

**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE UN MATERIAL
COMPUESTO TERMOPLÁSTICO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO
TROCEADA**

**DIEGO MAURICIO NIÑO MORALES
DIANA CAROLINA SÁNCHEZ CAMACHO**

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

2012

**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE UN MATERIAL
COMPUESTO TERMOPLÁSTICO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO
TROCEADA**

DIEGO MAURICIO NIÑO MORALES

DIANA CAROLINA SÁNCHEZ CAMACHO

Proyecto de grado para optar al título de
Ingeniero Químico

Director

M. Sc JOSE CARLOS GUTIERREZ GALLEGO

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

2012

DEDICATORIA

A Dios primero que nada por acompañarme y darme la sabiduría de culminar ésta etapa en la vida, a mis padres y hermanos por su amor, confianza y apoyo incondicional, a mis amigos por el tiempo de compañía.

Diana Carolina Sánchez Camacho

A Dios por brindarme la sabiduría de alcanzar este logro, por darme la salud y tener amigos que han estado conmigo en todo momento, a mi familia que con sus esfuerzos y su amor me han ayudado a alcanzar esta meta tan anhelada.

Diego Mauricio Niño Morales

AGRADECIMIENTOS A:

Al profesor José Carlos Gutiérrez por sus ideas, apoyo y enseñanza constante.

A la Universidad Industrial de Santander por su equipo de trabajo especialmente a los profesores que nos acompañaron en el proceso de desarrollo como profesionales.

A los técnicos del laboratorio de operaciones unitarias Eduardo y Wilson, quienes siempre estuvieron dispuestos a colaborarnos con el desarrollo del proyecto en cuanto al manejo de los equipos del laboratorio.

A Nidia María Reyna, por su compañía y por compartir sus conocimientos en pro del desarrollo de la investigación.

Al compañero José Miguel Berrío, quien siempre estuvo dispuesto a orientarnos en cuanto al desarrollo de la tesis.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	23
1.1 DISPOSICIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS.....	23
1.1.1 Fibra de coco.....	23
1.1.2 Poliestireno (PS) post consumo	24
1.2 PREPARACIÓN DEL MATERIAL IGNÍFUGO.....	25
1.3 ELABORACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO	26
1.3.1 Preparación del pre-preg.....	26
1.3.2 Moldeo del composite.....	28
1.4 CARACTERIZACIÓN FISICO-MECÁNICA DEL MATERIAL	28
1.4.1. Ensayo de tensión.....	28
1.4.2. Ensayo de flexión	29
1.4.3. Ensayo de impacto	29
1.4.4 Prueba de absorción de agua	29
1.4.5 Ensayo de dureza	29
1.4.6 Prueba de densidad.....	29
1.4.7 Prueba de llama	29
1.5 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.....	30
2. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	31

2.1 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD EN LA FIBRA DE COCO	31
2.2 IMPREGNACION DE LAS FIBRAS CON MATERIAL IGNÍFUGO (Primera impregnación)	31
2.3 DETERMINACIÓN DE CENIZAS EN LA FIBRA DE COCO DESPUÉS DE LA PRIMERA IMPREGNACIÓN.....	32
2.4 SEGUNDA IMPREGNACIÓN DE LAS FIBRAS DE COCO (ELABORACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO)	33
2.5 DETERMINACION DE LA CONCENTRACIÓN DE LA RESINA.....	34
2.6 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS.....	35
2.6.1 Ensayo de tensión.....	35
2.6.2 Prueba de flexión	37
2.6.3 Prueba de impacto izod.....	39
2.6.4 Prueba de absorción de agua	40
2.6.5 Prueba de dureza.....	41
2.6.6 Prueba de densidad.....	42
2.6.7 Test de llama	43
2.7 ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS.....	44
3. CONCLUSIONES	45
4. RECOMENDACIONES	46
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	47
ANEXOS	55

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición química de la fibra de coco [10].....	20
Tabla 2. Parámetros estructurales de la fibra de coco [10].	21
Tabla 3. Propiedades físicas del PS.	21
Tabla 4. Diseño de experimentos. A.B: Ácido bórico; S.S: Silicato de sodio.	30
Tabla 5. Determinación de humedad en la fibra de coco.....	31
Tabla 6. Peso de las fibras luego de su primera impregnación.....	32
Tabla 7. Datos para la determinación de cenizas en la fibra de coco.....	32
Tabla 8. Datos obtenidos en el método de impregnación por inmersión.....	33
Tabla 9. Datos obtenidos en el método de impregnación por pulverización.....	33
Tabla 10. Determinación de la concentración de la resina.	34

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ciclo de vida de los composites verdes.	22
Figura 2. Esquema para la elaboración del composite.	23
Figura 3. Esquema general del diseño de experimentos para la obtención del material compuesto.	30
Figura 4. Resumen de los promedios obtenidos para las propiedades de tensión respecto la proporción y material ignifugo. (a) esfuerzo a la ruptura. (b) deformación a la ruptura. (c) modulo elástico.	36
Figura 5. Resumen de los promedios obtenidos para las propiedades de tensión respecto al No. de malla y material ignifugo. (a) esfuerzo a la ruptura. (b) deformación a la ruptura. (c) modulo elástico.	36
Figura 6. Datos promedio obtenidos en prueba de flexión. (a). Influencia de la proporción fibra/resina. (b) Influencia del número de malla.	38
Figura 7. Datos promedio obtenidos en prueba de impacto. (a). Influencia de la proporción fibra/resina. (b) Influencia del número de malla.	39
Figura 8. Datos promedio obtenidos en prueba de absorción de agua. (a). Influencia de la proporción fibra/resina. (b) Influencia del número de malla. .	41
Figura 9. Datos promedio obtenidos en prueba de dureza. (a). Influencia de la proporción fibra/resina. (b) Influencia del número de malla.	42
Figura 10. Datos promedio obtenidos en prueba de densidad. (a). Influencia de la proporción fibra/resina. (b) Influencia del número de malla.	43

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1. Fibra de coco virgen y entera.	24
Imagen 2. Preparación del poliestireno post-consumo; (a) PS reciclado; (b) Disposición del PS post-consumo; (c) Solución de PS en xileno.....	25
Imagen 3. Elaboración de material ignífugo y determinación de las soluciones ignífugas. (a) Soluciones ignífugas; (b) Secado de fibras al ambiente; (c) Secado de las fibras en el horno a 80°C; (d) Calcinación de las fibras a 600°C. ..	26
Imagen 4. Métodos aplicados en etapa de impregnación. (a) Impregnación por inmersión; (b) Impregnación por pulverización.	27
Imagen 5. Diferentes métodos para reducir el tamaño de las fibras de coco. (a) Reducción de tamaño por método manual; (b) Reducción de tamaño por molino de cuchilla.	27
Imagen 6. Proceso de moldeo del composite. (a) Preparación del composite; (b) Disposición del molde en la prensa; (c) Material compuesto.	28
Imagen 7. Muestra de poliestireno después de pasar por un proceso de calentamiento.	34
Imagen 8. Probetas para el ensayo de tensión. (a) Probetas antes del ensayo de tensión; (b) Probeta después del ensayo de tensión.	35
Imagen 9. Probetas para el ensayo de flexión. (a) Probetas antes del ensayo; (b) Probetas después del ensayo.....	38
Imagen 10. Probetas para el ensayo de impacto; (a) Probetas antes del ensayo; (b) Probeta después del ensayo.	39
Imagen 11. Ensayo de Absorción de agua. (a) Probeta sumergida en agua destilada; (b) Probeta después del ensayo.	40
Imagen 12. Ensayo de dureza. (a) Prueba de dureza a las láminas; (b) Medición de espesor del espécimen.	42
Imagen 13. Prueba de densidad.	43

Imagen 14. Prueba de llama. (a) Prueba de llama: Silicato de Sodio; (b) Prueba de llama: Ácido Bórico; (c) Probeta al finalizar prueba de llama.44

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Resultados prueba de tensión.	55
Anexo B. Resultados prueba de impacto.	57
Anexo C. Resultados obtenidos en prueba de absorción de agua.....	58
Anexo D. Resultados prueba de dureza	59
Anexo E. Resultados prueba de densidad	61

RESÚMEN

TÍTULO: ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE UN MATERIAL COMPUESTO TERMOPLÁSTICO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO TROCEADA. *

AUTORES: Diana Carolina Sánchez Camacho, Diego Mauricio Niño Morales**

PALABRAS CLAVE: Fibra de coco, materiales compuestos, fibras naturales, polímeros reforzados, fibras sintéticas.

DESCRIPCIÓN:

Los polímeros son materiales que han sido utilizados con diversos fines a través del tiempo, pero su uso desmedido generó graves problemas ambientales que se buscan apaciguar mediante el refuerzo de éstos con fibras naturales para obtener así materiales compuestos que remplacen algunos ya existentes como los plásticos reforzados con fibras sintéticas o artificiales.

Se realizó un estudio previo sobre el uso de las fibras naturales obteniéndose así la información necesaria para implementar el uso de éstas en los materiales descritos anteriormente; se pensó en polímeros que hayan terminado su vida útil para darles un nuevo enfoque y aplicación. Mediante técnicas conocidas, el poliestireno se disolvió en xileno para luego impregnar la fibra de coco que previamente se mezcló con agentes ignífugos, luego se paso por un molino para obtener la fibra de coco troceada y finalmente se preno el material para la obtención del composite. Así, se cumplieron las expectativas trazadas inicialmente, dado que al realizar las pruebas requeridas se obtuvo resultados eficientes en aspectos como dureza, tensión, impacto, esfuerzo-deformación, absorción de humedad y densidad del material. Estos composites se consideran de bajo costo y queda demostrado que en cuanto a características son muy competitivos con los ya existentes. Se debe aprovechar la objetividad de estas fibras (considerada en la mayoría de los casos como desechos naturales)) para implementar el desarrollo sostenible y la conciencia ambiental que se ha venido generando en los últimos años.

*Trabajo de investigación

**Facultad de ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química
Director: José Carlos Gutiérrez Gallego

ABSTRACT

TITLE: PHISICO-MECHANICAL OBTAINING AND CHARACTERIZATION OF A COMPOUND THERMOPLASTIC MATERIAL REINFORCED WITH CHOPPED COCONUT FIBER.

AUTHORS: Diana Carolina Sánchez Camacho, Diego Mauricio Niño Morales**

KEYWORDS: Coir, composites, natural fiber, reinforced polymers, synthetic fibers.

DESCRIPTION:

The polymers are materials that have been used for various purposes through time, but their excessive use has generated severe environmental problems, in this moment, people is trying to decrease them by enhancing them with natural fibers and gain composite materials to replace some others like reinforced plastic with synthetic fibers or artificial fibers.

A research has been achieving about the use of natural fibers, obtaining the required information to implement the use of these in materials previously described; it was thought with polymers than have been finished their lifetime and giving them another use or approach. Using known techniques, the polystyrene was dissolved in xylene and then impregnating the coconut fiber that was previously mixed with fireproof agents, then, it was passed through a mill to obtain the chopped coconut fiber and finally the material was pressed and the composite was obtained. This way, the expectations were met, because, when, the required tests were performed, the results were efficient in the next items: hardness, tension, impact, stress-strain, moisture absorption and density of the material. These composites are cheap and it is demonstrated that in characteristics are very competitive whit the existing ones. These fibers must been exploited (considered natural wastes) to improve sustainable development and environmental awareness generated in the last years.

