

# Ventajas del algodón frente al fique como refuerzo en compuestos poliméricos

## Cotton advantages against fique as reinforcement in polymeric composites

Pietroniro Quintero, Marian Josefina<sup>1\*</sup>; Bloem Irrazabal, Carlos Alaberto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dpto. Ciencias Térmicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería, ULA,

<sup>2</sup> Dpto. Tecnología y Diseño. Escuela de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería, ULA,

Mérida 5101, Venezuela

\*pietroniromarian@ula.ve

### Resumen

*Cada día se extiende más el desarrollo y el aprovechamiento de fibras naturales como una alternativa de refuerzo para la creación de nuevos materiales compuestos. Las propiedades de las fibras naturales han hecho de sus combinaciones con diversos polímeros una serie de materiales compuestos con características muy interesantes. Los materiales compuestos reforzados con fibras naturales representan una alternativa amigable con el ambiente, adicionalmente, el uso de bio-materiales reduce sustancialmente los costos de producción y a su vez mantienen las buenas características del producto a un nivel competitivo. Esta investigación se centra en la elaboración y caracterización de laminados generados por contacto a mano de poliéster reforzados con fibras de fique y tafetán de algodón; con la finalidad de estudiar su comportamiento mecánico y poder recomendar su empleo como refuerzo para aplicaciones artesanales. Los grupos estudiados, se sometieron a ensayos a tracción, obteniéndose una ligera mejor respuesta mecánica en los compuestos reforzados con algodón 40% mayor que los reforzados con fique, por lo tanto es un material viable para uso artesanal y/o industrial. También se determinaron características de conformado importantes para ser aplicadas en procesos de manufactura posteriores.*

**Palabras clave:** Compuesto, laminado, fibra natural, propiedades mecánicas.

### Abstract

*Every day the development and use of natural fibers is getting extended as an alternative of reinforcement for the fabrication of new composite materials. The properties of natural fibers have made a series of composite materials with very interesting characteristics due to their combinations with different polymers. Composite materials reinforced with natural fibers represent an environmentally friendly alternative, in addition, the use of bio-materials substantially reduces the costs of production and at the same time maintain the good characteristics of the product at a competitive level. This research is focused on the development and characterization of polyester reinforced with fibers of fique and cotton twill laminates done by hand contact to study the mechanical behavior and be able to recommend its use as a reinforcement for craft applications. The studied groups were subjected to tensile tests, resulting in a 40 percent better mechanical response in the compounds reinforced with cotton than the ones reinforced with fique. Therefore, it is a viable material for artisan and industrial use. Additionally, important manufacturing characteristics were identified to be applied in future manufacturing processes.*

**Key words:** Composite, laminates, natural fiber, mechanical properties.

### 1 Introducción

El enfoque de este proyecto es elaborar y caracterizar dos tipos de laminados uno de poliéster reforzado con fibras naturales de fique (*Furcraea bedinghausii*) de fácil acceso

en la región de los Andes y de uso relativamente extendido y con miras hacia la expansión tanto de producción como de empleo (Guía Ambiental del Subsector Fiquero 2006); y otro con tafetán de algodón material ya ampliamente manufacturado por la industria textilera, sin embargo poco empleado en el sector de materiales compuestos. Esto con la

finalidad de desarrollar materiales alternativos con características interesantes y de utilidad directa en la artesanía y en la industria. Dado que la región de los Andes (Venezuela) es una zona poco industrializada pero con un gran potencial para generar pequeñas industrias y desarrollos artesanales, se ve beneficiada con el estudio de materiales nuevos elaborados con componentes locales y de fácil acceso, los beneficios podrían abarcar desde los económicos hasta el desarrollo y planificación de tecnologías amigables con el ambiente (verdes).

El empleo del algodón y/o fique como materiales de refuerzo otorga a pequeñas y grandes empresas, así como también a los pequeños artesanos un material más liviano, económico, biodegradable, sencillo de conformar, con tratamiento nulo para su procesado (tal como se plantea el estudio en este proyecto) y de fácil adquisición; del cual podrían obtener buenas producciones con altos beneficios; con miras hacia el desarrollo de nuevas y mejores alternativas de procesos de fabricación.

