

**ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE PRE-PREGS
UTILIZANDO POLIESTIRENO EXPANDIDO POST-CONSUMO REFORZADO
CON FIBRAS DE FIQUE**

**YUDY ROCÍO CASTELLANOS SUÁREZ
SILVIA JULIANA NAVARRO ARANA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2013

**ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE PRE-PREGS
UTILIZANDO POLIESTIRENO EXPANDIDO POST-CONSUMO REFORZADO
CON FIBRAS DE FIQUE**

**YUDY ROCÍO CASTELLANOS SUÁREZ
SILVIA JULIANA NAVARRO ARANA**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de
Ingenieras Químicas**

**Director de proyecto
JOSÉ CARLOS GUTIÉRREZ GALLEGO
Químico M. Sc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2013

DEDICATORIA

Todos somos lo que somos en la vida gracias a otros individuos, más allá de los méritos y de los fracasos propios. Y en especial, nos debemos a aquellos que nos han educado y que nos enseñaron a dar los primeros pasos de la vida. Hoy dedico este triunfo a Dios, por darme la sabiduría y la salud para lograr mis objetivos.

A mi mamita, que con su per se amor puro e incondicional me animó a salir adelante, a no rendirme ante el obstáculo.

A mi padre por su comprensión, por creer en mi y apoyarme siempre.

A mis hermanos: Lisette Cristina y Cristian Edgardo por ser mi mayor motivación, mi motor de vida, por demostrarme que somos capaces de realizar sueños muy grandes, sólo hace falta imaginarlos.. y ya está.

A todos mis abuelos, tíos y primos tanto maternos como paternos, que me ofrecieron su ayuda emocional y económica cuando más la necesité.

A mis eternos y fieles amigos del colegio: Beley, Andrea, Maria, Diana, Eliana, Karen y Vito.

A las amigas que conocí en mi paso por la universidad y estuvimos en todo este proceso de aprendizaje y siempre fueron mis compañeras de batalla: Johanna Vanessa, la bella Sofy y Laura Tatiana.

A toda la gente linda de la TUNAUIS, grupo al cual le debo muchas sonrisas en mi paso por la universidad, a las amistades incondicionales que surgieron de allí: Silvanísima, Anita y Nata.: las más guerreras, un verdadero ejemplo de vida para mí, gracias por brindarme su ayuda cuando la necesité y levantarme cuando creí que la suerte estaba echada.

A los que ya no están, pero son ángeles que me cuidan desde el cielo: mi abuelita Aylé, papá toño, tío Libardo.

Silvia Juliana

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme dado salud, inteligencia, sabiduría y paciencia permitiéndome llegar hasta este punto y lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi padre, Jovel, Quien fue ejemplo de disciplina, honorabilidad, perseverancia y esfuerzo, que desde el cielo es mi ángel guardián, gracias por tu inmenso amor y por creer en mí.

A mi mamita María Elisa, por su ejemplo de trabajo, esfuerzo y dedicación quien me enseñó desde pequeña a luchar para alcanzar mis metas.

A mis hermanos y mi sobrinete Mauri, quienes han sido mi mayor motivación, apoyo y compañía, para nunca rendirme y poder llegar ser ejemplo para ellos.

A Cristian, que ha estado a mi lado dándome cariño, confianza y apoyo incondicional para seguir adelante, para cumplir otra etapa en mi vida y a todas aquellas personas que contribuyeron en todo mi proceso de formación.

Yudy Rocío

AGRADECIMIENTOS

Hoy agradecemos este triunfo a Dios por iluminarnos en cada etapa de nuestras vidas, darnos el entendimiento, sabiduría, salud, y sobre todo la confianza que nos brinda para poder lograr cada una de las metas que nos proponíamos

Al nuestro director de tesis José Carlos Gutiérrez Gallego, por permitirnos trabajar con él, y darnos la oportunidad de aprender cosas nuevas.

A la Química Mónica quien nos ayudó en las pruebas de espectroscopia de Infrarrojo

Al ingeniero Metalúrgico Diego Hernández, quién nos ayudó con las pruebas físico-mecánicas.

A Luis Eduardo Carreño Pérez y Wilson Eduardo Carreño Soler; Técnicos del laboratorio de procesos de la escuela de Ingeniería química por la ayuda brindada durante la elaboración del proyecto.

A la estudiante de química Andrea González por compartirnos sus conocimientos.

A la licenciada en español Silvana Gómez por su ayuda al momento de escribir el libro.

A cada uno de los maestros que participaron en nuestro desarrollo profesional durante la carrera, sin su ayuda y conocimientos no estaríamos donde nos encontramos ahora.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. MARCO TEÓRICO	21
1.1 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS, SIGLAS EN INGLÉS)	21
1.1.1. Generalidades	21
1.1.2 Propiedades y características del poliestireno expandido	21
1.1.2.1 Densidad:	21
1.1.2.2 Medio ambiente:	21
1.1.2.3 Resistencia mecánica	22
1.1.2.5 Comportamiento frente a la temperatura	22
1.1.2.6 Aislamiento Térmico	22
1.1.2.7 Resistencia química	22
1.2. POLIESTIRENO EXPANDIDO POST-CONSUMO	22
1.3. FIQUE	23
1.3.1. Características de la planta de fique.	24
1.3.2 Fibra de fique.	25
1.3.3. Propiedades mecánicas de la fibra de fique.	26
1.4. PRE-PREGS	26
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	28
2.1 PREPARACIÓN DE MATERIAS PRIMAS	29
2.1.1. Espectroscopia infrarrojo.	29
2.2 ELABORACIÓN DE LA SOLUCIÓN POLIMÉRICA	29
2.2.1 Solubilidad del EPS en el solvente.	30
2.3 PRIMERA IMPREGNACIÓN	30
2.4 SEGUNDA IMPREGNACIÓN	30
2.5 ELABORACIÓN DEL PRE-PREG	31

2.5.1 Reducción de tamaño de las fibras.	31
2.5.2 Prensado.	31
2.6 CARACTERIZACIÓN DEL PRE-PREG	31
2.6.1 Dureza.	31
2.6.2 Flexión (ASMT D790).	32
2.6.3 Tensión (ASTM D638).	32
2.6.4 Densidad real.	32
2.6.5 Prueba de ignición.	32
2.6.6 Absorción e hinchamiento de agua (ASMT D570).	33
2.6.7 Resistencia medio ambiental.	33
2.6.8 Resistencia a sustancias químicas.	33
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	34
3.1. ELABORACIÓN DE LA SOLUCIÓN POLIMÉRICA	34
3.2. SOLUBILIDAD DEL EPS EN EL SOLVENTE	34
3.3. PRIMERA IMPREGNACIÓN	35
3.4. SEGUNDA IMPREGNACIÓN	36
3.5. ELABORACIÓN DEL PRE-PREG	37
3.5.1. Prensado.	37
3.6. CARACTERIZACIÓN DEL PRE-PREG	39
3.6.1 Dureza	39
3.6.2 Flexión.	40
3.6.3 Tensión.	42
3.6.4. Densidad real. Tabla 10. Resultados de prueba de densidad.	43
3.6.5 Prueba de ignición	44
3.6.5.1 Pre-preg con Ácido Bórico.	44
3.6.5.2 Pre-preg con silicato de sodio.	45
3.6.5.3 Pre-preg fibra de fique virgen.	45
3.6.6 Absorción e hinchamiento de agua.	45
3.6.7 Resistencia medio ambiental.	46

3.6.8 Resistencia a soluciones químicas.	47
4. CONCLUSIONES	48
5. RECOMENDACIONES	49
BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXOS	59

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición química de la hoja de fique	25
Tabla 2. Características físicas de la fibra de fique	26
Tabla 3. Propiedades mecánicas de las fibras de fique	26
Tabla 4. Solubilidad del EPS en el solvente	34
Tabla 5. Pre-pregs variando la proporción resina/fibra, temperatura y presión.	36
Tabla 6. Datos para el prensado de los pre-pregs	38
Tabla 7. Resultados prueba de dureza	39
Tabla 8. Resultados prueba de flexión	40
Tabla 9. Resultados prueba de tensión	42
Tabla 10. Resultados prueba de densidad.	44

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura del poliestireno expandido	21
Figura 2. Metodología experimental	28
Figura 3. Estructuras moleculares a) Tolueno [22]; b) Poliestireno expandido	35
Figura 4. Resistencia a la flexión.	41
Figura 5. Módulo de flexión.	41
Figura 6. Curvas esfuerzo-deformación.	42

LISTA DE FOTO

	Pág.
Foto 1. Planta de fique	24
Foto 2. Cosecha de fique	25
Foto 3. Prueba de dureza (Shore tipo D)	39
Foto 4. Prueba de densidad.	43

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. COMPONENTES PRINCIPALES DE LA FIBRA DE FIQUE	59
ANEXO B. PREPARACIÓN DE MATERIAS PRIMAS	61
ANEXO C. ESPECTROS DE INFRARROJO	63
ANEXO D. CARACTERIZACIÓN DE LOS PRE-PREGS	70
ANEXO E. ELABORACIÓN DE LA MATRIZ POLIMÉRICA Y SOLUBILIDAD DEL EPS EN EL SOLVENTE	79
ANEXO F. PRIMERA Y SEGUNDA IMPREGNACIÓN DE LAS FIBRAS	80
ANEXO G. ANÁLISIS ESPECTROSCOPIA INFRARROJO	82
ANEXO H. ELABORACIÓN DEL PRE-PREG	88
ANEXO I. PRUEBAS CARACTERIZACIÓN DEL PRE-PREG.	90
ANEXO J. HOJAS DE SEGURIDAD	95

RESUMEN

TÍTULO: ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE PRE-PREGS UTILIZANDO POLIESTIRENO EXPANDIDO POST-CONSUMO REFORZADO CON FIBRAS DE FIQUE. *

AUTORES: Silvia Juliana Navarro Arana, Yudy Rocío Castellanos Suárez.**

PALABRAS CLAVE: Fibras de fique, solución polimérica, materiales compuestos, pre-pregs.

DESCRIPCIÓN:

La gran carga contaminante de residuos generados del desarrollo económico y productivo, ha impulsado la investigación de este proyecto en materiales compuestos reforzados con fibras de fique del municipio de Mogotes Santander, utilizadas como refuerzo para la elaboración de pre-pregs con poliestireno expandido post-consumo disuelto en tolueno.

El desarrollo de este proceso consta de varias fases: Preparación de las materias primas, elaboración de la solución polimérica (donde se disolvió el EPS en tolueno), primera impregnación de dos muestras de fique con ácido bórico y silicato de sodio secadas al ambiente y en un horno a 73°C; para una mayor adherencia entre las fibras y la solución polimérica, segunda impregnación con la misma. Ambas impregnaciones fueron hechas por inmersión. Se llevó a prensado a una temperatura de 130°C y una presión de 60 kg/cm² durante 15 minutos. Los pre-pregs elaborados se caracterizaron mediante pruebas físico-mecánicas y químicas, con el fin de conocer su resistencia.

Los resultados en las diferentes pruebas mostraron que la impregnación en las fibras de fique de sustancias químicas como el ácido bórico y el silicato de sodio mejora algunas propiedades químicas y físicas: protege al material del deterioro y de factores atmosféricos, disminuye su capacidad de absorción; permitiendo obtener un material adecuado para posibles aplicaciones en la industria.

*Trabajo de investigación.

**Facultad de Ingeniería Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: José Carlos Gutiérrez Gallego. Químico M. Sc. Universidad Industrial de Santander.

ABSTRACT

TITLE: ELABORATION AND PHYSICO-MECHANICAL CHARACTERIZATION OF PRE-PREGS USING POST-CONSUMPTION EXPANDED POLYSTYRENE REINFORCED WITH FIBERS OF SISAL.*

AUTHORS: Silvia Juliana Navarro Arana, Yudy Rocío Castellanos Suárez.**

KEYWORDS: Fiber of sisal, polymer solution, composites, pre-pregs.

SUMMARY:

The large amount of pollutants waste generated from the economic and productive development has prompted the research on this project on reinforced composites with fibers of sisal obtained from Mogotes, Santander which were used as reinforcement for making preregs with post-consumer polystyrene dissolved in toluene.

The development of this process involves several stages: Preparation of raw materials as well as the preparation of the polymer solution (which was dissolved EPS in toluene), At first, impregnating of two sisal's samples with boric acid and sodium silicate which were dried at ambient temperature and in an oven at 73 °C; to get a further adhesion between the fibers and the polymer solution was needed a second impregnation. Both impregnations were made by dipping. It was carried to a press machine at 130°C and 60 Kg/cm² of pressure for 15 minutes. The preregs made were characterized by physic-mechanical and chemical tests, in order to get to know the resistance.

The results in the different tests showed that impregnating sisal's fibers with chemicals substances such as boric acid and sodium silicate improves some physical properties: protects the material from damage and atmospheric factors, reduces its absorption capacity; allowing to get a suitable material for potential applications in industry.

* Graduation Project.

** Physicochemical Faculty. Chemical Engineering School. Director: José Carlos Gutiérrez Gallego. Químico M. Sc. University of Santander.

INTRODUCCIÓN

Es bien sabido que es inminente la necesidad de generar soluciones que alivien la carga contaminante de los residuos que devienen del desarrollo económico y productivo tradicional de los países y los patrones de consumo, dado su impacto ecológico negativo en el planeta: acumulación masiva de residuos sólidos, efecto invernadero, contaminación ambiental, entre otros.

En el caso específico de Colombia, la preocupación por el medio ambiente va en aumento y cada vez es mayor el interés al respecto del impacto ambiental generado por los productos que se consumen. Día a día se acude a diferentes métodos para concienciar, buscar y poner en marcha estrategias para una producción limpia y amigable con el medio ambiente.

En ese orden de ideas, en este trabajo se genera una propuesta que incorpora, en su desarrollo, materiales ya usados *–postconsumo–*, más específicamente, el reciclaje de uno de estos desechos: el poliestireno expandido (icopor), que representa 0.1% de los residuos sólidos urbanos generados; dándole un valor agregado en la utilización como materia prima en otros procesos; y al ser 100% reciclado disminuye el costo del producto final ^[1].

Existen trabajos en este campo que han desarrollado materiales compuestos en donde se adicionan fibras de origen vegetal como refuerzo en el material reciclado, esto mejora las propiedades mecánicas del nuevo producto. Para escoger las fibras a utilizar, es importante conocer las propiedades físicas y químicas de las mismas. Por ejemplo: M. Poletto, J. Dettenborn, A. J. Zattera, y M. Zeni realizaron un estudio donde evaluaron las propiedades mecánicas de materiales compuestos formados del poliestireno expandido *–postconsumo–* y

Aserrín del Pino *elliotti* ^[2]. Dichos materiales compuestos reciben el nombre de compuestos de madera plástica o WPC por sus siglas en inglés (Wood Polymer Composites); son materiales en láminas pre-impregnadas, que están formados por dos fases: una llamada matriz polimérica que es la fase continua y rodea a la otra fase denominada fase dispersa que es, a su vez, una estructura de refuerzo^[3].

El objetivo de este trabajo es desarrollar una alternativa al reciclado de poliestireno expandido EPS, a través de la elaboración de pre-pregs reforzados con fibras de fique. Gracias al costo relativamente bajo y la alta disponibilidad en el país de este tipo de fibras, se puede convertir en una alternativa de utilización como materia prima. Además de la mejora del producto, tiene la ventaja de fácil y económico procesado con la incorporación de fibras cortas de refuerzo que permite aumentar la resistencia, rigidez, etc.

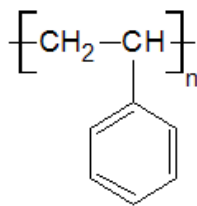
Al seleccionar la mezcla de poliestireno expandido (EPS) post-consumo disuelto en tolueno (solución polimérica); esta actúa como material de acoplamiento por inmersión entre las fibras de fique (fase dispersa) y el polímero (fase continua). La combinación de estos materiales, permite obtener un producto final con mejores propiedades mecánicas.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS, SIGLAS EN INGLÉS)

1.1.1. Generalidades. El poliestireno expandido, más conocido en Colombia como "icopor " es un plástico que se obtiene de la polimerización del monómero del estireno con relativa facilidad, dando lugar a las perlas de EPS que consiste en 2% de poliestireno y 98% de un gas, generalmente pentano que forma burbujas y reduce la densidad del material ^[4]. En la figura 1. Se muestra la estructura del poliestireno expandido.

Figura 1. Estructura del poliestireno expandido ^[8].



1.1.2 Propiedades y características del poliestireno expandido

1.1.2.1 Densidad: se caracterizan por ser extraordinariamente ligeros y a su vez muy resistentes, sus densidades varían entre 10 kg/m^3 hasta los 50 kg/m^3 ^[5].

1.1.2.2 Medio ambiente: El EPS es un material inerte de origen plástico 100% reciclable, auto extingible, este no daña la capa de Ozono ya que el agente expansor utilizado en su fabricación es el pentano, que pertenece a la familia del metano derivado de fuentes naturales ^[6,7].

1.1.2.3 Resistencia mecánica: el poliestireno expandido es un material con alta resistencia mecánica; la cual se evalúan generalmente a través de las siguientes propiedades: resistencia a la compresión, flexión, tensión y esfuerzo cortante ^[5].

1.1.2.4 Comportamiento frente al agua: La estructura celular cerrada del poliestireno expandido permite que no sea higroscópico, Incluso sumergiendo el material completamente en agua los niveles de absorción son mínimos. Esta característica hace que el material mantenga inalterable su capacidad de aislación térmica y a la vez tenga una elevada resistencia a la difusión de vapor de agua ^[8].