* Research work

**Physical Chemistry Engineering Faculty, Chemical Engineering School.
Director: José Carlos Gutiérrez Gallego

INTRODUCCIÓN

Debido a la situación actual de nuestro planeta es importante encontrar nuevos enfoques para la ejecución de procesos industriales que en su razón de ser, ha generado el mayor nivel de contaminación a través de la historia por la mala distribución y poca utilización de los residuos industriales, por el motivo que no se tenía una visión sostenible ni cuidado sobre el ambiente. La mayoría de éstos desechos se disponen al curso natural del medio ambiente, lo que ha generado innumerables consecuencias y problemas. Bajo ésta concepción, se ha propuesto nuevas rutas de obtención de materiales de uso común mediante mecanismos que no generen ningún tipo de contaminación en su procesamiento, utilización o descomposición [1]. Se plantea la idea de reciclar compuestos, no solo los provenientes del área industrial sino también los generados en otras áreas; para la ejecución de éste proyecto se tomó el poliestireno cristal (PS) post-consumo como polímero (matriz) y como material de refuerzo, las fibras de coco, que es un material de fácil consecución y enteramente biodegradable para formar el composite. Este polímero utilizado desde los años 30, se ha empleado en varios campos, y que al final se deja a la intemperie, interviniendo significativamente al calentamiento global; además se les está brindando a las fibras naturales un nivel superior de importancia debido a que su utilización aporta ventajas sostenibles, y a su vez se estaría incentivando el sector agropecuario [2].

En algunos proyectos de investigación como el de Gallegos Idrobo [3], se plantean algunas de las ventajas concernientes a la utilización de fibras vegetales en lugar de fibras sintéticas en materiales compuestos, haciendo especial énfasis en el ciclo de vida de dichos composites, dado que no generan ningún tipo de contaminación por su condición amigable con el medio ambiente. Según el estado del arte [4], la problemática ambiental generada por la utilización de fibras sintéticas o artificiales se empezó a abordar desde mediados de los años 70; a partir de ese momento se inicia la investigación para lograr encontrar sustitutos a dichas fibras, empleando diversidad de fibras vegetales, entre ellas la fibra de

coco. Igualmente se puede abordar la situación desde otro punto de vista como se explica en la revista Iberoamericana de polímeros (Volumen 6)[5], pues se da a entender algunas de las desventajas asociadas a la utilización de fibras sintéticas, como por ejemplo la abrasión en equipos, altos costos energéticos y su difícil reciclaje; afrontando estos aspectos, se deduce que la utilización de fibras naturales como material de refuerzo sería la alternativa viable debido a su alta disponibilidad, diversidad y renovabilidad, bajo consumo energético en su fabricación, costos competitivos y baja densidad. “Los compuestos reforzados con fibras naturales se caracterizan por una posible ventaja en la fase final de la vida en comparación con los compuestos reforzados con fibra de vidrio u otras fibras sintéticas”, según lo indica la consulta sobre fibras naturales [6-7].

Bajo éste concepto, el objetivo principal de ésta investigación es obtener un material de matriz polimérica reciclada (PS), reforzado con fibra de coco troceada, para lograr reemplazar materiales por las razones expuestas anteriormente. Para comprender mejor el desarrollo del proyecto, se citan algunos conceptos clave.

Fibra de coco: filamento que se puede obtener de la cáscara del coco con una longitud aproximada entre 15 y 35 cm y un diámetro aproximado de 12 a 25 micras. Pertenece al conjunto de materiales que posee un alto valor en la relación longitud/diámetro (l/d). Trabajos de investigación reportan que la fibra de coco se puede descomponer de 20 a 30 años en la naturaleza [8].

Poliestireno (PS): polímero termoplástico (deformable a altas temperaturas y rígido a temperaturas suficientemente bajas) que se obtiene de la polimerización del estireno.

Poliestireno Postconsumo: polímero cuya vida útil ha culminado y que es posible reciclar, convirtiéndolo en materia prima para nuevos procesos industriales.

Composites: se entiende por la combinación de 2 o más materiales diferentes, donde uno actúa como matriz y otro como refuerzo. Son de diferentes formas

geométricas y manejan cierta proporción entre ellos para obtener características y propiedades específicas.

Plásticos reforzados: material compuesto cuya matriz es un polímero y se refuerza con un componente que suele ser una fibra fuerte como fibra de vidrio, cuarzo, kevlar, fibra de carbono, incluso fibras naturales.

Pre-impregnados (pre-pregs): son materiales fibrosos impregnados con un tipo de resina reactiva (generalmente polímeros)[9]. Son un punto de partida para elaboración de piezas ligeras pero resistentes, gracias a las distintas formas que existen para manipularlas.

Composición de la fibra de coco

Las fibras vegetales poseen diferentes componentes que la hacen característica respecto a otras; la composición química ayuda a determinar las propiedades y usos de las fibras, por ejemplo un contenido más alto de celulosa en la fibra, conduce a una rigidez más alta y, por lo tanto, será la más conveniente para refuerzo en resinas. En la tabla 1, se presenta la composición química de la fibra de coco.

Tabla 1. Composición química de la fibra de coco [10]

Componente	% peso /peso
Celulosa	36 - 43
Hemicelulosa	41 - 45
Lignina	0.15 – 0.25
Pectina	3 - 4
Ceras	-

Parámetros estructurales de la fibra de coco

Esta fibra natural cuenta con características físicas importantes propias de su estructura, las cuales dan un indicio de las propiedades que tendrá un material que

emplee como refuerzo fibras de coco; en la tabla 2, se ilustra algunas de éstas características y sus valores correspondientes.

Tabla 2. Parámetros estructurales de la fibra de coco [10].

Características físicas	Valor
Contenido de humedad (%)	8
Solubilidad en agua	Bajo
Resistencia a la tensión (MPa)	131 - 175
Elongación a la ruptura (%)	15 - 40
Módulo de Young (MPa)	4 - 6

Propiedades físicas del poliestireno

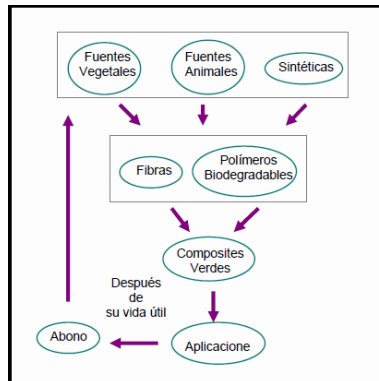
Las propiedades físicas que distinguen al PS de otros polímeros oscilan entre unos valores mínimos y máximos que se indican en la tabla 3 [4].

Tabla 3. Propiedades físicas del PS.

Propiedad	Mínimo	Máximo
Densidad relativa [g/cm ³]	1.04	1.05
Carga a la tracción [MPa]	17	56
Alargamiento a la ruptura (%)	1	65
Módulo resistente a la tracción [MPa]	1.655	3.275
Resistencia al impacto [J/m]	10.7	214
Absorción de agua (%)	0.1	
Temperatura de transición vítrea [°C]	100	

Ciclo de composites verdes: En los últimos años ha surgido el especial interés por desarrollar nuevas tendencias en la fabricación de materiales, como son los denominados “composites verdes” [11]. En la figura 1, se muestra el ciclo correspondiente.

Figura 1. Ciclo de vida de los composites verdes.

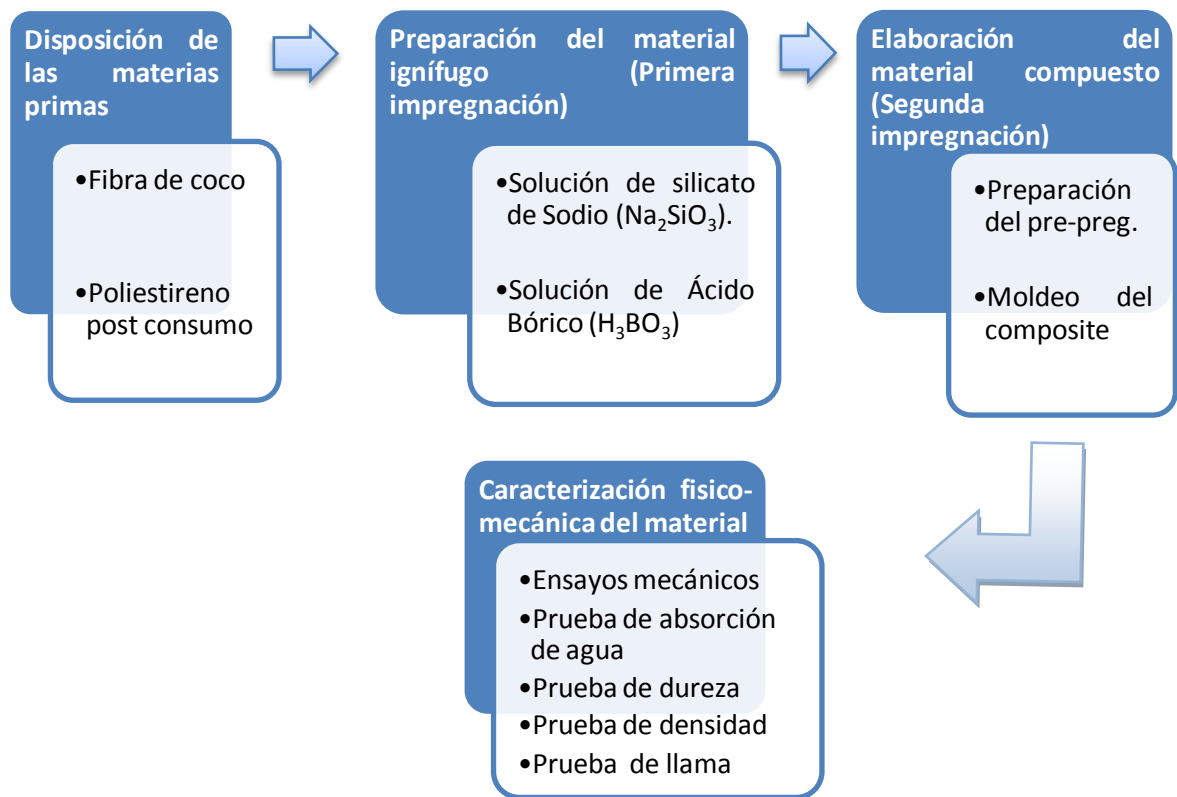


Fuente: CASTRO HERAZO Cristina Isabel y PALENCIA PENAGOS Ana Lucia. Evaluación de la influencia de diferentes condiciones de tratamientos superficiales sobre el comportamiento de fibras de fique. Medellín 2006. Tesis (Ingeniera Química). Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Química. p. 64.

1. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En el siguiente capítulo se muestra detalladamente el procedimiento que se siguió para la elaboración del composite, explicando las condiciones a las que se llevó cada etapa y las normas correspondientes para realizar las distintas pruebas tanto físicas como mecánicas. El siguiente esquema (figura 2.) expone la secuencia del proceso que se siguió.

Figura 2. Esquema para la elaboración del composite.



Fuente: Autores.