## 2 Fundamentos teóricos

Un material compuesto es un material estructural conformado por la combinación de dos o más elementos base insolubles entre sí (matriz y refuerzo), los cuales pueden ser de modo macroscópico o microscópico (Peters 1998, Smith 2004), para que con su unión o mezcla se obtiene otro material cuyas propiedades supere en al menos alguna de las características las de sus componentes originales, "propiedades efectivas" (Herakovich 1998, Peters 1998, Shackelford 2005, Christensen 2009, Barrera y col., 2012).

Los compuestos poliméricos son los más estudiados y con mayores aplicaciones industriales, por el bajo costo de la materia prima, su gran capacidad de admitir refuerzos y su facilidad de conformado (Herakovich 1998, Amigó 2000, Shey 2002, Kruse y col., 2002, Christensen 2009, Salvador y col., 2009).

Los refuerzos en forma de fibra debido a su geometría de diámetro reducido favorecen en la ausencia de defectos en los enlaces químicos que conforman la fibra (Pan 1993, González 2006).

La caracterización de fibras cortas o fibras largas se puede definir en función de la distribución de los esfuerzos cortantes a lo largo de la longitud de la fibra y viene definido por la (ec. 1) (González 2006). En el caso de las fibras largas (característica de este trabajo), es necesario determinar su longitud mínima, la cual se define como la longitud más pequeña que podría tener una fibra, para que esta soporte adecuadamente las solicitudes de trabajo (ec. 1) y de esta manera garantizar que las fibras que se empleen cumplan con la función de refuerzo esperado.

$$L_c = \frac{\sigma_f \cdot d}{2\tau_{OM}} \quad (1)$$

Dónde:

$L_c$ , es la longitud crítica

$\sigma_f$ , es el esfuerzo de fluencia de la fibra

$d$ , es el diámetro de la fibra

$\tau_{OM}$ , es el esfuerzo cortante de la matriz

Con el cálculo y determinación de la longitud de la fibra, se puede predecir el comportamiento macroscópico del material compuesto (Nabi 1999, Singleton 2003, Christensen 2009). Las fibras largas durante el conformado por lo general se orientan en una sola dirección, haciendo al material más resistente al aplicar una carga en esa dirección, (isotrópico); no obstante, el empleo de fibras cortas generalmente dispuestas aleatoriamente durante el conformado, genera orientaciones diversas del refuerzo, dando como resultado un material de comportamiento anisotrópico.

Entonces, tanto la longitud junto con la orientación van a definir decisivamente en el comportamiento futuro del material compuesto. La orientación aleatoria de las fibras le atribuye al material propiedades anisotrópicas (Herakovich 1998, Peters 1998, González 2006, Christensen 2009), de tal forma que de acuerdo a las condiciones de carga a aplicar se deben direccionar o distribuir las fibras durante el conformado (Pan 1993, Herakovich 1998, Peters 1998, Nabi 1999, Singleton 2003, Shackelford 2005, Christensen 2009, Barrera y col., 2012), una forma sencilla y muy frecuente de manejar las orientaciones es trabajar con tejidos, ya que sus fibras orientadas en ángulos definidos (por regla general 90°) le aportaran al material un comportamiento más homogéneo según sea la dirección de la carga.

En el tafetán los hilos están dispuestos de forma perpendicular ( $0 \pm 90^\circ$ ), y la trama es sucesiva por encima y por debajo de cada hilo (Segovia y col., 1996, Amigó 2000), este tipo de refuerzo es frecuentemente empleado en aplicaciones donde se requiere un material cuasi anisotrópico u ortotrópico.

Otro factor que influye en el comportamiento de los materiales compuestos es la adhesión fibra-matriz es sin lugar a dudas un factor decisivo en la selección del refuerzo y de la matriz. Un refuerzo que no presente adherencia con la matriz sería como tener un poro alargado en el cuerpo del material. La adhesión es importante ya que logra la integridad en la composición física del material, así como también logra que el esfuerzo se distribuya casi uniformemente sobre el refuerzo, y así permitir que cada parte cumpla su objetivo, matriz da forma y es el puente conductor para trasladar las cargas; y el refuerzo se encarga de soportar la mayoría de la carga, y según el tipo de refuerzo aportar otra característica especial al material. (Bledzki 1999, Joseph y col., 1999, Martínez y col., 2000, Mohanty y col., 2000, Herrera-Franco y col., 2004, Smith 2004, Luyt y col., 2005, Shackelford 2005, Choudhury 2008, Li 2008).

