

# **Comportamiento Mecánico de un Compuesto de Matriz Poliester Reforzado con Fibra de Yute**

**Jason Briceño Rojas**

Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla, Atlántico, Colombia  
jaison.briceno@uautonoma.edu.co

**Pablo Galán Jiménez**

Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla, Atlántico, Colombia

**Ricardo Mendoza Quiroga**

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla, Atlántico, Colombia  
rmendoza@uac.edu.co

**Mauricio Marquez Santos**

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla, Atlántico, Colombia  
mmarquez@uac.edu.co

## **RESUMEN**

En la actualidad, la mayor producción de los materiales compuestos que se fabrican son reforzados con fibras sintéticas, las cuales son mecánicamente excepcionales por su relación resistencia/peso, pero altamente costosa y extraída de fuentes no renovables. Estas desventajas están siendo contrarrestada con el uso de fibras naturales, las cuales son económicas y renovables. Este estudio consiste en determinar el comportamiento mecánico de un material compuesto basado en una matriz de poliéster y reforzado con fibra natural de yute. Las técnicas empleadas para caracterizar los compuestos fueron el ensayo mecánico de tensión, flexión e impacto. La adición de un diluyente en la matriz de poliéster facilita el proceso de fabricación y reduce hasta un 5% del costo de la materia prima del compuesto. Este diluyente duplica la resistencia a impacto, aunque reduce la resistencia a tensión y flexión. Adicionar refuerzos de fibra de yute en capas en afecta significativamente la resistencia a impacto del material, incrementando hasta 10 veces la energía absorbida. La fibra de yute muestra en gran potencial para la fabricación de elementos cuyo principal modo de falla sea a impacto, en sustitución a los tradicionales materiales compuestos reforzados con fibras de vidrio y carbono.

**Palabras Clave:** Propiedades Mecánicas, Materiales Compuestos, Fibra de yute, Poliester.

## **ABSTRACT**

Nowadays, the highest productions of composites are reinforced with synthetic fibers. These are mechanically exceptional in strength/weight ratio, but expensive and extracted from non-renewable sources. These disadvantages are being tapped for natural fibers. They are cheap and renewable. The main objective of this study is to determine the mechanical behavior of polyester composite by introducing jute fiber as reinforcement. Tensile, flexural and impact tests were used to characterize the composites. By adding a diluent in the polyester matrix makes the fabrication process easier and reduces cost of the raw material to 5%. This doubles the impact strength, while tensile and flexural strength are reduced. Impact strength is improved significantly by introducing reinforcing layers of jute fibers, and increasing up to 10 times the energy absorbed. Jute fiber shows great potential for the manufacturing of elements whose primary mode of failure is by impact, replacing traditional composite materials reinforced with glass or carbon fibers.

**Key Words:** Mechanical properties, Composites, Jute Fiber, Polyester matrix.

## **1. INTRODUCCIÓN**

En la actualidad es común utilizar fibra de vidrio, es una tendencia del mercado global, pero además de presentar unas propiedades óptimas, también tiene un precio alto, en comparación con las fibras naturales. La fibra de vidrio tiene propiedades mecánicas excepcionales y posee bajo peso. Es posible el reemplazo de la fibra de vidrio en los materiales compuestos conservando su ligereza y moldeabilidad. La caída en los valores de modulo y resistencia al utilizar fibras naturales no es significativa, si se tiene en cuenta la disminución de pesos, costos y el carácter biodegradable (Rodríguez & Vásquez, 2003). La adhesión de interface entre una matriz de polímero y una de fibras naturales están relacionadas lo cual es un gran hallazgo para sistemas biocompuestos. Se puede mejorar efectivamente las propiedades de las fibras naturales por medio de ultrasonido con alcalinización, dependiendo del tratamiento y de la composición de la fibra natural (Hyun & Donghwan, 2012).

Las fibras naturales con revestimiento podría autorregular la absorción de agua con el cambio de temperatura y humedad (Zhang et al., 2009), usando refuerzos de matrices de termoplásticos con al menos 35% en volumen de fibra con sisal, se demostró una mejora cercana al 300% en la rigidez al igual que una pequeña mejoría en la resistencia de las fibras naturales con refuerzos de polipropileno (Akeson et al., 2008).

A medida que las investigaciones arrojan avances significativos en lo referente a la resistencia mecánica de las fibras naturales se han ido conociendo características importantes. Al momento de comparar estas fibras naturales con las convencionales se descartan que son renovables, abundantes, económicas, ligeras, biodegradables, no abrasivas y son buenos aislantes tanto térmicos como acústicos (Taha et al., 2011).