1.1 DISPOSICIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

1.1.1 Fibra de coco

El coco es un recurso renovable en todos los países, pero su fibra está siendo mal aprovechada y se pierde todo su valor al desecharla. Esta fibra puede ser utilizada para la fabricación de algunas partes de los automóviles, como por

ejemplo al revestimiento de los maleteros, los suelos, y las cubiertas interiores de las puertas. La fibra de coco presenta mejores propiedades mecánicas que las fibras del poliéster, y su uso podría beneficiar a millones de personas dedicadas al cultivo de este fruto [12].

Uno de los objetivos de ésta tesis es trabajar con la fibra de coco troceada, debido a que algunos estudios han demostrado que ésta tiene un gran potencial en aplicaciones con materiales compuestos [13]. Inicialmente se obtuvo la fibra entera y luego se pesaron cantidades específicas para así formar dos grupos de fibra de 500 g cada uno. Adicionalmente se realizó una etapa de secado en la estufa (LAB-Lines Instruments, serie 0975) a la fibra, determinando así el porcentaje de humedad con el cual se trabajó la fibra de coco.

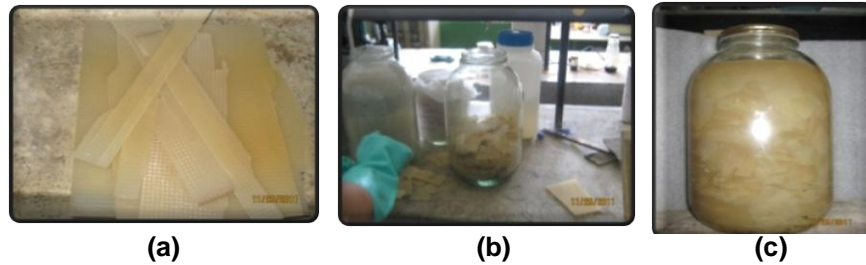
Imagen 1. Fibra de coco virgen y entera.



1.1.2 Poliestireno (PS) post consumo

La reutilización directa de los plásticos contenidos en los residuos sólidos urbanos está limitada actualmente al 1-2%, debido a los requerimientos de calidad cada vez mayor en los productos, pero ésta idea cobra especial interés desde la perspectiva ecológica [14]. La resina que se utilizó como matriz para la elaboración del material compuesto, fue el poliestireno que se obtuvo como materia prima después de la remodelación de la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander. Se hizo una reducción de su tamaño, para sumergirlo así en una solución de Xileno y hacer que éste se disuelva obteniendo una solución final.

Imagen 2. Preparación del poliestireno post-consumo; (a) PS reciclado; (b) Disposición del PS post-consumo; (c) Solución de PS en xileno.



1.2 PREPARACIÓN DEL MATERIAL IGNÍFUGO

Se prepararon soluciones ignífugas con Silicato de Sodio (0,38 g/ml) y Ácido Bórico (0,06 g/ml), para realizar una impregnación a las fibras de coco (primera impregnación); luego de ésta etapa, se realizó dos secados: uno a temperatura ambiente y otro en un horno a temperatura de 80°C por un periodo de 8 horas. Una vez obtenido éste material ignífugo, se ejecutaron algunas pruebas para determinar el porcentaje o grado de impregnación de las fibras de coco, teniendo como referencia la cantidad de sólidos retenidos. Éste procedimiento se llevó a cabo en una estufa (Modelo 0.8, serie 4081) a 600°C. Cabe señalar que los recipientes que contenían las fibras al momento de calcinarlas era necesario tararlos con el fin de eliminar posibles contenidos de humedad en éstos.

La ecuación para calcular el % de cenizas se presenta a continuación:

$$\% \text{ Cenizas}(D) = \frac{C - A}{B - A} * 100\%$$

A: peso crisol (g)

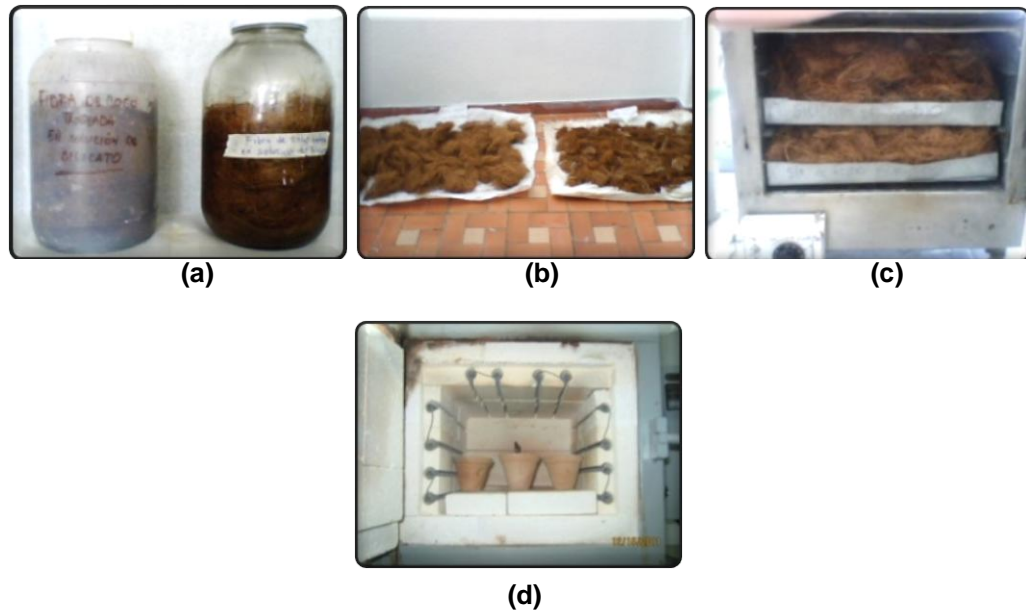
B: peso crisol más muestra inicial (g)

C: peso crisol más cenizas (g)

D: porcentaje de cenizas (%)

En la imagen 3, se detalla el procedimiento que se siguió.

Imagen 3. Elaboración de material ignífero y determinación de las soluciones ignífugas. (a) Soluciones ignífugas; (b) Secado de fibras al ambiente; (c) Secado de las fibras en el horno a 80°C; (d) Calcinación de las fibras a 600°C.



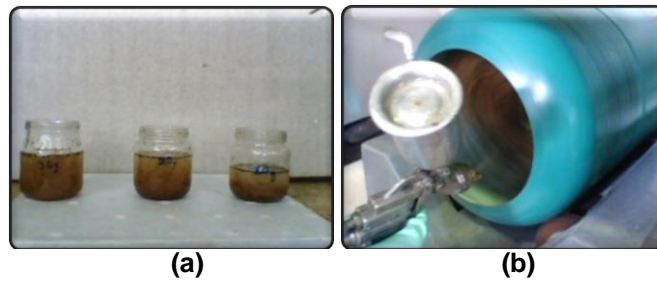
1.3 ELABORACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

1.3.1 Preparación del pre-preg

Para la preparación del material pre-impregnado (pre-preg), se dispuso el poliestireno ya disuelto en las fibras de coco, lo cual se hizo a través de dos métodos: inmersión e impregnación por aspersion. En esta etapa se quería evaluar el grado de impregnación de las fibras de coco, con el fin de lograr una proporción (matriz/refuerzo) adecuada.

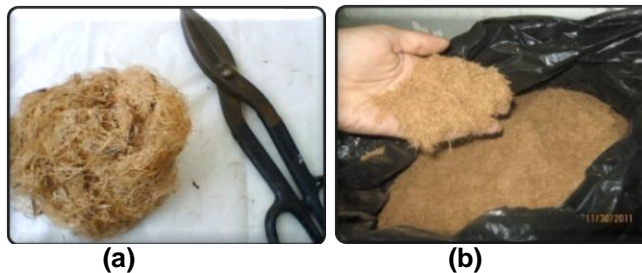
- Impregnación por inmersión: se depositaron las fibras en un recipiente que contenía la solución de poliestireno en un determinado tiempo; en éste método se ensayaron diferentes tiempos.
- Impregnación por aspersion: las fibras se colocaron en un tambor rotatorio, con rpm igual a 1680 y potencia de 0.3 kW. Las fibras son humedecidas con un atomizador de pistola [15].

Imagen 4. Métodos aplicados en etapa de impregnación. (a) Impregnación por inmersión; (b) Impregnación por pulverización.



Posteriormente a la impregnación, se realizó una reducción de tamaño de las fibras de forma manual, utilizando unas tijeras; luego se hizo una segunda reducción de tamaño por medio de un molino de cuchillas (Standard Model N° 0.3). Se realizó un proceso de selección de tamaño de la fibra a través de un equipo de tamizado (Portable Sieve Shaker Model RX-24).

Imagen 5. Diferentes métodos para reducir el tamaño de las fibras de coco. (a) Reducción de tamaño por método manual; (b) Reducción de tamaño por molino de cuchilla.



Adicionalmente, se calculó la concentración de resina (poliestireno y xileno), para esto, se dispuso una muestra pequeña de resina con un volumen igual a 5ml la cual se utilizó para la impregnación, y se llevó a una etapa de calentamiento en una estufa (LAB-Lines Instruments, serie 0975) a 140°C por un periodo de 30 minutos. Para calcular la concentración de la muestra se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Concentración} = \frac{\text{Masa final}}{\text{Volumen inicial}}$$

Masa Final: Masa del recipiente más masa de muestra final (g).

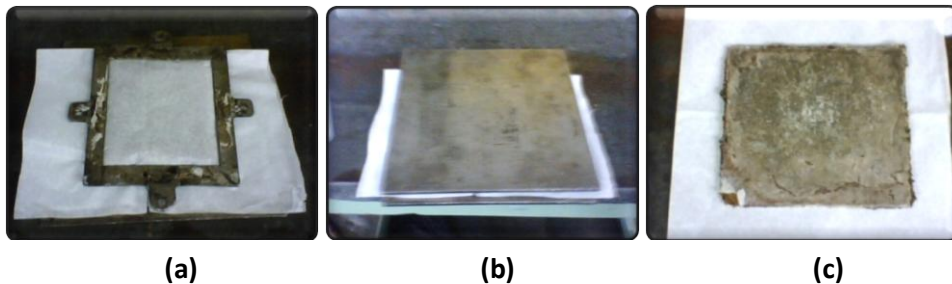
Volumen inicial: volumen de la muestra inicial (ml).

Concentración: concentración de la resina (g/ml).

1.3.2 Moldeo del composite

Una vez obtenido el material pre-impregnado, se procede a fijar láminas por medio de una prensa (Berstor AF. 59-50131); en ésta etapa las variables más importantes son la presión y temperatura, cuyos valores son 7,85 MPa y 160°C, respectivamente [9].

Imagen 6. Proceso de moldeo del composite. (a) Preparación del composite; (b) Disposición del molde en la prensa; (c) Material compuesto.



1.4 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DEL MATERIAL

En ésta etapa se determinó las propiedades físicas y mecánicas de las piezas elaboradas [16]; para establecer las propiedades mecánicas se realizaron ensayos de tensión, flexión e impacto.

1.4.1. Ensayo de tensión

Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza aplicada que es incrementada gradualmente [17]. Con el fin de determinar las diferentes propiedades que se obtienen de un ensayo de tensión, se utilizó la norma ASTM

D638-10(Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics).El ensayo de tensión se llevó a cabo en un equipo (Scott Testers. Model: L6, N° C50649).

1.4.2. Ensayo de flexión

Es una prueba que se utiliza para medir la ductilidad de ciertos materiales [18].Para realizar este ensayo se utilizó la norma ASTM D790-10(Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials).