1.1.2.5 Comportamiento frente a la temperatura: Este es un polímero termoplástico que a temperaturas muy bajas es rígido y deformable a temperaturas altas ^[9].

1.1.2.6 Aislamiento Térmico: Una propiedad física importante del EPS es su excelente capacidad de aislamiento térmico frente al calor y al frío. Esta característica se debe a la estructura del material, que esencialmente consiste en aire estancado dentro de una estructura celular conformada por el poliestireno ^[10].

1.1.2.7 Resistencia química: Este polímero cuya estructura es de fase sólida no polar, es atacado fácilmente por disolventes orgánicos tradicionales como el tolueno, xileno, estireno, benceno, cetona, etc; cuyo comportamiento es contraerse o disolverse. Sin embargo el EPS muestra una notoria resistencia a ser atacado por cualquier medio acuoso básico o ácido ^[11].

1.2. POLIESTIRENO EXPANDIDO POST-CONSUMO

El EPS post-consumo es un termoplástico usado en la industria por su capacidad como aislante térmico (por ej. se moldean vasos que mantienen las bebidas con

su temperatura adecuada largo tiempo), en el embalaje de todo tipo de productos, en artículos deportivos, entre otros.

Todos esos productos al dejar de ser utilizados, desafortunadamente se desechan y llegan a ser parte de una gran cantidad de residuos urbanos que muchas veces no se reciclan. Por ende al no hacerles un tratamiento adecuado, todos estos residuos generados dejan huella en el medio ambiente independientemente del material con el que estén fabricados.

Debido a esta situación se hace necesario el reutilizar estos productos para mitigar y compensar los daños hechos al planeta. El EPS post-consumo afortunadamente es 100% reciclable y hoy en día existen cuatro principales opciones para la reducción de los residuos de EPS conocidas como las 4R's: Reducir, reutilizar, reciclar y recuperar ^[12].

1.3. FIQUE

El fique es de origen de América tropical, especialmente de la región andina de Colombia, Venezuela y Ecuador. En Colombia, que es productor de cerca de treinta mil toneladas anuales, se cultiva en la parte alta de la sierra templada y fría en las zonas de Santander, Nariño y Valle del Cauca, donde el clima y los suelos contribuyeron a su expansión. Esta planta pertenece al género *Furcraea* y comprenden cerca de 20 especies diferentes donde se extrae de sus hojas la fibra textil conocida popularmente como fique ^[13].

En Colombia, alrededor del cultivo y extracción de fique existe toda una tradición que data de tiempos inmemorables con diversos fines como la fabricación de hamacas, redes, cuerdas, alpargatas, jíqueras, costales y enjalmas. Actualmente

las regiones donde más se cultiva el fique por razones climáticas y culturales son los departamentos del Cauca, Nariño, Santander y Antioquia ^[14].

Específicamente, en Santander los municipios productores de fique son: Mogotes, San Joaquín, Onzaga, Aratoca y Curití y los municipios transformadores San Gil, Barichara y Villanueva, entre otros. Todos están suscriptos al convenio de producción más limpia para este departamento.

Hoy por hoy, la fibra de fique es utilizada en la industria colchonera, en la elaboración de láminas de Microlink (Aglomerado de fibra de fique y algodón, utilizado como refuerzo estructural y aislante térmico en los colchones manufacturados), en la elaboración de materiales compuestos (composites), y en materiales para construcción (cemento, páneces, tejas).

1.3.1. Características de la planta de fique. Es importante mencionar que se trata de una planta rústica adaptable a distintos suelos con un PH que va de 5.5 a 7.0, son plantas de gran tamaño, tallo recto de hojas pobladas apiladas en el vértice, alargadas y angostas. El ancho de las hojas puede variar entre 10 y 20 cm y su largo entre 1 y 2 m. En la Tabla 1. Se observa la composición química de la hoja de fique ^[15].

Foto 1. Planta de fique ^[16]



Foto 2. Cosecha de fique ^[16]



Tabla 1. Composición química de la hoja de fique ^[14].

FIBRA		JUGO	BAGAZO	
Cenizas	0.7%	Clorofila	Cenizas	12.2%
Celulosa	73.8%	Carotenoides	E.E.	3.64%
Resinas, ceras y grasas	1.9%	Saponinas Azúcares	Proteína Elementos Nitrogenados	9.84% 71.29%
Lignina	11.3%	Resinas	Calcio	21.65%
Pentosanos	10.5%	Flavonoides Ácidos orgánicos	Fósforo Magnesio	0.09% 0.2%
TOTAL	98.2%	Alquitranes Agua Lignina Calcio Lipoides Fósforo	Fósforo Sodio Cobre Hierro Manganeso Zinc	1.81% 0.04% 14 ppm 647 ppm 33 ppm 17 ppm

1.3.2 Fibra de fique. La fibra constituye un 4% máximo del peso total de la hoja. La estructura principal la compone las paredes celulares del tejido vegetal compuesta por celulosa (Insoluble en agua, es un polisacárido o carbohidrato no reductor) y algunas impurezas como ligninas y pigmentos. Cada filamento está constituido por fibrillas elementales soldadas entre sí por una goma (lignina). Los extremos de las fibrillas se superponen para formar filamentos multicelulares a lo largo de la hoja y estos son los que conforman la fibra de fique ^[14]. (Ver anexo A).

En la Tabla 2. Se puede observar las características físicas de la fibra de fique.

Tabla 2. Características físicas de la fibra de fique ^[14].

Longitud	80 a 120 cm
Brillo	Opaco
Textura	Dura
Absorción al calor	Superficial
Punto de fusión	No se funde
Efectos ante los álcalis	Resistente
Efectos ante los ácidos	Mala
Resistencia a la luz solar	Regular
Efectos de los oxidantes	Variable

1.3.3. Propiedades mecánicas de la fibra de fique. Esta fibra natural tiene características mecánicas muy importantes, debido a sus investigaciones previas las cuales nos dan un indicio del comportamiento y resistencia de la fibra como material de refuerzo ^[17], en la Tabla 3. Se presentan las propiedades mecánicas.

Tabla 3. Propiedades mecánicas de las fibras de fique ^[18]

Propiedad	Promedio	Mínimo	Máximo
Resistencia a la tensión (MPa)	305,15	200,00	625,20
Módulo de la elasticidad (GPa)	7,52	5.50	25.50
Porcentaje de elongación a la fractura (%)	4,96	3,20	5,70

1.4. PRE-PREGS

Son materiales en láminas pre-impregnadas, que están formados por dos fases: una llamada matriz polimérica que es la fase continua y rodea a la otra fase,

denominada fase dispersa; que es una estructura de refuerzo, las fibras naturales son las más utilizadas para dicha función. La combinación de estos materiales, permite obtener un producto final con mejores propiedades mecánicas ^[19].

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El desarrollo de este proyecto comprende en su fase experimental la preparación de material compuesto reforzado con fibras de fique, además a tener en cuenta los parámetros para cada una de las pruebas de su caracterización con el fin de determinar el efecto causado de la incorporación de las fibras de fique a la matriz.

A continuación se muestra la metodología utilizada para la elaboración y caracterización de pre-pregs; se explica en detalle el proceso que se llevó a cabo en cada etapa. En el siguiente esquema se sintetiza la metodología:

Figura 2. Metodología experimental



2.1 PREPARACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

Se hizo la búsqueda de las materias primas, las fibras de fique utilizadas en nuestro proyecto fueron traídas del municipio de Mogotes departamento de Santander, Colombia. Estas fueron cortadas y separadas en varias tiras de 20 de cm con ayuda de unas tijeras de jardinería, se dejó una cantidad para cada una de las tres muestras. Esta parte del proyecto fue realizada en el Laboratorio de Química Industrial de la Escuela de Química de la UIS.

En cuanto al poliestireno expandido; debido a que el objetivo de nuestro proyecto es impedir que los residuos producidos se desperdicien; partimos de la reutilización teniendo en cuenta la búsqueda del polímero y el reingreso a su cadena productiva, este fue reciclado de la basura ya que las personas lo dejan en la calle como desecho; por lo tanto, el que se usó en la presente experiencia proviene del uso de embalaje de electrodomésticos. (Ver anexo B. Foto 6).

2.1.1. Espectroscopia infrarrojo. Estos ensayos se realizaron en un espectrofotómetro Infrarrojo con transformada de Fourier marca Bruker-Tensor 17, a una resolución de 4 cm^{-1} , empleando una celda ATR (Atenuación de la radiación), un número Scan de 32 Scan por análisis, velocidad de escaneo de 10 kHz y una apertura de 12 mm.

Equipo utilizado en la prueba espectrometría infrarroja y Espectroscopia de las materias primas utilizadas. (Ver anexo C. Foto 7, Figura 10 y 11).

2.2 ELABORACIÓN DE LA SOLUCIÓN POLIMÉRICA

En un recipiente de vidrio se adicionó tolueno (el solvente utilizado), y luego se agregó el poliestireno expandido post-consumo previamente troceados en

pequeños pedazos, para facilitar la homogenización y disolución al solvente, hasta obtener una solución polimérica con la concentración requerida, esta se dejó estabilizar por un tiempo de dos días.

2.2.1 Solubilidad del EPS en el solvente. Se llevó a cabo una prueba para saber la proporción adecuada de solvente y soluto presentes en la solución polimérica utilizada; para esto tomamos un vidrio reloj limpio y seco, el cual fue pesado previamente, a este se le adicionó una cantidad de la solución polimérica y nuevamente se pesó. Después fue llevado al horno a una temperatura de 83°C hasta obtener una película plástica, evaporándose completamente el tolueno. Se pesó posteriormente el vidrio reloj que contenía el polímero, para saber la cantidad de EPS disueltos en la resina.

2.3 PRIMERA IMPREGNACIÓN

Se prepararon soluciones ignífugas de Silicato de Sodio (0,43 g/ml) y Ácido Bórico (0,09 g/ml), para impregnar por inmersión las fibras de fique. Estas sustancias químicas, actúan como retardantes o inhibidores de llama; aumentando la temperatura de ignición del material y disminuyendo el peligro al fuego. Cuando el material absorbe estos compuestos; elimina el espacio para el oxígeno, con el fin de impedir el fuego y la propagación del mismo.

2.4 SEGUNDA IMPREGNACIÓN

Esta segunda impregnación, se llevó a cabo en el Laboratorio de Química Industrial de la Escuela de Química de la UIS; donde las tres muestras de fique seleccionadas (Fique virgen, Fique impregnado con silicato de sodio y fique

impregnado con ácido bórico); fueron impregnadas por inmersión con la solución polimérica compuesta de poliestireno/tolueno.

2.5 ELABORACIÓN DEL PRE-PREG

2.5.1 Reducción de tamaño de las fibras. Las fibras de fique fueron cortadas en pedazos de 5 milímetros, utilizando una cortadora de cizalla para lograr una mejor homogenización y cubrimiento en el momento de la elaboración del pre-preg.

2.5.2 Prensado. Los pre-pregs se elaboraron a través de un molde y un contra-molde, siendo estos presionados por una prensa hidráulica, marca Bestor referencia 59-50131, del Laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química, donde se empleó un prensado durante 15 minutos. La prensa se mantuvo a temperatura de 130⁰C y una presión de 60Kg/cm², estos parámetros se conservaron constantes durante todo el proceso de prensado.

2.6 CARACTERIZACIÓN DEL PRE-PREG

2.6.1 Dureza. Esta prueba se realizó a tres probetas, una por cada espécimen (fique virgen, fique impregnado con silicato de sodio y fique impregnado con ácido bórico); con el fin de observar la resistencia de la muestra contra la penetración y la magnitud de la carga aplicada. El durómetro utilizado fue un Shore tipo D (Durometer Harchess Type D, Shore Instrument & M.F.G. COI. NG.); que es usado para materiales de alto grado de dureza. (Ver anexo D).

2.6.2 Flexión (ASMT D790). El ensayo consiste en colocar una probeta con forma rectangular, sobre dos apoyos separados por una distancia conocida; sobre la probeta se aplica una fuerza de forma perpendicular hasta romper el material. Con una distancia entre apoyos de 50 mm, aplicando una velocidad de ensayo de 5 mm/min. El equipo utilizado fue el TINIUS OLSEN modelo H25K-S con capacidad de 25KN. Esta prueba se realizó en el laboratorio GIMAT (Grupo de investigación en desarrollo y tecnología de nuevos materiales) de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la UIS. (Ver anexo D).

2.6.3 Tensión (ASTM D638). La prueba de tensión consiste en la deformación de la probeta por estiramiento, frente a una tensión aplicada hasta romper el material compuesto. Para realizar este ensayo, se utilizó el equipo TINIUS OLSEN modelo H25K-S con capacidad de 25KN; con una distancia entre mordazas de 45 mm y la velocidad de ensayo de 5 mm/min.

Esta prueba se llevó a cabo en el laboratorio GIMAT (Grupo de investigación en desarrollo y tecnología de nuevos materiales) de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la UIS. (Ver anexo D).

2.6.4 Densidad real. Para calcular la densidad del pre-preg, es necesario conocer la masa de cada una de las muestras y el volumen obtenido mediante el desplazamiento del líquido, al sumergir cada una de ellas en una probeta graduada. Para hallar la densidad de un material compuesto, se utiliza el método de Arquímedes. (Ver anexo D).

2.6.5 Prueba de ignición. Este es un análisis químico del pre-preg, ya que proporciona información sobre la naturaleza de la sustancia. Las muestras fueron calentadas directamente a la flama de un mechero FISHER con ayuda de unas pinzas. Al realizar esta prueba debe observarse si la muestra arde con llama luminosa y si deja algún residuo pequeño.

2.6.6 Absorción e hinchamiento de agua (ASMT D570). Para la prueba de absorción e hinchamiento de agua, fue necesaria tener las probetas previamente pesadas y su espesor medido con el calibrador. Estas fueron sumergidas en un recipiente con 100 ml de agua, durante un periodo de 10 días (240 horas) a condiciones estándar de temperatura y presión; tomándose mediciones diariamente de peso y espesor de la probeta. (Ver anexo D).

2.6.7 Resistencia medio ambiental. En esta prueba se prepararon las muestras para entrar en contacto con el medio ambiente y a la intemperie; ya que ésta es la forma de corrosión en los polímeros por ataque de la diversidad de insectos y microbios en el medio.

Este ensayo se llevó a cabo durante 3 meses, a presión atmosférica y a una temperatura en el día de $27^{\circ}\text{C} \pm 3$ y en la noche de $22^{\circ}\text{C} \pm 3$ aproximadamente, de tal manera que se pudiera evidenciar algún deterioro de la muestra. (Ver anexo D).

2.6.8 Resistencia a sustancias químicas. En este ensayo los pre-pregs se exponen a soluciones de químicos como: solución de hipoclorito de sodio, agua con jabón, gasolina, que se consideran estarán en contacto con el material cuando ya se encuentren en el uso que se les haya asignado. En pequeños recipientes de vidrio, se sumergieron cada una de las muestras y estuvieron en contacto con dichos compuestos durante seis semanas; observándose los cambios que presentaban cada una de ellas.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. ELABORACIÓN DE LA SOLUCIÓN POLIMÉRICA

A medida que se adicionaron los pedazos de poliestireno expandido post-consumo al tolueno, se observó que este se disolvía rápidamente al entrar en contacto con el solvente. Este procedimiento se llevó a cabo con ayuda de un agitador que favoreció la disolución del polímero y se obtuvo como resultado una solución polimérica de color rosado claro de apariencia viscosa. (Ver anexo E. Foto 8).

3.2. SOLUBILIDAD DEL EPS EN EL SOLVENTE

Para hallar la concentración de la resina obtenida, fue necesario hacer una relación de pesos: se midió el peso húmedo y el peso seco de la solución polimérica; donde la muestra húmeda fue llevada a un horno a una temperatura de 83°C, para la total evaporación del tolueno y la obtención del polímero. En la Tabla 4. Se observan los resultados de la prueba de solubilidad. (Ver anexo E. Foto 9).

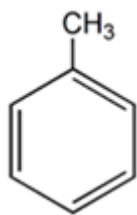
Tabla 4. Solubilidad del EPS en el solvente

	Peso [g]	
Vidrio reloj	33,28	
Vidrio reloj + solución polimérica	48,07	
Vidrio reloj + polímero	39,21	
Solución polimérica	14,78	
Polímero	5,93	
Tolueno	8,86	
Porcentaje P/P (Tolueno/solución polimérica)		60%
Porcentaje P/P (Polímero/ solución polimérica)		40%

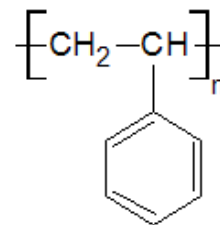
Consiguiéndose una concentración de 60%P/P de tolueno y 40%P/P de poliestireno expandido post-consumo, es decir una relación 40/60.

Tanto el tolueno como el poliestireno expandido, son sustancias químicas no polares. La característica principal de estas sustancias es que no poseen polos; y sus moléculas no tienen cargas positivas ni negativas. Sus moléculas se encuentran compuestas por átomos unidos por enlaces de tipo covalentes, es decir, enlaces donde la carga eléctrica no es la suficiente como para realizar una transferencia de electrones. Ver figura 3.

Figura 3. Estructuras moleculares a) Tolueno [22]; b) Poliestireno expandido^[8]



a) Tolueno



b) Poliestireno expandido

Debido a que su estructura molecular es similar, se facilita la disolución del EPS en tolueno, cumpliéndose que los solutos no polares, se disuelven mejor en disolventes no polares.

