

# ECOLAMINADOS DE PEAD-FIBRAS DE FIQUE

Silvio Delvasto Arjona\*  
Fernando Perdomo\*\*  
Ruby Mejía de Gutiérrez\*\*\*

## RESUMEN

En este artículo se presentan resultados de una investigación que busca alternativas para la utilización de los desechos de fibra corta de la planta de fique (cabuya). Se han probado las propiedades a la flexión y a la tensión de mezclas de 7 a 55 % (v/v) de fibra de fique y matrices de polietileno de alta densidad (PEAD), tanto en estado virgen (V) como reciclado (R). Se estudió también el efecto en las propiedades mecánicas del laminado al incorporar a la matriz un 20 % de carbonato de calcio como un relleno mineral rigidizante. Se obtuvieron placas de las mezclas con espesor hasta de 2 mm. mediante prensado

\* Ph.D. Universidad Politécnica de Valencia, España.

\*\* Magister en Ciencia e Ingeniería de Materiales - Universidad de Sao Paulo, Brasil. (Candidato a Doctor, Universidad Politécnica de Valencia, España)

\*\*\* Ph.D. Universidad Complutense.

---

Profesores Titulares de la Escuela de Ingeniería de Materiales - Facultad de Ingeniería - Universidad del Valle

en caliente a 180 °C. Los resultados muestran ser muy promisorios con respecto a la posibilidad de utilizar este nuevo material compuesto como sustituto de la madera. Los resultados de esta investigación conllevan un beneficio directo para las empresas productoras de empaques de Colombia que utilizan la fibra de fique como materia prima y que tienen disponible un residuo de polvillo (fibras muy cortas de fique) de aproximadamente mil toneladas anuales.

Palabras Clave: Materiales Compuestos, Composites, Materiales Compuestos Fibrorreforzados, Polietileno de Alta Densidad Reciclado, Fibras Naturales, Fibra de Fique, Cabuya, Rellenos.

## ABSTRACT

This paper presents the results of a research made to find out alternatives for using short fiber of the "fique" plant (cabuya). These residues result from the manufacture of sacks for the storage of grains and vegetables such as coffee, rice and potatoes. Laminates of recycled high-density polyethylene, used as a matrix for the incorporation of the fique fiber, which was prepared in a similar way to the leftover dust, were produced in this research. These laminates were compared to other materials but using virgin high-density polyethylene. The content of the dust ranged from 7% to 55% by weight. 20% of Calcium carbonate was also tried as Filler. Up to 2 mm plates of the composite material were obtained by hot pressing at 180° C. Tensile behavior and Elastic Modulus results indicate that these laminates could appropriately be used instead of wood or pure polymers for applications in furniture, car industry, walls covering, etc. The findings of this research could directly benefit manufacturers of sacks and ropes that discard approximately 1,000 tons a year of a dusty waste of the fique fiber.

Keywords: Composites, Fiber Reinforced Polymers, Polymer Laminates, Recycled High-Density Polyethylene, Natural Fibers, Fique Fiber, Cabuya, Fillers

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial existe un gran interés en la utilización de fibras naturales para la producción de plásticos reforzados (composites termoplásticos), debido a ventajas como su baja densidad, su reducido costo, su capacidad resistente y ductilidad, y en especial por su connotación positiva hacia un medio ambiente ameno. Trabajos recientes sobre este tema se han desarrollado sobre fibra de yute, la fibra natural más importante de la India, Tailandia, Vietnam y otros países, donde se reporta la facilidad de utilizar la fibra en presencia de resinas poliéster y otros productos termoestables. En el caso de polietileno o polipropileno, y en general de los termoplásticos, se presentan dificultades de adherencia al polímero. En Alemania se están produciendo paneles para las puertas de los vehículos Mercedes Benz usando poliuretano fibrorreforzado con fibras de lino y sisal. En Brasil se ha ampliado el uso a algunas partes interiores del vehículo como son los soportes para brazos, cabeza, entre otros. La industria Ford también ha venido investigando al respecto con el fin de utilizar la fibra de lino y algodón en reemplazo de la fibra de vidrio en algunas de sus partes para sus vehículos. Aparte de la industria automotriz, también se mencionan aplicaciones de termoplásticos reforzados con fibras naturales (coco, madera, henequen) en productos de construcción, de oficina, marcos de ventanas, juguetes, estibas, contenedores para embalaje, entre otros.