La cantidad de refuerzo también es un parámetro a considerar, ya que a mayor refuerzo, se asume mejor comportamiento (Herakovich 1998, Shey 2002, Smith 2004,

Shackelford 2005, Christensen 2009), pero ¿cuánto refuerzo puede soportar la matriz?, ¿mas es mejor?, ¿se logrará una mejor orientación, con más refuerzo?, la cantidad de masa de refuerzo afecta el cometido de las otras características; la interacción de estas cuatro características durante el conformado representan relaciones dependientes en el estudio de cualquier material compuesto, no obstante, el objetivo de este proyecto es determinar la viabilidad del empleo del algodón como una opción ante el fique en pequeñas y medianas industrias de índole artesanal.

El desarrollo experimental del trabajo se fundamenta en la generación de laminados por contacto a mano de materiales compuestos de poliéster (Amigó 2000, Verri 2006) reforzados con fibras (Herakovich 1998, Joseph 1999, Christensen 2009, Barrera y col., 2012), para una posterior caracterización mecánico-microestructural (Barrera y col., 2012) donde se obtendrán las recomendaciones finales para su posible implementación como un material de construcción, artesanal, industrial, e inclusive como competencia a materiales tradicionales en el ámbito del diseño industrial.

### 3 Metodología

Para la elaboración de las probetas, se diseñó y fabricó un molde desmontable en acero (Fig. 1), siguiendo la norma ASTM E-08-00b (Annual Book of American Standard for Testing Materials), dicha norma proporciona las dimensiones de las probetas a ensayar en tracción, con un espesor y ancho en la sección crítica no mayores a 3/8" y 1/2" respectivamente, las medidas de toda la probeta se observan en la tabla 1.

El proceso de manufactura consistiría en vaciar en el molde por contacto a mano cada uno de los grupos del estudio (fique y algodón). Se previó elaborar 7 probetas por grupo. El parámetro de refuerzo se estableció como una constante en el estudio, determinando que un aproximado de 7% en peso de refuerzo sería el valor adecuado, el cual se obtiene de observaciones realizadas en la manera de como elaboran piezas algunos artesanos de la región.

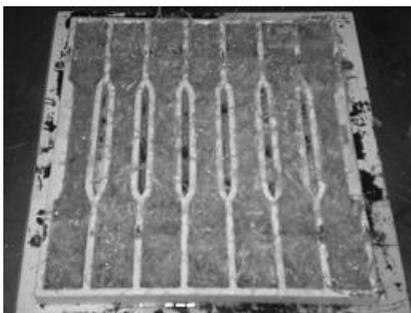


Fig.1. Molde empleado para elaboración de probetas

Tabla 1. Características geométricas de la probeta

PROBETAS RECTANGULARES PARA PRUEBAS DE TRACCIÓN	Parámetro	Probetas estándar	
		B	
		Tipo hoja (1/2")	
		pulg.	mm
Longitud Calibrada	G	2	50,8
Ancho	W	0,5	12,7
Espesor	T	3/8	
Radio de Curvatura	R	0,5	12,7
Longitud Total	L	8	203,2
Long. Min. de la sección reducida	A	2,25	57,15
Longitud de las mordazas	B	2	50,8
Ancho aprox. de las mordazas	C	0,75	19,05

Para obtener las fibras de fique, se adquirió una madeja de driza de 3mm de Ø el cual mediante un desenroscado en seco del cordón, se empleó este proceso, pues éste sería la metodología más sencilla y lo que eventualmente harán los artesanos. Los filamentos obtenidos luego del desenroscado se emplearon en la elaboración de las probetas. La finalidad del desenroscado cumplirá dos objetivos el primero para alinear las fibras en un sentido longitudinal y el segundo para permitir un correcto impregnado de la resina en el refuerzo.

Para la obtención del refuerzo de algodón, el tafetán se cortó siguiendo una de las direcciones de éste, alineado paralelamente al eje longitudinal de la probeta, siguiendo el perfil o contorno de la misma.

#### 3.1 Materiales

Resina: Poliéster. Propiedades mecánicas (según fabricante) en la tabla 2.

Catalizador: Peróxido de Metiletilcetona

Fique: Cordones de fibras largas de 20.3 cm de longitud. Propiedades mecánicas en la tabla 2.

