

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS MATERIALES COMPUESTOS A BASE DE FIBRA DE FIQUE Y FIBRAS SINTÉTICAS

Luis Alberto Pérez Gracia

Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla, Atlántico, Colombia, www.uac.edu.co
ing.luisperezg@hotmail.com

Palabras claves: Fibra natural, material compuesto, propiedades mecánicas, fique, resina poliéster.

Abstract. In today's market, synthetic fibers such as carbon or aramid are considered highly durable and valuable materials in the manufacture of countless goods (e.g. sports equipment, in aviation and automotive industries, pipes and tanks, among others) used worldwide. However, those fibers are very expensive as well as highly polluting, since they are derived from petroleum. The purpose of this study is to determine the factibility of natural fibers coming from fique's usage. Therefore, the mechanical properties (tensile, flexural and impact) of a composite based on a fique fiber polyester resin matrix which were evaluated in order to determine the benefits this composite would bring in specific applications. That is the case of a composite made of 3 layers of fique fiber and a polyester resin composition which is 93% of Cristalán 856 polyester resin, 2% catalyst (MEK peroxide) and 5% of thinner or diluent, which resists maximum flexural stresses of 47.07 ± 14.03 MPa, its deflection is 0.06 ± 0.01 mm/mm and its elastic modulus is 14.66 ± 6.94 GPa.

INTRODUCCIÓN

Debido a la creciente preocupación por los problemas ambientales que generan los polímeros, el uso de fibras naturales como agente de refuerzo en materiales compuestos de matriz polimérica ha llamado mucho la atención a investigadores. Las fibras naturales tienen muchas ventajas sobre las fibras sintéticas tales como su bajo peso, bajo costo y poseen propiedades aceptables (Venkateshwaran & ElayaPerumal, 2012).

Las fibras naturales son opciones prometedoras para los compuestos de matriz polimérica (CMP). Sus ventajas ambientales (son biodegradables, renovables, reciclables) y el gran número disponible como residuos nativos, cultivados o industriales destacan sobre las demás fibras. Ya empleadas en variedad de elementos de los automóviles, los compuestos de fibras naturales pueden en el futuro ser valorados por sus cualidades ambientalmente amigables y vistos como aliados en la batalla contra el calentamiento global. (Sergio Neves, 2009).

Los componentes que contienen fibras de vidrio no se pueden separar fácilmente, y por tanto, son difíciles de reciclar. En cambio, los CMP de fibras naturales pueden ser quemados completamente para recuperar energía. Por consiguiente, la utilización de estas fibras naturales en los CMP está aumentando en la industria automotor en un 20% anual. (Neves et al., 2009).

La ventaja más importante de las fibras lignocelulósicas (LCF) con respecto a los demás materiales de ingeniería es su baja densidad, lo que permitiría un mayor uso de ellas en la ingeniería de materiales. Por ejemplo, el refuerzo de materiales compuestos (o poliméricos) más ligeros en los componentes de los automóviles. Algunos de los materiales de fibras lignocelulósicas conocidos y comunes son: algodón, yute, cáñamo, lino, sisal y el coco. Otros, también conocidos pero poco empleados, son: ramio, banano, piña y el bambú. Y, por otro lado, los relativamente desconocidos son: curauá, piasava, bagazo de caña de azúcar y el burití. (Neves et al., 2011).

La importancia de la elección de un agente químico adecuado y su cantidad ha sido demostrado para compuestos que contienen tejidos de fibras de fique. Para el comportamiento mecánico de los materiales tratados, los mejores resultados se consiguen cuando la fibra de fique se somete a tratamientos tales como alcalinización. Estas variaciones están asociadas con la mejora de la adherencia de fibra-matriz observado a través de técnicas de microscopía, pero también con los cambios introducidos por los tratamientos sobre la estructura y las propiedades mecánicas de las fibras de fique y también sobre la homogeneidad de los materiales compuestos. (Gañán & Mondragón, 2004).

**Artículo de Monografía para optar al título de Ingeniero Mecánico
Universidad Autónoma Del Caribe. Barranquilla, 2014**

Para el 2017, se espera que la industria de los materiales compuestos alcance 29.9 billones de dólares, mientras que el valor comercial de los productos finales fabricados con materiales compuestos se espera sea de 85 billones de dólares. El crecimiento demográfico, los nuevos proyectos de infraestructura, la urbanización, el aumento de población de clase media y el movimiento verde impulsarán el auge de los materiales compuestos a nuevos horizontes en las economías emergentes. (Chuck Kazmierski, 2012).

METODOLOGIA

Este proyecto de investigación fue desarrollado en tres fases que se realizaron de manera sistemática con el fin de cumplir los objetivos establecidos.

Durante la primera fase se llevó a cabo una investigación previa sobre los materiales que se utilizaron a lo largo del proyecto, se estudiaron teniendo en cuenta sus características y comportamiento mecánico.

La segunda fase consistió en fabricar los materiales compuestos a base de fibra de fique y una matriz de resina de poliéster, con los cuales se desarrollaron los respectivos ensayos mecánicos necesarios que arrojaron datos, necesarios para analizar las propiedades mecánicas de los materiales, con el fin de compararlos y establecer su comportamiento.

Para finalizar, se llevó a cabo el análisis, tabulación y verificación de los resultados obtenidos a través de los ensayos hechos con los materiales, con el fin de compararlos entre si y establecer su rendimiento y comportamiento.

Este proyecto de grado se desarrolló dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma del Caribe, se llevó a cabo bajo la modalidad de proyecto de grado, como requisito para obtener el título de Ingeniero Mecánico de la Universidad Autónoma del Caribe.

Investigación previa sobre las fibras naturales:

Se llevó a cabo una consulta bibliográfica y electrónica de libros, artículos y revistas científicas, en las que se pudiera obtener más información sobre los estudios previos a las fibras naturales. Esta búsqueda de información también fue realizada, con el objetivo de conocer el estado del arte (investigaciones previas relacionadas con el proyecto de investigación).

Caracterización de la fibra de fique:

Estas fibras poseen propiedades especiales para la producción de pulpa de papel, materiales para la construcción, biomantos, aislantes térmicos, entre otros. Por sus características fibrosas se convierte en una excelente alternativa para este sector y contribuye con la conservación ambiental, se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de las fibras de fique a partir de las siguientes pruebas:

Para determinar la densidad lineal de la fibra de fique de acuerdo a la norma ASTM D1577-12, era necesario calcular a partir de ciertos valores tales como la masa (W) de la fibra de fique (en miligramos) y el número de hilos (N) en una hebra de fique de una pulgada de longitud (L). Los valores de la densidad lineal de fibras textiles son en denier (D) y dtex (Td). Las ecuaciones fueron las siguientes:

$$Td = 10000 W / (L \times N) \quad (1)$$

$$D = 9000 W / (L \times N) \quad (2)$$

Teniendo en cuenta las anteriores ecuaciones, se deduce la relación entre ambas unidades (dtex y denier), de la siguiente manera:

$$1 \text{ dtex} = 0,9 \text{ denier} \quad (3)$$

**Artículo de Monografía para optar al título de Ingeniero Mecánico
Universidad Autónoma Del Caribe. Barranquilla, 2014**

Ahora bien, el proceso de medición de los anteriores parámetros se realizó en el Laboratorio de Química de la Universidad Autónoma del Caribe, donde se utilizó una balanza de precisión OHAUS PIONEER para medir la masa de las hebras – luego de cortarlas a una pulgada y contar sus hilos – para, entonces, calcular la densidad lineal. Cabe aclarar que este proceso se realizó siete veces, pues así lo indica la norma ASTM D1577-12.

Figura 1: Medición de la masa de la fibra de fique



Figura 2: Medición del número de hilos en una hebra de fique



La tela de fique se caracteriza por tener en sus hebras, hilos de diámetros muy distintos entre sí, por lo que para la medición de dichos diámetros, se trabajó con una muestra de 100 hilos de fique.