En este sentido, una línea del grupo de investigación "Materiales Compuestos" de la Universidad del Valle se ha orientado al estudio de diferentes procedimientos para definir un tratamiento previo de la fibra de fique, fibra natural autóctona de Colombia, y al análisis de prefactibilidad para su utilización en la producción de nuevos materiales compuestos laminados con fibra de fique, que puedan sustituir la madera en muchas de sus variadas aplicaciones. El

presente documento muestra algunos de los resultados obtenidos para laminados fibrorreforzados en cuanto a sus características mecánicas, compara el comportamiento de una matriz de polietileno virgen con polietileno reciclado, y estudia el efecto del volumen de incorporación de las fibras y la adición de un relleno de carbonato de calcio.

## MATERIALES:

En la presente investigación se utilizaron los siguientes materiales:

- ❖ *Fibra de fique o cabuya.*
- ❖ *Polietileno de alta densidad (PEAD), en estado virgen y material de reciclado.*
- ❖ *Carbonato de calcio, incorporado al composite como carga.*

## PROCESO DE MEZCLADO Y MOLDEO

El proceso de mezclado de las fibras comprende desde la preparación y alistamiento de los materiales hasta la obtención de la masa de la matriz-fibra. A continuación se describen los procedimientos seguidos en cada una de las etapas.

- ❖ *Alistamiento de la Fibra: la fibra se sometió a un secado a 105°C por 1 hora, hasta pérdida completa del agua absorbida; posteriormente se molió en un molino Brabender de cuchillas, separándose la fibra retenida en el tamiz No. 20 (0.841 mm), para ser utilizada en el material compuesto. La fibra presentó el aspecto mostrado en la Figura 1a.*
- ❖ *Alistamiento del polietileno: éste se molió finamente utilizando el mismo molino Brabender.*
- ❖ *Proporcionamiento y pesada de los materiales: las dosis de fibra incorporada en la matriz se varió entre 0 y 55% en peso. En algunas probetas se utilizó carbonato de calcio como relleno en proporción del 20%.*
- ❖ *Mezcla de materiales: el polietileno que actúa como matriz y la fibra de fique que lo hace*

como reforzante, se mezclaron en un mezclador de cintas para lograr homogeneidad en frío. Se realizó un precalentamiento de la cámara de mezclado a la temperatura de trabajo, escogida a partir de un estudio previo para asegurar que la fibra de fique no sufriera carbonización.

- ❖ *Mezclado en caliente: El mezclado en caliente se hizo en un equipo de laboratorio Plasti-Corder PL 330, G.W., Brabender, mediante el cual se logró una distribución homogénea de la fibra en el polímero, trabajando a las siguientes condiciones de proceso:*
  - *Temperatura en la cámara del mezclador Brabender: 170°C -180°C*
  - *Velocidad de giro de los álabes de la cámara: 60 p.m.*
  - *Tiempo de dosificación de los materiales en la cámara de mezcla: tres minutos*
  - *Tiempo total de mezcla en la cámara: diez minutos*

*La temperatura de trabajo máxima fue de 180°C, temperatura a la cual se comprobó previamente que la fibra no sufre cambios físicos ni químicos. Se encontró que una temperatura mayor producía degradación de la lignina y de la hemicelulosa con ennegrecimiento y pérdida de propiedades mecánicas de la fibra, lo cual concuerda con experiencias de otros investigadores al utilizar fibras naturales en la producción de composites por extrusión.*

*El material mezclado, que era una masa informe (Figura 1b), se dejó enfriar para posteriormente, laminarlo por compresión en una prensa CARVER a una temperatura de 170°C a 180°C, obteniendo láminas delgadas de 150 x 150 mm, con espesores de hasta 2 mm. Esta prensa tiene una capacidad de presión entre 3000 psig y 24000 psig. El enfriamiento de la placa se llevó a cabo mediante circulación de agua. La apariencia final de la placa laminada se puede apreciar en la Figura 2.*