Algodón: Tafetán cortado de 1.2x20.3 cm. Propiedades mecánicas en la tabla 2.

0,43KN0,19 0,43 041 0,210,28

0,29 0,36 0,3 0,26 029

Tabla 2. Características de los materiales empleados

Material	$\sigma_t$ (MPa)	Long (cm)	% masa
Resina	40-85	-	
Fique	$\pm 238$	20.3	7.14
Algodón	260-654	20.3	7

Fuente: Joseph, 1999. Llorens y col. 2009

### 3.2 Manufactura

La fabricación de las probetas correspondientes a los dos grupos en estudio (fique y algodón) consistió primero en ensamblar el molde previa inspección que todo estuviese de acuerdo a las especificaciones, posteriormente se aplicó un desmoldante sobre toda la superficie del molde; luego se ubicó el refuerzo (fibras o tafetán) en el molde de forma longitudinal, como ya se mencionó el porcentaje en peso de refuerzo en ambos casos es de  $7\% \pm 0,15\%$ . Se preparó la cantidad de resina requerida, con su correspondiente volumen de catalizador, para cada condición y esta se vertió poco a poco en el molde, mientras se aseguraba un correcto impregnado de la resina en las fibras (Bledzki 1999, Joseph y col., 1999, Martínez y col., 2000, Mohanty y col., 2000, Herrera-Franco y col., 2004, Luyt y col., 2005, Choudhury 2008, Li 2008). Una vez rellenas todas las cavidades con su correspondiente refuerzo y resina, y revisando que no haya fuga de resina durante el fraguado, éstas se dejaron curar a temperatura ambiente  $\approx 22^\circ\text{C}$  por un lapso de 24 horas. Transcurrido este tiempo se procedió al desmolde. Las probetas desmoldadas se sometieron a un proceso abrasivo para eliminar las pequeñas rebabas y aristas agudas. Finalmente estas se adecuaron según lo establece la norma ASTM D3039D/D3039DM-00 (Annual Book of American Standard for Testing Materials) para ensayos de tracción de probetas de compuesto de matriz polimérica, instalándole mediante pegamento epóxico sendas láminas de aluminio en los extremos de cada probeta. De esta manera las láminas servirán de interfase entre las mordazas y la probeta, disminuyendo los esfuerzos producidos por las muescas de agarre de las mordazas evitando que se deslicen durante el ensayo de tracción.

### 3.3 Ensayos

Los ensayos se realizaron en una maquina universal de ensayos hidráulica MTS con mordazas manuales, siguiendo las pautas establecidas en la norma ASTM D3039D/D3039M-00 para ensayos de tracción de probetas de materiales compuestos de matriz polimérica. Los ensayos se realizaron a temperatura ambiente ( $22^\circ\text{C}$ ) a velocidad constante del carro de  $0,033\text{mm/seg}$ . La data se recogió y se manejó con un programa de hojas de cálculo para la obtención de las características mecánicas del material ensayado.

## 4 Resultados

Luego de ensayadas las probetas a tracción según la norma ASTM D3039D/D3039M-00, los datos se procesaron y se adquirieron los valores referentes a resistencia a la tracción y módulo de elasticidad. Se calcularon los promedios de los grupos, obteniendo los resultados que se presentan en la fig. 2. En esta gráfica se puede apreciar que los

materiales reforzados con algodón poseen una resistencia a la tracción de  $24,86\text{ MPa}$  con una desviación de  $\pm 4,2\text{ MPa}$  mientras que los reforzados con fique tienen una resistencia a la tracción de  $17,7\text{ MPa}$  y una desviación de  $\pm 5,1\text{ MPa}$ .

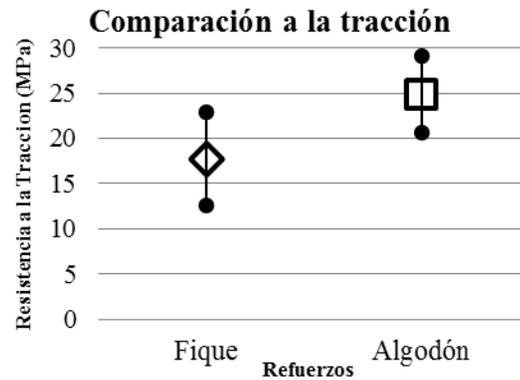


Fig. 2. Grafica de valores promedios de esfuerzo.