1.4.3. Ensayo de impacto

Son pruebas diseñadas para determinar la energía de impacto o tenacidad [19]. Esta prueba se realizó siguiendo la norma ASTM D6110 -10 (Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics).La prueba se efectuó en una equipo (Scott Testers, N° PP20200).

1.4.4 Prueba de absorción de agua

En esta prueba se determinó la tasa relativa de absorción de agua en plásticos cuando estos son sumergidos [20]. Para realizar esta prueba se utilizó la norma ASTM D570 - 98(2010)e1(Standard Test Method for Water Absorption of Plastics).

1.4.5 Ensayo de dureza

Esta prueba se utilizó para medir la dureza del material, es decir su capacidad a ser penetrado o rayado [21]. Para su realización se utilizó un durómetro, siguiendo la norma ASTM D2240-10(Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness).

1.4.6 Prueba de densidad

Para esta prueba se tomaron muestras del material y se sumergieron en agua destilada en una probeta. Este experimento se hizo siguiendo el principio de Arquímedes [22].

1.4.7 Prueba de llama

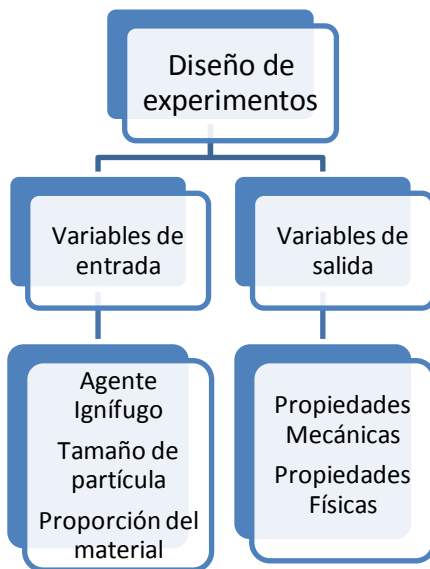
Se dispone una muestra del material a la presencia de una llama [23].

1.5 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

El diseño experimental se desarrolla teniendo en cuenta cuáles son las variables de entrada y las variables de salida del proceso, como se muestra en la figura 3.

Hipótesis: Se Comprobará que el material resultante presenta mejores propiedades mecánicas y físicas que el poliestireno sin reforzar.

Figura 3. Esquema general del diseño de experimentos para la obtención del material compuesto.



Fuente: Autores.

Tabla 4. Diseño de experimentos. A.B: Ácido bórico; S.S: Silicato de sodio.

VARIABLES DE DISEÑO			
Exp.	Solución Ignífuga	Tamaño de partícula	Proporción de la fibra
1	A.B	16	40
2	A.B	16	60
3	A.B	20	40
4	A.B	20	60
5	S.S	16	40
6	S.S	16	60
7	S.S	20	40
8	S.S	20	60

Cada una de éstas variables se evaluarán a dos niveles; en la tabla 4 se muestra el diseño de experimentos. De cada uno de los experimentos (8), se requieren 10 probetas para la realización de las pruebas físicas y mecánicas, por lo tanto en total son 80 experimentos.

2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

2.1 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD EN LA FIBRA DE COCO

La fibra virgen, se sometió a una prueba de humedad. Los datos se registran en la tabla 5.

Tabla 5. Determinación de humedad en la fibra de coco.

Tiempo [h]	Peso [g]	% Humedad
0	1.79	-
1	1.5	16.20
2	1.48	17.32
3	1.48	17.32

%Humedad final: 17,32%

Trabajando con éste porcentaje de humedad, se concluye que las fibras están aptas para someterlas a los respectivos procesos de impregnación, debido a que según el estado del arte [3], cuando la fibra no supera el 26,37% de humedad, está apta para mezclarse con la matriz.

2.2 IMPREGNACION DE LAS FIBRAS CON MATERIAL IGNÍFUGO (Primera impregnación)

Las fibras enteras ya pesadas se sumergieron en soluciones ignífugas: Silicato de Sodio (0,38 g/ml) y Ácido Bórico (0,06 g/ml), (éstas concentraciones se determinaron experimentalmente). En la tabla 6, se describen los resultados correspondientes.

Tabla 6. Peso de las fibras luego de su primera impregnación.

Solución	Peso de las fibras antes de impregnación (g)	Peso después de primera impregnación (g)		
		Mojadas (g)	Secado 1 (g)	Secado 2 (g)
Silicato de Sodio	500	2375	2200	785
Ácido Bórico	500	4000	725	510

Con éstos datos primero que todo se corrobora de forma directa que las fibras de coco si tienen un nivel alto de absorción. Segundo, como se aprecia en la tabla, después de pasar la fibra por los dos tipos de secado hay una gran pérdida de masa; esta masa corresponde a la cantidad de agua evaporada, debido a que el ácido bórico y el silicato de sodio no tienen índices de volatilidades registrados [24 - 25].

2.3 DETERMINACIÓN DE CENIZAS EN LA FIBRA DE COCO DESPUÉS DE LA PRIMERA IMPREGNACIÓN

Para la determinación de las cenizas fue necesario contar con crisoles de barro de alta resistencia, dado que se iban a manejar temperaturas suficientemente altas. Se siguió el procedimiento descrito en la sección 1.2. Obteniéndose así los resultados que se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Datos para la determinación de cenizas en la fibra de coco.

Muestra (Fibras)	Peso crisol sin muestra (g)	Peso crisol con muestra inicial (g)	Peso crisol con muestra final (g)	Peso (Cenizas) (g)	Porcentaje de cenizas
Virgen	60.70	62.70	60.73	0.03	1.5%
A.B	55.51	57.51	55.64	0.13	6.5%
S.S	58.27	60.27	58.68	0.41	20.5%

Con éste porcentaje de cenizas se puede analizar la cantidad de carga inorgánica presente en las fibras de coco; como se observa en los resultados, el porcentaje de cenizas en la fibra impregnada con ácido bórico es menor en comparación con la fibra impregnada con silicato de sodio. Con base en esto, se concluye que posiblemente la fibra con silicato de sodio puede presentar un mejor comportamiento respecto a la inhibición de la combustión.

2.4 SEGUNDA IMPREGNACIÓN DE LAS FIBRAS DE COCO (ELABORACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO)

Como se describió en la sección 1.3.1, para ésta fase de impregnación se realizaron pruebas para conseguir una proporción específica del material (matriz/refuerzo). En las tablas 8 y 9, se presentan los resultados obtenidos sobre los métodos de impregnación.

Tabla 8. Datos obtenidos en el método de impregnación por inmersión.

Muestra fibra (g)	Tiempo de contacto con resina (h)	Peso (fibra/resina) (g)
2	12	2.35
	24	2.32
	48	2.34

Tabla 9. Datos obtenidos en el método de impregnación por aspersion.

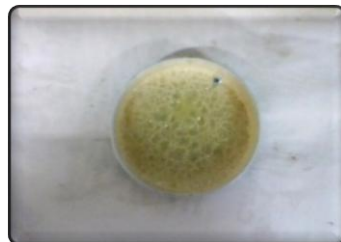
Muestra fibra (g)	Tiempo de atomización (min)	Peso fibra-resina (g)
12	10	18.5
	20	25.8
	30	34.7

Haciendo una comparación entre los dos métodos, se puede apreciar que con el primer método de impregnación la cantidad de resina no aumenta de forma substancial, lo que permite deducir que no se logra obtener proporciones específicas de fibra/resina. Así, el método seleccionado fue el de impregnación por aspersión, dado que manifestó mejores rendimientos y eficiencia del proceso por los requerimientos mencionados anteriormente.

2.5 DETERMINACION DE LA CONCENTRACIÓN DE LA RESINA

Como se explica en la sección 1.3.1, la solución de resina se sometió a un proceso de calentamiento a 140°C durante un tiempo de 30 minutos con el fin de evaporar el xileno. La muestra resultante después del calentamiento se puede observar en la imagen 7.

Imagen 7. Muestra de poliestireno después de pasar por un proceso de calentamiento.



La concentración de resina se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Determinación de la concentración de la resina.

Masa final (g)	7.115
Volumen inicial (ml)	10
Concentración de la resina (g/ml)	0.7115

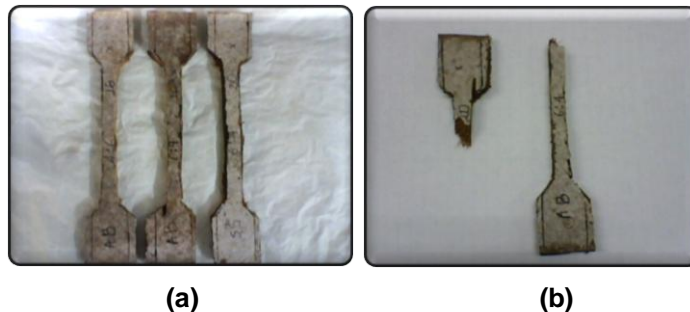
La concentración que se utilizó de resina es de 0.7115 g/ml. Fue necesario trabajar a esta concentración ya que a concentraciones mayores, mas cantidad de PS se iba a encontrar y como el método de impregnación se basó en atomización (aspersión) esto dificultaba el paso del fluido por la boquilla del atomizador.

2.6 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS

2.6.1 Ensayo de tensión

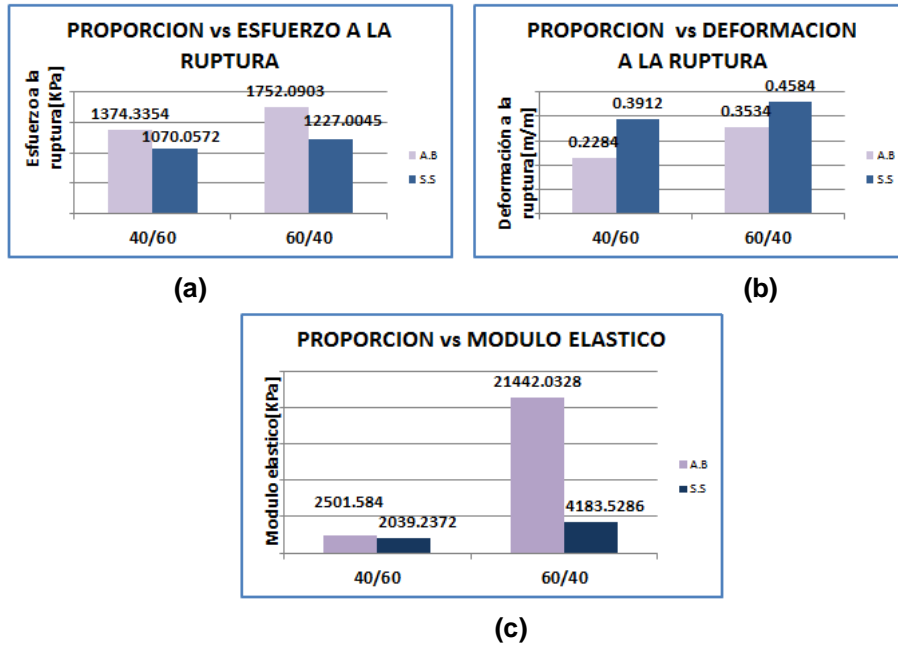
Como se detalla en la sección 1.4.1, se realizó un ensayo de tensión al material elaborado; para esto se diseñaron probetas a partir del material compuesto con dimensiones específicas según la norma ASTM D638-10 tal y como se muestra en la imagen 8. Estas muestras se sometieron a un ensayo de tensión. En el anexo A se listan los resultados obtenidos para esta prueba.