Los compuestos con base en el polipropileno reforzado con fibras naturales han sido fabricados y sus propiedades mecánicas han sido cuantificadas, junto a la distribución del tamaño de fibra y el diámetro de fibra. Los valores obtenidos han sido relacionados con las predicciones teóricamente, utilizando una combinación de la teoría de Griffith para las propiedades efectivas de fibras naturales y la ecuación de Halpin-Tsai para el modulo elástico de los compuestos (Amirhossein Esfandiari, 2007).

La utilización de un material compuesto bajo la fibra de yute posee la facilidad de que puede ser mezclada con otras fibras sin importar si son sintéticas o naturales e inclusive acepta clases de celulosa tales como colorantes naturales, colorantes de azufre, reactivos y pigmentos. De igual manera la fibra de yute es 100% biodegradable y reciclable por lo tanto es amigable con el medio ambiente (Van Dam & Bos, 2004).

El poliéster puede ser reforzado con fibras naturales debido a su baja viscosidad, produce un mejor mojado e impregnación de las fibras. La fibra de yute como refuerzo mejora la resistencia a flexión, inclusive usando otros refuerzos de fibra natural, como el sisal y lino. Sin embargo, la resistencia al impacto fue menor debido a la ausencia de mecanismos de absorción de energía durante la fractura (Rodríguez & Vásquez, 2003).

## **2. EXPERIMENTACIÓN**

### **2.1 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **MATRIZ TERMOESTABLE: RESINA POLIESTER**

Resina de poliéster cristalán 856 de Unicor. Es una resina ortoftálica pre-acelerada rígida, de alta viscosidad. Se utilizó como catalizador un 2 wt% de peróxido de metil-etilcetona (MEKP). Se adiciona 5 wt% de thinner como diluyente para reducir la viscosidad de la resina y bajar el costo de la materia prima.

## REFUERZO: FIBRA NATURAL DE YUTE

La fibra de yute fue obtenida en forma de tela, fabricada en un tejido plano liso conocido como tafetanes (Plain weave), los hilos se entrecruzan alternativamente. El diámetro de la fibra, la densidad lineal y las propiedades a tensión fueron medidos a través de métodos experimentales en laboratorios y están resumidos en la tabla 1.

**Tabla 1: Características de la fibra de yute.**

Propiedad	
Diámetro aparente (~95%) ( $\mu\text{m}$ )	300-320
Densidad ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	1,3
Densidad lineal (dtex)	28,96 (3,07)
Resistencia a tensión (MPa)	487,7 (81,3)
Modulo Elástico (GPa)	24,45 (8,27)
Elongación (%)	2,63 (0,83)

Desviación estándar en paréntesis.

## 2.2 METODOLOGÍA

### FABRICACIÓN DEL LAMINADO

Los laminados fueron fabricados por el método manual en molde abierto fabricados en madera. Inicialmente se mezclan los componentes de la resina de poliéster en las proporciones adecuadas. El molde es impregnado con cera desmoldante para evitar que se adhiera la resina. La fibra de yute es secada a  $150^{\circ}\text{C}$  en horno eléctrico, en 120 minutos. Luego es cortada según la forma del molde y se colocan el número de capas correspondientes en igual orientación. Finalmente, se vierte lentamente la resina sobre la fibra dentro del molde. El curado se realiza a temperatura ambiente ( $\sim 30^{\circ}\text{C}$ ) durante 48 h.