3.3. PRIMERA IMPREGNACIÓN

Luego de realizar esta primera impregnación de las fibras de fique con ácido bórico y silicato de sodio por inmersión, se llevaron a cabo dos secados a cada una de las muestras: uno a temperatura ambiente y otro en un horno a 73 °C por un período de 6 horas. El secado al horno se hace para retirar la humedad, ya que

esta impedirá la adhesión entra las fibras y la solución polimérica. (Ver anexo F. Foto 10).

3.4. SEGUNDA IMPREGNACIÓN

En la Tabla 5. Se puede observar las diferentes proporciones utilizadas de solución polimérica /fibra, junto a los parámetros de presión y temperatura, para la elaboración de los pre-pregs; con el fin de saber cuál sería la proporción adecuada para obtener el mejor aglomerado. (Ver anexo F. Foto 11).

Tabla 5. Pre-pregs variando la proporción resina/fibra, temperatura y presión.

MUESTRA	ÁCIDO BÓRICO		SILICATO DE SODIO		FIQUE VIRGEN	
	1	2	1	2	1	2
%P/P de solución polimérica	40	30	40	30	40	30
%P/P de fibra	60	70	60	70	60	70
Temperatura [°C]	120	130	120	130	120	130
Presión [kg/cm²]	50	60	50	60	50	60

Al observar las muestras con proporción de 40%P/P de solución polimérica y 60%P/P de fibra, se puede deducir que presentaban menor resistencia con respecto a las otras que mostraban un mayor grado de compactación, por lo tanto, se hizo la segunda impregnación a las muestras con la proporción de 30%P/P de resina y 70%P/P de fibra de fique. Estas se dejaron en el recipiente durante 20 minutos para una buena adhesión de la solución polimérica en las fibras. Luego de esta etapa, las muestras fueron sacadas y se dejaron secar sobre una bandeja a temperatura ambiente durante 24 horas.

3.5. ELABORACIÓN DEL PRE-PREG

Antes de llevarse al prensado, las fibras fueron separadas en hilos más delgados o de menor diámetro, con el fin de facilitar el corte para reducir su tamaño, esto con el fin de permitir un mejor acoplamiento entre las fibras y evitar espacios en el pre-preg ya obtenido. (Ver anexo F. Foto 12).

3.5.1. Prensado. Al tener ya cortadas las fibras al tamaño adecuado (5 mm), se hicieron 4 pre-pregs por muestra. El proceso de prensado realizado para cada una de las láminas fue el siguiente:

- Se calentaba el molde y el contra-molde en la prensa hidráulica a una temperatura de 130^oC.
- Se pesaba la cantidad de material compuesto requerido.
- Al molde y contra-molde previamente calentados, se le adicionaba aceite de silicona para facilitar el desmolde del pre-preg.
- En el molde se adicionaba el material compuesto, se acomodaba de tal forma que se cubriera en su totalidad y se tuviera mayor uniformidad.
- Posteriormente se llevaba a la prensa hidráulica a una temperatura y presión constante, durante 15 minutos.
- Luego se sacaba de la prensa y se dejaba enfriar con ayuda de aire.
- Se desmoldaba el pre-preg y se pulían los bordes con una pulidora.

Tabla 6. Datos para el prensado de los pre-pregs

Numero de muestra	Cantidad de láminas por muestra	Cantidad de matriz polimérica [g]	Presión [kg/cm ²]	Temperatura [°C]	Tiempo [min]	Imagen
1	ÁCIDO BÓRICO	110	60	130	15	
		117				
		135				
		150				
2	SILICATO DE SODIO	110	60	130	15	
		117				
		135				
		150				
3	FIQUE VIRGEN	110	60	130	15	
		117				
		135				
		150				

Las muestras de 110g y 117g, se veían muy frágiles, debido a la falta de material; la siguiente lámina de 135g tenía una buena compactación solo en el centro, pero en los bordes se percibían espacios o zonas con vacíos de fibra, es decir, presentaban una distribución no homogénea. Por lo tanto estas muestras son descartadas por ser inadecuadas para una posterior aplicación. Finalmente la estructura de la muestra de 150g mostraba un grado de compactación uniforme, buena apariencia, gran rigidez. Por esta razón se escogieron las muestras con esta cantidad, como condición de partida para la elaboración de pre-pregs y su posterior caracterización por medio de las pruebas físico-mecánicas y químicas. (Ver anexo H. Foto 13).

3.6. CARACTERIZACIÓN DEL PRE-PREG

Inicialmente se sacaron 4 pre-pregs por muestra, luego fueron adecuadas a las dimensiones necesarias, de acuerdo a las normas ASTM; utilizando equipos como: una cortadora modelo SKIL N278W, una pulidora y un taladro. Y finalmente llevar a cabo las diferentes pruebas físico-mecánicas y químicas. (Ver anexo H. Foto 14).

3.6.1 Dureza. Los resultados de esta prueba se muestran en la foto 3. En la Tabla 7. Se observan los resultados de prueba de dureza.

Foto 3. Prueba de dureza (Shore tipo D)



Durómetro (Shore tipo D)

Tabla 7. Resultados prueba de dureza

	Silicato de Sodio	Ácido Bórico	Fique virgen
	DUREZA (0-100 SHORE)		
	65	55	60
	60	52	55
	55	53	60
	60	55	55
PROM	60	54	58

Los pre-pregs elaborados muestran un rango de dureza entre 54 y 60 (escala Shore), la muestra de silicato de sodio fue la que arrojó el mejor resultado: Se observa una gran resistencia de la muestra contra la penetración y la magnitud de la carga aplicada.

3.6.2 Flexión. En la Tabla 8. Se observan los resultados de prueba de flexión. (Ver anexo I. Foto 15).

Tabla 8. Resultados prueba de flexión

MUESTR A	L LONGITUD ENTRE APOYOS [mm]	W ANCHO DE LA MUESTR A [mm]	h ESPESO R DE LA MUESTR A [mm]	ÁRE A [mm ²]	FUERZ A [N]	RESISTENCI A A LA FLEXIÓN $\sigma = \frac{3FL}{2wh^2}$ [N/mm ²]	MÓDULO DE FLEXIÓN $E_{flexión} = \frac{L^3 F}{4w\delta h^3}$ [N/mm ²]
SILICATO DE SODIO	50	20	6	120	160,0	16,7	464,8
ÁCIDO BÓRICO	50	20	6	120	128,2	13,4	461,6
FIQUE VIRGEN	50	20	6	120	192,5	20,1	464,2

En la tabla anterior, se observa que el material con mayor resistencia a la flexión según los datos obtenidos, es la muestra de fique virgen debido a que esta no tiene una primera impregnación con silicato de sodio y el ácido bórico, sustancias químicas que disminuyen la resistencia de las fibras y debilitan la celulosa que se encuentra en su estructura molecular, esto puede atribuirse a procesos de hidrólisis que rompen cadenas poliméricas.

Figura 4. Resistencia a la flexión.

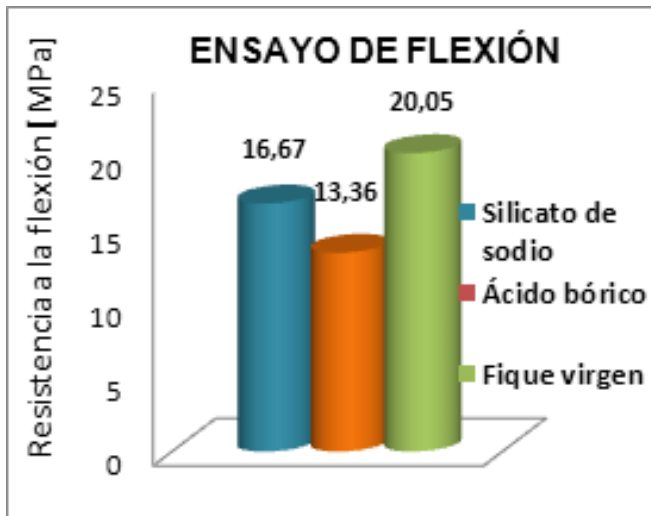
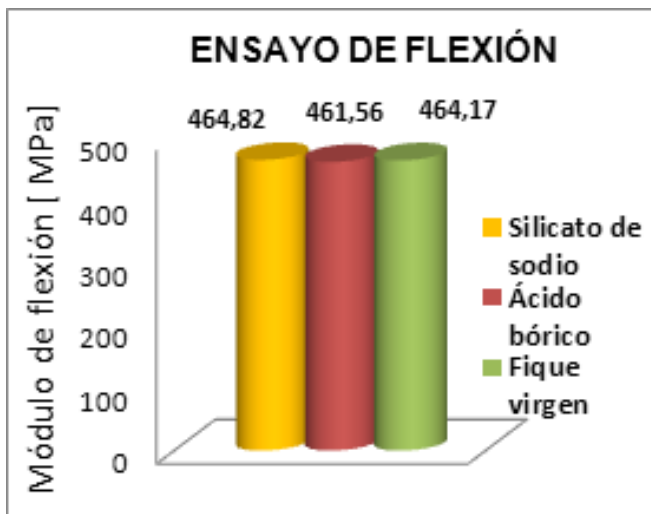


Figura 5. Módulo de flexión.



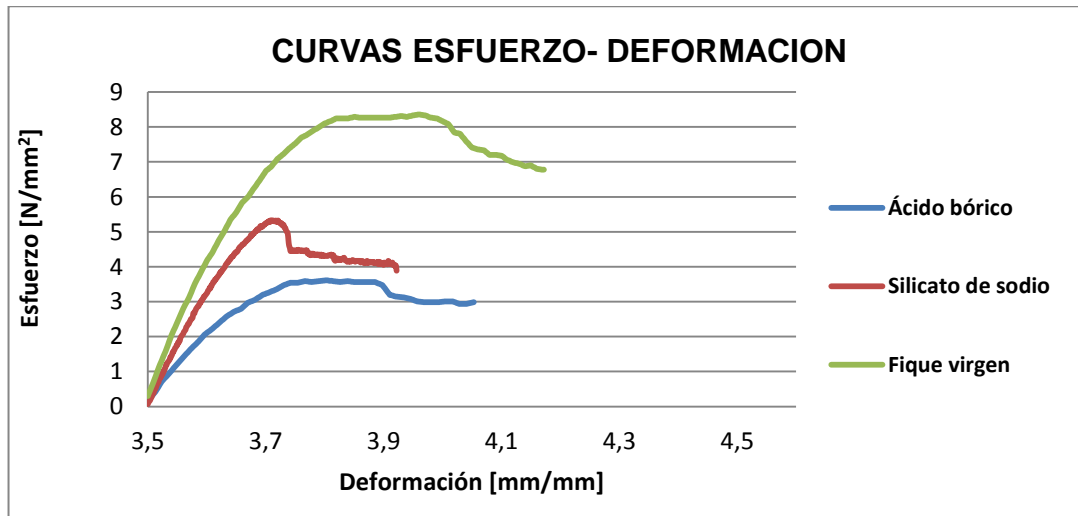
En cuanto al módulo de flexión, este es un parámetro muy importante para la caracterización del pre-preg ya que describe los efectos combinados de la deformación a compresión bajo la acción de una carga mecánica. Los valores que se muestran en la Tabla 8. Respecto a este parámetro son similares en las tres muestras; lo que indica un mismo comportamiento de deflexión en la región elástica del material.

3.6.3 Tensión. En la Tabla 9. Se observan los resultados de prueba de tensión. (Ver anexo I. Foto 16).

Tabla 9. Resultados prueba de tensión

MUESTRA	FUERZA [N]	ÁREA DE SECCIÓN $A=w*h$ [mm ²]	CALCULADO		
			DEFORMACIÓN [mm/mm] $\epsilon = \frac{L-L_0}{L_0}$	ESFUERZO [N/mm ²] $\sigma = \frac{F}{A}$	MÓDULO DE ELASTICIDAD [N/mm ²] $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$
ÁCIDO BÓRICO	130	36	3,80	3,61	0,95
SILICATO DE SODIO	191,7	36	3,71	5,32	1,43
FIQUE VIRGEN	300,8	36	3,96	8,36	2,11

Figura 6. Curvas esfuerzo-deformación.



La curva esfuerzo-deformación figura 6. Registra los resultados del ensayo de tensión. En cada una de las curvas se evidencia un esfuerzo de cedencia o límite de elasticidad; tensión a partir de la cual las deformaciones dejan de ser reversibles, es decir, la probeta no recuperará su forma inicial.

Un punto antes de alcanzar el límite elástico, aparece el límite de proporcionalidad: tensión en donde deja de cumplirse la relación proporcional entre tensión y deformación y, por lo tanto, se deja de cumplir la ley de Hooke la

cual enuncia que las deformaciones producidas en un elemento resistente son proporcionales a las fuerzas que lo producen. También se encuentra un valor o límite de fluencia que es la tensión que soporta la probeta en el momento de producirse el fenómeno de fluencia. Por último aparece el límite de rotura o la máxima tensión que soporta la probeta.

Al comparar dichos puntos en las tres muestras, se puede observar que la muestra de fique virgen es la más resistente con una tensión máxima de 8,36 N/mm²; más dúctil debido a que presenta un mayor alargamiento en la zona plástica y la menos frágil. Esta probeta al no tener una primera impregnación, adquiere la propiedad de alta resistencia de la fibra.

Por el contrario entre los espécimen de silicato de sodio y ácido bórico es más resistente la primera pero es la más frágil de todas, esto se atribuye a que el silicato de sodio al disolverse con facilidad en las moléculas de agua, las fibras retienen más líquido. La muestra de ácido bórico a pesar de ser la menos resistente es menos frágil que la de silicato de sodio. Esta menor resistencia de la muestra con ácido bórico, se da por el debilitamiento de la celulosa de las fibras; a pesar que esta sustancia le brinda al material protección al ataque de insectos y evita la propagación de un incendio, ya que actúa como retardante de llama.

3.6.4. Densidad real. Tabla 10. Resultados de prueba de densidad.

Foto 4. Prueba de densidad.



Tabla 10. Resultados prueba de densidad.

MUESTRA	PESO [g]	VOLUMEN [ml]	DENSIDAD [g/ml]
FIQUE VIRGEN	8,95	9	0,99
SILICATO DE SODIO	8,02	8	1,00
ÁCIDO BÓRICO	7,85	8	0,98

En la tabla anterior se muestran los resultados de la prueba de densidad real y se evidencia una densidad baja; justificando lo que se busca en un material compuesto: Sea ligero y con alta rigidez.

La muestra del silicato de sodio tiene mayor densidad debido a que este compuesto hace que aumente su peso y por ende esta propiedad. El espécimen impregnado con ácido bórico presenta una densidad menor, ya que este debilita la celulosa de las fibras por la disolución de sus componentes en el ácido. La muestra de fique virgen presenta una densidad intermedia con respecto a las otras; puesto que no tiene una primera impregnación que le permita aumentar o perder peso, siendo esta el resultado de las densidades del poliestireno expandido y de las fibras.

3.6.5 Prueba de ignición

3.6.5.1 Pre-preg con Ácido Bórico. Al examinar la muestra se observa un humo que se debe al carbono que está llegando a la llama y no se alcanza a quemar; por lo que es insuficiente el oxígeno, produciendo el hollín (combustión incompleta, también llamado fuliginosa). Además, vemos que con el tiempo va disminuyendo el tamaño de la llama, hay menos humo y poco a poco se reduce el tamaño de la mecha; ya que la fibra de fique se va quemando y las cenizas del ácido bórico evitan la capilaridad y se extingue.

La presencia del ácido bórico reduce la capacidad de combustión, lo que dificulta que la llama se propague y, a su vez, hace que se auto-extinga. Después de que se quema el material las cenizas que quedan son incombustibles. (Ver anexo I. Foto 17)

3.6.5.2 Pre-preg con silicato de sodio. Al exponer el material de manera directa a la llama se observa un humo, que se debe al material tipo aromático que está pasando a la llama, también se puede notar que no se quema lo suficiente por eso produce hollín.

El efecto de mecha hace que se alimente la llama, y la mecha por capilaridad va pasando combustible. Al final se demora más tiempo en quemarse, porque hace el mismo efecto del pabilo de una vela, puede seguir indefinidamente de esta forma. (Ver anexo I. Foto 18)

3.6.5.3 Pre-preg fibra de fique virgen. Al entrar en contacto la muestra con la llama, a medida que la va quemando la llama se mantiene fuerte, con el tiempo se extingue y produce hollín; finalmente al no tener oxígeno la llama se debilita pero se mantiene, esto se debe a que en este espécimen no hay un retardante de flama que me permita que se auto-extinga y evite la propagación de un incendio. (Ver anexo I. Foto 19)

3.6.6 Absorción e hinchamiento de agua. Tabla 16. Porcentaje de absorción e hinchamiento de agua. (Ver anexo I. Foto 20, Tabla 16)

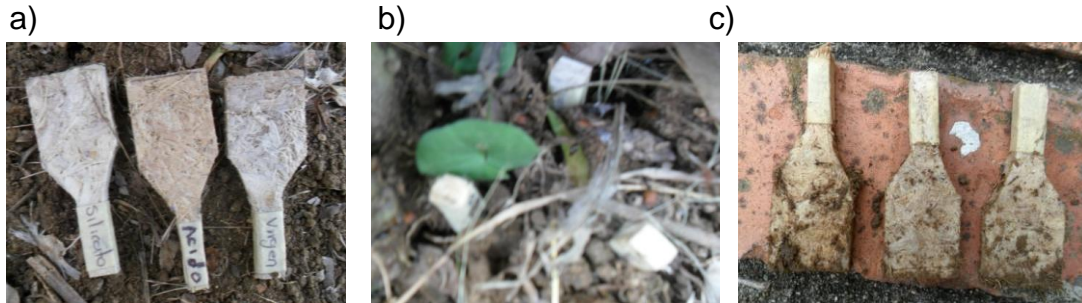
En la Tabla 16. Se muestra el comportamiento de las muestras frente a la absorción e hinchamiento de agua, la tendencia a incrementar a medida que transcurre el tiempo, es dominante. Esto se atribuye a la influencia de la propiedad hidrofílica de la fibra de fique; limitando la aplicación de este material compuesto en situaciones específicas en que esté expuesto a ambientes húmedos.