Estas mediciones se hicieron en el Laboratorio de Metalografía de la Universidad Autónoma del Caribe, mediante el uso del durómetro Zwick/Roell, este consta de un plato giratorio que se puede subir y bajar, en este caso, la hebra a medir (diámetro) y un variador de distancias, que es paralelo con una línea fija, a la cual era necesario adaptar la posición de la hebra para la posterior medición de su diámetro, cuyo valor saldría de la distancia que las dos líneas ya mencionadas contorneaban la fibra.

Figura 3: Durómetro Zwick/Roell



Los datos obtenidos fueron analizados mediante inferencia estadística, ya que esta es utilizada para el análisis de estudios observacionales o de experimentos diseñados en gran parte de las áreas científicas. Los datos obtenidos son datos continuos.

Ensayo de tensión a la fibra de fique:

Las pruebas se realizaron al inicio con una hebra del tejido de fique en 10 ensayos con dos velocidades diferentes: 1 mm/min y 50 mm/min, cuyos valores son el mínimo y el máximo, respectivamente, a los cuales la máquina universal de ensayos puede trabajar. Se realizaron las pruebas con la máquina de sistema hidráulico universal serie UH Shimadzu. La hebra se adaptó de acuerdo a la norma ASTM D3822-07, para su posterior ensayo.

Figura 4: Ensayo de tensión a la fibra de fique



En el ensayo de Tensión a la fibra de fique la adaptación de la hebra consistía de un marco de cartón paja de 250x60 mm, con una abertura de 150x20 mm, donde la fibra estará pegada, extremo a extremo del marco y centrada en la abertura, de tal manera que al momento de ensayar, la hebra siempre esté totalmente vertical y

**Artículo de Monografía para optar al título de Ingeniero Mecánico
Universidad Autónoma Del Caribe. Barranquilla, 2014**

no sufra deslizamientos por las mordazas de la máquina (distancia entre mordazas de 150 mm). El propósito de este ensayo es calcular, a diferentes velocidades, los valores de la tenacidad (cN/tex y gf/tex), el módulo de elasticidad (cN/tex y gf/tex) y el porcentaje de elongación en la rotura.

Figura 5: Ensayo de tensión a la fibra de fique



Ensayo de tensión a la tela de fique:

Se hicieron 14 probetas de tejidos de fique de iguales dimensiones (250mm x 50mm) las cuales fueron ensayadas a tensión a dos diferentes velocidades (1mm/min para 7 probetas y 50 mm/min para las 7 restantes). Este procedimiento fue realizado con base en la norma ASTM D5035-11, cuyo fin es obtener los valores de los esfuerzos máximos a tensión de cada tejido y comparar sus resultados.

Figura 6: Ensayo de tensión tela de fique



**Artículo de Monografía para optar al título de Ingeniero Mecánico
Universidad Autónoma Del Caribe. Barranquilla, 2014**

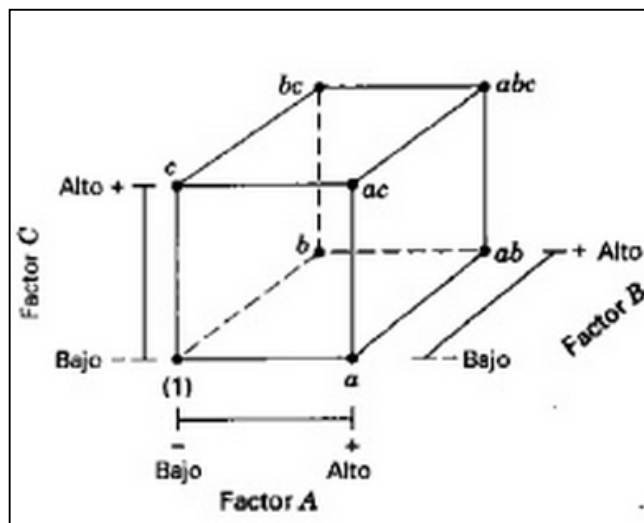
Siguiendo la metodología explicada, el montaje de la tela de fique en la máquina universal de ensayos del Laboratorio de Resistencia de la Universidad Autónoma del Caribe, se mostro que a partir de los datos obtenidos en el software TRAPEZIUM®, tales como carga en mN y alargamiento en mm, se buscaron los tramos lineales de las curvas mostradas por dicho programa, de los cuales se determinaron los valores de la carga máxima (P, en miliNewtons) en 8 probetas de tela de fique divididas en 2 velocidades (1mm/min y 50mm/min, respectivamente).

Caracterización de la resina poliéster CRISTALAN 856:

La resina escogida en esta ocasión fue la Cristalán 856, esta es una resina de poliéster ortoftálica muy versátil para cualquier tipo de aplicación que no requiere mayores propiedades mecánicas, lo que hace que tenga temperaturas bajas de operación; no tiene un proceso de curado específico, por lo que es necesario realizar diferentes pruebas para la determinación del mismo dependiendo de su aplicación. Esta resina está disponible en el mercado de Barranquilla a un bajo precio comercial y es utilizada para crear estructuras de sonido para carros y hacer reparaciones a las partes plásticas de estos (Bumpers, tableros, etc.). El proveedor utilizado para adquirir la resina necesaria durante el proyecto fue Ferretería Multicolor's La 38 ubicada en la Carrera 38 N° 48-03 Local 2 en la ciudad de Barranquilla.

Se utilizó el diseño experimental 2^3 en el cual los tres factores A, B y C, cada uno con dos niveles, son de interés. Al diseño se le llama diseño experimental 2^3 para el cual se realiza la representación geométrica de las ocho combinaciones de tratamientos a través de un cubo mostrado en la figura 7. Del proceso de Screening se seleccionaron las mejores mezclas, las cuales quedaban por dentro del recuadro (ver los 9 valores dentro de la ventana en la figura 8), cuyas propiedades mecánicas (tensión, flexión e impacto) fueron ensayadas posteriormente y comparadas entre sí. El motivo por el cual fueron descartadas las mezclas 1, 2 y 3, fue por la generación de burbujas, fragilidad y grietas en el proceso de curado, pues no contenían ninguna cantidad de thinner en su composición.

Figura 7: Representación geométrica del diseño experimental 2^3



**Artículo de Monografía para optar al título de Ingeniero Mecánico
Universidad Autónoma Del Caribe. Barranquilla, 2014**

Figura 8. Ventana de operaciones de Mezclas Resina de Poliéster, catalizador y Thinner

		Cantidad de Catalizador (cc)				
		4	6	8	10	12
Cantidad de Thinner (g)	0	1	2			3
	10		5	8	10	
	20		6	4	11	
	30		7	9	12	
	50					

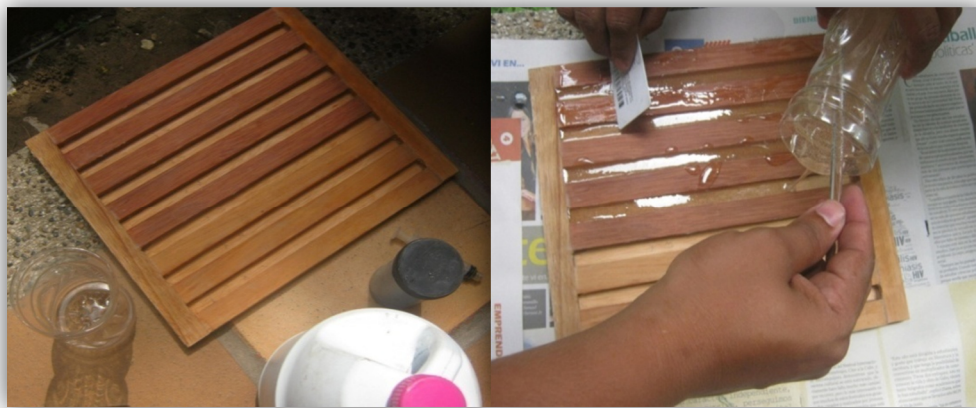
De esta manera quedaron definidas las siguientes mezclas como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Porcentajes de los ensayos de resina finales

Ensayos de la Resina			
MEZCLA #	% Resina	% Catalizador	% Thinner
1	98,4	1,6	0
2	96,9	3,1	0
3	95,4	4,6	0
4	88,3	2,8	8,8
5	93,1	2,3	4,7
6	89	2,2	8,9
7	85,2	2,1	12,8
8	92,4	3	4,6
9	84,6	2,7	12,7
10	91,7	3,7	4,6
11	87,7	3,5	8,8
12	84	3,4	12,6

Una vez definidas las mezclas, la preparación de estas se llevó a cabo en un recipiente desechable donde se vertió primeramente la porción de resina midiendo su masa en una balanza, en un recipiente secundario fue medida la porción de Thinner también sobre la balanza (para las mezclas que contienen Thinner) y con la ayuda de una jeringa se midió el volumen de catalizador. Primeramente se vertió el Thinner en el recipiente de la resina y con ayuda de un agitador se movió hasta que diluyera la mezcla. Por último, se aplicó el catalizador y se continuó agitando la mezcla hasta que quedara totalmente homogénea para finalmente ser vertida en el molde preparado con desmoldante.

