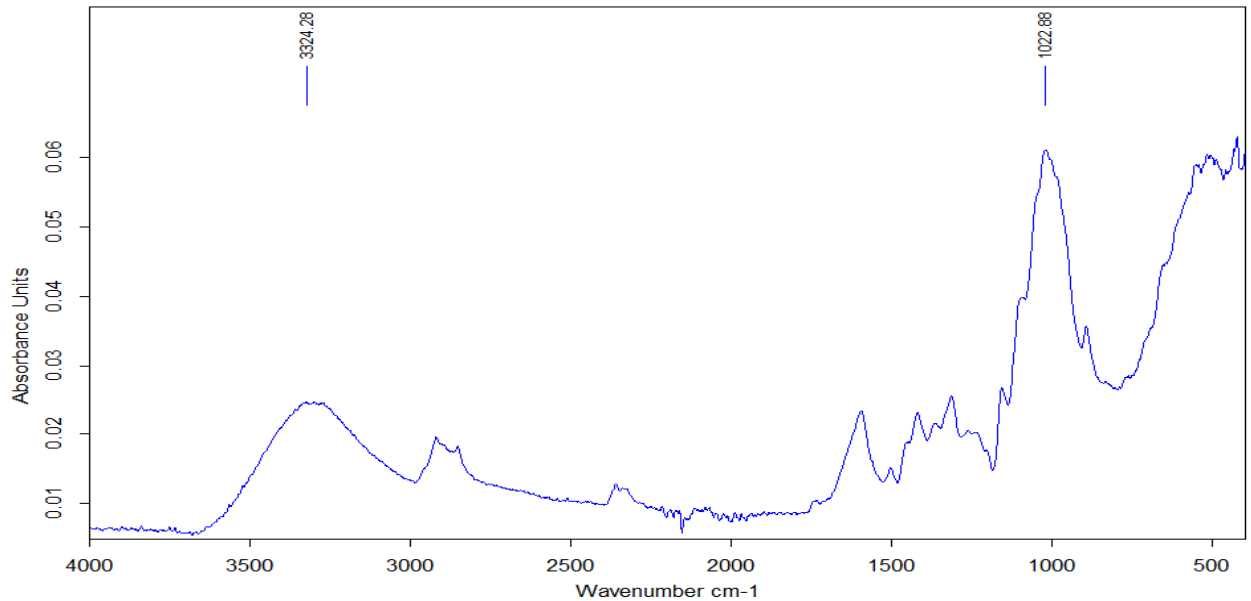
Anexo 10 se muestra el espectro de NaOH al 2% mediante la tecnica (FTIR)



ESPECTRO FIBRA DE FIQUE TRATADA CON NaOH 2%; MÉTODO: FTIR

Page 1/1

Anexo 11 se muestra el espectro de amino propil silano mediante la tecnica (FTIR)



ESPECTRO FIBRA DE FIQUE TRATADA CON AMINO PROPIL SILANO; MÉTODO: FTIR

Page 1/1

Anexo 17 se muestra el espectro de la comparacion entre la fibra virgen y NaOH 3% mediante la tecnica (FTIR)