El alto porcentaje de absorción de agua se debe también a la presencia de poros y espacios en el material, que facilitan la retención de líquidos. Además, al ser mayor la proporción de fibra con respecto a la matriz polimérica; esta afecta la propiedad hidrofóbica y desempeño del poliestireno expandido. En las tres últimas mediciones, el porcentaje de absorción e hinchamiento se mantienen constantes, ya que las fibras de fique dejaron de absorber moléculas de agua y perdieron su función de permeabilidad.

Al comparar los resultados de las tres muestras, se puede inferir que la mejor en esta prueba es la muestra impregnada con ácido bórico; es bien sabido que esta sustancia debilita la estructura molecular de fibra y hace que absorba poca agua.

3.6.7 Resistencia medio ambiental.

Foto 5. Muestras para la prueba de resistencia medio ambiental.



a) Muestras antes del ensayo; b) Pruebas; c) Muestras después del ensayo.

En las fotos anteriores, se puede apreciar que ninguna de las tres muestras presentan un deterioro físico frente a factores atmosféricos; a pesar de haber estado expuestas a cambios climáticos, bacterias del suelo, insectos y plantas. Se percibe presencia de humedad y ensuciamiento del material, debido a la adherencia de abono por haber estado enterradas en la tierra: esto se debe a que el pre-preg al estar formado de fibras de fique impregnadas con solución

polimérica, adquiere las propiedades del poliestireno expandido permitiendo que no se efectúe proceso de descomposición, esto lo hace resistente y adecuado a posibles aplicaciones donde el material tenga contacto con el medio ambiente.

3.6.8 Resistencia a soluciones químicas. Muestras para la prueba de Resistencia a sustancias químicas. (Ver anexo I. Foto 21).

Los resultados que se observaron en las muestras que estaban sumergidas en solución de hipoclorito de sodio y jabón fueron favorables, ya que no se presenta ningún deterioro o desgaste del material compuesto. Los espécimen que estaban en contacto con solución de hipoclorito de sodio mostraban un blanqueamiento debido al poder oxidante del cloro que elimina las manchas. La alta resistencia de las muestras al jabón en polvo disuelto en agua, se evidenció notablemente, pues solo se sentían resbalosas al tocarlas pero no perdieron rigidez.

Por el contrario las muestras que tenían como solución química la gasolina se veían en mal estado; esta disolvió completamente la resina destruyendo la compactación entre las fibras, permitiendo que el pre-preg se hinchara porque las fibras de fique absorbieron la gasolina.

La disolución de la solución polimérica en la gasolina se da porque al estar compuesta de poliestireno expandido post-consumo y tolueno, todos estos compuestos no polares y orgánicos; cumplen el dicho: "lo semejante disuelve semejante"; las sustancias no polares se disuelven en solventes no polares.

4. CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este trabajo de investigación se establece el fuerte potencial de las fibras de fique, como un recurso natural con gran aplicación como refuerzo de materiales compuestos. No obstante su alta absorción de agua lleva a la realización de estudios posteriores para mejorar y aumentar sus propiedades mecánicas.

La elección del tolueno como solvente para la disolución del poliestireno expandido post-consumo, se hizo buscando que estos compartieran propiedades como no polaridad, ambos provienen de fuentes orgánicas (Petróleo y carbón); es decir son compuestos semejantes que permiten una alta solubilidad del poliestireno expandido en el tolueno.

La adición en las fibras de fique de sustancias químicas retardantes de fuego mejora algunas propiedades químicas y físicas: protege al material del deterioro por ataque de insectos, bacterias, factores atmosféricos, disminuye su densidad y su capacidad de absorción (ventaja que hace al material menos frágil).

5. RECOMENDACIONES

A pesar de ser favorable el hacerle una primera impregnación a las fibras, con ácido bórico y silicato de sodio: sustancias que modifican su estructura y mejoran sus propiedades físicas; se recomienda estudiar y analizar otros tipos de retardantes o protectores de materiales que aumenten su resistencia mecánica: tensión, flexión, etc.

Debido a que la mayor absorción de agua en el pre-preg se presenta en los extremos de la fibra, los cuales quedan ubicados en la zonas laterales del material, es posible impermeabilizar estos extremos, mediante la deposición de materiales adecuados que impidan la filtración de agua hacia el interior del laminado.

El reducir el tamaño de las fibras favorece un mejor prensado y permite una mejor compactación, disminuyendo los poros en el material.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASOCIACIÓN NACIONAL DE POLIESTIRENO EXPANDIDO. ANAPE España. Publicación en pdf: El poliestireno expandido y el medio ambiente. [consultado 6 oct. 2012]. Disponible en <http://www.anape.es/pdf/EI%20EPS%20en%20el%20Medioambiente.pdf?publicacion=EI%20Poliestireno%20Expandido%20y%20el%20Medioambiente>
- [2] M. POLETTI, J. DETTENBORN, A. J. ZATTERA, Y M. ZENI. AVALIAÇÃO. Das propriedades mecânicas de compósitos de poliestireno expandido pós-consumo e serragem de pinus elliottii En: Reviste Iberoamericana de polímeros. Vol. 11,Nº3 (mayo,2010); p. 166-177.
- [3] DEREK, Hull. Interfase fibra-matriz. Materiales compuestos. España: Editorial Reverté S.A., 1ª edición, 1987. p. 37-47.
- [4] SEYMOUR, Raimond. Introducción a la Química de los polímeros. Hattiesburg: Reverté, 1995. p. 1-87, 121-177, 321-327.
- [5] ANAPE (Asociación Nacional de Poliestireno Expandido). Propiedades del poliestireno expandido. [consultado 10 sep. 2012]. Disponible en <http://www.anape.es/pdf/ficha73.pdf>
- [6] LÓPEZ, Raquel. ANAPE (Asociación Nacional de Poliestireno Expandido). Sostenibilidad & medio ambiente. [consultado 10 sep. 2012]. Disponible en [http://www.anape.es/EPS%20en%20los%20medios/EI_EPS_y_su_impacto_Medioambiental-Infopack\(diciembre12\).pdf](http://www.anape.es/EPS%20en%20los%20medios/EI_EPS_y_su_impacto_Medioambiental-Infopack(diciembre12).pdf)
- [7] ANAPE (Asociación Nacional de Poliestireno Expandido). “EPS, unión del ahorro energético y la gestión eficiente del residuo” Interempresas Urbanismo y MA. (Octubre 2012). [consultado 29 nov. 2012]. Disponible en [http://www.anape.es/EPS%20en%20los%20medios/EPS_union_del_ahorro_energetico_y_la_gestion_del_residuos-Int_Urb_y_MA\(oct%2012\).pdf](http://www.anape.es/EPS%20en%20los%20medios/EPS_union_del_ahorro_energetico_y_la_gestion_del_residuos-Int_Urb_y_MA(oct%2012).pdf)

- [8] Textos científicos. Poliestireno expandido. [consultado 13 oct. 2012]. Disponible en <<http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliestireno-expandido>>
- [9] AAPE (Asociación Argentina de poliestireno Expandido). Comportamiento al fuego del poliestireno expandido. 2005. Rosario, Argentina, marzo de 2005. [consultado 18 oct. 2012]. Disponible en <http://www.polinorte.com/images/imagesuser/archivos/polinorte_eps_comp_fuego.pdf>
- [10] Guía técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios, nº1. Redactada por Asociación Nacional de Industriales de Materiales Aislantes (ANDIMAT). DAE (2008b): Soluciones de Aislamiento con Poliestireno Expandido (EPS). [consultado 18 oct. 2012]. Disponible en <<http://www.anape.es/pdf/guiaRehabilitacion102008.pdf>>
- [11] M. Riethues. Revista de Plásticos Universales. Emagazine: Las propiedades del EPS, Diciembre (2012).
- [12] ANAPE (Asociación Nacional de Poliestireno Expandido). Sostenibilidad y medio ambiente: Centros de Reciclado de EPS. Infopack. núm.172, Julio/Agosto 2011 [consultado 29 nov. 2012]. Disponible en <[http://www.anape.es/EPS%20en%20los%20medios/Centros_de_Reciclado-Revista_Infopack_\(Julio_2011\).pdf](http://www.anape.es/EPS%20en%20los%20medios/Centros_de_Reciclado-Revista_Infopack_(Julio_2011).pdf)>
- [13] PEREZ MEJÍA, Jorge A. El Fique. Su taxonomía, cultivo y Tecnología. Compañía de Empaque S.A. Segunda Edición. Editorial Colina. Medellín (Colombia) 1974. p.10.
- [14] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Dirección de desarrollo sectorial sostenible: Guía ambiental figuera. Segunda edición, Bogotá D.C. Enero de 2006.
- [15] ÁLVAREZ, Carlos, Alberto. Los mil usos del Fique. En: Ciencia al día. AUPEC [consultado 12 ago. 2012]. Disponible en <<http://aupec.univalle.edu.co/informes/mayo97/boletin37/fique.html>>

- [16] Artesanías en Fique. Blog. [consultado 13 may. 2013]. Disponible en <<http://artesaniasfiquesanbernardo.blogspot.com>>
- [17] Y, SANABRIA y M. F. CONTRERAS. Fibra de fique como refuerzo para materiales compuestos - Universidad de los Andes. IV Congreso Nacional de Ingeniería Electromecánica - Innovación Tecnológica, Energética y de Procesos con miras al TLC. Abril de 2008.
- [18] M.F. CONTRERAS. Caracterización Mecánica de Fibras e hilos de Fique y Análisis de falla de un Material Compuesto. Proyecto Especial. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia (Mayo, 2008).
- [19] BESEDNJAK DIETRICH, Alejandro. Materiales compuestos. Procesos de fabricación de embarcaciones. Primera edición, septiembre de 2005.
- [20] BLEDZKI, A.K. and GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibers. En: Progress in Polymer Science. India. Vol. 24, (Feb. 1999); p. 230.
- [21] TAIZ, Lincoln y ZEIGER, Eduardo. Fisiología vegetal. Tercera edición. 2002 volumen1.
- [22] ATKINS, Jones. Principios de Química. Los caminos del descubrimiento. Tercera edición.
- [23] D. FREIFELDER. Técnicas de bioquímica y biología molecular. Editorial Reverté, SA., 1981.
- [24] RICO, M.I; FERRANDIZ, S; LÓPEZ, J. y SAMPER, M.D. Reducción y caracterización del residuo de poliestireno expandido. I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Castellón, 23-24 de julio de 2008. REDISA 2008. p.4
- [25] CONLEY, Robert T. Espectroscopia Infrarroja. Editorial Alhambra. Madrid, 1979.
- [26] CASTRO, Isabel y PALENCIA, Ana Lucía. Evaluación de la influencia de diferentes condiciones de tratamientos superficiales sobre el comportamiento de fibras de fique. Trabajo de grado (Ingeniero Químico) Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías. Facultad de Ingeniería Química. Medellín 2006.

- [27] GAÑÁN, Piedad y MONDRAGÓN, Iñaki. Surface modification of fique fibers: effects on their physico-mechanical properties. En: Polymer Composites. España. Vol. 23 No.3 (Jun. 2002); p. 385
- [28] BEER, F. y JOHNSTON, E. Mecánica de Materiales. Ed. Mc Graw- Hill. México, cuarta edición. 1993.
- [29] SHACKELFORD, James. Introducción a la ciencia de los materiales para ingeniería. Sexta edición
- [30] American Society for Testing and Materials. ASTM International-Standards Worldwide. [consultado 11 nov. 2012]. Disponible en < <http://www.astm.org> >
- [31] ASKELAND, D. Ciencia e ingeniería de los materiales. International Thomson Editores. México. Tercera Edición. 1998.
- [32] SEYMOR RAIMOND. Introducción a la química de los polímeros. Tercera edición.
- [33] MIRAVETE, A. y CUARTERO J. Asociación española de materiales compuestos. Materiales compuestos. volumen 1 ,2003.
- [34] Spectral Database for Organic Compounds, SDBS. [consultado 20 may. 2013]. Disponible en <http://sdb.srioddb.aist.go.jp/sdb/cgi-bin/cre_index.cgi>

BIBLIOGRAFÍA

AAPE (Asociación Argentina de poliestireno Expandido). Comportamiento al fuego del poliestireno expandido. 2005. Rosario, Argentina, marzo de 2005. [consultado 18 oct. 2012]. Disponible en <http://www.polinorte.com/images/imagesuser/archivos/polinorte_eps_comp_fuego.pdf>

American Society for Testing and Materials. ASTM International-Standards Worldwide. [consultado 11 nov. 2012]. Disponible en <<http://www.astm.org>>

ANAPE (Asociación Nacional de Poliestireno Expandido). “EPS, unión del ahorro energético y la gestión eficiente del residuo” Interempresas Urbanismo y MA. (Octubre 2012). [consultado 29 nov. 2012]. Disponible en <[http://www.anape.es/EPS%20en%20los%20medios/EPS_union_del_ahorro_energetico_y_la_gestion_del_residuos-Int_Urb_y_MA\(oct%2012\).pdf](http://www.anape.es/EPS%20en%20los%20medios/EPS_union_del_ahorro_energetico_y_la_gestion_del_residuos-Int_Urb_y_MA(oct%2012).pdf)>

ANAPE (Asociación Nacional de Poliestireno Expandido). Propiedades del poliestireno expandido. [consultado 10 sep. 2012]. Disponible en <<http://www.anape.es/pdf/ficha73.pdf>>

ÁLVAREZ, Carlos, Alberto. Los mil usos del Fique. En: Ciencia al día. AUPEC [consultado 12 ago. 2012]. Disponible en <<http://aupec.univalle.edu.co/informes/mayo97/boletin37/fique.html>>

ANAPE (Asociación Nacional de Poliestireno Expandido). Sostenibilidad y medio ambiente: Centros de Reciclado de EPS. Infopack. núm.172, Julio/Agosto 2011 [consultado 29 nov. 2012]. Disponible en

<[http://www.anape.es/EPS%20en%20los%20medios/Centros_de_Reciclado-Revista_Infopack_\(Julio_2011\).pdf](http://www.anape.es/EPS%20en%20los%20medios/Centros_de_Reciclado-Revista_Infopack_(Julio_2011).pdf) >

Artesanías en Fique. Blog. [consultado 13 may. 2013]. Disponible en <<http://artesaniasfiquesanbernardo.blogspot.com>>

ASKELAND, D. Ciencia e ingeniería de los materiales. International Thomson Editores. México. Tercera Edición. 1998.

ASOCIACIÓN NACIONAL DE POLIESTIRENO EXPANDIDO. ANAPE España. Publicación en pdf: El poliestireno expandido y el medio ambiente. [consultado 6 oct. 2012]. Disponible en <<http://www.anape.es/pdf/EI%20EPS%20en%20el%20Medioambiente.pdf?publicacion=EI%20Poliestireno%20Expandido%20y%20el%20Medioambiente>>

ATKINS, Jones. Principios de Química. Los caminos del descubrimiento. Tercera edición.

BEER.F y JOHNSTON, E. Mecánica de Materiales. Ed. Mc Graw- Hill. México, cuarta edición.1993.

BESEDNJAK DIETRICH, Alejandro. Materiales compuestos. Procesos de fabricación de embarcaciones. Primera edición, septiembre de 2005.

BLEDZKI, A.K. and GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibers. En: Progress in Polymer Science. India. Vol. 24, (Feb. 1999); p. 230.

TAIZ, Lincoln y ZEIGER, Eduardo. Fisiología vegetal. Tercera edición.2002 volumen1.

CASTRO, Isabel y PALENCIA, Ana Lucía. Evaluación de la influencia de diferentes condiciones de tratamientos superficiales sobre el comportamiento de fibras de fique. Trabajo de grado (Ingeniero Químico) Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías. Facultad de Ingeniería Química. Medellín 2006.

CONLEY, Robert T. Espectroscopia Infrarroja. Editorial Alhambra. Madrid, 1979.

DEREK, Hull. Interfase fibra-matriz. Materiales compuestos. España: Editorial Reverté S.A., 1ª edición, 1987. p. 37-47.

D. FREIFELDER. Técnicas de bioquímica y biología molecular. Editorial Reverté, SA., 1981.

GAÑÁN, Piedad y MONDRAGÓN, Iñaki. Surface modification of fique fibers: effects on their physico-mechanical properties. En: Polymer Composites. España. Vol. 23 No.3 (Jun. 2002); p. 385

Guía técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios, nº1. Redactada por Asociación Nacional de Industriales de Materiales Aislantes (ANDIMAT).DAE (2008b): Soluciones de Aislamiento con Poliestireno Expandido (EPS). [consultado 18 oct. 2012]. Disponible en <<http://www.anape.es/pdf/guiaRehabilitacion102008.pdf>>

LÓPEZ, Raquel. ANAPE (Asociación Nacional de Poliestireno Expandido). Sostenibilidad & medio ambiente. [consultado 10 sep. 2012]. Disponible en <[http://www.anape.es/EPS%20en%20los%20medios/El_EPS_y_su_impacto_Medi_oambiental-Infopack\(diciembre12\).pdf](http://www.anape.es/EPS%20en%20los%20medios/El_EPS_y_su_impacto_Medi_oambiental-Infopack(diciembre12).pdf)>

M.F. CONTRERAS. Caracterización Mecánica de Fibras e hilos de Fique y Análisis de falla de un Material Compuesto. Proyecto Especial. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia (Mayo, 2008).