Imagen 8. Probetas para el ensayo de tensión. (a) Probetas antes del ensayo de tensión; (b) Probeta después del ensayo de tensión.



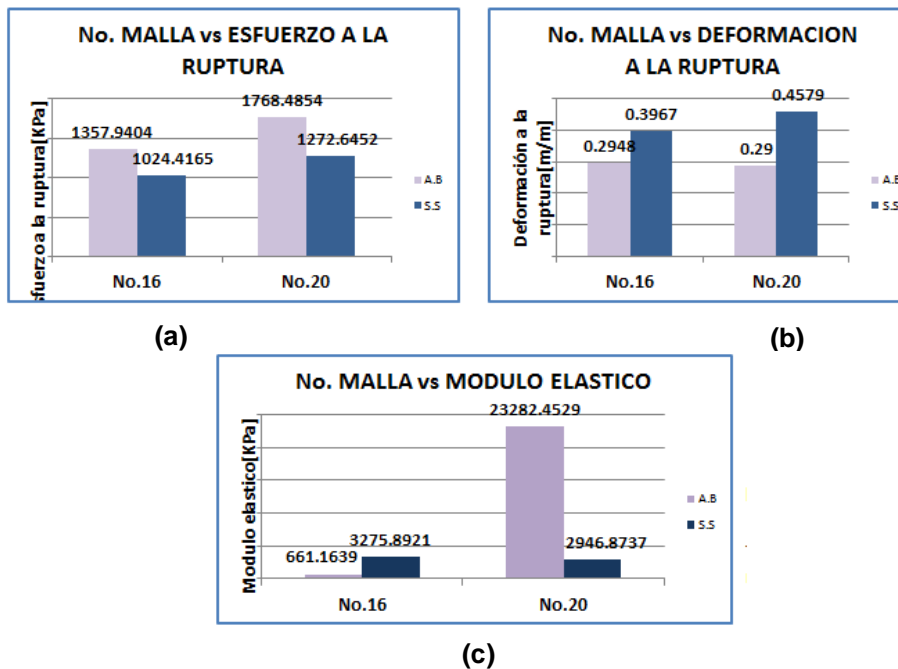
De estas probetas y de las propiedades que se obtienen a partir del ensayo de tensión como el esfuerzo a la ruptura, deformación a la ruptura y modulo elástico se realizan comparaciones teniendo en cuenta: material ignífugo, proporción fibra/resina y el No. de malla. De acuerdo a esto, se obtienen promedios que se ilustran en la figura 4 y 5.

Figura 4. Resumen de los promedios obtenidos para las propiedades de tensión respecto a la proporción y material ignifugo. (a) esfuerzo a la ruptura. (b) deformación a la ruptura. (c) modulo elástico.



Fuente: Autores.

Figura 5. Resumen de los promedios obtenidos para las propiedades de tensión respecto a No. de malla y material ignifugo. (a) esfuerzo a la ruptura. (b) deformación a la ruptura. (c) modulo elástico.



Fuente: Autores.

Como se puede apreciar en la figura 4.a, a medida que aumenta la fibra en el material compuesto aumenta el esfuerzo a la ruptura, esto se debe a que una mayor cantidad de fibra garantizará mayor absorción de energía antes de que el material se fracture; trabajos sobre materiales compuestos formados por matriz polimérica y refuerzo de fibra de coco han demostrado que se obtiene un mayor esfuerzo a la ruptura cuando aumenta la cantidad de fibra [3].

Para explicar la influencia del tamaño de la fibra en el esfuerzo a la ruptura, se tiene que, al aumentar el número de malla la fibra se va volviendo más pequeña haciendo al material más compacto, disminuyendo así la probabilidad de encontrar defectos en el material ya que son los principales responsables de que aparezcan grietas y la fractura, por tal motivo, aumenta el esfuerzo a la ruptura.

Cuando la cantidad de fibra aumenta y el número de malla también lo hace, el número de puntos de anclaje entre fibra y resina va a aumentar, y como la fibra de coco tiene características de flexibilidad, permite al material soportar deformaciones relativamente más altas comparadas con una cantidad de fibra menor en su composición.

Para el módulo de elasticidad, se tiene que al aumentar la proporción fibra/resina y el número de malla la rigidez del material aumenta, debido a la reducción de espacios vacíos y a las características de rigidez de la fibra.

El material ignifugo no influye de forma significativa en los resultados obtenidos para ensayo de tracción.

2.6.2 Prueba de flexión

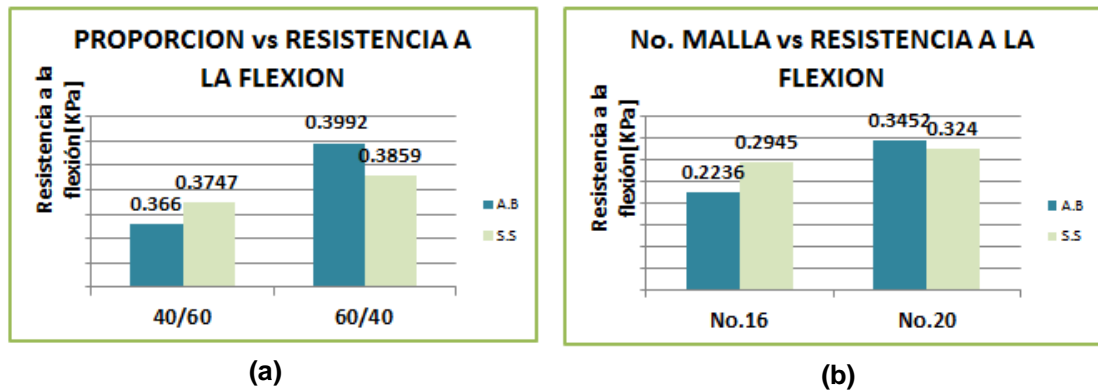
En la imagen 9, se pueden ver las probetas que se utilizaron para el ensayo de flexión.

Imagen 9. Probetas para el ensayo de flexión. (a) Probetas antes del ensayo; (b) Probetas después del ensayo.



Es importante saber que el área en la cual se efectuará la fuerza correspondiente es de 16.9 cm^2 (0.169 m^2).

Figura 6. Datos promedio obtenidos en prueba de flexión. (a). Influencia de la proporción fibra/resina. (b) Influencia del número de malla.



Fuente: Autores.

En la figura 6, se puede ver claramente que el material con mayor cantidad de fibra y mayor número de malla, presenta mayor resistencia a la flexión. Durante el experimento, se observó la dificultad para causar el quebrantamiento de éste material y según el estado del arte, las propiedades de resistencia a la flexión se mejoran con la introducción de fibras a la matriz debido a que se obtiene un material capaz de deformarse más, antes de romperse, ya que el grado de deformación aumenta [14].

2.6.3 Prueba de impacto izod

En la imagen 10, se puede ver las probetas correspondientes al ensayo de impacto. En el anexo B, se detallan los datos tomados al momento de la prueba.

Imagen 10. Probetas para el ensayo de impacto; (a) Probetas antes del ensayo; (b) Probeta después del ensayo.

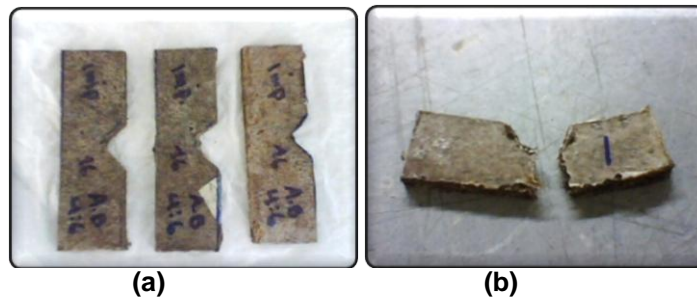
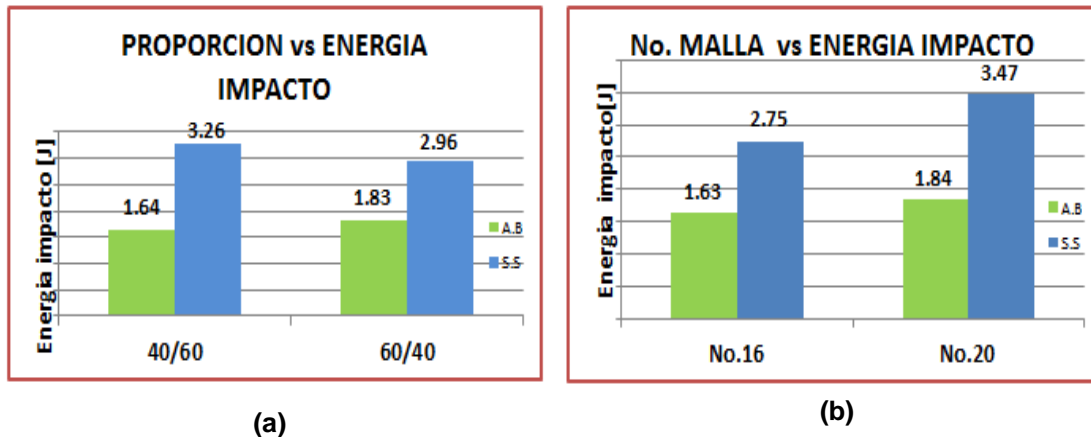


Figura 7. Datos promedio obtenidos en prueba de impacto. (a). Influencia de la proporción fibra/resina. (b) Influencia del número de malla.



Fuente: Autores.

Se observa en la figura 7, que los valores promedio de energía obtenidos para la malla 20 (en los dos ignífugos), son mayores que los obtenidos para la malla 16. Cuando las fibras de coco poseen suficiente longitud, más grande debe ser la energía con la cual se produce el quebrantamiento del material; como se trabajó con fibra troceada, se disminuye la capacidad de absorber energía en el material.

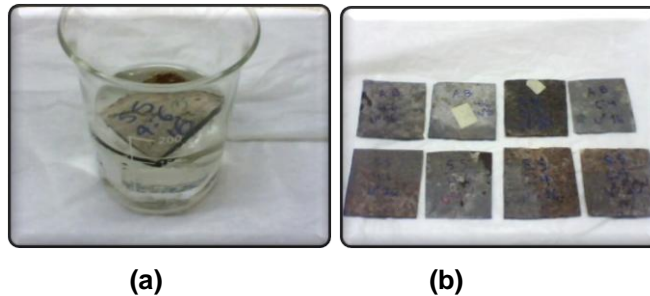
En cuanto a la proporción fibra/resina, se analiza que las probetas que contenían menor fibra y mayor cantidad de polímero (40/60), para el caso del Silicato de Sodio, absorbieron una cantidad mayor de energía; por el contrario, para el Ácido

Bórico, presentaron mayor absorción de energía las probetas (60/40). Según estudios, el poliestireno presenta una energía de impacto de 1,4 J/m [27], valor que permite definir que el material obtenido efectivamente si presenta mayor resistencia al impacto, por lo tanto sí se mejora la tenacidad del material. En cuanto al número de malla se observa que la fibra con No. De malla 20, presenta mayor energía de impacto.