Figuras 9 y 10: Método de elaboración de la resina



Se realizó el proceso de fusión de la resina junto con el catalizador y el diluyente en el molde listo para ser utilizado, al cual en primer lugar, se le aplicó el desmoldante necesario para facilitar la extracción de las probetas. En total, se fundieron 91 probetas con 13 mezclas diferentes (7 probetas para cada mezcla), las cuales fueron analizadas de forma visual y sometidas a diferentes pruebas mecánicas, tales como ensayo de flexión, tensión e impacto para su posterior selección en esta investigación.

Ensayo de tensión a las resinas:

La prueba de tensión estuvo regida bajo la norma ASTM D3039 y se realizó en la máquina de sistema hidráulico universal serie UH Shimadzu. Se ensayaron 5 probetas por cada mezcla establecida, con dimensiones de 250mm de largo por 12mm de ancho y 8mm de espesor. Se mantuvo una distancia entre mordazas de 150mm y una velocidad de 5mm/min para todas las probetas. Las probetas fueron sometidas a un proceso denominado *Screening*, el cual permite, a través de una ventana que contiene las mezclas ideales o más cercanas entre sí, en términos de las variables controlables (thinner y el catalizador), descartar valores que no tengan cercanía o relación con las demás mezclas.

Las probetas fueron sometidas a velocidades constantes de 5mm/min. A partir de este ensayo realizado se determinaron las magnitudes del esfuerzo máximo a la tensión, promediando los resultados de las 5 probetas ensayadas por cada mezcla. Así mismo, el módulo de elasticidad de la resina y su respectiva deformación.

Ensayo de flexión a las resinas:

Las pruebas de flexión se realizaron en la máquina de sistema hidráulico universal serie UH Shimadzu. El método utilizado es el descrito en la norma ASTM D790 como ensayo de flexión en tres puntos. La geometría de las probetas fue de sección transversal rectangular manteniendo dimensiones de 187mm de largo y 12mm de ancho. La distancia entre los apoyos se ajustó a $100\text{mm} + 3$ veces el espesor de la probeta y la prueba fue aplicada a una velocidad de 5mm/min.

Para este ensayo y el de impacto, se utilizaron 5 probetas divididas en dos partes, una de 187 mm y otra de 63 mm, respectivamente. El ancho (12 mm) y el espesor (6 mm) de las probetas no se modificaron.

Para los cálculos del esfuerzo máximo a flexión, esfuerzo de rotura, módulo de elasticidad y deformación de las probetas, se tuvo en cuenta el diámetro del punzón (50 mm) más el diámetro de los rodillos (50 mm) los cuales estuvieron ubicados en el banco de flexión, es decir, 100 mm de separación, más tres veces el espesor de la probeta (18 mm), de acuerdo a la norma. Es decir, que la distancia entre apoyos fue de 118 mm, valor que se mantuvo igual para el cálculo de los parámetros ya mencionados.

La figura 11 muestra cómo se llevó a cabo el ensayo de flexión a las resinas.

Figura 11: Ensayo de flexión a las resinas



Ensayo de impacto a las resinas:

Estas pruebas fueron realizadas en un Péndulo Charpy TERCO MT 3016 Impact Tester bajo el método E descrito en la norma ASTM D256. Las probetas contenían las siguientes medidas: 63mm de largo, 12mm de ancho y 8mm de espesor con sección transversal rectangular. Al igual que en los ensayos descritos con anterioridad, se fabricaron 5 probetas por cada mezcla que fueron ensayadas para determinar cuál mezcla fue la que absorbió más energía.

El proceso consistió en colocar la probeta en el yunque del péndulo y a través de una palanca se liberaba el martillo el cual rompería la probeta al hacer contacto con ella. En la figura 12 puede observarse el procedimiento realizado y descrito previamente.

Figura 12: Ensayo de impacto a las resinas



Caracterización de los materiales compuestos a través de ensayos mecánicos:

Luego de determinar la mezcla que presentara los mejores resultados en términos de sus propiedades mecánicas, se procedió a fabricar materiales compuestos con base en el diseño experimental 2³, que constaba de dos factores (tipos de mezcla y número de capas de fibra de fique) y tres niveles controlables (tres diferentes tipos de mezclas y 3, 4 y 5 capas de fibra de fique) y así someterlas a los ensayos de tensión, flexión e impacto, por medio de diversos equipos, tales como la máquina universal de ensayos y el método de ensayo de Charpy para ensayo de impacto.

El procedimiento de fundición para el curado fue el siguiente:

1. Se preparó el molde empleando cera desmoldante la cual evitaba que la mezcla se adhiriera a las paredes de los moldes.
2. Se cortaron las capas de la tela de fique a la medida del molde (300 mm x 30 mm). Dependiendo del número de la mezcla, se tenía en cuenta el valor de las capas.
3. Se realizó aparte la mezcla respectiva y se vertió en el molde, utilizando una pequeña brocha, con lo que se lograba la capa inferior de resina.
4. Inmediatamente, se colocó la primera capa de tela de fique ajustándola manualmente al molde para, así, verter otra capa de la misma mezcla.
5. El paso 4 se repitió hasta haber colocado las capas de fique correspondientes, y por último, se vertió la última capa de mezcla, finalizando la creación de una probeta de material compuesto.

Figuras 13 y 14: Probetas de fique y molde para realizar el proceso de curado



Ensayos de tensión a los materiales compuestos:

Finalizado el proceso de curado, se realizó el ensayo de tracción de los compuestos para su caracterización. Las dimensiones nominales de las probetas para realizar este ensayo fueron de 300x30x10 mm. Para el montaje en la máquina universal de ensayos, la distancia entre mordazas fue de 150 mm, es decir, que cada mordaza sujetaba 75 mm de cada extremo de la probeta, de acuerdo con la norma ASTM D3039.

Mediante el software TRAPEZIUM®, se obtuvieron las curvas de carga (mN) vs alargamiento (mm) de cada ensayo, cuyas velocidades siempre fueron de 5mm/min. A partir de este ensayo, se determinaron las magnitudes - promediando los resultados de las 3 probetas ensayadas por cada mezcla - del esfuerzo máximo a la tensión, el módulo de elasticidad de la resina y su respectiva deformación.

Las figuras 15 y 16 muestran por un lado, las probetas sometidas a este tipo de ensayo, y posteriormente la fractura de las mismas.

Figuras 15 y 16: Probetas sometidas al ensayo de tensión



Ensayos de flexión a los materiales compuestos:

Se ensayaron 3 probetas para cada compuesto de acuerdo a la norma ASTM D790-10. Para este ensayo y el de impacto, se utilizaron 3 probetas divididas en dos partes, una de 287 mm y otra de 63 mm, respectivamente. El ancho (30mm) y el espesor (10 mm) de las probetas no se modificaron.