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Dirección de desarrollo sectorial sostenible: Guía ambiental fiquera. Segunda edición, Bogotá D.C. Enero de 2006.

MIRAVETE, A. y CUARTERO J. Asociación española de materiales compuestos. Materiales compuestos. volumen 1 ,2003.

M. POLETTO, J. DETTENBORN, A. J. ZATTERA, Y M. ZENI. AVALIAÇÃO. Das propriedades mecânicas de compósitos de poliestireno expandido pós-consumo e serragem de pinus elliottii En: Reviste Iberoamericana de polímeros. Vol. 11,N°3 (mayo,2010); p. 166-177.

M. Riethues. Revista de Plásticos Universales. Emagazine: Las propiedades del EPS, Diciembre (2012).

PEREZ MEJÍA, Jorge A. El Fique. Su taxonomía, cultivo y Tecnología. Compañía de Empaque S.A. Segunda Edición. Editorial Colina. Medellín (Colombia) 1974. p.10.

RICO, M.I; FERRANDIZ, S; LÓPEZ, J. y SAMPER, M.D. Reducción y caracterización del residuo de poliestireno expandido. I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Castellón, 23-24 de julio de 2008. REDISA 2008. p.4

SHACKELFORD, James. Introducción a la ciencia de los materiales para ingeniería. Sexta edición

SEYMOR RAIMOND. Introducción a la química de los polímeros. Tercera edición.

SEYMOUR, Raimond. Introducción a la Química de los polímeros. Hattiesburg: Reverté, 1995. p. 1-87, 121-177, 321-327.

Spectral Database for Organic Compounds, SDBS. [consultado 20 may. 2013].
Disponibile en <http://sdb.sriodb.aist.go.jp/sdb/cgi-bin/cre_index.cgi>

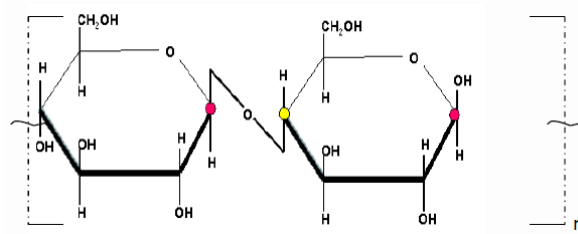
Y, SANABRIA y M. F. CONTRERAS. Fibra de fique como refuerzo para materiales compuestos - Universidad de los Andes. IV Congreso Nacional de Ingeniería Electromecánica - Innovación Tecnológica, Energética y de Procesos con miras al TLC. Abril de 2008.

ANEXOS

ANEXO A. COMPONENTES PRINCIPALES DE LA FIBRA DE FIQUE

Celulosa: La celulosa es el componente esencial de todas las fibras naturales. Es un polisacárido insoluble en agua, rígido y de peso molecular variable, cuya fórmula empírica es $(C_6H_{10}O_5)_n$, con un valor mínimo de $n = 200$. Esta absorbe agua en una proporción de 6 al 20%, produciendo hinchamiento y cambios en las propiedades de la misma.

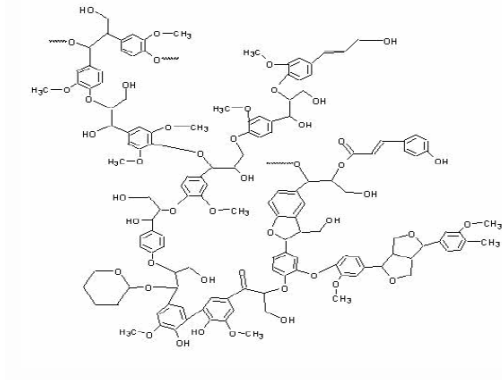
Estructura molecular de la celulosa [20]



Estas contienen entre 200 a 600 residuos de glucosa y cada uno de sus anillos tiene tres grupos hidroxilo (OH), lo cual hace que aumente la resistencia de la fibra debido a que forman enlaces de hidrógeno intermoleculares [21].

Lignina: Es un polímero altamente ramificado, aromático, heterogéneo, sin unidades repetidas definidas, que es insoluble en ácidos, y soluble en álcalis fuertes. Se encuentra covalentemente unida a la celulosa, tiene una composición entre 61-65% de carbono, 5-6.2% de hidrógeno, y el resto oxígeno.

Figura 7. Estructura generalizada de la lignina [21].



Es una molécula, con un alto peso molecular, que es producto de la unión de varios ácidos y alcoholes fenilpropílicos como el cumarílico, coniferílico, sinapílico y otros [21].

ANEXO B. PREPARACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

Disposición de las Materias primas



Foto 6. a) Fibra de fique virgen; b) Tolueno comercial; c) Poliestireno expandido post-consumo (EPS)

Reducción de los residuos de EPS conocidas como las 4R's ^[12]:

- Reducir: Se refiere a la reducción de los recursos naturales utilizados. Mediante la optimización del diseño de los envases y embalajes, los fabricantes pueden reducir la utilización del EPS minimizando de esta manera el coste y la carga medio ambiental.
- Reutilizar: Algunos productos de EPS pueden ser reutilizados en varias ocasiones en el canal de distribución; lo que sucede en algunas industrias, en dónde el embalaje de EPS se diseña de tal forma, que puede ser utilizado para los distintos componentes de las diferentes fases del proceso de producción.
- Reciclar: Se refiere a la utilización de los productos usados de EPS para destinarlos a nuevas aplicaciones. Por ejemplo, pueden ser aprovechados para obtener subproductos tales como adhesivos, aprestos, emulsiones, impermeabilizantes y asfaltos modificados.

- Recuperar: El Poliestireno Expandido tiene un alto poder calorífico, mayor que el del carbón, y puede incinerarse de una forma totalmente segura en instalaciones de recuperación energética sin que se produzcan emisiones tóxicas ni humos que puedan dañar al Medio Ambiente.

ANEXO C. ESPECTROS DE INFRARROJO

La espectroscopia se basa en la absorción de la radiación IR por las moléculas en vibración. Una molécula absorberá la energía de un haz de luz infrarroja cuando dicha energía incidente sea igual a la necesaria para que se dé una transición vibracional de la molécula. Es decir, la molécula comienza a vibrar de una determinada manera gracias a la energía que se le suministra mediante luz infrarroja [22].

Se distinguen dos categorías básicas de vibraciones: de tensión y de flexión. Las primeras son cambios en la distancia interatómica a lo largo del eje del enlace entre dos átomos. Las segundas están originadas por cambios en el ángulo que forman dos enlaces. En la figura 9. Se representan los diferentes tipos de vibraciones moleculares.

Figura 8. Vibraciones moleculares [22]



En principio, cada molécula presenta un espectro IR característico (huella dactilar), debido a que todas las moléculas tienen algunas vibraciones que, al activarse,

provocan la absorción de una determinada longitud de onda en la zona del espectro electromagnético correspondiente al infrarrojo. De esta manera, analizando cuales son las longitudes de onda que absorbe una sustancia en la zona del infrarrojo, podemos obtener información acerca de las moléculas que componen dicha sustancia ^[23].

Análisis del espectro infrarrojo

A continuación se muestran los picos más relevantes del espectro infrarrojo del poliestireno expandido post-consumo y el fique; con la debida comparación de los efectos reportados en la literatura para estos.

Foto 6. Equipo utilizado en la prueba espectrometría infrarroja

a)



b)



Foto 7. a) Espectrómetro infrarrojo Bruker; b) IR de las muestras

Figura 9. Espectro Infrarrojo poliestireno expandido post-consumo experimental

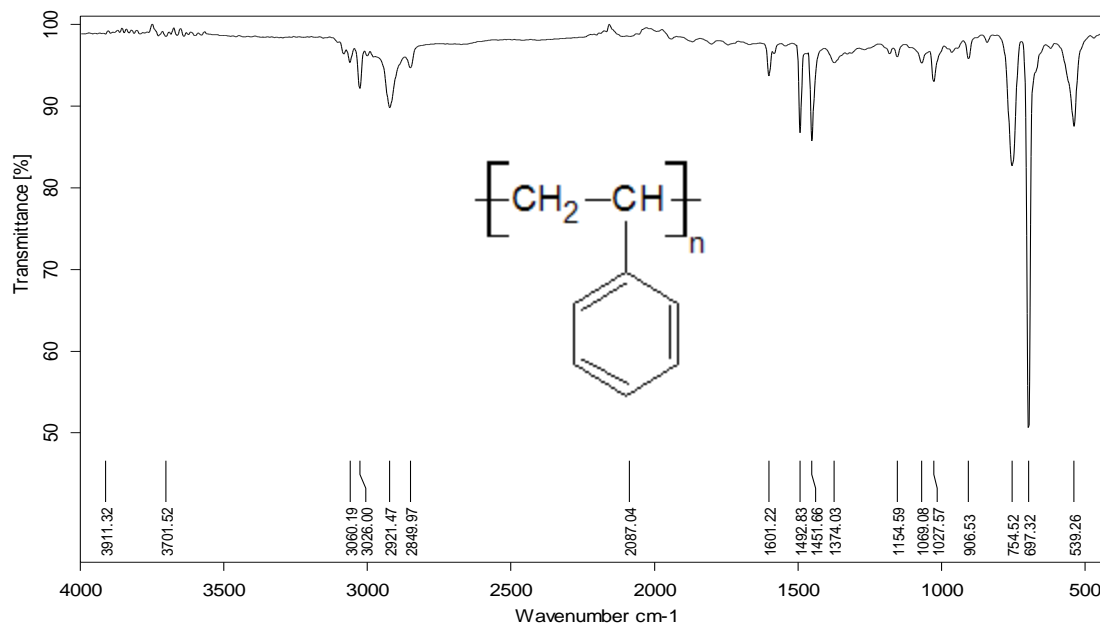
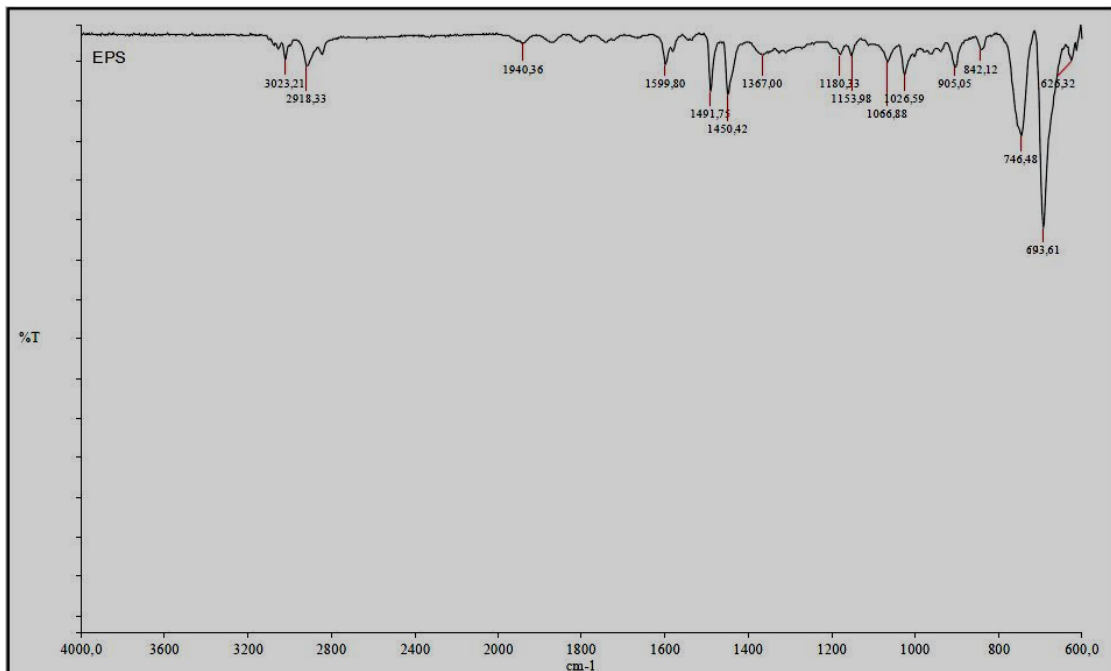


Tabla 11. Picos característicos del poliestireno expandido post-consumo Experimental

Número de onda experimental (cm ⁻¹)	Número de onda literatura (cm ⁻¹)	Tipo de vibración
3026	3030	Bandas de tensión =C-H aromático.
1601	1605	Vibración de tensión del esqueleto aromático.
1492	1474	Deformación tijera del CH ₂ .
1451	1450	Tensión del enlace -C=C- del anillo aromático (conjugación con el anillo).
754	754	=C-H banda debido a la flexión fuera del plano.
697	701	Flexión fuera del plano del CH.
685	695	-C=C- banda de flexión anular fuera del plano.

En el espectro obtenido experimentalmente, se observaron unas bandas en 3026 y 1601 cm^{-1} que hacen referencia a la tensión de =C-H del esqueleto aromático; además en 1451 y 695 cm^{-1} se presenta una banda debida a una flexión natural fuera del plano con una conjugación del anillo; y en 1492,754 y 697 cm^{-1} deformación tijera del CH_2 , una flexión fuera del plano del =C-H y del C-H.

Figura 10. Espectro Infrarrojo poliestireno expandido literatura [24].



En las bandas reportadas para la literatura del poliestireno expandido (ver figura 11) se observa a 3023 cm^{-1} una banda de tensión =C-H del anillo aromático, en 1450 cm^{-1} –C=C- conjugación con el anillo, en 1491 cm^{-1} deformación tijera del CH_2 , en 746 cm^{-1} –C=C- banda de flexión anular fuera del plano y en 626 cm^{-1} una flexión fuera del plano del CH [25].

Figura 11. Espectro ATR-IR fibra de fique virgen Experimental

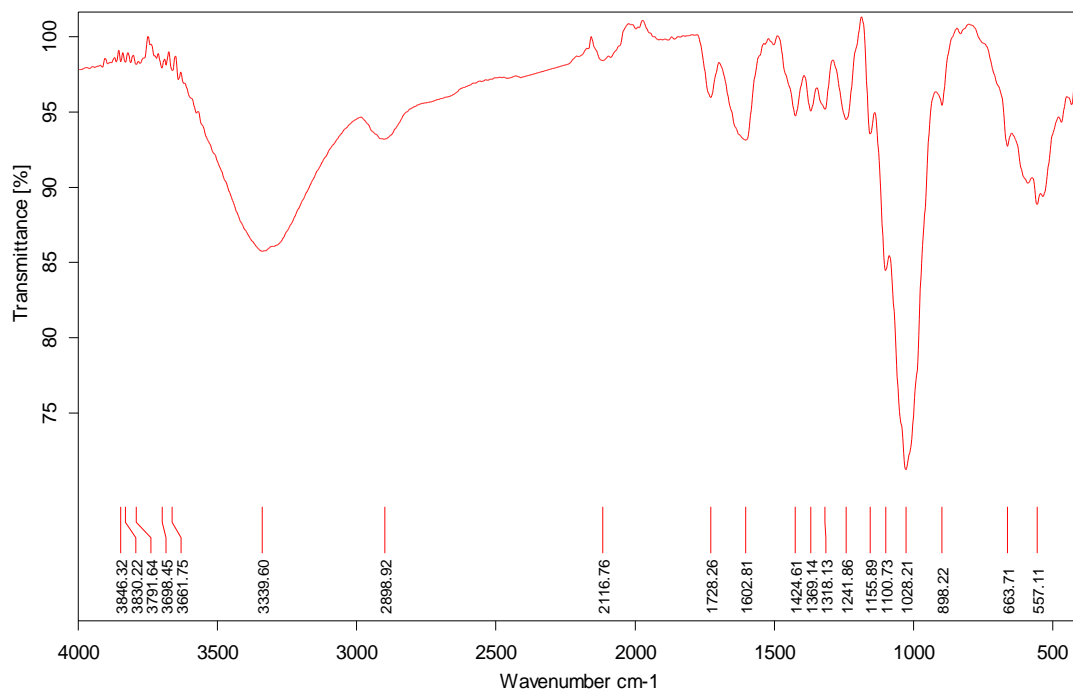


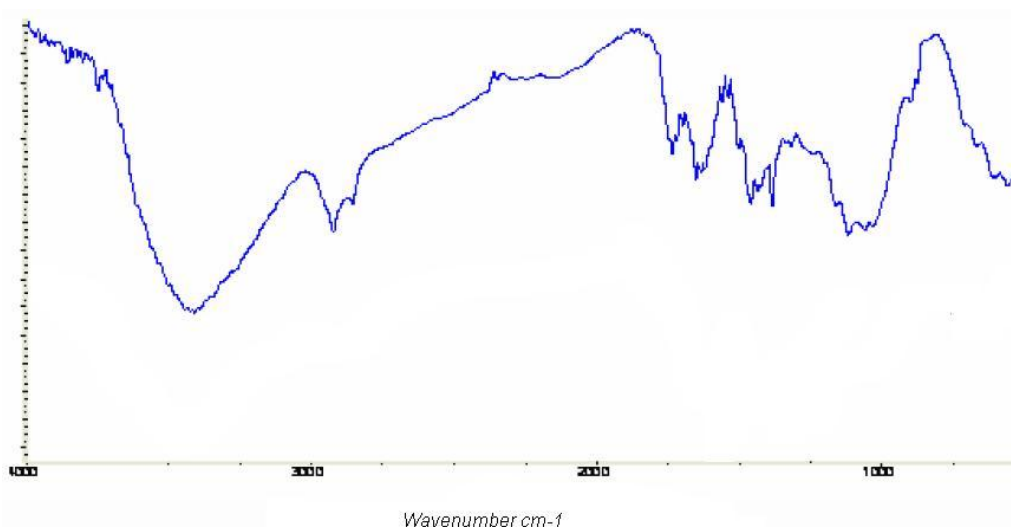
Tabla 12. Picos característicos de la fibra de fique virgen Experimental

Número de onda experimental (cm ⁻¹)	Número de onda literatura (cm ⁻¹)	Tipo de vibración
3339	3333	Vibración de tensión del grupo hidroxilo.
2898	2861	Tensión Asimétrica del -OCH ₃ de la lignina.
1728	1715	Banda de tensión del grupo carbonilo -C=O
1602	1603	Vibración del esqueleto del anillo aromático -C=C-
1028	1024	Tensión del C-H fuera del plano.
1424	1433	Deformación asimétrica del -CH por la celulosa.
1318	1318	Flexión del -CH de la lignina.
898	900	Estiramiento asimétrico de los enlaces glucosa.