2.6.4 Prueba de absorción de agua

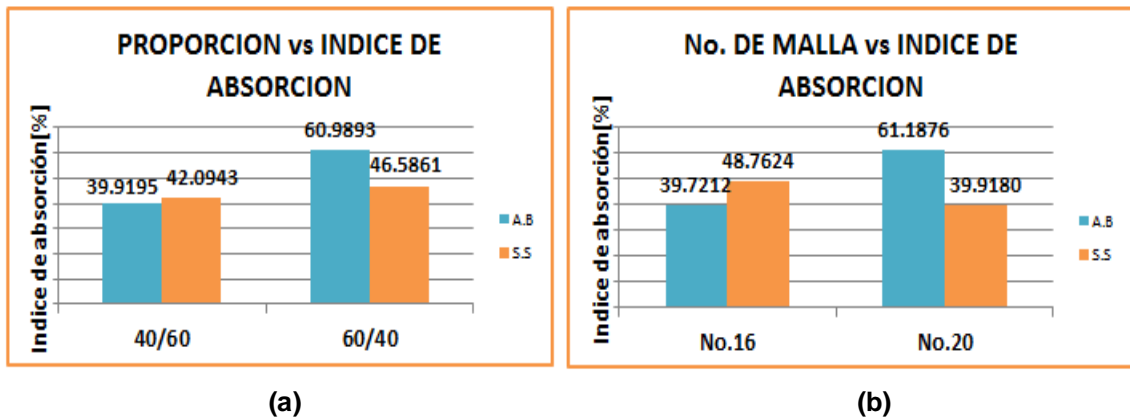
Como se explica en la sección 1.4.4, se realizó una prueba de absorción de agua sumergiendo el material compuesto en agua destilada por un periodo de 24 horas como se muestra en la imagen 11 (a), con el fin de hallar el índice de absorción de agua; para esto se elaboraron probetas siguiendo la norma ASTM D570-98 (2010) tal y como se muestra en la imagen 11 (b).

Imagen 11. Ensayo de Absorción de agua. (a) Probeta sumergida en agua destilada; (b) Probeta después del ensayo.



En el anexo C se muestran los resultados obtenidos. A continuación, la figura 8, muestra la relación entre el índice de absorción de agua y la proporción fibra/resina y el No. de malla.

Figura 8. Datos promedio obtenidos en prueba de absorción de agua. (a). Influencia de la proporción fibra/resina. (b) Influencia del número de malla.



Fuente: Autores.

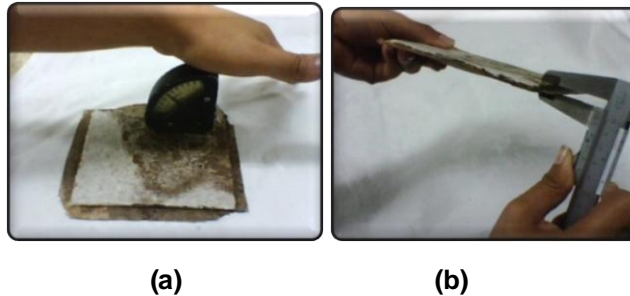
El índice de absorción de agua para una proporción 60/40 es mayor que para una de 40/60 tanto para la fibra impregnada con ácido bórico como de silicato de sodio. Como en la proporción 60/40 se encuentra una mayor cantidad de fibra y al ser este un material bastante poroso [28] los índices de absorción aumentarán conforme aumente la cantidad de fibra. Para el tamaño de la fibra con número de malla 20 se tienen índices de absorción mayores comparados con los índices de la malla 16 tanto para la fibra impregnada con ácido bórico y con silicato de sodio, esto se debe principalmente a que cuando aumenta el número de malla la cantidad de fibra se hace más grande generando más absorción de agua.

Los resultados obtenidos para la fibra impregnada con ácido bórico y con silicato de sodio exhiben resultados muy similares en cuanto a la absorción de agua, sin embargo hay datos que se desfasan un poco respecto a la tendencia de otros, la razón de esto se debe principalmente a errores de medición en la probeta para hacer la prueba.

2.6.5 Prueba de dureza

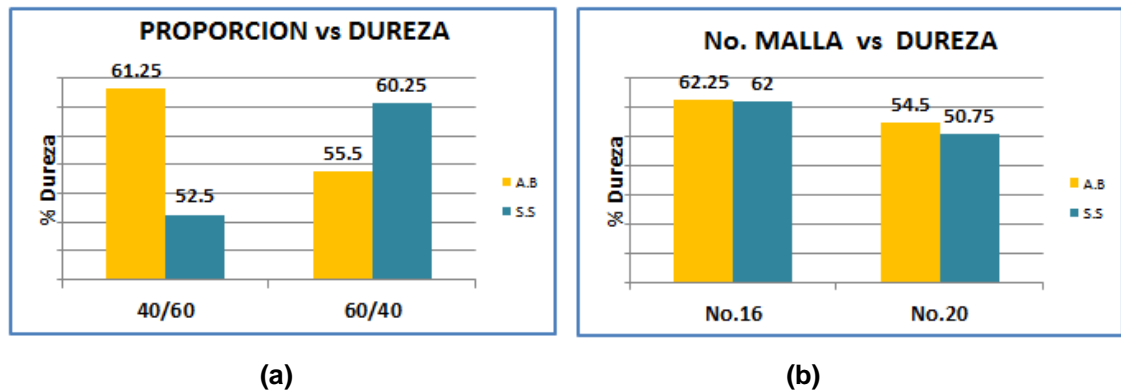
Como se describió en la sección 1.4.5, se realizó una prueba de dureza al material final según la escala de Rockwell. La imagen 12 muestra como se realizó. En el anexo D se muestran los resultados.

Imagen 12. Ensayo de dureza. (a) Prueba de dureza a las láminas; (b) Medición de espesor del espécimen.



En la figura 9, se muestran los datos promedio obtenidos.

Figura 9. Datos promedio obtenidos en prueba de dureza. (a). Influencia de la proporción fibra/resina. (b) Influencia del número de malla.



Fuente: Autores.

Como se observa en la figura 9, hay gran variabilidad en los datos, no existe una relación entre éstos para definir cuál de los materiales presenta un porcentaje mayor de dureza. Se concluye entonces, que no es muy confiable realizar éste tipo de prueba al material, debido a que es clasificado como un material poroso y por lo tanto no siempre los datos mostrarán una tendencia real de la verdadera dureza del material.

2.6.6 Prueba de densidad

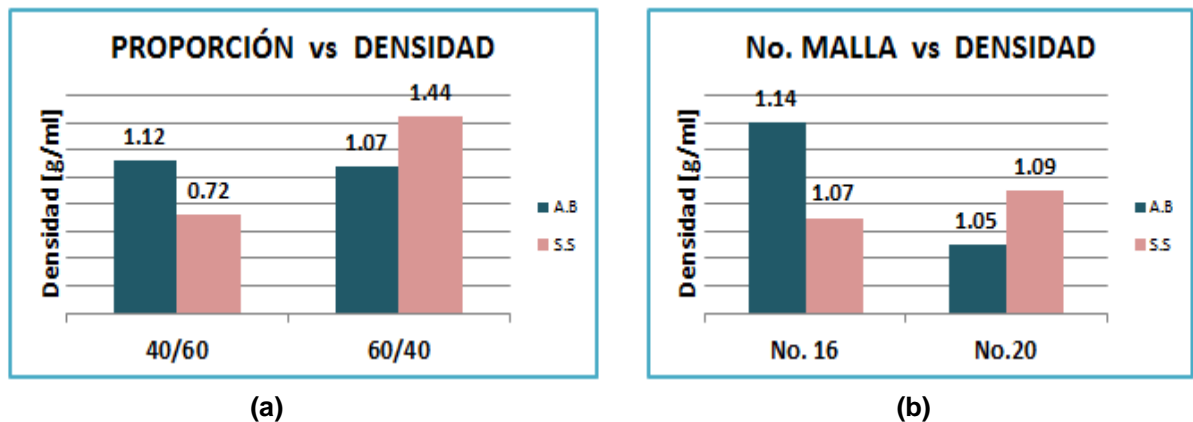
Las medidas de densidad han sido realizadas siguiendo el principio de Arquímedes, tal como se describe en la sección 1.4.6. En la imagen 13, se puede

ver el montaje realizado y en el anexo E, se detallan los datos registrados al momento de la prueba.

Imagen 13. Prueba de densidad.



Figura 10. Datos promedio obtenidos en prueba de densidad. (a). Influencia de la proporción fibra/resina. (b) Influencia del número de malla.



Fuente: Autores.

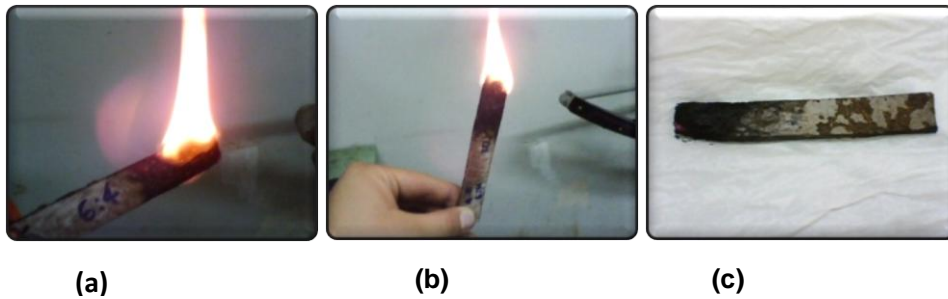
En la figura 10 se reportan los datos que se obtuvieron. Como se puede observar, los valores de densidad se encuentran en un rango óptimo respecto a la densidad del poliestireno [27], lo que permite concluir que el material ignífugo utilizado y las proporciones fibra/resina establecidas inciden favorablemente sobre la densidad del material, haciéndolo más liviano y de fácil manejo.

2.6.7 Test de llama

El material se expuso de manera directa a la llama como se observa en la imagen 14; a los 5 minutos, el aspecto del material cambió, observándose de fachada carbonosa; éste no arde de forma inmediata, es decir la llama tarda aproximadamente 1 minuto en encenderse. El color de la llama es roja-naranja

para los dos ignífugos, desprendiendo humo negro con un olor característico de los aditivos ignífugos utilizados. El material se clasifica como aislante y a los tres minutos aproximadamente de encendida la llama, ésta se extingue, no propagándose a lo largo de la probeta, notándose al final que no se quema por completo.

Imagen 14. Prueba de llama. (a) Prueba de llama: Silicato de Sodio; (b) Prueba de llama: Ácido Bórico; (c) Probeta al finalizar prueba de llama.



2.7 ANÁLISIS DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Según la hipótesis planteada en la sección 1.5, se analizaron las tres variables propuestas, corroborando que tiene gran influencia en las propiedades mecánicas del material, el tamaño de partícula y la proporción fibra/resina; sin embargo se comprueba que la mejora en dichas propiedades no son suficientes para brindar al poliestireno mayor resistencia a diversas clases de esfuerzos. Por su parte, el material ignífugo no tuvo gran atribución en las propiedades mecánicas pero en las propiedades físicas si se notó un progreso en relación con el poliestireno puro; por lo tanto se desaprueba la hipótesis.