Para los cálculos del esfuerzo máximo a flexión, esfuerzo de rotura, módulo de elasticidad y deformación de las probetas, se tuvo en cuenta el diámetro del punzón (50 mm) más el diámetro de los rodillos (50 mm) los cuales están ubicados en el banco de flexión, es decir, 100 mm de separación, más tres veces el espesor de la probeta (30 mm), de acuerdo a la norma. Es decir, que la distancia entre apoyos fue de 130 mm, valor que se mantuvo igual para el cálculo de los parámetros ya mencionados.

Figura 17: Probeta sometida al ensayo de flexión



**Artículo de Monografía para optar al título de Ingeniero Mecánico
Universidad Autónoma Del Caribe. Barranquilla, 2014**

Ensayo de impacto en el material compuesto:

Se ensayaron 3 probetas para cada material compuesto de dimensiones 63x15x10 mm en el péndulo Charpy, luego de un proceso de pulido a las probetas ya que ocupaban mucho espacio en el yunque del péndulo, lo que generaba un error experimental al momento de hacer las pruebas. El proceso consistía en colocar la probeta en el yunque del péndulo y a través de una palanca se liberaba el martillo el cual rompería la probeta al hacer contacto con ella. Se trabajó de acuerdo con la norma ASTM D256.

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Densidad lineal de las muestras de fique:

La tabla 2 muestra los resultados obtenidos de la medición de la densidad lineal para 7 muestras de fibra de fique de 1 pulgada o 25.4 mm de longitud seleccionadas al iniciar la investigación.

Tabla 2: Resultados de la densidad lineal de las muestras de fique.

DENSIDAD LINEAL PARA 7 MUESTRAS DE FIBRAS DE FIQUE			
Masa (mg)	# Fibras	Densidad Lineal (Td) [dtex]	Densidad Lineal (D) [denier]
13	30	170,60	153,54
24	68	138,95	125,06
24	64	147,64	132,87
22	43	201,43	181,29
19	38	196,85	177,17
25	63	156,23	140,61
25	74	133,01	119,71
Promedio		163,53	147,18
Desviación Estándar		27,20	24,48

Medición de diámetros de la fibra de fique:

La tabla 3 muestra los valores ya calculados, la tabla 4, la distribución de frecuencias y el histograma correspondiente se muestra abajo.

Tabla 3: Resultados de la densidad lineal de las muestras de fique.

Muestra (n)	100		
R = Max - Min	0,2006		
$m = 1+3.3\log n$	7,6	8	Valor redondeado
Ancho intervala (C)	0,0251		

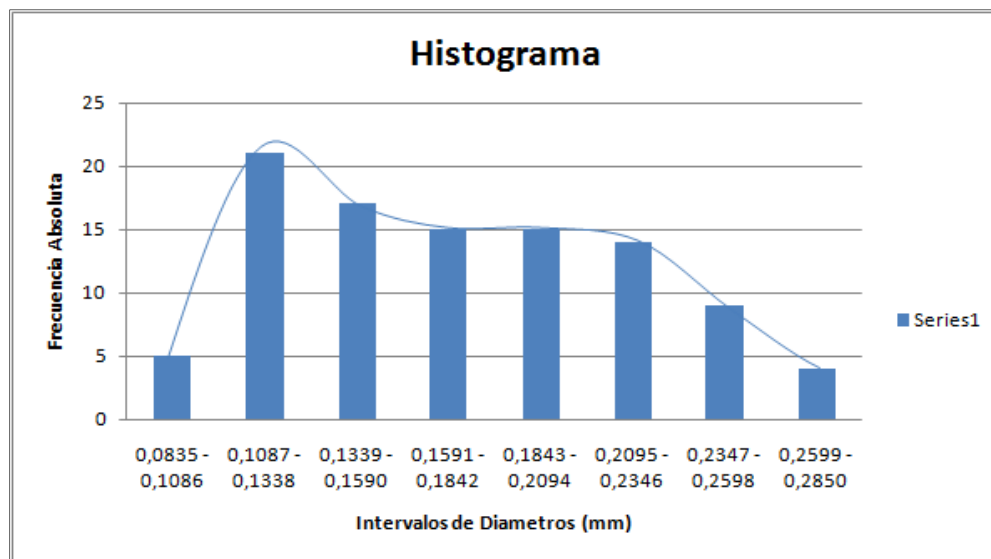
Ya que el valor de m es 7.6, debió aproximarse al entero más cercano, que en este caso es 8, lo que significa que hubo ocho intervalos distintos para los diámetros.

Tabla 4: Intervalos de diámetros

Clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
0.0835 - 0.1086	5	0,05
0.1087 - 0.1338	21	0,21
0.1339 - 0.1590	17	0,17
0.1591 - 0.1842	15	0,15
0.1843 - 0.2094	15	0,15
0.2095 - 0.2346	14	0,14
0.2347 - 0.2598	9	0,09
0.2599 - 0.2850	4	0,04
Σ	100	1

Por medio de esta distribución de frecuencias, pudo verse que la mayoría de diámetros medidos se encontraba en el segundo intervalo de la tabla 4, el cual se verá con mejor claridad en la figura 18:

Figura 18: Histograma que muestra la frecuencia absoluta vs Intervalos de diámetro



Por consiguiente, el intervalo de diámetros de la fibra de fique con el cual se trabajó fue [0,1087 – 0,1338] milímetros.

Ensayo de tensión a la fibra de fique:

Las tablas 5 y 6 muestran los resultados obtenidos en los ensayos de tensión a la fibra de fique a diferentes velocidades (1mm/min y 50 mm/min).

**Artículo de Monografía para optar al título de Ingeniero Mecánico
Universidad Autónoma Del Caribe. Barranquilla, 2014**

Tabla 5: Resultados de ensayo de tensión a la fibra de fique a 1 mm/min.

ENSAYO DE TENSIÓN A LA FIBRA DE FIQUE A					1mm/min
FIBRA	BREAKING TENACITY		INITIAL MODULUS		ELONGATION AT BREAK
	cN/tex	gf/tex	cN/tex	gf/tex	
1	722,29	736,53	642,412	655,078	0,11%
2	861,30	878,28	840,184	856,750	0,10%
3	958,53	977,42	832,926	849,348	0,12%
4	572,61	583,90	554,991	565,934	0,10%
5	589,84	601,47	527,716	538,120	0,11%
PROMEDIO	740,91	755,52	679,646	693,046	0,11%
DESVEST	168,33	171,65	149,395	152,340	0,01%

Tabla 6: Resultados de ensayo de tensión a la fibra de fique a 50 mm/min.

ENSAYO DE TENSIÓN A LA FIBRA DE FIQUE A					50mm/min
FIBRA	BREAKING TENACITY		INITIAL MODULUS		ELONGATION AT BREAK
	cN/tex	gf/tex	cN/tex	gf/tex	
6	899,11	916,84	16,993	17,328	5,29%
7	844,06	860,71	20,098	20,494	4,20%
8	710,19	724,19	13,257	13,518	5,36%
9	526,82	537,21	14,751	15,042	3,57%
10	926,93	945,20	30,140	30,734	3,08%
PROMEDIO	781,42	796,83	19,048	19,423	4,30%
DESVEST	164,96	168,21	6,715	6,847	1,02%

Para representar gráficamente los resultados arrojados que se muestran en las tablas 5 y 6, se hicieron las siguientes gráficas mostradas en las figuras 19 y 20, las cuales reflejan el comportamiento del fique en cuanto a esfuerzos vs deformación. Las gráficas muestran cómo las curvas cambian con respecto al grosor de las fibras de fique, dependiendo de la velocidad a la cual son sometidas.

Figura 19: Esfuerzo vs. Deformación del fique ensayado a 1 mm/min.