Al analizar el espectro obtenido experimentalmente se observa un número de onda de 3339 y 2898 cm^{-1} , que hacen referencia a la vibración de tensión del grupo hidroxilo y tensión Asimétrica del $-\text{OCH}_3$ de la lignina. En 1728 cm^{-1} una banda de tensión del grupo carbonilo $-\text{C}=\text{O}$; en 1602, 1028 y 1424 cm^{-1} una vibración del esqueleto del anillo aromático $-\text{C}=\text{C}-$, tensión del C-H fuera del plano y una deformación asimétrica del $-\text{CH}$ por la celulosa.

Finalmente se observan las bandas de 1318 y 898 cm^{-1} , que corresponden a la flexión del $-\text{CH}$ de la lignina y al estiramiento asimétrico de los enlaces glucosa respectivamente.

Figura 12. Espectro ATR-IR fibra de fique virgen literatura [26].



En la literatura entre las bandas reportadas están: en la región entre 3000 cm^{-1} y 3700 cm^{-1} se presentan picos correspondientes a la vibración del grupo OH en la lignina y en la celulosa (puentes de hidrógeno). En 2861 cm^{-1} se encuentra vibración debido a los enlaces $-\text{OCH}_3$ de la lignina; en 1737 cm^{-1} una banda del grupo carbonilo $-\text{C}=\text{O}$ presente en la fibra.

En 1603 cm^{-1} una vibración del esqueleto del anillo aromático, 1433 cm^{-1} deformación asimétrica -CH por la celulosa. Las bandas 1318 y 900 cm^{-1} hacen referencia a la flexión del enlace -CH de la lignina y a los estiramientos asimétricos de los enlaces de la glucosa respectivamente ^[27].

ANEXO D. CARACTERIZACIÓN DE LOS PRE-PREGS

PRUEBA DE DUREZA

Todos los materiales presentan la propiedad de resistirse a ser rayados o penetrados; y está íntimamente relacionada con las propiedades elásticas y plásticas. Esta prueba se realiza con el fin de observar la resistencia al desgaste del pre-preg.

Existen gran variedad de durómetros, los hay para probar polímeros, cerámicos, metales y materiales compuestos. El durómetro tipo A-2 se usa para probar hule y plásticos suaves. El tipo D, para probar hules y plásticos duros; los de este tipo tienen un penetrador más agudo y más fuertemente cargado, el resorte que acciona la penetración de la punta. Los durómetros se difieren, por el punto de penetración y la magnitud de la carga aplicada al penetrador, por medio de un resorte calibrado.

La dureza que se obtiene con éstos durómetros es una medida de la profundidad de penetración; la cual varía de 0-100, dependiendo de la profundidad de penetración. La dureza se indica automáticamente en la escala de la carátula ^[28].

PRUEBA DE FLEXIÓN

Los ensayos de flexión proporcionan una valiosa información sobre cómo los materiales compuestos, se van a comportar en condiciones reales.

La flexión, es la deformación que sufre una viga bajo carga transversal, y se expresa en Kg-f/ cm² o en psi; este experimenta tanto esfuerzos de compresión como de tensión en la misma sección transversal.

Cuando se aplica una carga en tres puntos y se provoca flexión, se produce un esfuerzo de tensión en el material. En un punto opuesto al punto de aplicación de la fuerza central, la fractura comienza en ese punto.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN CON TRES PUNTOS

$$\sigma_{flexión} = \frac{3FL}{2wh^2}$$

Donde:

F: Carga de la fractura o ruptura, [N]

L: Distancia entre los dos puntos de apoyo, [m]

w: Ancho de la muestra, [m]

h: Espesor de la muestra, [m]

σ : módulo de la ruptura [Pa]

Los ensayos de flexión son parecidos a las curvas esfuerzo-deformación; sin embargo, se grafica el esfuerzo en función de la deflexión y no en función de la deformación unitaria ^[29].

El módulo de elasticidad en flexión o módulo de flexión ($E_{flexión}$), se calcula en la región elástica.

$$E_{flexión} = \frac{L^3 F}{4\delta wh^3}$$

δ : Deflexión de la viga cuando se aplica la fuerza F

ENSAYO DE FLEXIÓN

NORMA ASTM D790 ^[30]

IMPORTANCIA Y USO

Las propiedades de flexión según lo determinado por estos métodos de ensayo son especialmente útiles para los propósitos de control de calidad y especificaciones del producto.

Los materiales que no fallan por la tensión máxima permitida por estos métodos de ensayo (3 puntos de curva) pueden ser más adecuados para un ensayo de flexión de 4 puntos. La diferencia básica entre los dos métodos de ensayo está en la ubicación del momento máximo de flexión y tensiones máximas de fibras axiales. Las tensiones máximas de fibras axiales se producen en una línea debajo de la nariz de carga en flexión de 3 puntos y sobre el área entre las cargas en flexión de 4 puntos.

Las propiedades de flexión pueden variar con el espesor de la muestra, temperatura, condiciones atmosféricas, y la diferencia en la tasa de esfuerzo tal como se especifica en los Procedimientos A y B.

Antes de proceder con estos métodos de prueba, debe hacerse referencia a la especificación ASTM del material que está siendo probado. Toda la preparación de muestras de ensayo, acondicionamiento, dimensiones o parámetros de prueba, o una combinación de éstas, en las especificaciones del material ASTM tendrán prioridad sobre los especificados en estos métodos de ensayo.

- **Alcance**

- Esta norma cubre la determinación de las propiedades de flexión de plásticos reforzados, incluyendo compuestos de alto módulo y materiales aislantes

eléctricos en forma de barras rectangulares moldeadas directamente o corte de las hojas, placas o formas moldeadas. Estos métodos de ensayo son aplicables tanto a los materiales rígidos y semirrígidos general. Sin embargo, la resistencia a la flexión no se puede determinar para aquellos materiales que no se rompen o que no fallan en la superficie exterior de la muestra de ensayo dentro del límite de tensión 5,0% de estos métodos de ensayo. Estos métodos de ensayo utilizan un sistema de carga de tres puntos se aplica a una viga simplemente apoyada.

- Procedimiento A, diseñado principalmente para materiales que se rompen con pequeñas desviaciones.
- Procedimiento B, diseñado en particular para los materiales que se someten a grandes deformaciones durante las pruebas.
- El procedimiento A se utiliza para la medición de las propiedades de flexión, módulo de flexión, a menos que la especificación del material indica lo contrario. Procedimiento B se puede usar para la medición de sólo resistencia a la flexión.
- Las pruebas comparativas se pueden ejecutar de conformidad con cualquiera de los procedimientos, a condición de que el procedimiento se ha encontrado satisfactoria para el material que está siendo probado.
- Los valores indicados en unidades SI deben ser considerados como el estándar. Los valores indicados entre paréntesis son sólo para información.
- Esta norma no pretende dirigir todas las inquietudes sobre seguridad, si las hay, asociadas con su uso. Es la responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

PRUEBA DE TENSIÓN

La tensión determina la última resistencia de un material, implicando con esto su deterioro o destrucción.

A partir de un ensayo de tensión se puede obtener información relacionada con la resistencia, rigidez y ductilidad de un material. Esta consiste en estirar lentamente una probeta, de longitud y sección normalizadas, del material a analizar hasta que se rompe ^[31].

MÓDULO DE ELASTICIDAD O DE YOUNG

Es la pendiente de la curva esfuerzo-deformación, en su región elástica. Está regido por medio de la ley de Hooke:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad [\text{psi, (lb/pulg}^2\text{)}, \text{Kg/m}^2, \text{Pa, Mpa}]$$

Donde,

E: Módulo de elasticidad

σ : Esfuerzo

ε : Deformación

ENSAYO DE TENSIÓN

NORMA ASTM D638 ^[30]

IMPORTANCIA Y USO

Este método de ensayo está diseñado para producir datos para las propiedades de resistencia a la tensión, control y especificación de los materiales plásticos. Estos resultados también son útiles para la caracterización cualitativa para la investigación y el desarrollo.

Las propiedades de tensión pueden variar con la preparación de la muestra y con la velocidad y el medio ambiente de la prueba. Por consiguiente, cuando se desean resultados comparativos precisos, estos factores deben ser controlados cuidadosamente.

- **Alcance**

- Este método de ensayo cubre la determinación de las propiedades de tensión de plásticos reforzados en forma de probetas, en forma de mancuerna estándar cuando se prueba bajo condiciones definidas de pre-tratamiento, la temperatura, la humedad y la velocidad de la máquina de prueba.

- Este método de ensayo se puede utilizar para materiales de cualquier espesor pruebas de hasta 14 mm (0,55 pulgadas). Sin embargo, para el análisis de muestras en forma de láminas delgadas, incluyendo la película de menos de 1,0 mm (0,04 pulgadas) de espesor.

- Los datos de la prueba obtenidos por este método de ensayo son relevantes y adecuados para su uso en el diseño de ingeniería.

- Los valores indicados en unidades SI deben ser considerados como los estándares.

- Esta norma no pretende dirigir todas las inquietudes sobre seguridad, si las hay, asociadas con su uso. Es la responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud para determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

DENSIDAD REAL

La densidad es una propiedad tanto de sólidos, líquidos y gases; en un material compuesto es muy útil para determinar la resistencia y su grado de compactación. Además, es una medida de cuánto material se encuentra comprimido en un espacio determinado.

Para calcular la densidad de un material compuesto, se utiliza el método de Arquímedes, el cual emplea la diferencia de peso de la probeta en aire y en agua; para determinar su densidad con la ayuda de la fuerza de empuje ejercida por el líquido hacia el objeto ^[32].

$$\rho = \frac{P_s}{V_m}$$

P_s : Peso de la muestra seca

V_m : Volumen ocupado por la muestra

ABSORCIÓN E HINCHAMIENTO DE AGUA

La absorción de agua en un material, conduce a afectar las propiedades térmicas y mecánicas del mismo. Dentro de los problemas más comunes causados por dicha absorción se encuentran: hinchamiento del pre-preg (fibra-matriz), formación de micro grietas, facilidad de fracturas en el material y otros defectos que impiden su uso a nivel industrial ^[33].

El porcentaje de absorción e hinchamiento de agua se calculan de la siguiente manera:

$$\%Abs = \frac{P_H - P_S}{P_S} * 100$$

$$\%Hinch = \frac{e_H - e_S}{e_S} * 100$$

Donde,

P_H : Peso húmedo de la muestra

P_S : Peso seco de la muestra

e_H : Espesor húmedo de la muestra

e_S : Espesor seco de la muestra

ENSAYO DE ABSORCIÓN E HINCHAMIENTO DE AGUA

NORMA ASTM D570 ^[30]

IMPORTANCIA Y USO

Este método de ensayo para la tasa de absorción de agua tiene dos funciones principales: para la proporción de agua absorbida por un material, en los casos en que las relaciones entre la humedad y las propiedades han sido determinadas y como una prueba de control de la uniformidad de un producto.

El contenido de humedad de un plástico está íntimamente relacionado con las propiedades tales como la resistencia eléctrica de aislamiento, las pérdidas dieléctricas, resistencia mecánica, la apariencia, y las dimensiones. El efecto sobre estas propiedades depende en gran medida del tipo de exposición (por inmersión en agua o por la exposición a una humedad alta), forma de la pieza, y las propiedades inherentes del plástico.

- **Alcance**

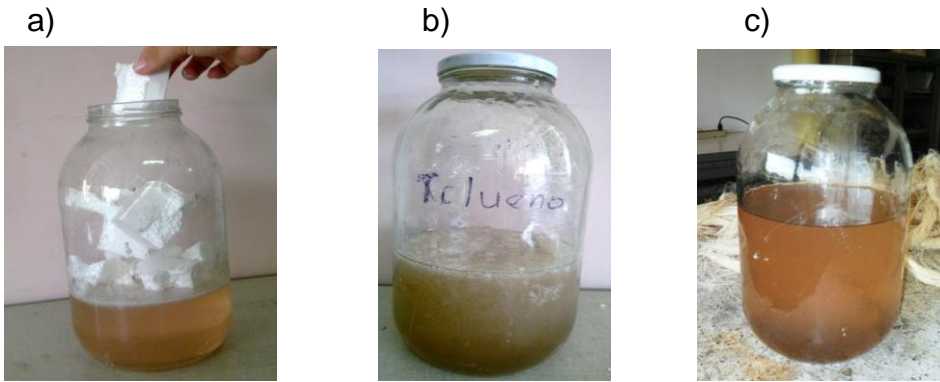
- Este método de ensayo cubre la determinación de la velocidad relativa de la absorción de agua por los plásticos cuando se sumerge. Este método de ensayo está destinado a aplicarse a las pruebas de todos los tipos de plásticos.
- Los valores indicados en unidades SI deben ser considerados como los estándares.
- Esta norma no pretende dirigir todas las inquietudes sobre seguridad, si las hay, asociadas con su uso. Es la responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

RESISTENCIA MEDIO AMBIENTAL.

Un material se considera biodegradable, al descomponerse rápidamente por acción de agentes biológicos (microorganismos, plantas, animales, hongos). Los materiales compuestos se consideran biodegradables ya que están formados por un elemento biológico; en nuestro caso la celulosa de la fibra de fique, permitiendo que su tiempo de degradación sea más corto.

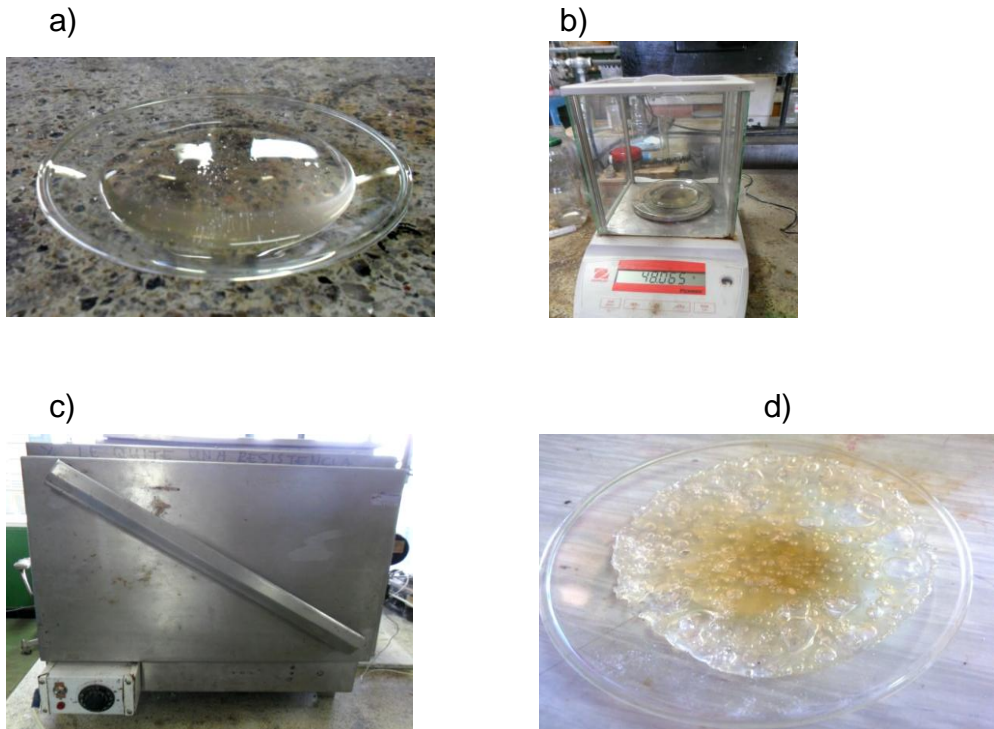
ANEXO E. ELABORACIÓN DE LA MATRIZ POLIMÉRICA Y SOLUBILIDAD DEL EPS EN EL SOLVENTE

Elaboración matriz polimérica.



a) Tolueno; b) Tolueno más EPS; c) Matriz polimérica.