3. CONCLUSIONES

- Con una proporción fibra/resina (60/40) y una distribución de tamaño de la fibra con malla No. 20, se aumentan las propiedades mecánicas de deformación a la ruptura y tenacidad, básicamente porque a mayor cantidad de fibra, el material compuesto adquiere mayor flexibilidad y la fracción de espacios vacíos será menor, disminuyendo así, los puntos donde se concentran esfuerzos.
- Se comprobó que el material ignífugo (Silicato de sodio y Ácido bórico), no influye de manera significativa en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del material, pero si tiene una gran atribución en cuanto a la inhibición de la llama. En cuanto a la densidad del material, se comprobó que es un material muy liviano.
- En general, la forma en que se trabajó la fibra (troceada), no es la indicada para reforzar la matriz polimérica, debido a que no se notó una mejora de todas las propiedades mecánicas, respecto al Poliestireno puro.

4. RECOMENDACIONES

- Para mejorar las propiedades mecánicas del material compuesto reforzado con fibra de coco y matriz de poliestireno (PS) se recomienda adicionar agentes de acoplamiento como isocianatos por ejemplo el polimetileno-polifenil-isocianato (PMPPIC), así se incrementará la fuerza de atracción entre el refuerzo y la matriz.
- Con el fin de mejorar la unión en la interface refuerzo/matriz y así obtener un mejor comportamiento del material compuesto, la mercerización sería un buen método para hacer efectiva esta unión ya que aumenta la aspereza de la fibra y con esto aumentará el número de puntos de adhesión con la matriz, además, se estará ofreciendo una buena interacción mecánica fibra-resina.
- Se debe tener precaución en la selección de la fibra de coco para el refuerzo del material compuesto, debido a que sus propiedades mecánicas y físicas pueden variar mucho de acuerdo a la edad de la planta origen, el lugar de la planta y el método de extracción; para esto es importante aclarar todos estos aspectos con el proveedor de la fibra de coco.
- Realizar pruebas al material, para aplicarlo como aislante térmico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] S. Harisha, D. Peter Michaelb, A. Benselyb; D. MohanLalb, A. Rajaduraic. Mechanicalpropertyevaluation of natural fibercoircomposite. ELSEVIER [Revista en Línea] 2008. [Consultado 21 de Septiembre 2011]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=1956756525&_sort=r&_st=13&view=c&_acct=C000228598&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=d96ad27742e40f8a8fed5f0d59deba6e&searchtype=a>

[2]S. Th. Georgopoulos; P.A. Tarantili; E. Avgerinos; A.G. Andreopoulos; E.G. Koukios .Thermoplastic polymers reinforced with fibrous agricultural residues. ELSEVIER [Revista en Linea]2005. [Consultado 16 de Septiembre 2011]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=1956755506&_sort=r&_st=13&view=c&_acct=C000228598&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=821763ef67b3a206db39491a85fe2c11&searchtype=a>

[3] GALLEGOS HIDROBO, Sylvia Jeanneth. Obtención de un material compuesto de matriz elastomérica y fibra de coco. Quito, Ecuador, Junio 2011. 103 p. Tesis (Ingeniera Agroindustrial). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería química y Agroindustria.

[4]Fundamentos teóricos y estado del arte. Capítulo 2. 66, Disponible en <<http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/7759/tals2de7.pdf?sequence=2>>

[5] QUESADA Karol, ALVARADO Patricia, SIBAJA José. Fibras del rastrojo de piña. Fibras del rastrojo de piña (*ananascomusus*, variedad *champaka*) como material de refuerzo en resinas de poliéster. Revista Iberoamericana de polímeros Quesada et al. Volumen 6(2), Junio de 2005. 158-159 p.

[6] ANÓNIMO. Consulta sobre fibras naturales pdf.ESC-consulta sobre fibras, Roma 2004.

[7] ANÓNIMO. Materiales compuestos. Fabricación pdf. Escuela superior de ingenieros, San Sebastián.

[8] "Characterisation and utilization of natural coconut fibrescomposites". Materials and Design. 2da edición. China 2009.

[9] WALTER E. Driver. Química y tecnología de los plásticos. Adherencia y adhesivos. Primera edición. México D.F :C.E.C.S.A. 1989. p. 139.

[10] M. MizanurRahman, Mubarak A. Khan. Surface treatment of coir (Cocosnucifera) fibers and its influence on the fibers' physico-mechanical properties.Elsevier [Revista en línea] 2007.[Consultado 26 de Agosto 2011]. Disponible en <<http://www.deepdyve.com/lp/elsevier/surface-treatment-of-coir-cocos-nucifera-fibers-and-its-influence-on-8la13pEQwI?key=elsevier>>

[11] CASTRO HERAZO Cristina Isabel y PALENCIA PENAGOS Ana Lucia.Evaluación de la influencia de diferentes condiciones de tratamientos superficiales sobre el comportamiento de fibras de fique. Medellín 2006. 63 p.Tesis (Ingeniera Química). Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Química.

[12] Aplicación de las cáscaras de coco para la fabricación de autopartes. 25 De febrero de 2012. http://www.tendencias21.net/Utilizan-cascaras-de-coco-para-fabricar-materiales-de-automoviles_a2884.html.

[13]Wang Wei, Huang Gu. Characterisation and utilization of natural coconut fibrescomposites.ELSEVIER.Revista en línea.2009. [Consultado en 26 de

Noviembre de 2011]. Disponible en
<http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=1971492060&_sort=r&_st=13&view=c&_acct=C000228598&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=3c236531e567a496c16fedaa85a1510f&searchtype=a>

[14] Aprovechamiento de polímeros reforzados con fibras vegetales. Enero 30 de 2012. Disponible en <<http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/DIC10/cordoba.pdf>>

[15] TAPIA BASTIDAS Clotario Vladimir. Elaboración de Tableros de Partícula Fina a partir de Residuos Lignocelulósicos y Resinas Termoestables. Guayaquil Ecuador. 2007. 80 p. Tesis (Ingeniería Mecánica). Escuela superior Politécnica del litoral.

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

[16] ASKELAND, Donald R. Cap. 6. Ensayos y propiedades mecánicas. Ciencia e ingeniería de los materiales. México. Interational Thomson Editores. Tercera edición. 130 p.

[17] Ensayo de tracción en materiales. 15 Enero 2012. Disponible en <<http://www.instron.com.ar/wa/glossary/Tension-Test.aspx>>

[18] Ensayo de flexión. 15 Enero de 2012. Disponible en <<http://www.instron.com.ar/wa/glossary/Bend-Test.aspx>>

[19] Ensayo de impacto. 15 de Enero de 2012. Disponible en <<http://www.zwick.es/es/aplicaciones/plasticos/termoplasticos-compuestos-de-moldeo/ensayo-de-impacto.html>>

[20] Prueba de absorción de agua <http://es.scribd.com/doc/50099471/NTC1772>

[21] Ensayos de dureza. Enero 15 de 2012. Disponible en <<http://www.ensinger.es/es/informacion-tecnica/propiedades-tecnicas-de-los-plasticos/propiedades-mecanicas/dureza>>

[22] Principio de Arquímedes.
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/estatica/arquimedes/arquimedes.htm>

[23] Prueba de llama. 30 de Enero de 2012. Disponible en <http://www.jpimentel.com/ciencias_experimentales/pagwebciencias/pagweb/la_ciencia_a_tu_alcance/Experiencias_quimica_ensayos_a_la_llama.htm>

[24] Ficha técnica de ácido bórico. Disponible en <<http://www.tracoquim.com/nocontrolado/nueva/acido%20borico.pdf>>

[25] Ficha técnica de Silicato de Sodio. Disponible en <http://www.tzgroupusa.com/descargables/silicato_sodio.pdf>.

[26] Propiedades del PS
<http://www.tesisred.net/bitstream/handle/10803/6035/TESI.pdf?sequence=1>

[27] Porosidad de la fibra de coco.
http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S131633612003000100007&script=sci_arttext

BIBLIOGRAFIA

ANÓNIMO. Consulta sobre fibras naturales pdf.ESC-consulta sobre fibras, Roma 2004.

ANÓNIMO. Materiales compuestos. Fabricación pdf. Escuela superior de ingenieros, San Sebastián.

Aplicación de las cáscaras de coco para la fabricación de autopartes. 25 De febrero de 2012. http://www.tendencias21.net/Utilizan-cascaras-de-coco-para-fabricar-materiales-de-automoviles_a2884.html.

Aprovechamiento de polímeros reforzados con fibras vegetales. Enero 30 de 2012. Disponible en<<http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/DIC10/cordoba.pdf>>

ASKELAND, Donald R. Cap. 6.Ensayos y propiedades mecánicas. Ciencia e ingeniería de los materiales. México.Interational Thomson Editores. Tercera edición.130 p.

CASTRO HERAZO Cristina Isabel y PALENCIA PENAGOS Ana Lucia.Evaluación de la influencia de diferentes condiciones de tratamientos superficiales sobre el comportamiento de fibras de fique. Medellín 2006. 63 p.Tesis (Ingeniera Química). Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Química.

“Characterization and utilization of natural coconut fibres composites”.Materials and Design.2da edición. China 2009.

Ensayos de dureza. Enero 15 de 2012. Disponible en <<http://www.ensinger.es/es/informacion-tecnica/propiedades-tecnicas-de-los-plasticos/propiedades-mecanicas/dureza>>

Ensayo de flexión. 15 Enero de 2012. Disponible en <<http://www.instron.com.ar/wa/glossary/Bend-Test.aspx>>

Ensayo de impacto. 15 de Enero de 2012. Disponible en <<http://www.zwick.es/es/aplicaciones/plasticos/termoplasticos-compuestos-de-moldeo/ensayo-de-impacto.html>>

Ensayo de tracción en materiales. 15 Enero 2012. Disponible en <<http://www.instron.com.ar/wa/glossary/Tension-Test.aspx>>

Ficha técnica de ácido bórico. Disponible en <<http://www.tracoquim.com/nocontrolado/nueva/acido%20borico.pdf>>

Ficha técnica de Silicato de Sodio. Disponible en <http://www.tzgroupusa.com/descargables/silicato_sodio.pdf>.

Fundamentos teóricos y estado del arte. Capítulo 2. 66, Disponible en <<http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/7759/tals2de7.pdf?sequence=2>>

GALLEGOS HIDROBO, Sylvia Jeanneth. Obtención de un material compuesto de matriz elastomérica y fibra de coco. Quito, Ecuador, Junio 2011. 103 p. Tesis (Ingeniera Agroindustrial). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería química y Agroindustria.

M. MizanurRahman, Mubarak A. Khan. Surface treatment of coir (Cocosnucifera) fibers and its influence on the fibers' physico-mechanical properties. Elsevier [Revista en línea] 2007. [Consultado 26 de Agosto 2011]. Disponible en <<http://www.deepdyve.com/lp/elsevier/surface-treatment-of-coir-cocos-nucifera-fibers-and-its-influence-on-81a13pEQwI?key=elsevier>>

Porosidad de la fibra de coco.
http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S131633612003000100007&script=sci_arttext

Principio de Arquímedes.
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/estatica/arquimedes/arquimedes.htm>

Propiedades del PS
<http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/6035/TESI.pdf?sequence=1>

Prueba de absorción de agua <http://es.scribd.com/doc/50099471/NTC1772>

Prueba de llama. 30 de Enero de 2012. Disponible en
<http://www.jpimentel.com/ciencias_experimentales/pagwebciencias/pagweb/la_ciencia_a_tu_alcance/Experiencias_quimica_ensayos_a_la_llama.htm>

QUESADA Karol, ALVARADO Patricia, SIBAJA José. Fibras del rastrojo de piña. Fibras del rastrojo de piña (*ananascomusus*, variedad *champaka*) como material de refuerzo en resinas de poliéster. Revista Iberoamericana de polímeros Quesada et al. Volumen 6(2), Junio de 2005. 158-159 p.