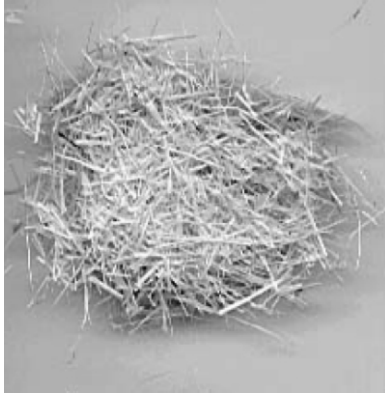


Figura 1a. Fibra de Figue

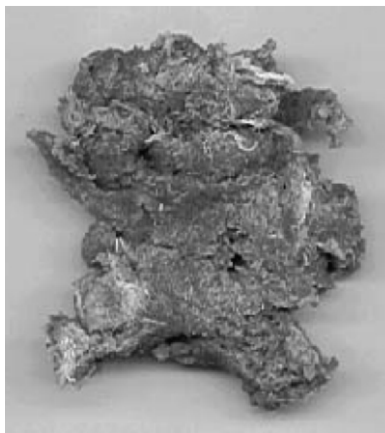


Figura 1b. Mas de Polímero y Fibra

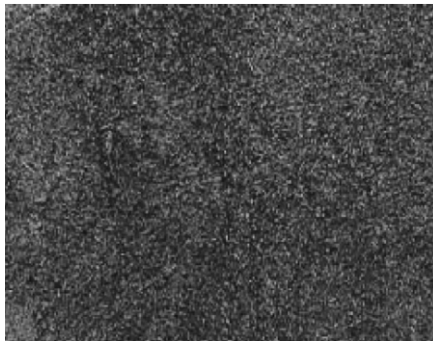


Figura 2. Lámina obtenida (Mezcla HDPE+Fibra de Figue 40%)

## ENSAYOS Y RESULTADOS:

La densidad real del figue es de  $1.43 \text{ gr/cm}^3$ , y la del polietileno  $0.955 \text{ gr/cm}^3$ . El contenido de humedad de la fibra fue 7.3 % en peso. Muestras de los materiales laminados con matrices de

polietileno de alta densidad virgen (PEAD -V) y de polietileno de alta densidad reciclado (PEAD -R) con incorporaciones de fibra de figue en volúmenes porcentuales de fibra,  $V_f$ , entre 25 y 55 % fueron ensayadas, siguiendo procedimientos normalizados, a la tensión y a la flexión.

Se utilizó una prensa universal Instron modelo 1125 para realizar los ensayos mecánicos. El procedimiento seguido para estos ensayos fue el señalado por las Normas ASTM D679 y D638. Los ensayos de flexión correspondieron al método de los tres apoyos, que fueron realizados a muestras con dimensión de  $50 \times 25 \times 2$  (mm), a una velocidad de aplicación de carga de 1 mm/minuto. La luz entre apoyos fue de 32 mm.

Se determinaron sus resistencias y también sus Módulos de tensión y de flexión. Igualmente se estudió el efecto de la adición de un 20 % en volumen de un impalpable de carbonato de calcio como un relleno a una matriz de PEAD (virgen y reciclado) con volúmenes de fibra entre el 15 y el 45 %.

Las figuras 3 y 4 presentan los resultados de los ensayos de flexión y de tensión de probetas estandarizadas de los materiales compuestos reforzados con fibra de figue o de cabuya. Cada resultado corresponde a un promedio de seis muestras. En estas figuras la literal "C" corresponde a los especímenes que contienen la adición de carbonato de calcio.

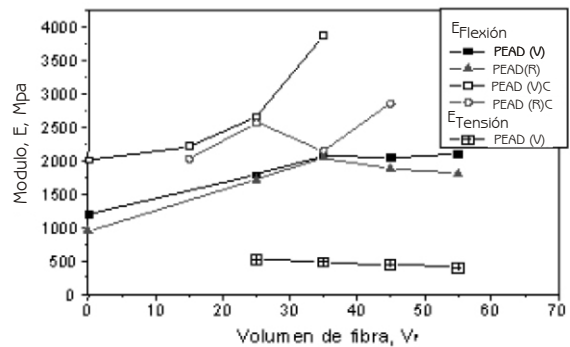


Figura3. Variación de los Módulos de Flexión y de Tensión en los laminados de PEAD Virgen y de PEAD Reciclado

El Módulo de Flexión obtenido para el laminado de PEAD virgen sin adición de fibra y/o carbonato de calcio es 1149 MPa. Al comparar este valor con los resultados obtenidos en los laminados fibrorreforzados se aprecia el efecto positivo que trae la adición de la fibra de fique, pues para todos los volúmenes de fibra estudiados aumenta la rigidez del material compuesto, en forma indistinta si la matriz es virgen o reciclada. El volumen óptimo de adición para las series ensayadas se halla alrededor del 35 % de cabuya (47 % de adición en peso), tal como se observa en la Figura 3. El módulo de flexión obtenido para el composite con polímero virgen es del mismo orden que el reportado para PEAD con fibra de sisal por la compañía Global ([globaltech.htm](http://globaltech.htm))