Solubilidad del EPS en el solvente



a) Solución polimérica; b) Solución polimérica pesada; c) Muestra puesta a calentar; d) Muestra después de calentar

ANEXO F. PRIMERA Y SEGUNDA IMPREGNACIÓN DE LAS FIBRAS

Primera impregnación

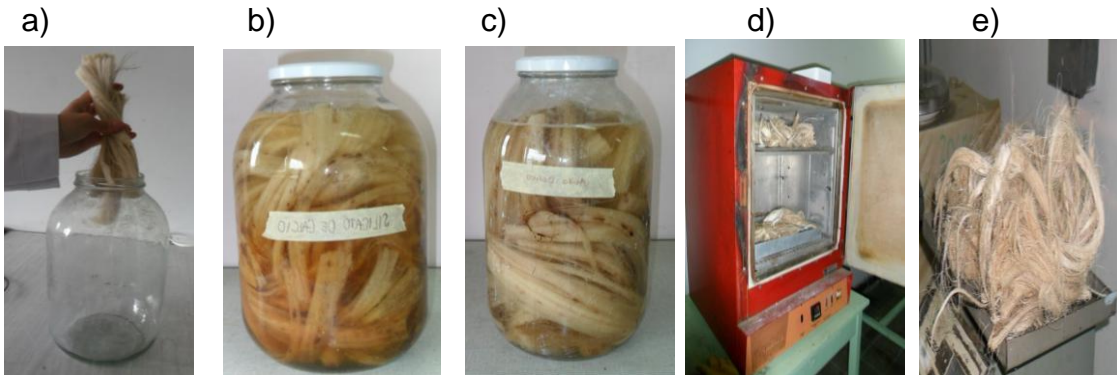
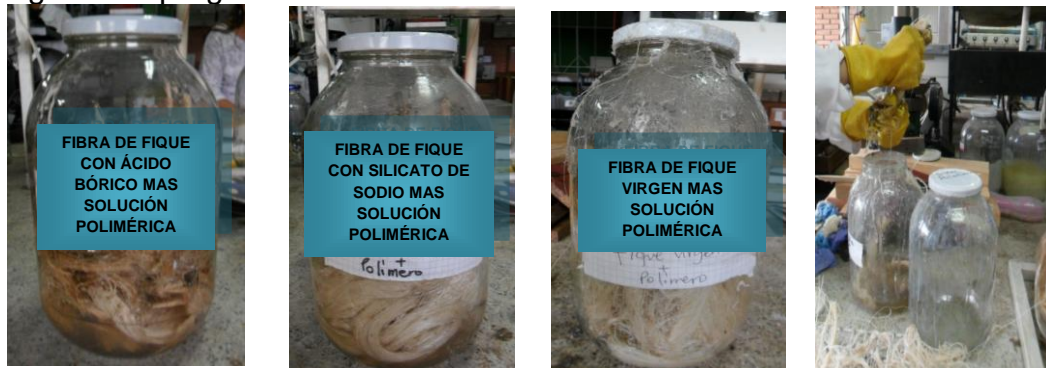


Foto 10. a) Recipiente; b) Impregnación con silicato de sodio; c) Impregnación con ácido bórico; d) Secado al ambiente; e) Secado en el horno.

Segunda impregnación



a)

a) Separación de las fibras;



b)

b) Secado.

Reducción de tamaño de las fibras.

a)



b)



c)



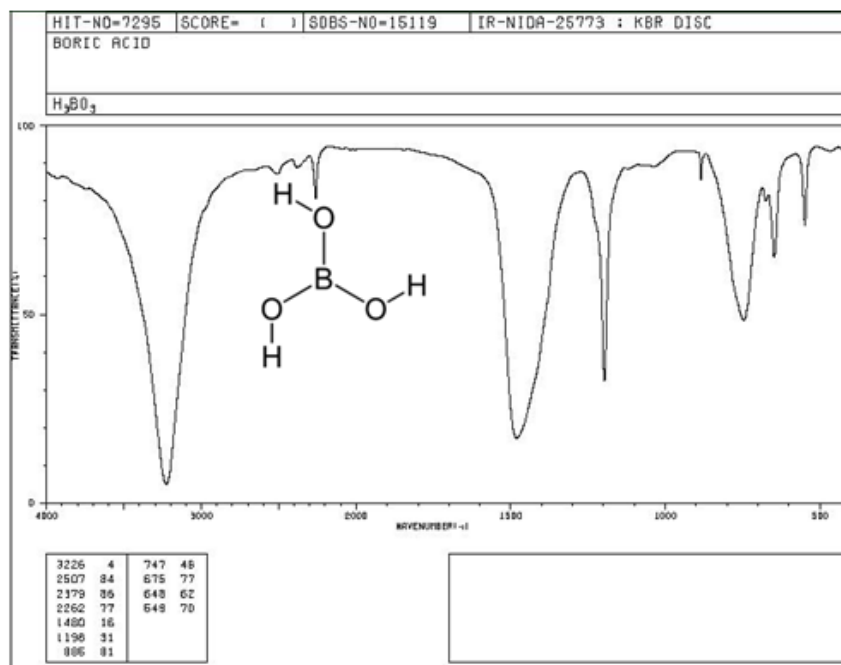
d)



Foto 12. a) Disposición de la muestra; b) Reducción de tamaño con cortadora de cizalla; c) Reducción de tamaño con tijeras; d) Muestras en el tamaño requerido.

ANEXO G. ANÁLISIS ESPECTROSCOPIA INFRARROJO

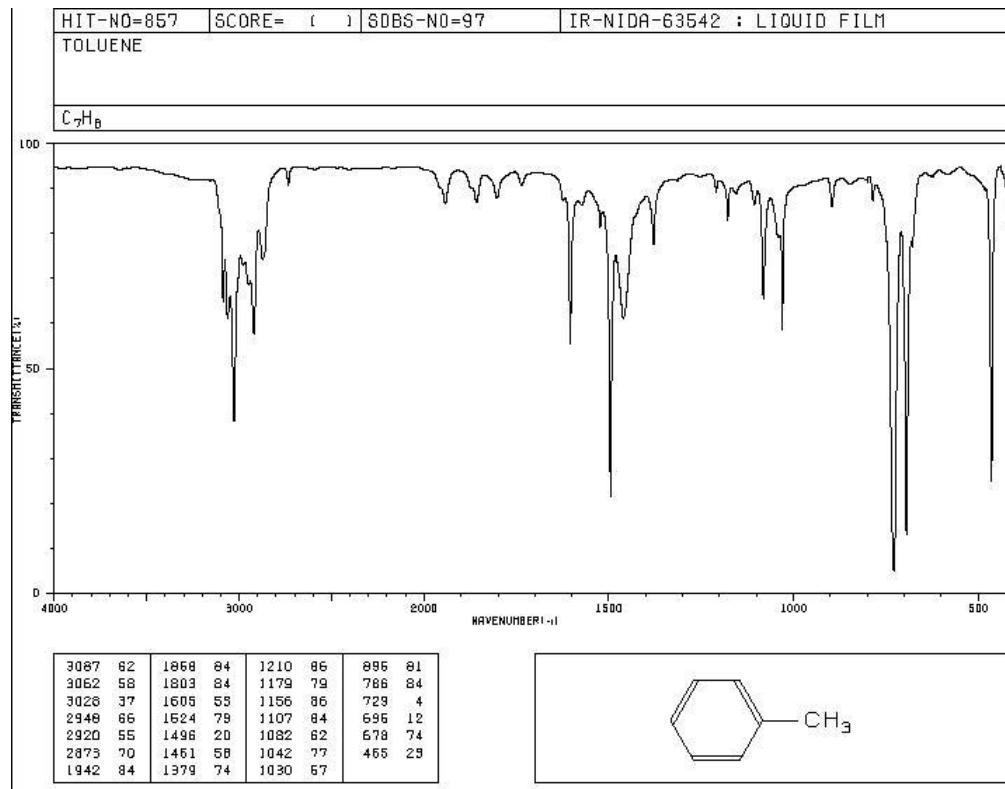
. Espectro ATR-IR del ácido bórico literatura ^[34].



Picos característicos del ácido bórico literatura.

Número de onda literatura (cm ⁻¹)	Tipo de vibración
3226	Banda de tensión del O-H
400-700	Flexión del enlace O-B-O
886	Flexión fuera del plano B-O-H
1196	Flexión en el plano B-O-H
1480	Vibración de estiramiento del B-O

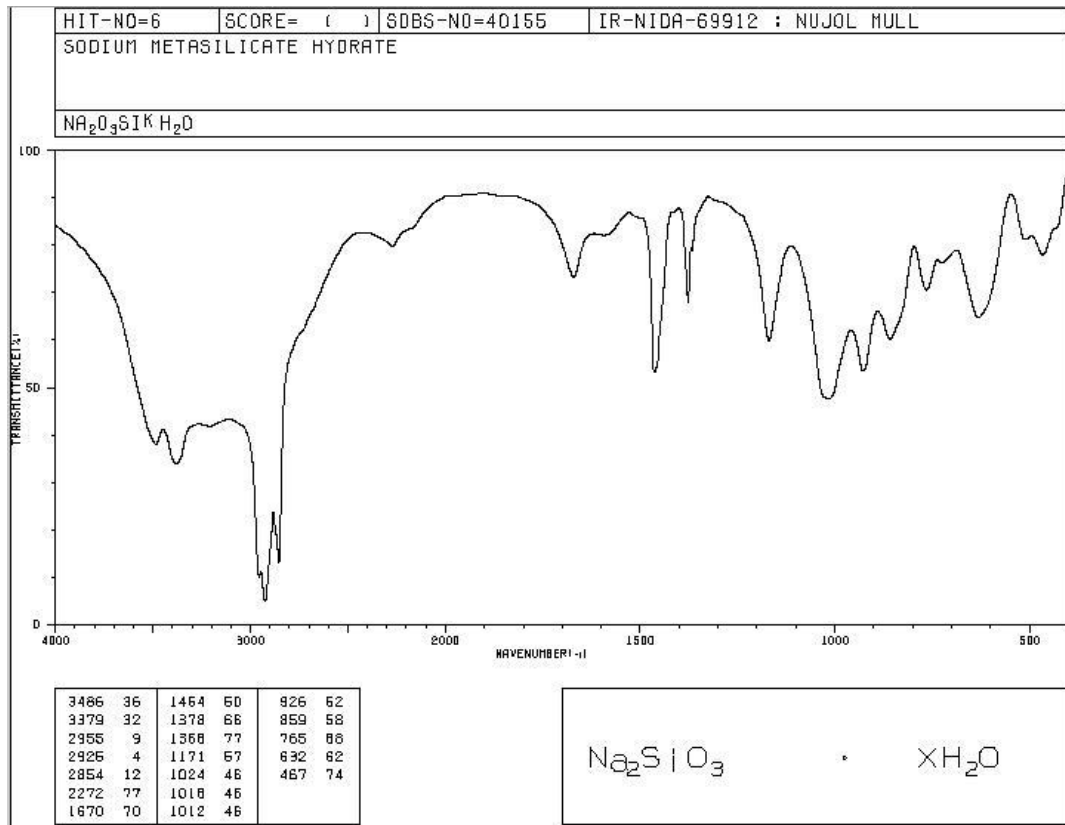
Espectro ATR-IR del tolueno literatura [34].



Picos característicos del tolueno literatura.

Número de onda literatura (cm^{-1})	Tipo de vibración
3087	Estiramiento del C-H del anillo aromático.
2920	Estiramiento del C-H
1605	Tensión del enlace -C=C- del anillo aromático.
1524	Estiramiento C-C en el anillo aromático
1461	Flexión asimétrica del CH_3
1030	Flexión en el plano C-H
729	Flexión fuera del plano del C-H

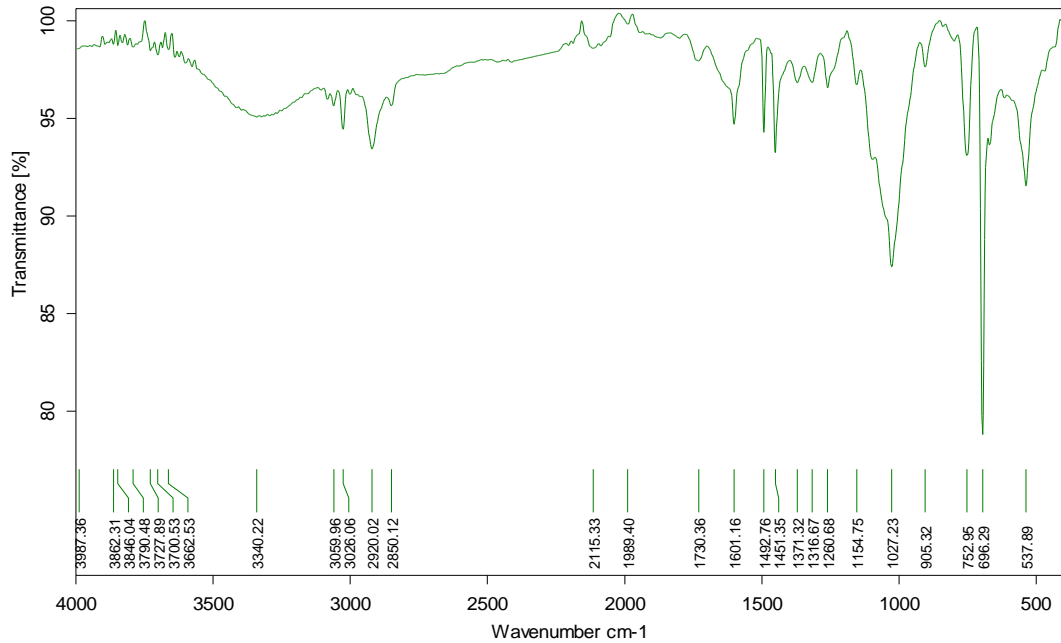
Espectro ATR-IR del Silicato de Sodio literatura [34].



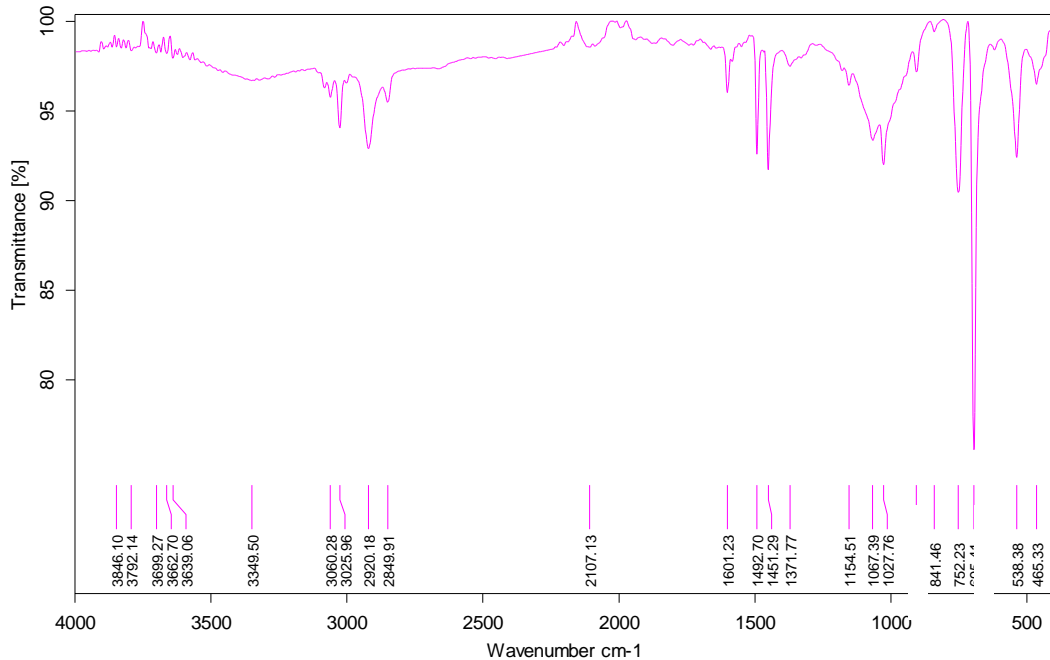
Picos característicos del silicato de sodio literatura.

Número de onda literatura (cm ⁻¹)	Tipo de vibración
3379	Banda de tensión del O-H
1000-1110	Vibración de tensión del Si-O
906	Flexión de estiramiento del enlace Si-O-Na

Espectro ATR-IR fibra de fique impregnada con solución polimérica.



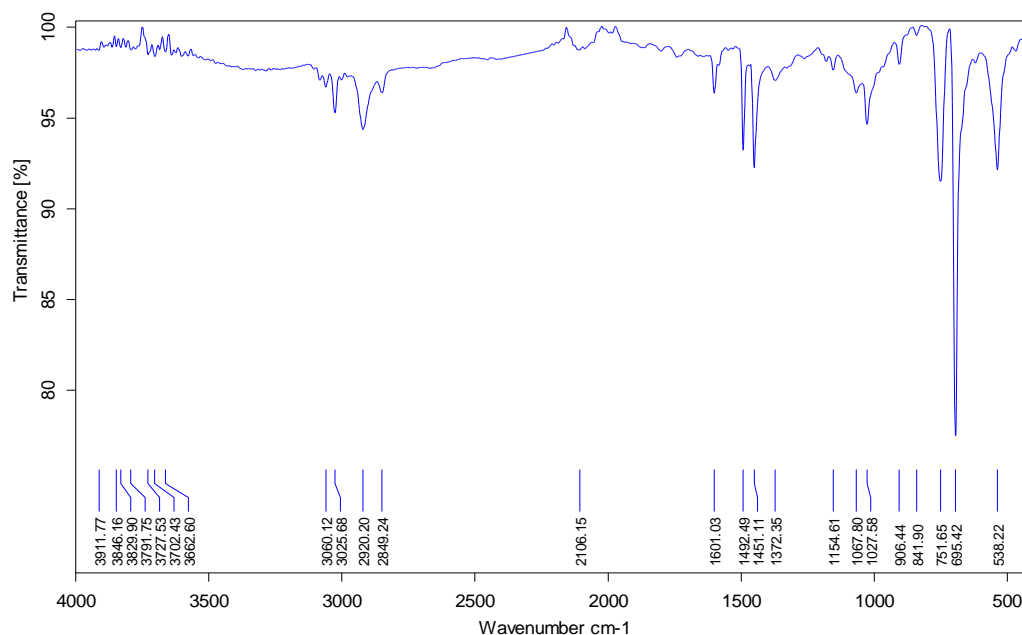
Espectro ATR-IR Fibra de fique impregnada con ácido bórico y solución polimérica.