Como se puede apreciar de la gráfica, las probetas reforzadas con tafetán de algodón presentan una resistencia  $40,45\%$  superior a las reforzadas con fique.

Analizando las micrografías mediante microscopía óptica (MO) realizadas a las fracturas, se puede intuir, tal como se observa en la (fig. 3.a) que a pesar que la driza fue cuidadosamente desenrollada, esta de una manera u otra logra reagruparse durante el moldeo, esto puede ser la respuesta del por qué tanta dispersión en los valores de resistencia mecánica, casi un  $28,8\%$ , en los resultados del fique. Así mismo, observando las micrografías 3.a y 3.b se aprecia que la distribución de los refuerzos no fue homogénea, creando zonas muy densificadas de refuerzos y zonas con ausencia de los mismos. Este fenómeno, es también un causal de la aparente baja respuesta y la heterogeneidad en los resultados. Además, tal como se logra distinguir tanto en la fig. 3.a como en la 3.b la impregnación de la resina en la fibra fue algo deficiente. Todos estos aspectos de una manera u otra influyen decisivamente en la respuesta mecánica del material.



Fig. 3a. MO de probetas de fibras largas de fique

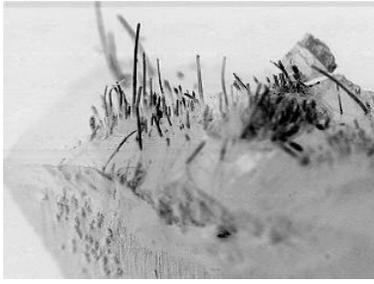


Fig.3b. MO de probetas de fibras largas de fique

En el caso de las micrografías de las fracturas de las probetas reforzadas con tafetán de algodón, fig 4.a y 4.b se puede visualizar de igual manera la falta de homogeneidad en la distribución del refuerzo, al igual que la falta de impregnación de la matriz en el refuerzo (fig. 4.b) los cuales, son los responsables por un lado una menor resistencia mecánica y por el otro lado la dispersión de los resultados, que si bien en este caso es sustancialmente menor que en el caso del fique, lo cual sin lugar a dudas se debe al menor espesor del tafetán, por esta razón las probetas reforzadas con algodón presentan una dispersión de un 16,9% lo cual es sensiblemente menor que el presentado en el caso del fique. No obstante, tal como se aprecia comparando las figuras 3.a, 3.b, 4.a y 4.b se distingue que para el grupo de algodón la distribución del refuerzo fue más homogénea que en el caso del fique, de igual manera la impregnación del tejido se aprecia menos deficiente (fig. 4b), esto probablemente se deba a que el espesor del tafetán es menor y no presenta una maraña como el caso de los cordones de fique.

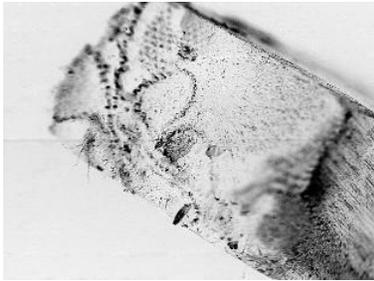


Fig. 4a. MO de probetas de tafetán de algodón

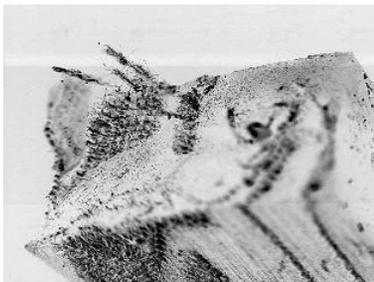


Fig. 4b. MO de probetas de tafetán de algodón

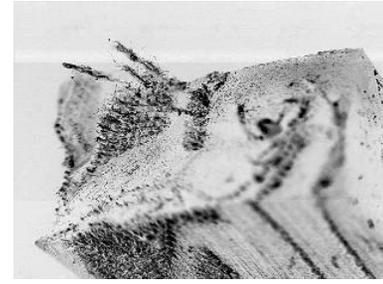


Fig. 4b. MO de probetas de tafetán de algodón

Con respecto al módulo de elasticidad (fig. 5), el compuesto reforzado con fique presentó un valor de 761,2 MPa y el reforzado con algodón de 837,7 MPa; el algodón nuevamente presenta el valor más alto (76,5 MPa por encima), no obstante solo es una diferencia del 10%, con respecto al módulo presentado en las muestras reforzadas con fique. Sin embargo, estudios realizados por Elsayed y colaboradores 2012, muestran resultados en materiales compuestos reforzados con fique muy superiores a los encontrados en este trabajo, es de hacer notar que ellos emplean un mayor porcentaje de refuerzo y técnicas diferentes a las planteadas en los objetivos de este proyecto. Estos valores nuevamente vienen a corroborar que la falta de homogeneidad de distribución del refuerzo y de la impregnación es la causa de estos resultados.