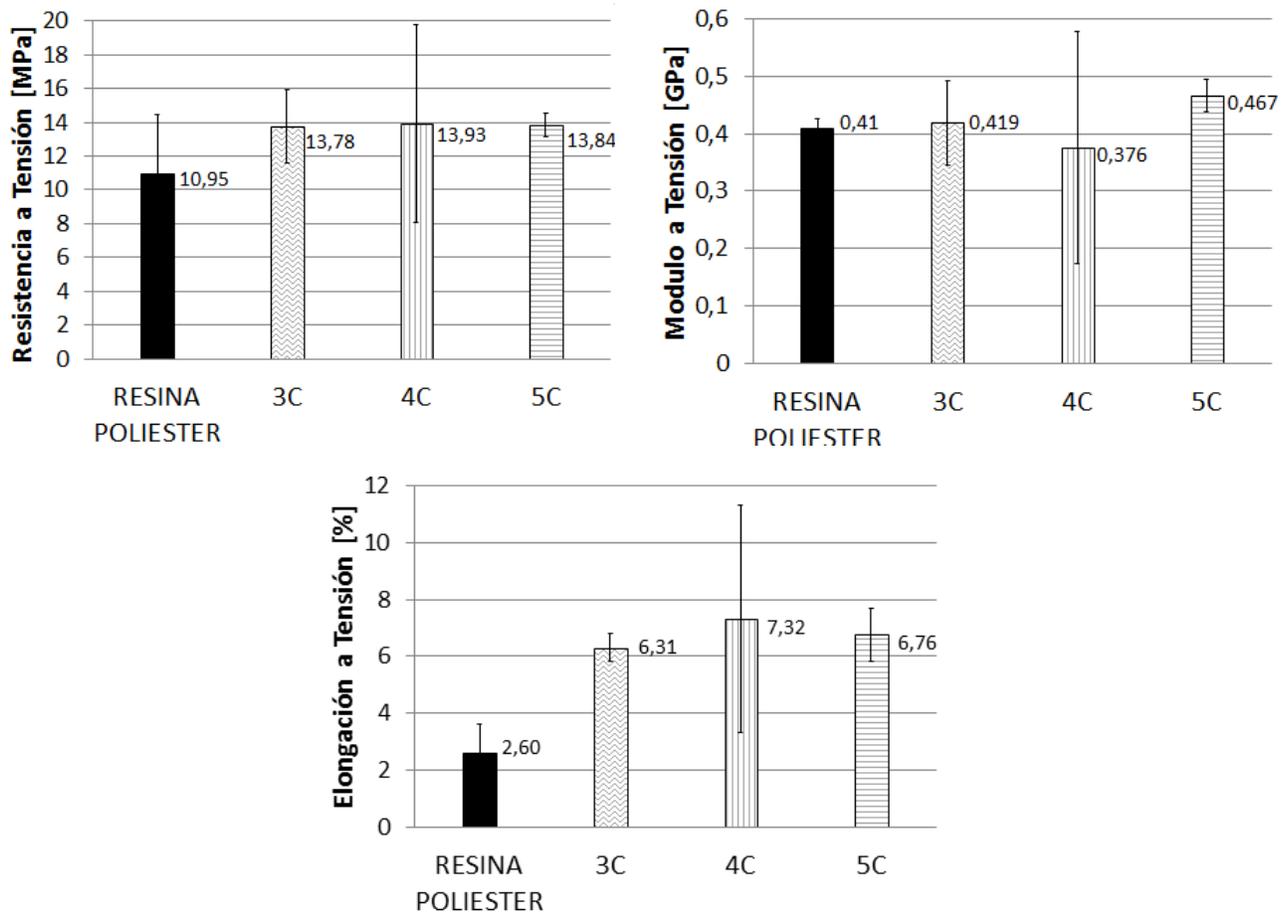
### MEDICIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS

Los ensayos de tensión fueron realizados de acuerdo a la ASTM D3039-08. Se toman probetas de  $240 \times 12 \times 6 \text{mm}$ , con una distancia entre mordazas de 150mm y una velocidad de 5mm/min. Las propiedades a flexión fueron medidas según la ASTM D790-10 en un ensayo de tres puntos. Las probetas utilizadas fueron de  $147 \times 12 \times 6 \text{mm}$ , la distancia entre apoyos fue ajustada a 118mm se realizó a una velocidad de 5mm/min. La energía absorbida al impacto fue calculada tomando como referencia la norma ASTM D256-10. Para esta prueba se usarán probetas de  $63 \times 12 \times 6 \text{mm}$  sin entalla. bajo el método Izod.

Los ensayos de tensión y flexión fueron realizados en una máquina universal de ensayos (UH-600kNI SHIMADZU) y el ensayo de impacto en una máquina Charpy (*Impact Tester MT3016, Terco*).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