Comparando estos dos espectros, en el ATR-IR de la fibra de fique impregnada con solución polimérica y ácido bórico; se puede evidenciar en la región entre

3600-3500 cm^{-1} hay una disminución de la vibración del grupo OH del agua; esto se da por el proceso de secado que se le hizo a dicha muestra después de la primera impregnación; además se encuentra la huella del enlace de flexión O-B-O en la región 400 a 700 cm^{-1} ; correspondiente a la presencia de ácido bórico en esta muestra.

Espectro ATR-IR Fibra de fique impregnada con silicato de sodio y solución polimérica.



Al analizar las huellas del espectro ATR-IR de la fibra de fique impregnada con silicato de sodio y solución polimérica con respecto a el ATR-IR de la fibra de fique con solución polimérica, se observa una disminución de intensidad en la vibración en la región comprendida entre 3200-3700 cm^{-1} que hace referencia al OH (grupo hidroxilo) de la molécula de agua, que se disuelve con el silicato de sodio al ser estos compuestos polares. Se puede observar una vibración en 1067 y 841 cm^{-1} que corresponden a la tensión del enlace Si-O y a una flexión de estiramiento del Si-O-Na; siendo estos parte de la huella del silicato de sodio.

Finalmente en los espectros de las anteriores tres muestras no se aprecian cambios significativos, continúan presentes bandas que hacen parte de la huella dactilar del poliestireno expandido, a excepción de las vibraciones de los enlaces O-B-O, Si-O y Si-O-Na que aparecen debido a que las muestras estaban impregnadas de ácido bórico y silicato de sodio.

ANEXO H. ELABORACIÓN DEL PRE-PREG

Prensado

a)



b)



a) Molde y contra-molde; b) Prensa hidráulica.

Equipos utilizados para adecuar las muestras para las pruebas.

a)



b)



c)



d)



a) Cortadora SKIL; b) Taladro; c) Pulidora; d) Probetas para la caracterización.

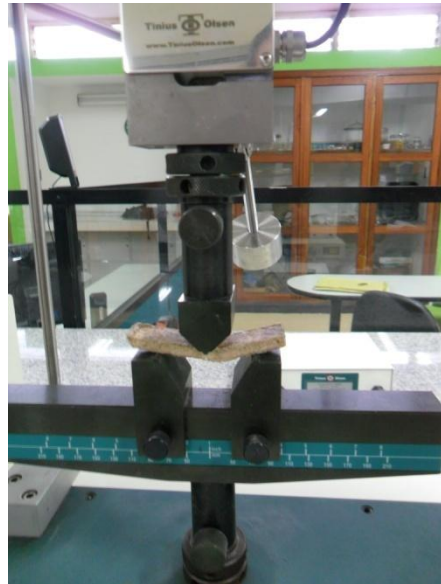
ANEXO I. PRUEBAS CARACTERIZACIÓN DEL PRE-PREG.

Probetas para la prueba de flexión.

a)



b)



c)



a) Probetas antes del ensayo; b) Pruebas; c) Probetas después del ensayo.

Probetas para la prueba de tensión.

a)



b)



c)



a) Probetas antes del ensayo; b) Pruebas; c) Probetas después del ensayo.

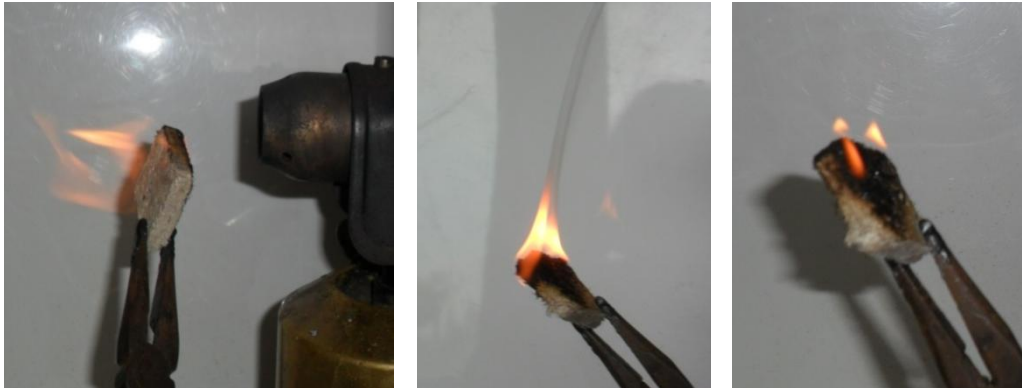
Prueba de ignición pre-preg con Ácido Bórico.



Prueba de ignición pre-preg con silicato de sodio



Prueba de ignición pre-preg fibra de fique virgen



Prueba de absorción de agua e hinchamiento.

a)



b)



a) Probetas antes del ensayo de absorción; b) Probetas durante el ensayo de absorción.

Tabla 13. Porcentaje de absorción e hinchamiento de agua

PRUEBA ABSORCIÓN E HINCHAMIENTO DE AGUA					
Silicato de sodio		VH₂O= 240 ml	P-Seco= 7,868 g	E-Seco = 4 mm	
	Tiempo (Horas)	P-Húmedo (g)	%ABSOR	E-Húmedo (mm)	% Hincha
30-abr	24	8,7	10,6	4,2	5,0
02-may	72	9,4	19,5	4,3	7,5
03-may	96	9,5	20,7	4,5	12,5

PRUEBA ABSORCIÓN E HINCHAMIENTO DE AGUA					
Silicato de sodio VH₂O= 240 ml P-Seco= 7,868 g E-Seco = 4 mm					
	Tiempo (Horas)	P-Húmedo (g)	%ABSOR	E-Húmedo (mm)	% Hincha
06-may	168	10,9	38,5	4,7	17,5
07-may	192	11,3	43,6	4,8	20,0
08-may	216	11,3	43,6	4,8	20,0
09-may	240	11,3	43,6	4,8	20,0

Ácido Bórico VH₂O= 240 ml P-Seco= 9,881 g E-Seco = 4 mm					
	Tiempo (Horas)	P-Húmedo (g)	%ABSOR	E-Húmedo (mm)	% Hincha
30-abr	24	10,3	4,1	4,3	7,5
02-may	72	11,0	11,6	4,6	15,0
03-may	96	11,4	15,4	4,6	15,0
06-may	168	11,9	20,4	4,7	17,5
07-may	192	12,4	25,5	4,7	17,5
08-may	216	12,4	25,5	4,7	17,5
09-may	240	12,4	25,5	4,7	17,5

Fique virgen VH₂O= 240 ml P-Seco= 8,32 g E-Seco = 4,5 mm					
	Tiempo (Horas)	P-Húmedo (g)	%ABSOR	E-Húmedo (mm)	% Hincha
30-abr	24	9,1	9,4	5,0	11,1
02-may	72	9,8	17,8	5,5	22,2

PRUEBA ABSORCIÓN E HINCHAMIENTO DE AGUA					
Silicato de sodio VH ₂ O= 240 ml P-Seco= 7,868 g E-Seco = 4 mm					
	Tiempo (Horas)	P-Húmedo (g)	%ABSOR	E-Húmedo (mm)	% Hincha
03-may	96	11,2	34,6	5,5	22,2
06-may	168	11,4	37,0	5,6	24,4
07-may	192	11,3	35,8	5,1	13,3
08-may	216	11,3	35,8	5,1	13,3
09-may	240	11,3	35,8	5,1	13,3

Resistencia a sustancias químicas.

a)



b)



c)



a)

Probetas sumergidas en gasolina; b) Probetas sumergidas en jabón; c) Probetas sumergidas en solución hipoclorito de sodio.

ANEXO J. HOJAS DE SEGURIDAD



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD ACIDO BORICO

1. Identificación de la sustancia/preparado y de la sociedad o empresa

1.1 Identificación de la sustancia o del preparado

Denominación:
Acido Bórico

1.2 Sinónimo:

Acido Borácico, Acido orto-Bórico

1.3 Uso de la sustancia o preparado:

Usos: para usos de laboratorio, análisis, investigación y química fina.

1.4 Identificación de la sociedad o empresa:

CONTROL TÉCNICO Y REPRESENTACIONES, S.A. DE C.V.
Av. Lincoln No. 3410 Pte. Col. Mítras Norte
www.ctr.com.mx
Tels. (81) 8158 0600, 8158 0628, 8158 0633
e-mail : ctrscientific@infose1.net.mx
Apdo. Postal 044-C Monterrey N.L. C.P. 64320, México

2. Identificación de los peligros

Clasificación de la sustancia o de la mezcla.

Pictogramas de peligrosidad



Palabra de advertencia

Peligro

Frases de peligro

Puede perjudicar a la fertilidad. Puede dañar al feto.

Frases de precaución

Pedir instrucciones especiales antes del uso.

No manipular la sustancia antes de haber leído y comprendido todas las instrucciones de seguridad.

Utilizar el equipo de protección individual obligatorio.

EN CASO DE exposición manifiesta o presunta: Consultar a un médico.

Guardar bajo llave.

3. Composición/Información de los componentes

Denominación: Acido Bórico
Fórmula: H_3BO_3 P.M.= 61,83

4. Primeros auxilios

4.1 Indicaciones generales:

En caso de pérdida del conocimiento nunca dar a beber ni provocar el vómito.

4.2 Inhalación:

Trasladar a la persona al aire libre.

4.3 Contacto con la piel:

Lavar abundantemente con agua.

4.4 Ojos:

En caso de irritación, pedir atención médica.

4.5 Ingestión:

Beber agua abundante., Provocar el vómito., En caso de malestar, pedir atención médica.

5. Medidas de lucha contra incendio

5.1 Medios de extinción adecuados:

Los apropiados al entorno.

5.2 Medios de extinción que NO deben utilizarse:

5.3 Riesgos especiales:

Incombustible. No permitir el paso del agua de extinción a acuíferos superficiales o subterráneos.

5.4 Equipos de protección:

6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones individuales

No inhalar el polvo.

6.2 Precauciones para la protección del medio ambiente:

No permitir el paso al sistema de desagües. Evitar la contaminación del suelo, aguas y desagües.

6.3 Métodos de recogida/limpieza:

Recoger en seco. Limpiar los restos con agua abundante.

7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Manipulación:

Sin indicaciones particulares.

7.2 Almacenamiento:

Recipientes bien cerrados. Ambiente seco. Temperatura ambiente.

8. Controles de exposición/protección personal

8.1 Medidas técnicas de protección:

8.2 Control límite de exposición:

8.3 Protección respiratoria:

En caso de formarse polvo, usar equipo respiratorio adecuado.

8.4 Protección de las manos:

Usar guantes apropiados nitrilo

8.5 Protección de los ojos:

Usar gafas apropiadas.

8.6 Medidas de higiene particulares:

Quitarse las ropas contaminadas. Lavarse las manos antes de las pausas y al finalizar el trabajo.

8.7 Controles de la exposición del medio ambiente:

Cumplir con la legislación local vigente sobre protección del medio ambiente.

9. Propiedades físicas y químicas

Aspecto: Sólido

Color:

Granulometría

Olor: Inodoro.

pH: 4 (30 g/l)

Punto de fusión/punto de congelación 171 °C

Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición:

Punto de inflamación:

Inflamabilidad (sólido, gas):

Límites superior/inferior de inflamabilidad o de explosividad:

Presión de vapor:

Densidad de vapor:

Densidad relativa: (20/4) 1,44

Solubilidad: 50 g/l en agua a 20°C

Coefficiente de reparto n-octanol/agua

Ficha de Datos de Seguridad

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA / PREPARACIÓN Y EMPRESA

Nombre del material	TOLUENO
Proveedor	Dideval Ltda. General Velasquez N°1966- Est. Central
Teléfono	684 33 56 684 33 57
Fax	683 63 31
Teléfono de Emergencia	684 33 56 Teléfono de Emergencia Médica: 635 38 00; Centro de Información Toxicológica de la Universidad Católica (CITUC)

2. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS INGREDIENTES

Nombre químico:	Tolueno
Fórmula química:	C ₆ H ₅ CH ₃
Sinónimos:	Toluol, Metilbenceno, Metilbenzol, Fenil-metano
Familia química:	Hidrocarburos aromáticos.
N° CAS	108-88-3
N° N.U.	1294

3. IDENTIFICACION DE LOS PELIGROS

Marca en etiqueta: "INFLAMABLE"

Clasificación de riesgo del producto químico

SALUD: 2

INFLAMABILIDAD: 3

REACTIVIDAD: 0

a) Peligro para la salud : Tóxico moderado por inhalación. Afecta al sistema nervioso central. Irritante severo de la piel y de los ojos. En envenenamientos crónicos puede producirse anemia y puede verse afectado el hígado.

Efectos por sobreexposición aguda (por una vez):

Una sobreexposición a vapores del producto, o la absorción percutánea de cantidades significantes, así como, la ingestión del producto, tienen un efecto tóxico sobre el Sistema Nervioso Central "Narcosis", caracterizado por dolor de cabeza, vértigo, náuseas, pérdida de la coordinación.

Un abuso intencional, un mal uso, u otra exposición masiva puede causar daño a múltiples órganos y/o causar la muerte.

Inhalación:	Nocivo por inhalación. Los vapores son irritantes a las membranas y mucosas del tracto respiratorio superior (nariz, garganta, etc.) Es narcótico a elevadas concentraciones de los vapores (Narcosis).
Contacto con la piel:	El líquido o el vapor irrita levemente la piel.
Contacto con los ojos:	Irrita moderadamente los ojos. Altas concentraciones de vapor pueden ser irritantes.
Ingestión:	Irrita el tracto Gastrointestinal. Puede causar vómitos. Cuando el líquido es ingerido o vomitado, puede ingresar directamente en los pulmones por aspiración, lo que debe ser evitado, ya que, pequeñas cantidades pueden ocasionar una Neumonía química.
Efectos por sobreexposición crónica (largo plazo):	Una exposición a largo plazo, se ha relacionado con trastornos mentales, además, el contacto prolongado y repetitivo puede causar sequedad en la piel que puede producir dermatitis crónica.
Condiciones médicas agravadas por la exposición al producto:	Si preexisten desordenes o trastornos en los ojos, piel, vías respiratorias y gastrointestinales, éstos pueden verse agravados por la exposición a este producto.
b) Peligro medio ambiente:	No tiene riesgos específicos. Como el tolueno es inmiscible en agua, flota y se evapora fácilmente, pudiendo manchar la carne de los pescados. Puede ser levemente tóxico para organismos acuáticos. Es fácilmente biodegradable.
c) Peligro especial:	Fácilmente inflamable. A temperatura normal de manipulación existe un riesgo extremo de ignición del vapor y pueden formarse mezclas aire-vapor explosivas/inflamables (especialmente en recipientes vacíos que no hayan sido limpiados). Los vapores son más pesados que el aire, por lo que pueden desplazarse al nivel del suelo, pudiendo ocurrir una ignición a distancia. Durante el manejo pueden generarse cargas electrostáticas.

4. PRIMEROS AUXILIOS

En caso de contacto accidental con el producto, proceder de acuerdo a:

Sintomas y efectos:	Dolor de cabeza, vértigo, náuseas, Narcosis. Irritación de la piel, ojos y vías respiratorias, sequedad de la piel. La neumonía química puede detectarse al toser, y tener una respiración forzada y cianosis (piel azulosa). En casos extremos puede llegarse a la inconsciencia e incluso la muerte.
---------------------	--

Inhalación:	Trasladar a la persona afectada al una atmósfera no contaminada para que respire aire puro, y proveer de oxígeno a la víctima si su respiración es dificultosa, está mareada o no responde. Si no se produce una rápida recuperación, obtener atención médica.
Contacto con los ojos:	Lavar de inmediatamente con abundante agua manteniendo los párpados abiertos por lo menos 15 minutos. OBTENER ATENCIÓN MÉDICA INMEDIATAMENTE.
Contacto con la piel:	Lavar con agua y jabón, remover la ropa contaminada. Ocurre una irritación buscar atención médica. Lave la ropa antes de usarla nuevamente.
Ingestión:	NO PROVOCAR EL VÓMITO. NO DAR LÍQUIDOS A LA VÍCTIMA SI ESTA SE ENCUENTRA INCONSCIENTE O MUY ADORMECIDA. Haga que la víctima se enjuague la boca con dos sorbos de agua para eliminar el sabor de la boca, si vomita inmediatamente, mantenga su cabeza bajo las caderas para evitar aspiración. Si no se produce una rápida recuperación, obtener atención médica.
Información para el médico:	Una exposición prolongada o repetida puede originar dermatitis. Causa depresión en el sistema nervioso central "Narcosis". Su aspiración por los pulmones puede causar visión borrosa, temblores, respiración rápida y superficial, delirio e inconsciencia.

5. MEDIDAS PARA LUCHAR CONTRA EL FUEGO

Agentes de extinción	Espuma, polvo químico seco o dióxido de carbono. La niebla de agua puede no ser efectiva.
Procedimientos especiales de combate:	En lo posible, mantenga el viento en la espalda. Refrigere los refrigerante.
Equipos de protección:	Use equipo de protección respiratoria con cilindros y máscara completa. Casco con visor que permita reflejar el calor. Botas de seguridad.

6. MEDIDAS PARA CONTROLAR DERRAMES O FUGAS

Medidas de emergencia:	Contener con material absorbente para que no alcance cursos de agua, alcantarillas o subterráneos. Aísle el sector y aleje las posibles fuentes de ignición. Evacue el área en prevención de cualquier incendio.
Equipos de protección:	Usar detector de vapores para limitar el radio de aproximación y protección, usar protección de vista y manos, no exponerse a contacto con Xileno o vapores (peligro de fuego)