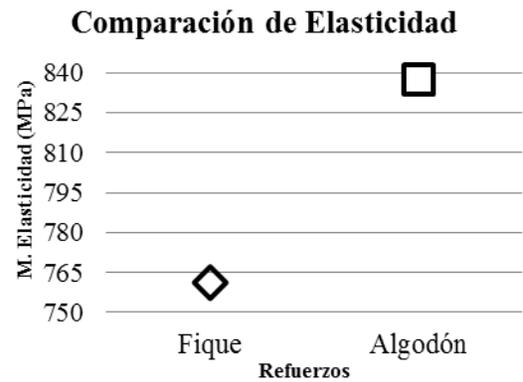


Fig. 5. Grafica de valores promedio de módulo de elasticidad

## 5 Conclusiones

Aunque los resultados no fueron las propiedades avanzadas que se esperaban; el empleo del algodón sobre el fique como material de refuerzo es altamente recomendable sobre todo para la industria artesanal. Y con la ejecución de este trabajo se logró comprobar la influencia de los aspectos del conformado de los materiales compuestos.

El empleo de fibras naturales le otorga al compuesto altas propiedades mecánicas; tanto el algodón como el fique, no obstante, el algodón presenta una sensible y mejor respuesta que las reforzadas con fique, además de brindar

un costo de producción bajo, aunado a que el proceso de manufactura es realmente sencillo.

En el grupo de fique el valor de la resistencia es bajo, pero al mismo tiempo se genera un material con módulo de elasticidad inferior al presentado por las reforzadas con algodón, sin embargo de magnitud aceptable para muchas aplicaciones de índole artesanal; por lo que se propondría su empleo para estructuras que soportarían pesos livianos y condiciones probables de deformación elástica de pequeñas a medias.

Es importante cuidar durante el proceso de manufactura la correcta apertura de cordones o el total deshilachado de los mismos para asegurar una impregnación adecuada, y tratar que la distribución sea la más homogénea posible, para que de esta manera se pueda obtener un material con un mejor comportamiento.

El grupo reforzado con algodón presenta una resistencia mecánica más elevada que las reforzadas con fique, un 40% mayor, y con un módulo de elasticidad más elevado un 10%. Como el tafetán de algodón es un material de fácil adquisición y tratamiento nulo, es por ello que es altamente recomendable como refuerzo en compuestos poliméricos al menos en actividades artesanales.

Un factor que debe considerarse a la hora de seleccionar el tafetán de algodón como refuerzo para trabajar con él, es conseguir uno de tejido más suelto (menos tramado) para lograr una impregnación óptima y no comprometer la interface; al parecer, según los resultados la distribución del refuerzo para este porcentaje en masa no es un valor muy influyente, sin embargo, se recomienda estudiar porcentajes mayores de refuerzo.

La importancia de este trabajo radica en la recomendación documentada para escoger un refuerzo de fibra natural (fique o algodón), así como en la identificación de factores indeseables en el proceso de fabricación, que directa o indirectamente comprometen las propiedades del material compuesto, además de la orientación e impregnación del refuerzo que condicionan altamente las propiedades finales, los cuales se lograron identificar como factores que modifican la respuesta mecánica. La distribución que como se apreció en una vista transversal de la pieza lo que implica que es necesario distribuir el refuerzo de manera uniforme para mejorar su respuesta.