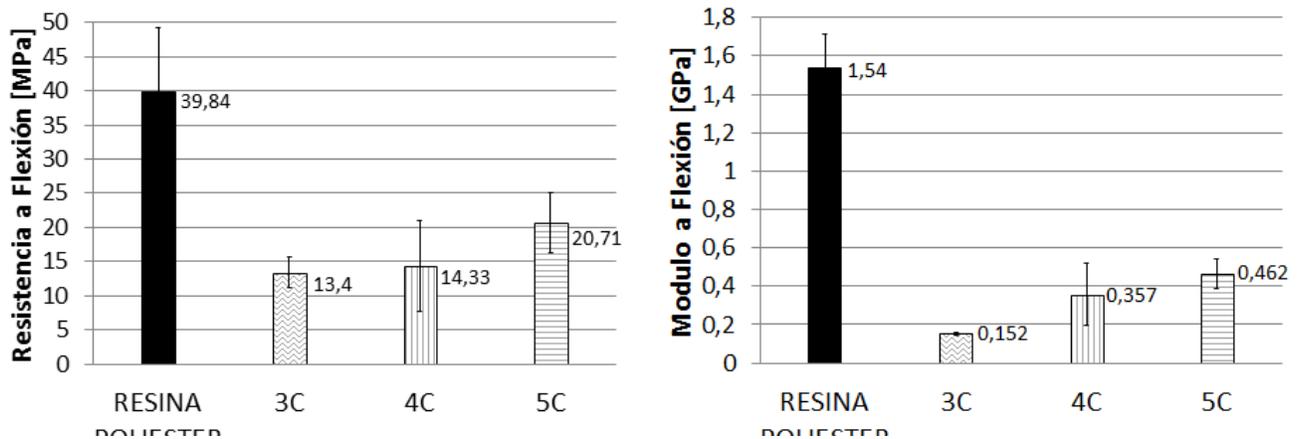
Los resultados que se presentan en la figura 1, 2 y 3 representan la comparación entre la Resina de Poliester pura y la adición del refuerza configurado unidireccionalmente en tres capas (3C), cuatro capas (4C) y cinco capas (5C). La figura 1 muestra los resultados a tensión del material compuesto. Se puede observar que la adición de la fibra incrementa un 30% la resistencia a tensión, sin embargo no se ve afectado por el número de capas de capas que se adicione. El módulo de tensión presenta pequeños incrementos a medida que se adicionan capas de fibras. La elongación se incrementa por encima de 2,5 veces de la resina de poliéster pura.



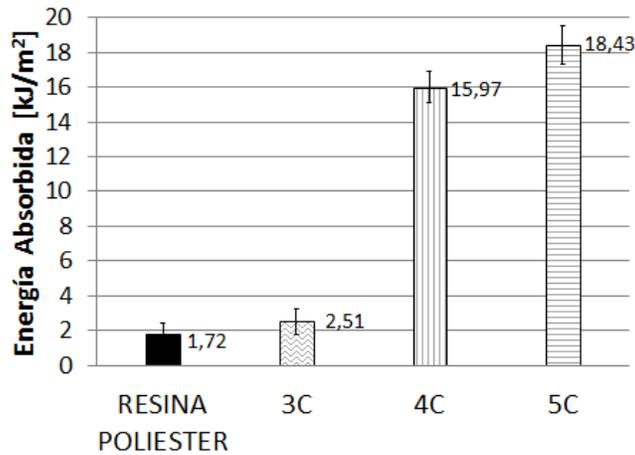
**Figura 1: Resistencia, Modulo y Elongación a Tensión.**

Los resultados a flexión que se muestran en la figura 2, se observan grandes en las propiedades. La resistencia a flexión se ve comprometida con la reducción de hasta un 66% por la adición de la fibra de yute. Sin embargo, esta resistencia aumenta con la adición de mayor número de capas. Similarmente ocurre con el módulo a flexión, la cual experimente una reducción de hasta el 90%. Pero se incrementa a medida que se refuerza con mayor número de capas.

En la resistencia al impacto se observa el mayor beneficio de la fibra de yute como refuerzo. La resina pasa de absorber 1,72 kJ/m<sup>2</sup> de energía a 18,43 kJ/m<sup>2</sup> de energía con las cinco capas. Esto representa un incremento del 1070%.