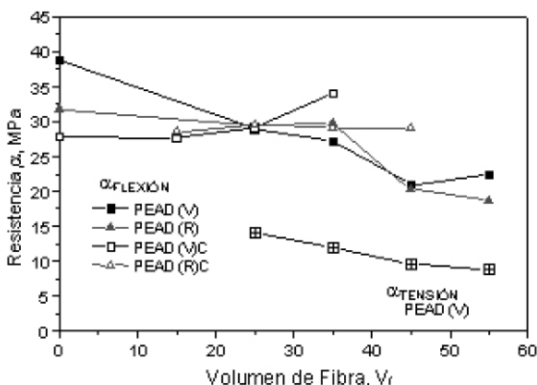


Figura 4. Variación de las Resistencias últimas a la Flexión y a la Tracción en los laminados de PEAD Virgen y de PEAD Reciclado.

Adiciones de mayores cantidades de fibra generan resultados inconsistentes, pues la dificultad de su mezclado bajo las condiciones de mezcla, ya de por sí vigorosas en el equipo Brabender, introduce heterogeneidad a la mezcla, con resultados inferiores a los previsible hipotéticamente.

La adición de la carga de carbonato de calcio (20%) incrementó este módulo, así, se obtiene un incremento del 48% en los laminados con 25% de fibra de fique, tal como se deduce de la Figura 3.

Si se comparan los resultados de las

determinaciones de las resistencias máximas a la flexión de las matrices de PEAD adicionadas con fibra de fique, mostrados en la Figura 4 con la reportada por el PEAD virgen sin adición que fue de 38.92 MPa, se encuentra una disminución marcada de la resistencia a la flexión de los laminados con la incorporación de fibra. Un 35 % de fibra, causa una reducción del orden del 30 %. El Módulo de Ruptura reportado por los compuestos con PEAD reciclado sin fibra fue 31.82 MPa. La reducción resistente al incorporar fibra y utilizar PEAD reciclado es inferior a la observada en especímenes con PEAD virgen. Por lo que el uso del reciclado luce como una alternativa atractiva para laminados. De cualquier manera, el balance entre la reducción en costo por la incorporación de la fibra y la resistencia admisible determinará si la utilización de la fibra es benéfica para el productor del material compuesto.

Las reducciones en las propiedades de tensión (Módulo y resistencia) por efecto de la incorporación de la fibra (Figuras 3 y 4) pueden ser atribuidas a dificultades en el acoplamiento de la fibra a la matriz, y podrían ser atenuadas al incorporar un agente de acople que mejore la transferencia de cargas de la matriz a la fibra. En general, el valor promedio obtenido en el caso del módulo de tensión (Figura 3) es inferior a los reportados por otros autores.

La adición simultánea de fibra de fique y de un relleno de carbonato de calcio sobre las propiedades resistentes a la flexión del material compuesto con matriz de PEAD Virgen es positiva (Figura 4). Aunque se aprecia una reducción en el esfuerzo equivalente máximo de flexión si se compara con la matriz de PEAD sola, ordenes crecientes de adiciones simultáneas de fibra y del filler generan una recuperación de la resistencia, sin llegar en modo alguno a superar la del patrón. Puede afirmarse que hay un aumento en la rigidez del composite con la adición simultánea de fibra y de carga.

## CONCLUSIONES

*Con base en los resultados obtenidos y su análisis se puede concluir:*

- ◆ La utilización de una fibra natural renovable como la fibra colombiana de fique o cabuya permite sustituir el uso de Polímeros como el Polietileno de Alta Densidad (PEAD) en cerca del 50 % en peso en la fabricación de materiales laminados sucedáneos de la madera.
- ◆ El uso en la producción de laminados fibrorreforzados de un relleno inorgánico impalpable de mayor Módulo de Elasticidad es positivo en el sentido de aumentar la rigidez del composite, aunque una reducción en las propiedades resistentes con respecto al polímero sin fibra debe ser tenida en cuenta. Sin embargo, las resistencias mecánicas tienden a mejorar con ordenes crecientes de adición simultánea de Carbonato de Calcio y de la fibra natural mencionada.
- ◆ El polietileno de alta densidad reciclado, con calidad controlada, es una excelente alternativa para utilizar como matriz en composites laminados en vista de que no se alteran sensiblemente las propiedades del compuesto si se compara con el PEAD virgen.
- ◆ El Polietileno de Alta Densidad (PEAD) reforzado con fibra corta de fique (cabuya) permite obtener placas por prensado en caliente de una calidad excelente en cuanto a las propiedades mecánicas obtenidas. Este material podría ser utilizado en numerosas aplicaciones como sustituto de la madera y en aquellas aplicaciones donde se requieran laminados.