S. Harisha, D. Peter Michaelb, A. Benselyb; D. MohanLalb, A. Rajaduraic. Mechanicalpropertyevaluation of natural fibercoircomposite. ELSEVIER [Revista en Línea] 2008. [Consultado 21 de Septiembre 2011]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=1956756525&_sort=r&_st=13&view=c&_acct=C000228598&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=d96ad27742e40f8a8fed5f0d59deba6e&searchtype=a>

S. Th. Georgopoulos; P.A. Tarantili; E. Avgerinos; A.G. Andreopoulos; E.G. Koukios .Thermoplastic polymers reinforced with fibrous agricultural residues.ELSEVIER [Revista en Linea]2005. [Consultado 16 de Septiembre 2011]. Disponible en http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=1956755506&_sort=r&_st=13&view=c&_acct=C000228598&_version=1&urlVersion=0&_userid=10&md5=821763ef67b3a206db39491a85fe2c11&searchtype=a >

TAPIA BASTIDAS Clotario Vladimir. Elaboración de Tableros de Partícula Fina a partir de Residuos Lignocelulósicos y Resinas Termoestables. Guayaquil Ecuador. 2007. 80 p. Tesis (Ingeniería Mecánica). Escuela superior Politécnica del litoral. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

WALTER E. Driver. Química y tecnología de los plásticos. Adherencia y adhesivos. Primera edición. México D.F :C.E.C.S.A. 1989. p. 139.

Wang Wei, Huang Gu. Characterization and utilization of natural coconut fibres composites.ELSEVIER.Revista en línea.2009. [Consultado en 26 de Noviembre de 2011]. Disponible en http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=1971492060&_sort=r&_st=13&view=c&_acct=C000228598&_version=1&urlVersion=0&_userid=10&md5=3c236531e567a496c16fedaa85a1510f&searchtype=a >

ANEXOS

Anexo A. Resultados prueba de tensión.

MUESTRA ACIDO BORICO 40/60 No. 16

PROBETA	DEFORMACION A LA RUPTURA (m/m)	ESFUERZO A LA RUPTURA (KPa)	MODULO DE YOUNG (KPa)
1	0.6053	1186.1306	1204.766
2	0.34	1642.7892	439.8405
3	0.105	900.3958	856.122
PROMEDIO	0.3501	1243.1052	833.5762

MUESTRA ACIDO BORICO 40/60 No. 20

PROBETA	DEFORMACION A LA RUPTURA (m/m)	ESFUERZO A LA RUPTURA (KPa)	MODULO DE YOUNG (KPa)
1	0.1861	161804715	1163.357
2	0.034	1066.7572	8387.3765
3	0.10	1831.4681	2958.042
PROMEDIO	0.1067	1505.5656	4169.5918

MUESTRA ACIDO BORICO 60/40 No. 16

PROBETA	DEFORMACION A LA RUPTURA (m/m)	ESFUERZO A LA RUPTURA (KPa)	MODULO DE YOUNG (KPa)
1	0.3392	2420.7077	459.9245
2	0.178	1004.5329	806.586
3	0.201	993.0859	199.744
PROMEDIO	0.2394	1472.7755	488.7515

MUESTRA ACIDO BORICO 60/40 No. 20

PROBETA	DEFORMACION A LA RUPTURA (m/m)	ESFUERZO A LA RUPTURA (KPa)	MODULO DE YOUNG (KPa)
1	0.38	2235.947	52199.798
2	0.8992	2079.9031	29050.322
3	0.123	1778.3652	45935.822
PROMEDIO	0.4674	2031.4051	42395.314

MUESTRA SILICATO DE SODIO 40/60 No. 16

PROBETA	DEFORMACION A LA RUPTURA (m/m)	ESFUERZO A LA RUPTURA (KPa)	MODULO DE YOUNG (KPa)
1	0.5	2004.1373	2805.792
2	0.8	1282.0898	333.8773
3	0.4	791.4033	1978.508
PROMEDIO	0.5667	1359.2101	1706.0591

MUESTRA SILICATO DE SODIO 40/60 No. 20

PROBETA	DEFORMACION A LA RUPTURA (m/m)	ESFUERZO A LA RUPTURA (KPa)	MODULO DE YOUNG (KPa)
1	0.2517	566.9654	4296.9064
2	0.18	1085.2687	1035.1262
3	0.24	690.4785	1785.21
PROMEDIO	0.2257	780.9042	2372.4152

MUESTRA SILICATO DE SODIO 60/40 No. 16

PROBETA	DEFORMACION A LA RUPTURA (m/m)	ESFUERZO A LA RUPTURA (KPa)	MODULO DE YOUNG (KPa)
1	0.3	702.7321	1405.464
2	0.28	1182.0610	6995.871
3	0.1	184.0753	6135.84
PROMEDIO	0.2267	689.6228	4845.725

MUESTRA SILICATO DE SODIO 60/40 No. 20

PROBETA	DEFORMACION A LA RUPTURA (m/m)	ESFUERZO A LA RUPTURA (KPa)	MODULO DE YOUNG (KPa)
1	0.74	1768.3862	3621.3322
2	0.28	1500.1887	6287.3406
3	1.05	2024.5834	655.3235
PROMEDIO	0.69	1764.3861	3521.3321

Anexo B. Resultados prueba de impacto.

Material ignifugo	Proporción	No. malla	Resistencia al impacto [J]	Ángulos	E pérdidas [J]	E total
S.S	40/60	16	2.034	105	0.054	1.979
S.S	40/60	16	2.711	100	0.068	2.644
S.S	40/60	16	2.847	99	0.081	2.766
S.S	40/60	20	3.254	97	0.095	3.159
S.S	40/60	20	3.322	96	0.102	3.22
S.S	40/60	20	5.898	78	0.108	5.789
S.S	60/40	16	4.067	90	0.095	3.972
S.S	60/40	16	2.711	100	0.068	2.644
S.S	60/40	16	2.576	101	0.068	2.508
S.S	60/40	20	5.559	79	0.108	5.45
S.S	60/40	20	1.695	107	0.034	1.661
S.S	60/40	20	1.573	103.5	0.054	1.518
A.B	40/60	16	2.034	105	0.054	1.979
A.B	40/60	16	1.898	105	0.054	1.844
A.B	40/60	16	2.169	104	0.054	2.115
A.B	40/60	20	1.695	107	0.034	1.661
A.B	40/60	20	1.898	107	0.034	1.864
A.B	40/60	20	1.559	108	0.033	1.527
A.B	60/40	16	1.559	108	0.033	1.527
A.B	60/40	16	1.695	107	0.034	1.661
A.B	60/40	16	1.966	106	0.047	1.918
A.B	60/40	20	1.491	109	0.027	1.464
A.B	60/40	20	1.695	107	0.034	1.661
A.B	60/40	20	1.627	108	0.033	1.594

Anexo C. Resultados obtenidos en prueba de absorción de agua

ESPEJOR (mm)	MATERIAL IGNIFUGO	PROPORCION	NUMERO DE MALLA	MASA INICIAL (g)	MASA FINAL (g)	Índice de absorción (%)
1.26	A.B	40/60	20	5.29	7.48	41.3988
1.13	A.B	40/60	16	3.59	4.97	38.4401
3.75	A.B	60/40	20	5.94	10.75	80.9764
1.24	A.B	60/40	16	4.39	6.19	41.0022
1.24	S.S	40/60	20	6.6	9.3	40.9090
1.31	S.S	40/60	16	3.72	5.33	43.2795
1.15	S.S	60/40	20	7.27	10.1	38.9270
3.21	S.S	60/40	16	6.36	9.81	54.2452

Anexo D. Resultados prueba de dureza

Muestra	Cara 1	Cara 2	Espesor[cm]
Silicato de Sodio	44	44	0.38 – 0.6
	43	60,5	
Número de malla: 20	56.5	55,5	
	55	58	
	55.5	69	
60/40	49.5	54,5	
	51.5	67,5	
	56	67	
	62.5	53,5	
Dureza promedio	52– 59 %		

Muestra	Cara 1	Cara 2	Espesor[cm]
Silicato de Sodio	56.5	67	0.4 - 0.6
	54	55	
	48	67,5	
Número de malla: 16	72.5	40	
	58.5	61	
	51.5	65	
40/60	57	51,5	
	62.5	64	
	57.5	65	
Dureza promedio	58– 60 %		

Muestra	Cara1	Cara2	Espesor [cm]
Silicato de Sodio	62.5	64	0.32-0,6
	62.5	63.5	
Número de malla: 16	70	56	
	56	60	
	66.5	68.5	
60:/40	64.5	67.5	
	62.5	63.5	
	70	79	
	65	69	
Dureza promedio	64– 66 %		

Muestra	Cara 1	Cara 2	Espesor [cm]
Silicato de Sodio	37.5	45.5	0.38-0.68
	43.5	47.5	
Número de malla: 20	49	48.5	
	48.5	22.5	
	52.5	54	
40/60	41.5	56	
	37.5	49	
	51.5	47.5	
	49	45	
Dureza promedio	46 %		

Muestra	Cara 1	Cara 2	Espesor cm
Ácido	67.5	65	0.38- 0.62
Bórico	48	54	
	60	71	
Número	50	48.5	
de malla:	69.5	63.5	
16	68.5	67	
	62.5	61	
60/40	60.5	65.5	
	71	69.5	
Dureza promedio			62– 63 %

Muestra	Cara 1	Cara 2	Espesor[cm]
Ácido	62.5	62.5	0.38-0.65
Bórico	60	40	
	46	53	
Número	53	69	
de malla:	65.5	71	
20	61.5	68.5	
	72.5	53	
40/60	60	58.5	
	67	66	
Dureza promedio			60– 61 %

Muestra	Cara 1	Cara 2	Espesor[cm]
Ácido	55.5	47.5	0.39-0,7cm
Bórico	40,5	50	
	40	38	
Número	68.5	33	
de malla:	48.5	55	
20	55	52.5	
	46	52.5	
60/40	51.5	47.5	
	46	49	
Dureza promedio			47– 50 %

Muestra	Cara 1	Cara 2	Espesor[cm]
Ácido	45	57.5	0.38-0.6
Bórico	59.5	58.5	
	55	68.5	
Número	56.5	68.5	
de malla:	60	65.5	
16	61.5	68	
	55	73.5	
40/60	63.5	71.5	
	56	71.5	
Dureza promedio			57– 67 %

Anexo E. Resultados prueba de densidad

Material Ignífugo	Relación fibra/resina	Malla	Masa promedio [g]	Volumen desplazado [ml]	Densidad aparente [g/ml]
SS	40/60	16	2.95	4.5	0.65
SS	40/60	20	2.38	3	0.79
SS	60/40	16	2.23	1.5	1.48
SS	60/40	20	2.25	1.6	1.40
AB	40/60	16	2.45	2.1	1.16
AB	40/60	20	2.42	2.25	1.07
AB	60/40	16	2.78	2.5	1.11
AB	60/40	20	2.075	2	1.03