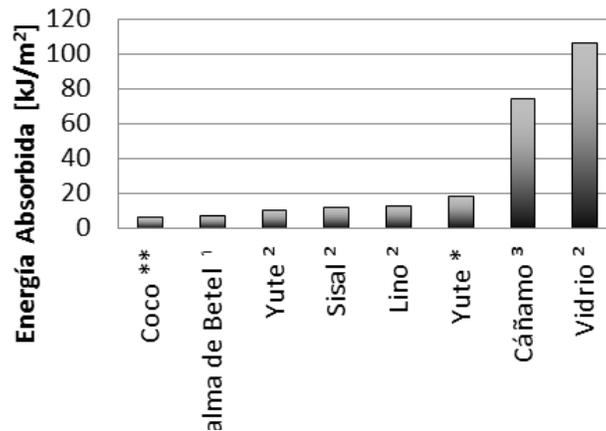


**Figura 2: Resistencia y Modulo a Flexión.**



**Figura 3: Energía Absorbida al Impacto.**

Al comparar los resultados de impacto con materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con otras fibras (ver figura 4), se puede observar que el yute es mejor refuerzo que utilizar fibra de vaina de coco, de palma de betel, sisal y lino. Además, la adición del 5 wt% de diluyente permite aumentar en un 80% la resistencia de impacto del compuesto reforzado con fibra de fique. Esta variación puede ser atribuida a la reducción de la viscosidad, la cual permite que la resina produzca un mejor mojado e impregne con mayor rapidez y efectividad las fibras, y se reduzcan las imperfecciones en el compuesto.



\* Resultado de este estudio.

\*\* Resultados previos no publicados de los autores.

<sup>1</sup> Lai & Mariatti, 2008.

<sup>2</sup> Rodríguez y Vásquez, 2003.

<sup>3</sup> Aziz y Ansel, 2004.

**Figura 4: Energía Absorbida al Impacto de diferentes compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sınticas.**

#### 4. CONCLUSIÓN

A pesar de la poca influencia en las propiedades a tensión de la fibra de yute como refuerzo en la resina poliéster, las propiedades a flexión se observan comprometidas, pues se reducen la resistencia y el módulo. Sin embargo, la resistencia a impacto se incrementa considerablemente, logrando aumentar hasta 10 veces la energía absorbida y mostrando un comportamiento casi exponencial con la adición de mayor número de capas de fibra de yute. Esto evidencia un eficiente mecanismo de disipación de energía.

Los resultados muestran que la fibra de yute 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 décima parte del compuesto fabricado con fibra de vidrio.

La adición del diluyente thinner reduce el costo de la materia prima en un 5% y adicionar fibra de fique en lugar de fibra de vidrio disminuye hasta un 80% el costo. Las predicciones de la industria de materiales compuestos es alcanzar \$29,9 billones de dólares para el 2017 (Kazmierski, 2012). Entonces el potencial en la reducción de costos en la industria podra alcanzar \$2.500 millones de dólares si se utilizan fibras naturales en sustitución de las sınticas.

#### REFERENCES

- Akesson D., Ramesh K., Zenon F., Jonas C., Adib K., Skrifvars M (2008). "Glass fibers recovered by microwave pyrolysis as a reinforcement for polypropylene" *Polymers & polymer composites, Rapra Technology*. vol. 21. No. 6. p. 333-340.
- Amirhossein Esfandiari (2008). The Statistical Investigation of Mechanical Properties of PP/Natural Fibers Composites. *Fiber and Polymers*. Vol. 9, No. 1, p. 48-54.
- Aziz, S. H. and Ansell, M. P. (2004) The effect of alkalization and fiber alignment on the mechanical and thermal properties of kenaf and hemp bast fibre composites: Part 1-polyester resin matrix, *Composites Science and*

Technology, 64:1219.

- Hyun Seok L., Donghwan C (2012). "Macromolecular Research". *Procedia Engineering*, vol. 41. p. 1667-1673.
- Kazmierski Ch. (2012). Growth opportunities in global composites industry, 2012 – 2017. *The composites exhibition and convention*. Mandalay Bay Convention Center, Las Vegas, NV. <http://www.acmashow.org> (19/02/14).
- Lai WL, Mariatti M. (2008). The properties of woven batel palm (Areca catechu)reinforced polyester composites. *J Reinforced Plastics Compos.* 27:925–35.
- Rodríguez, E., Vásquez A. (2003). "Propiedades Mecánicas de Materiales Compuestos con fibras naturales obtenidos mediante la técnica de vacum infusión". *Simposio Materia 2003, Jornadas Sam, CONAMET*. 11-11.
- Taha I., Sabbagh E., Ziegmann A (2011). "Modeling of strength and stiffness of short randomly oriented glass fiber—polypropylene composites" *Polymers & polymer composites. Journal of Composite Materials*. Vol. 45. p.1805-1821.
- Van Dam, J., Bos, H. (2004) Fibras naturales en aplicaciones industriales. *Agrotechnology and Food Innovations*, 4p.

### **Autorización**

Los autores autorizan a LACCEI para publicar este artículo en las memorias de la conferencia. LACCEI y los editores no son responsables del contenido o las implicaciones de lo que esta expresado en el artículo.

.