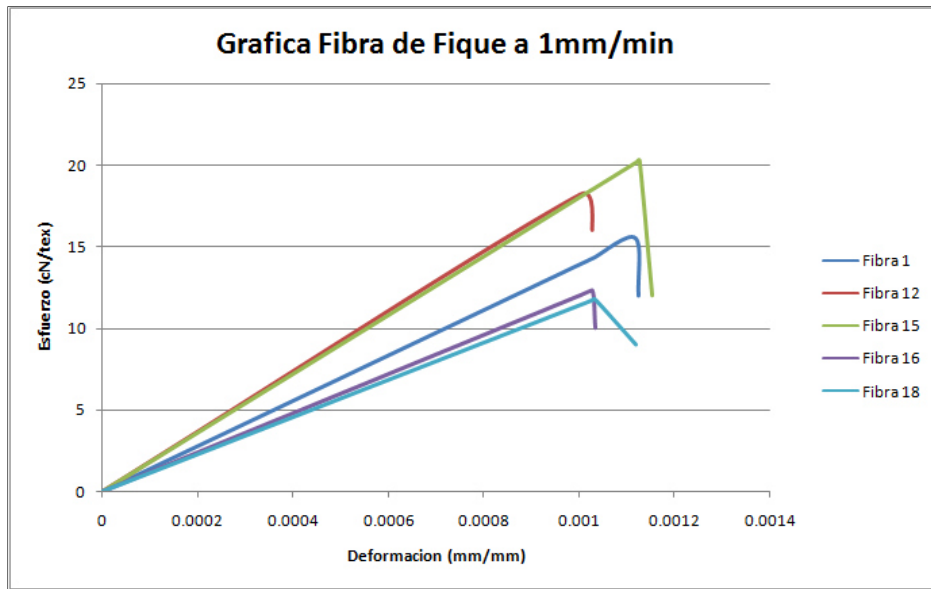
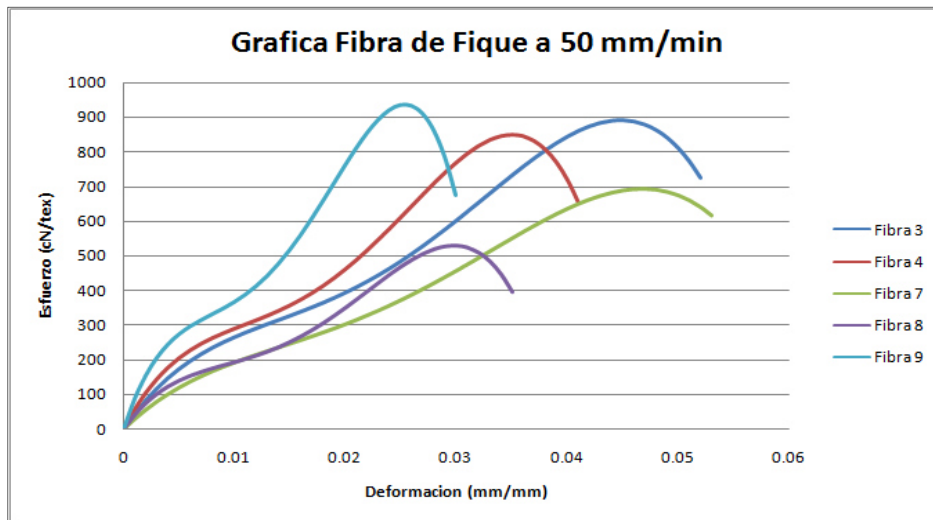


Figura 20: Esfuerzo vs. Deformación del fique ensayado a 50 mm/min



Ensayos de tensión en las telas de fique:

Las tablas 7 y 8 muestran los resultados obtenidos de éste ensayo realizado a la tela de fique a diferentes velocidades (1mm/min y 50 mm/min).

**Artículo de Monografía para optar al título de Ingeniero Mecánico
Universidad Autónoma Del Caribe. Barranquilla, 2014**

Tabla 7: Resultados de ensayos de tensión a la tela de fique a 1 mm/min

ENSAYO DE TENSIÓN A TELA DE FIQUE A 1 mm/min	
PROBETA #	CARGA MÁXIMA (N)
	PROMEDIO
1	98,15
2	77,75
3	45,64
4	12,6
PROMEDIO	58,53
DESVIACION	37,48

Tabla 8: Resultados de ensayos de tensión a la tela de fique a 50 mm/min

ENSAYO DE TENSIÓN A TELA DE FIQUE A 50 mm/min	
PROBETA #	CARGA MÁXIMA (N)
	PROMEDIO
5	121,98
6	111,32
7	69,72
8	85,03
PROMEDIO	97,01
DESVIACION	23,92

Caracterización de la resina:

Los componentes para cada mezcla se encuentran relacionados en la tabla 9:

Tabla 9: Componentes para las mezclas en el primer ensayo

PRIMER ENSAYO DE MEZCLAS			
MEZCLA #	Resina (g)	Catalizador (g)	Thinner (g)
1	100	1,61	0
2	100	3,22	0
3	100	4,83	0
4	100	3,22	10
5	100	3,22	25
6	100	2,415	5
7	100	2,415	10
8	100	2,415	15
9	100	3,22	5
10	100	3,22	15
11	100	4,025	5
12	100	4,025	10
13	100	4,025	15

**Artículo de Monografía para optar al título de Ingeniero Mecánico
Universidad Autónoma Del Caribe. Barranquilla, 2014**

La masa del catalizador fue calculada a partir de su densidad a temperatura ambiente (805 kg/m^3) y del volumen medido para experimentación (en cm^3).

La proporción (en porcentaje) de los componentes en las primeras mezclas fundidas se muestra en la tabla 10:

Tabla 10: Porcentajes de composición de mezclas

PORCENTAJE (%) COMPOSICIÓN MEZCLAS			
MEZCLA #	% Resina	% Catalizador	% Thinner
1	98,4	1,6	0
2	96,9	3,1	0
3	95,4	4,6	0
4	88,3	2,8	8,8
5	78	2,5	19,5
6	93,1	2,3	4,7
7	89	2,2	8,9
8	85,2	2,1	12,8
9	92,4	3	4,6
10	84,6	2,7	12,7
11	91,7	3,7	4,6
12	87,7	3,5	8,8
13	84	3,4	12,6

De las anteriores mezclas, la número 9 experimentó un secado instantáneo; pero la mezcla número 5 fracturó durante el proceso de curado. Estas mezclas se caracterizaron, en términos generales, por reaccionar exotérmicamente, es decir, generaron calor durante el curado.

Por lo tanto, se decidió descartar la mezcla número 5, debido a su excesiva cantidad de diluyente, el cual originó su fractura durante el curado.

Así pues, se continuó con el proceso de fundición de mezclas, esta vez duplicando los valores de cada componente y eliminando la mezcla ya mencionada. Las nuevas mezclas a estudiar y analizar, junto con sus componentes para un segundo ensayo se encuentran relacionadas en la tabla 11:

Tabla 11: Segundo ensayo de mezclas

SEGUNDO ENSAYO DE MEZCLAS			
Mezcla #	Resina (g)	Catalizador (g)	Thinner (g)
1	200	4	0
2	200	8	0
3	200	12	0
4	200	8	20
5	200	6	10
6	200	6	20
7	200	6	30
8	200	8	10
9	200	8	30
10	200	10	10
11	200	10	20
12	200	10	30

**Artículo de Monografía para optar al título de Ingeniero Mecánico
Universidad Autónoma Del Caribe. Barranquilla, 2014**

Y sus respectivos porcentajes de proporción los cuales se pueden visualizar en la tabla 12.