Al trabajar con dos refuerzos de origen orgánico se hizo resaltante que el empleo de algodón es más fiable que la fibra de fique; aunque con los dos refuerzos se le aportan al material fiabilidad (capacidad de resistir cargas a pesar de haberse fracturado la matriz, depositando el resto de esfuerzo sobre el refuerzo y así otorgar tiempo para ser cambiado), pero con el tejido de algodón se obtienen mejores características, módulo de elasticidad elevado, y una resistencia a la tracción alta. Además que estas propiedades mecánicas no se ven influenciadas por tantos factores modificadores durante el proceso de manufactura como ocurre con la fibra de fique. Por lo que emplear algodón como refuerzo trae a la industria una baja inversión de capital en

cuanto a materia prima, con un nivel bajo de cuidado en su manufactura, para así obtener un material de propiedades mecánicas competitivas

## 6 Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Consejo de Desarrollo Científico Humanístico Tecnológico y Arte de la Universidad de Los Andes en Mérida (Venezuela), por el soporte financiero aportado a este proyecto bajo el código I-1207-09-02-D.

## Referencias

- Amigo V, Salvador M, Sahuquillo O, 2000, Aprovechamiento de residuos de fibras naturales como elementos de refuerzo de materiales poliméricos, Memorias: 5to. Congreso Internacional de fibras naturales con énfasis en materiales de construcción 17 al 19/11/2008. Ibarra, Ecuador. Annual Book of American Standard for Testing Materials. ASTM, 2001, USA.
- Barrera M, Hidalgo M, Mina J, 2012, compuestos laminados de matriz polimérica reforzados con fibras naturales: Comportamiento mecánico. Scientia et Technica Año XVIII, N°51, pp. 51-59.
- Bledzki AK, Gassan J, 1999, Composites reinforced with cellulose based fibers, Progress in Polymer Science, N° 24, pp. 221-274.
- Christensen RM, 2009, Mechanics of composite Materials, Dover Publications Inc, pp. 123-131.
- Choudhury A, 2008, Isothermal crystallization and mechanical behavior of ionomer treated sisal/HDPE composites, Materials Science and Engineering: A, N° 491, pp. 492 - 500.
- Doan TTL, Gao SL, Mäder E, 2006, Jute/polypropylene composites I. Effect of matrix modification, Composites Science and Technology, N° 66, pp. 952-963.
- Elsayed E, Mohamed A, Hiroyuki H, 2012, Mechanical Properties of Natural Jute Fabric/Jute Mat Fiber Reinforced Polymer Matrix Hybrid Composites, Advances in Mechanical Engineering, Volume 2012, Article ID 354547.
- Farias M, Farina M, Pezzin A, Silva K, 2008, Unsaturated polyester composites reinforced with fiber and powder of peach palm: Mechanical characterization and water absorption profile, Elsevier B. V, Brazil, s/p.
- Gañan P, y Mondragón I, 2002, Surface modification of fique fibers: effects on their physico-mechanical properties, Polymer Composites, Vol. 23. N° 3, España.
- González, J, 2006, Metalurgia Mecánica, Editorial Limusa, México, pp. 25-28.
- Herakovitch CT, 1998, Mechanics of fibrous composites, John Wiley & Sons, pp. 78-86.
- Herrera-Franco PJ, Valadez-González A, 2004, and Mechanical properties of continuous natural fiber-reinforced polymer composites, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, N° 35, pp. 339-345.