## RECONOCIMIENTOS

*Los autores agradecen las facilidades para los ensayos ofrecidas por el Departamento de Polímeros del Centro de Investigación Científica de Yucatán, CICY, (Mérida, México), y en particular el apoyo del Doctor Pedro Herrera (Investigador del CICY y miembro de la Red Temática de Materiales Compuestos del CYTED).*

## BIBLIOGRAFÍA

CARRASCO F.; y PAGES P. Prestaciones Mecánicas de Materiales Compuestos de Polietileno de Alta Densidad y Fibras Celulósicas. España; 1995.

DELVASTO, SILVIO. Investigación de los Mecanismos de Adherencia en la Interface del Material Compuesto Hormigón-Fibra Natural de Fique y de la Optimización de su Comportamiento a la Tenacidad en Servicio. U.P.V., Tesis Doctoral. España. 1997.

DELVASTO, SILVIO; MEJÍA DE GUTIÉRREZ, RUBY y PERDOMO, FERNANDO. Desarrollo de una Estiba Polimérica Fibrorreforzada con Fibra de Fique. Universidad del Valle. Contrato MAGR-PMD-IICA - A3/CO 1468, (1999).

GEORGE JAYAMOL; BHAGAWAN S.S.; PRABHAKARAN N. and THOMAS SABU; Short Pineapple-Leaf-Fiber-Reinforced Low-Density Polyethylene Composites. En: Journal of Applied Polymer Science; John Wiley & Sons (1995); Vol.57; India; p. 843-854.

Global Resource Technologies LLC (globaltech.htm).

HERRERA P.J., AGUILAR M.; CACNCHÉ G. y CARRILLO L.F. Caracterización Micromecánica de Termoplásticos Reforzados con Fibras Naturales. En: Polímeros ó de la polimerización a las propiedades. Centro de Investigación Científica, Mérida, Yucatán, México Eds. J.I. Cavaille, García M, Vigrer G. Polytechnica, Paris (1996); p.209-216.

HERRERA, PEDRO and AGUILAR, MANUEL DE J. Effect of Fiber Treatment on the Mechanical Properties of LDPE-Henequen Cellulosic Fiber Composites; John Wiley & Sons, Inc. CCC 0021-8995/97/010197-11, (1997); Yucatán, México; p.197-207.

KARNANI RAJEE; KRISHNAN MOHAN and NARAYAN RAMANI. Biofiber-Reinforced Polypropylene Composites. En: Polymer Engineering and Science. Vol.37, No.2 (February 1997), Michigan; p.476-483.

KURUVILLA, JOSEPH; SABU, THOMAS; PAVITHRAN, C. and BRAHMAKUMAR M. Tensile Properties of Short Sisal Fiber Reinforced Polyethylene Composites. En: Journal of Applied Polymer Science; John Wiley & Sons, 1993; Vol.47; (1993); India; p.1731-1739.

MITRA, B.C.; BASAK, R. K. and SARKAR, M. Studies on Jute-Reinforced Composites, Its Limitations, and Some Solutions Through Chemical Modifications of Fibers. En: Journal of Applied Polymer Science, Vol.67 (1998); p. 1093-1100.

PERDOMO, FERNANDO. Avances experimentales de tesis Doctoral. U.P.V. Enero de 2001.

SHERMAN, MANOLIS LILLI. Fibras Naturales La nueva moda en los plásticos para automotores. En: Tecnología del Plástico. Abril (2000); p.14-21

VINK, DAVID. Natural Selections. En: European Plastics News. (October 1998); p.59-61.

WU, J.; YU, D.; CHAN, C.; KIM, J. and MAI, Y. Effect of Fiber Pretreatment Condition on the Interfacial Strength and Mechanical Properties of Wood Fiber/PP Composites. En: Journal of Applied Polymer Science. Vol.76 (2000): p. 1000-1010.