Tabla 12: Porcentajes de las mezclas finales

SEGUNDO ENSAYO DE MEZCLAS			
MEZCLA #	% Resina	% Catalizador	% Thinner
1	98,4	1,6	0
2	96,9	3,1	0
3	95,4	4,6	0
4	88,3	2,8	8,8
5	93,1	2,3	4,7
6	89	2,2	8,9
7	85,2	2,1	12,8
8	92,4	3	4,6
9	84,6	2,7	12,7
10	91,7	3,7	4,6
11	87,7	3,5	8,8
12	84	3,4	12,6

Ensayo de tensión en las resinas:

Los resultados obtenidos de los ensayos se encuentran en la tabla 13:

Tabla 13: Resultados de tensión en la resina

MEZCLA	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)		DEFORMACIÓN (mm/mm)		MÓDULO ELÁSTICO (MPa)	
	Promedio	Desviacion Estandar	Promedio	Desviacion Estandar	Promedio	Desviacion Estandar
1	41,739	8,814	0,028	0,007	892,540	88,666
2	43,000	2,993	0,041	0,008	719,783	39,846
3	27,539	4,135	0,063	0,015	431,314	133,842
4	6,034	0,893	0,020	0,004	69,984	6,419
5	9,019	4,365	0,024	0,010	408,876	195,991
6	5,688	0,716	0,122	0,014	59,919	8,454
7	4,144	0,503	0,039	0,003	126,931	12,560
8	10,631	1,201	0,100	0,030	221,513	96,088
9	2,949	0,362	0,083	0,010	34,284	2,251
10	7,754	4,762	0,091	0,014	196,830	50,526
11	5,662	0,935	0,107	0,015	57,290	9,324
12	2,973	0,599	0,082	0,005	31,245	6,894

De los anteriores resultados, se destacan los valores obtenidos para la mezcla 8, cuyo esfuerzo máximo a la tensión es de $10,631 \pm 1,201$ MPa, una deformación de $0,1 \pm 0,03$ mm/mm y un módulo elástico de $221,5 \pm 96,09$ MPa.

**Artículo de Monografía para optar al título de Ingeniero Mecánico
Universidad Autónoma Del Caribe. Barranquilla, 2014**

Ensayo de flexión en las resinas:

De los cálculos realizados, los valores de los esfuerzos de rotura, la deformación y el módulo elástico de la resina en flexión, se muestran en la tabla 14 para las diferentes resinas ensayadas:

Tabla 14: Resultados de flexión de resinas

MEZCLA	ESFUERZO FLEXION DE ROTURA (Mpa)		DEFORMACIÓN EN FLEXIÓN (mm/mm)		MODULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	
	Promedio	Desviación estandar	Promedio	Desviación Estandar	Promedio	Desviación Estandar
1	110,67	31,51	0,02	0,00	652,528,15	207,961,34
2	80,03	23,97	0,02	0,01	330,623,54	66,511,25
3	56,94	22,46	0,03	0,02	143,001,43	77,337,85
4	22,74	7,82	0,06	0,01	31,511,19	10,856,03
5	39,24	10,39	0,07	0,02	50,846,49	14,991,79
6	21,98	18,55	0,09	0,02	14,866,06	8,167,20
7	12,14	8,71	0,09	0,03	11,015,89	9,720,08
8	23,82	5,65	0,05	0,02	50,149,38	21,036,44
9	18,41	8,65	0,07	0,01	26,580,89	12,573,40
10	26,69	5,81	0,09	0,03	25,577,02	1,427,35
11	16,78	6,66	0,07	0,02	16,360,69	5,267,00

De los anteriores resultados, se destacan las mezclas 5 y 8, pues tienen valores muy satisfactorios en cuanto a los esfuerzos a flexión que pueden llegar a soportar hasta su rotura ($39,24 \pm 10,39$ MPa y $23,82 \pm 5,65$ MPa, respectivamente), además de la poca deformación ($0,07 \pm 0,02$ mm/mm y $0,05 \pm 0,02$ mm/mm, respectivamente) y un alto módulo de elasticidad a la flexión ($50,86 \pm 15$ MPa y $50,15 \pm 21,04$ MPa, respectivamente). No obstante, si se compara dicho par de mezclas, debe catalogarse como la mejor aquella cuyo esfuerzo de rotura por flexión sea mayor y cuya deformación sea menor. Tal es el caso de la mezcla número 5.

Ensayo de impacto en las resinas:

La energía absorbida por las probetas fue calculada y, posteriormente, tabulada a partir de los valores que el ensayo de impacto entregaba (ángulo obtenido, energía residual, altura total, peso del martillo, entre otros).

Los valores promediados de las 5 probetas para cada una de las 12 mezclas de resina se encuentran en la tabla 15:

**Artículo de Monografía para optar al título de Ingeniero Mecánico
Universidad Autónoma Del Caribe. Barranquilla, 2014**

Tabla 15: Resultados impacto de la resina

MEZCLA	ENERGIA DE IMPACTO (J)	
	PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR
1	0,65	0,52
2	1,02	0,40
3	0,96	0,52
4	0,60	0,12
5	1,25	0,55
6	0,72	0,17
7	0,60	0,12
8	0,60	0,12
9	0,73	0,28
10	1,62	0,76
11	1,05	0,42
12	0,93	0,32

Los anteriores resultados muestran una cierta cercanía entre sí, indicando así que el margen de error es bajo, sin embargo se destaca el mayor valor de energía absorbida, la cual le corresponde a la mezcla 10 (1.62 ± 0.76 J).

Screening de las mezclas:

Después de haber realizado todos los anteriores ensayos y someter los resultados al proceso de *Screening*, se procedió a evaluar, mediante el software Statgraphics, la influencia de los factores controlables (catalizador y thinner) en las 9 diferentes mezclas. Para ello, se variaron los dos factores mencionados en diferentes niveles – como puede verse en la tabla 16 del *Screening* – de bajo a alto contenido en intervalos de -1 a 1. Es decir, que para el catalizador, los números correspondientes a su contenido de 10g, 20g y 30g, fueron -1, 0 y 1, respectivamente. De igual forma, para el contenido de catalizador, cuyas cantidades (en centímetros cúbicos) de 6 cc, 8 cc y 10 cc, correspondían los valores de -1, 0 y 1, respectivamente.

Tabla 16: Screening de las mezclas

		Cantidad de Catalizador (cc)				
		4	6	8	10	12
Cantidad de Thinner (g)	0	1	2			3
	10		5	8	10	
	20		6	4	11	
	30		7	9	12	
	50					

**Artículo de Monografía para optar al título de Ingeniero Mecánico
Universidad Autónoma Del Caribe. Barranquilla, 2014**

Caracterización del material compuesto:

De los resultados obtenidos de los tres tipos de ensayos (flexión, tensión e impacto) en las mezclas, se seleccionaron dos mezclas cuyas propiedades analizadas fueron las mejores en cada ensayo. Tal es el caso de la número 8, cuyos valores calculados para esfuerzos máximos, deformación y módulo elástico (todos en tensión) fueron superiores. Por su parte, la mezcla número 5 tuvo resultados satisfactorios en el ensayo de flexión (además de la número 8), donde también se calcularon las magnitudes del esfuerzo máximo de flexión en rotura, deformación en flexión y su módulo de elasticidad. Por consiguiente, se eligieron estas dos mezclas para realizar los materiales compuestos junto con tejidos de fibra de fique con el fin de ser sometidas a un tercer ensayo. Así mismo, se decidió estudiar un valor intermedio entre estas dos mezclas, cuyos contenidos de catalizador fueron de 6 cc y 8 cc, respectivamente, y de 10 g de thinner para ambas mezclas; es decir, que se decidió estudiar la mezcla 13 cuyos contenidos son: 200 g de resina, 10 g de thinner y 7 cc de catalizador. El contenido de los compuestos a ensayar y analizar es mostrado en las tablas 17 y 18:

Tabla 17: Contenido de los materiales compuestos de fibra de fique en matriz de resina poliéster, en gramos.

TERCER ENSAYO: COMPONENTES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS			
Mezcla #	Resina (g)	Catalizador (g)	Thinner (g)
5	200	4,83	10
13	200	5,635	10
8	200	6,44	10

Y las proporciones de cada componente se muestran en la tabla 18:

Tabla 18: Contenido de los materiales compuestos de fibra de fique en matriz de resina poliéster, en proporciones.