- Joseph PV, Joseph K, Thomas S, 1999, Effect of processing variables on the mechanical properties of sisal-fiber-reinforced polypropylene composites, *Composites Science and Technology*, N° 59, pp. 1625-1640.
- Kruse L, Lucas J, Aranguren M, 2002, Producción de materiales compuestos basados en polipropileno y fibras naturales, 4tas. Jornadas de Desarrollo e Innovación, s/p.
- Li Y, Hu Ch, Yu Y, 2008, Interfacial studies of sisal fiber reinforced high density polyethylene (HDPE) composites, *Composites: Part A*, N° 39, pp. 570-578.
- Luyt AS, Malunka ME, 2005, Composites of low-density polyethylene and short sisal fibers: the effect of wax addition and peroxide treatment on thermal properties, *Thermochimica Acta*, N° 426, pp. 101-107.
- Martínez LM, López Manchado M, Vázquez A, Arroyo M, 2000, Efecto de distintos tipos de fibra corta en las propiedades mecánicas de las mezclas de polipropileno/polietileno, En *Jornadas SAM 2000 - IV Coloquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga*, pp. 1017-1024.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006, *Guía Ambiental del Subsector Fiquero*. 2da. Edición. Panamericana Formas e Impresos. Bogotá, Colombia, pp. 37-50.
- Mohanty AK, Khan MA, Hinrichsen G, 2000, Influence of chemical surface modification on the properties of biodegradable jute fabrics—polyester amide composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, N° 31, pp. 143-150.
- Murali Mohan Rao K, Mohana Rao K, 2007, Extraction and tensile properties of natural fibers: Vakka, date and bamboo. *Composite Structures*, pp. 288-295.
- Nabi Saheb D, Jog JP, 1999, Natural fiber polymer composites: A review. *Advances in Polymer Technology*, N° 18, pp. 351-363.
- Paiva CZ, de Carvalho LH, Fonseca, VM Monteiro SN, d'Almeida, JRM, 2004, Analysis of the tensile strength of polyester/hybrid ramie-cotton fabric composites, *Polymer Testing*, N° 23, pp. 131-135.
- Pan N, 1993, Theoretical determination of the optimal fiber volume fraction and fiber-matrix property compatibility of short fiber composites, *Polymer Composites*, N° 14, pp. 85-93.
- Peters, ST, 1998, *Handbook of composites*, Chapman & Hall, Reino Unido, chap. 1, pp. 2-8, chap 2, pp. 1-30.
- Rope Case Study. Ropes and tethers are designed to support tensile loads; either stationary loads as for suspension bridge, or dynamic loads as falling rock climber. Se encuentra en <http://www-aterials.eng.cam.ac.uk/mpsite/short/OCR/ropes/default.html>. Fecha de consulta: 13 de Abril 2010.
- Salvador, M., Amigó, V, Nuez, A, Sahuquillo O, Llorens, R, Martí F, 2009, Caracterización de fibras vegetales utilizadas como refuerzo en matrices termoplásticas, se encuentra en [http://www.upv.es/VALORES/Publicaciones/CNM08\\_Fibras\\_naturales.pdf](http://www.upv.es/VALORES/Publicaciones/CNM08_Fibras_naturales.pdf). Fecha de consulta: 25 de Abril 2009.
- Segovia F, Salvador M, 1996, *Materiales Compuestos Ingeniero Químico Curso 1995-1996*, Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, España, pp. 1-30, 52-78, 93-112.
- Shackelford L, 2005, *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*, 6ta. Edición, Pearson Educación, S.A., España, pp. 83, 199,507-519.
- Satyanarayana KG, Sukumaran K, Mukherjee PS, Pavithran C, Pillai, SG, 1990, *Natural fiber-polymer composites, Cement and Concrete Composites*, N° 12, pp. 117-136.
- Shey J, 2002, *Procesos de manufactura*, 3ra. Edición, Mc Graw Hill, México, pp. 207-210.
- Singleton ACN, Baillie CA, Beaumont PWR, Peijs T, 2003, On the mechanical properties, deformation and fracture of a natural fiber/recycled polymer composite. *Composites Part B: Engineering*, N° 34, pp. 519-526
- Smith W, 2004, *Ciencia e Ingeniería de Materiales*. 3ra. Edición, Mc Graw Hill, España, pp. 15, 85-90.
- S/A., 2004, *Consulta sobre fibras naturales*, FAO, Roma, Diciembre 2004, pp. 15-16.
- Torres FG, Cubillas ML, 2005, Study of the interfacial properties of natural fiber reinforced polyethylene, *Polymer Testing*, pp. 694-698.
- Verri A, 2006, *Introducción a la mecánica de laminados compuestos*, Universidad de Buenos Aires, Curso 2006, pp. 15-16.

**Recibido:** 12 de octubre de 2013

**Revisado:** 13 de octubre de 2014

**Pietroniro Quintero, Marian Josefina:** *Nacida en Mérida, Ingeniero Mecánico (2005), Magister en Ingeniería Mecánica Mención Materiales (2009), ambos títulos de la Universidad de Los Andes. Actualmente se desempeña como profesora en el área de Termodinámica en la Escuela de Ingeniería Mecánica.*

**Bloem Irrazabal, Carlos Alaberto:** *Ingeniero Mecánico, Doctorado en Aluminio y Aleaciones. Profesional de destacada trayectoria con múltiples colaboraciones en artículos, libros y trabajos. Actualmente se desempeña como profesor en el área de materiales, en la Escuela de Ingeniería Mecánica. Correo electrónico: cbloem@ula.ve.*