TERCER ENSAYO: COMPONENTES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS			
Mezcla #	Resina (g)	Catalizador (g)	Thinner (g)
5	93,1	2,2	4,7
13	92,7	2,6	4,6
8	92,4	3,0	4,6

En esta ocasión, otro factor controlable, además del diluyente y el catalizador, es el número de capas de tejido de fique para el proceso de curado, el cual varía en tres niveles (entre 3 y 5 capas del mismo). De este proceso se obtuvieron 54 probetas, distribuidas de la siguiente forma:

- Mezcla 5 y 3 capas.
- Mezcla 8 y 3 capas.
- Mezcla 13 y 3 capas.
- Mezcla 5 y 4 capas.
- Mezcla 8 y 4 capas.
- Mezcla 13 y 4 capas.
- Mezcla 5 y 5 capas.
- Mezcla 8 y 5 capas.
- Mezcla 13 y 5 capas.

**Artículo de Monografía para optar al título de Ingeniero Mecánico
Universidad Autónoma Del Caribe. Barranquilla, 2014**

Para la clasificación presentada, se hicieron 3 probetas para ensayo de tensión y 3 probetas para los ensayos de flexión e impacto, cortadas a la medida indicada por las normativas correspondientes; para un total de 54 probetas del material compuesto.

Ensayos de tensión en el material compuesto:

La tabla 19 contiene los resultados de los ensayos de tensión para el material compuesto:

Tabla 19: Resultados tensión para material compuesto

RESULTADOS TENSION PARA COMPUESTOS (FIQUE EN MATRIZ DE RESINA POLIESTER)						
MEZCLA	Esfuerzo Maximo (Mpa)		Deformacion (mm/mm)		Modulo Elastico (Mpa)	
	Promedio	Desviacion Estandar	Promedio	Desviacion Estandar	Promedio	Desviacion Estandar
5 y 3 Capas	13,528	2,734	0,042	0,015	351,210	85,858
5 y 4 Capas	19,625	1,802	0,055	0,010	218,932	79,700
5 y 5 Capas	14,646	3,164	0,075	0,007	116,925	15,964
8 y 3 Capas	18,778	0,385	0,055	0,000	330,071	9,547
8 y 4 Capas	22,979	1,136	0,066	0,006	207,184	36,404
8 y 5 Capas	15,979	1,898	0,066	0,005	166,710	43,831
13 y 3 Capas	14,063	3,117	0,047	0,003	281,370	73,327
13 y 4 Capas	24,896	2,797	0,067	0,010	278,277	65,131
13 y 5 Capas	15,208	1,688	0,067	0,013	147,267	32,237

De estos resultados, se destacan los valores de la mezcla 13 y 4 capas (92,7% de resina poliéster, 2,6% de catalizador y 4,6% de thinner), los cuales fueron: resistencia a la tensión de 24,9 MPa, deformación a la tensión de 0,067 mm/mm y un módulo elástico a la tensión de 278,3 MPa.

Ensayos de flexión en el material compuesto:

En la tabla 20 se muestran los resultados obtenidos de los ensayos de flexión realizados a los compuestos de fibra de fique en matriz de resina de poliéster:

Tabla 20: Resultados de flexión para material compuesto

RESULTADOS FLEXION PARA COMPUESTOS (FIQUE EN MATRIZ DE RESINA POLIESTER)						
MEZCLA	Esfuerzo Maximo (Mpa)		Deformacion (mm/mm)		Modulo Elastico (Mpa)	
	Promedio	Desviacion Estandar	Promedio	Desviacion Estandar	Promedio	Desviación Estandar
5 y 3 Capas	47,07	14,03	0,06	0,01	1.480,25	167,85
5 y 4 Capas	75,70	3,17	0,15	0,04	1.472,43	712,05
5 y 5 Capas	43,30	-	0,06	-	1.315,19	-
8 y 3 Capas	28,42	4,90	0,07	0,01	851,76	155,50
8 y 4 Capas	71,41	2,70	0,16	0,06	1.909,40	300,28
8 y 5 Capas	53,17	10,35	0,14	0,04	1.561,35	254,04
13 y 3 Capas	54,68	33,68	0,11	0,04	1.286,88	314,34
13 y 4 Capas	66,75	3,58	0,13	0,01	1.898,61	106,51
13 y 5 Capas	48,70	1,55	0,12	0,02	1.741,05	241,30

**Artículo de Monografía para optar al título de Ingeniero Mecánico
Universidad Autónoma Del Caribe. Barranquilla, 2014**

De los resultados obtenidos, se destaca el material compuesto de la mezcla 5 y 3 capas de fique, ya que si bien no presentó el esfuerzo máximo más alto ($47,07 \pm 14,03$ MPa), obtuvo la menor deformación por flexión ($0,06 \pm 0,01$ mm/mm) y el módulo de elasticidad a la flexión más alto ($1480,25 \pm 167,85$ MPa) en comparación con los demás promedios.

De las probetas analizadas, la tercera correspondiente a la mezcla 1 de 3 capas, presentó un defecto al momento del secado de la mezcla con la fibra de fique, lo cual indica que las capas de la tela de fique se distribuyeron de forma inadecuada en la matriz de resina, como puede verse en las figuras 32 y 33:

Ensayo de impacto en el material compuesto:

En la tabla 21 se evidencian los valores de la energía de impacto absorbida por las probetas, cuyos valores fueron calculados y, posteriormente, tabulados a partir de los parámetros que el ensayo de impacto entregaba (ángulo obtenido, energía residual, altura total, peso del martillo, entre otros). Los valores promediados de las nueve probetas de material compuesto (con 3, 4 y 5 capas de fique) para cada una de las 3 mezclas de resina seleccionadas, a partir de los buenos resultados obtenidos en las pruebas mecánicas, pueden visualizarse en la tabla 21.

Tabla 21: Resultados de ensayos de impacto a materiales compuestos.

MEZCLA	ENERGIA DE IMPACTO (J)	
	PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR
5 y 3 Capas	3,17	2,65
5 y 4 Capas	8,90	1,23
5 y 5 Capas	8,38	3,35
8 y 3 Capas	4,24	1,35
8 y 4 Capas	8,82	2,60
8 y 5 Capas	8,10	0,60
13 y 3 Capas	3,25	0,09
13 y 4 Capas	8,37	1,28
13 y 5 Capas	6,84	1,55

Donde se destaca nuevamente el material compuesto de 4 capas de fique y la mezcla número 5, cuya energía absorbida fue mayor que las demás ($8,9 \pm 1,23$ J).

Comparación de propiedades mecánicas del material compuesto de fibra de fique con matriz de resina poliéster y materiales compuestos de fibras sintéticas (vidrio y carbono):

Los datos de materiales compuestos de fibras sintéticas anteriormente comparados corresponden, primeramente, a (compuestos de vidrio + poliéster AROPOL FS6902 y compuestos de carbono + epoxi 8552 sometidos a pruebas de tensión e impacto); mientras que se evaluaron compuestos de fibra de vidrio y matriz de poliéster a flexión. Realizando una comparación entre los resultados obtenidos del material compuesto de fibra de fique con una matriz de resina poliéster con los resultados de la tabla 22, se tiene que las propiedades de las fibras sintéticas son mínimo 15 veces mayor (en el caso del vidrio a tensión), sin embargo, no se deben descartar las propiedades del fique como refuerzo del material compuesto con matriz de resina poliéster, ya que obtuvo aceptables resultados, que sirven para mitigar el uso de las fibras sintéticas y desarrollar investigaciones posteriores.

**Artículo de Monografía para optar al título de Ingeniero Mecánico
Universidad Autónoma Del Caribe. Barranquilla, 2014**

Tabla 22: Tabla comparativa de materiales compuestos de fibra natural (fique) y fibras sintéticas.

Material Compuesto	Resistencia a Tensión (MPa)	Módulo Elástico a Tensión (MPa)	Deformación a Tensión (mm/mm)	Resistencia a Flexión (MPa)	Módulo Elástico a Flexión (MPa)	Energía de Impacto (J)
Fique + Poliéster	24,9	278,3	0,067	47,07	1480,25	8,9
Vidrio + Poliéster	367	10130	0,036	278,4*	11350*	47
Carbono + Epoxi	620	42990	0,015	-	-	96,1

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De los ensayos realizados a las mezclas de resina, thinner y catalizador, se apreciaron detalles tales como el secado instantáneo en la mezcla 9; mientras que con la excesiva adición de thinner, las mezclas 1, 3 y 5, por ejemplo, sufrieron agrietamientos y burbujas durante el curado. También, la ausencia de thinner hacía ver las probetas muy opacas, mientras que aquellas que contenían cierta cantidad no excesiva de diluyente (10 gramos, como mínimo), tenían mejor presentación y se veían traslúcidas.
- A partir de los resultados del ensayo de impacto de materiales compuestos, se pudo apreciar que los compuestos con 4 capas de fique y los 3 diferentes tipos de mezcla utilizados, fueron los mejores, ya que presentaron mayores valores de energía absorbida al impacto ($8,90 \pm 1,23$ J, $8,82 \pm 2,60$ J y $8,37 \pm 1,28$ J para las mezclas 5, 8 y 13, respectivamente). Por esta razón, haciendo una comparación entre los 3 valores más altos de energía absorbida al impacto, el compuesto que mejor desempeño tiene es el correspondiente a la mezcla 5 con 4 capas de fibra de fique. No obstante, los materiales compuestos de fibra de fique en matriz de resina poliéster no presentan buenos resultados a tensión, a diferencia de su comportamiento a impacto y flexión, por lo que no sería adecuado aplicar dichos materiales en implementos que sean sometidos a cargas a tensión o compresión.
- El material compuesto que mejores propiedades mecánicas posee (flexión e impacto, principalmente) corresponde al que contiene, en su mezcla, 93% de resina poliéster, 2% de catalizador y 5% de diluyente; además de cuatro capas de fibra de fique.
- El refuerzo de fibra de fique en la resina poliéster incrementa la resistencia al impacto, logrando aumentar hasta 5 veces la energía absorbida con la adición de mayor número de capas de fibra de fique.
- Los resultados muestran que la fibra de fique puede sustituir a la fibra de vidrio en materiales compuestos de matriz poliéster siempre que la aplicación esté sometida a cargas de impacto y cuya capacidad de operación no supere la quinta parte del compuesto fabricado con fibra de vidrio.
- Debe tenerse especial cuidado en el proceso de curado, pues al no incluirse thinner en el procedimiento, se corre el riesgo de que las probetas sufran agrietamientos, burbujas y roturas.
- Con el fin de evitar defectos en el momento del secado de las mezclas con la fibra de fique, debe tenerse en cuenta la distribución de las capas de fique de manera adecuada.

**Artículo de Monografía para optar al título de Ingeniero Mecánico
Universidad Autónoma Del Caribe. Barranquilla, 2014**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEBOLD B. Van Dalen y MEYER, William J. "Manual de técnica de la investigación educacional". Editorial Paidós, 1983.

MENDOZA, Ricardo. "Análisis comparativo de las propiedades termo-mecánicas entre plásticos sintéticos y biodegradables" *Evento: III CONGRESO INTERNACIONAL DE MATERIALES, ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE Ponencia: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES TERMO-MECÁNICAS ENTRE PLÁSTICOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES Libro: Memorias Del Tercer Congreso Internacional De Materiales, Energía Y Medio Ambiente, Universidad Autónoma del Caribe, p. - , v. <, fasc. Colombia, 2011.*

MIRAVETE, Antonio. *Materiales Compuestos I*. Editorial Reverté: Barcelona, España, 2003.

MONTGOMERY, Douglas. *Diseño y análisis de experimentos* 2da. Edición. Editorial Limusa Wiley: México, 2006.

RAMIREZ RODRIGUEZ, Fernando y ESTRADA MEJIA, Martin "Bambú y materiales compuestos". Editorial Académica Española (eae) *ISBN: 978-3-8473-6991-2*. España, 2012

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

ALVARADO, Patricia, QUESADA, Karol, SIBAJA, Rosario y VEGA, José. Utilización de las fibras del rastrojo de piña como material de refuerzo en resinas de poliéster. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica/Universidad de Alicante, España. Costa Rica/España. 2005. Disponible en: <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/JUN05/quesada.pdf>

BARRERA, Mauricio, HIDALGO, Miguel y MINA, José. *Compuestos laminados de matriz polimérica reforzados con fibras naturales: Comportamiento mecánico*. *Scientia et Technica* Año XVII, No 51. Universidad Autónoma de Occidente y Universidad del Valle, Colombia. Cali, Colombia. 2012. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84923910008>

ESTRADA MEJÍA, Martin. *Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (Guadua angustifolia) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos*. Universidad de Los Andes: Bogotá, 2010. Recuperado el día 23 de noviembre de 2012 en: http://www.docentes.unal.edu.co/mestradam/docs/tesisMEM_maestria.pdf

GARCÍA CASTILLO, Shirley Kalamis. *Análisis de laminados de materiales compuestos con precarga en su plano y sometidos a impacto*. Universidad Carlos III de Madrid. España. 2007. Disponible en: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/2368/6/Tesis_Garcia_Castillo.pdf

**Artículo de Monografía para optar al título de Ingeniero Mecánico
Universidad Autónoma Del Caribe. Barranquilla, 2014**

GÓMEZ, José Santiago. Diseño de un material compuesto con fibra natural para sustituir la utilización de la fibra de vidrio. Proyecto de Grado de la Universidad de EAFIT, 2009. Medellín, Colombia. Recuperado el día 3 de mayo de 2014, disponible en: <http://repository.eafit.edu.co/handle/10784/297>

LUCENA, María, SUÁREZ, Alejandro y ZAMUDIO, Ivonne. Desarrollo de un material compuesto a base de fibras de bambú para aplicaciones aeronáuticas. Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales 2009; S1 (3): 1107-1114. Universidad de San Buenaventura, Colombia. Bogotá, Colombia. 2009. Disponible en: <http://www.rlmm.org/archives.php?f=/archivos/S01/N3/RLMMArt-09S01N3-p1107.pdf>

PARRA, Diego y SÁNCHEZ, Miguel. Desarrollo material polimérico reforzado con fibras naturales. Universidad EAN. Bogotá, Colombia. 2012. Disponible en: <http://repository.ean.edu.co/bitstream/10882/2903/6/ParraDiego2012.pdf>

POVEDA MARTÍNEZ, Santiago. "Materiales Compuestos" Recuperado el día 28 de Abril de 2012 en: http://ocw.upm.es/expresion-grafica-en-la-ingenieria/ingenieria-grafica-metodologias-de-diseno-para-proyectos/Teoria/LECTURA_COMPLEMENTARIA/MATERIALES/materialescompuestos.pdf

QUINTERO GARCÍA, Sandra Liliana y GONZÁLEZ SALCEDO, Luis Octavio. *Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto*. Universidad del Norte: Barranquilla, 2006. Recuperado el día 23 de noviembre de 2012 en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=85202010>

ROCHA, José, MENDOZA, Diana y AMÉZQUITA, Fernando. Comportamiento mecánico del poliuretano reforzado con fibras de yute y fibras de cascarilla de arroz. Universidad de Guanajuato, México. Disponible en: <http://quimica.ugto.mx/revista/11/POLIURETANO.htm>

RODRÍGUEZ, Exequiel y VÁZQUEZ, Analía. *Propiedades mecánicas de materiales compuestos con fibras naturales obtenidos mediante la técnica de "VacumInfusion"*. Universidad de Mar del Plata: Argentina, 2003. Recuperado el día 20 de noviembre de 2012: <http://www.materialessam.org.ar/sitio/biblioteca/bariloche/Trabajos/A11/1111.PDF>

SALINAS, José. Caracterización de materiales compuestos a base de polímeros-fibra de bagazo de nopal por inyección. Universidad Nacional Autónoma de México. 2011. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1907/Tesis.pdf?sequence=1>

WIESMANN, Gerrit. *Suben precios de la fibra de carbono, material del futuro*. Diario El Universal, México, 2007. Recuperado el día 28 de abril de 2012 en: <http://www.eluniversal.com.mx/finanzas/index.html>