

# Caracterización mecánica de compuestos poliéster/fibra de guadua y poliéster/fibra de guadua-vidrio

Mechanical characterization of polyester / guadua fiber and polyester / guadua-glass fiber.

Luis Edgar Moreno Montoya<sup>1</sup>, Julián David Florez C.<sup>2</sup> y Byron Daniel Hernández A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

<sup>2</sup>Ingeniería Industrial, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

Correo-e: lemorenom@unal.edu.co

**Resumen**— Este trabajo muestra los resultados experimentales obtenidos de la caracterización mecánica de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra de guadua y/o fibra de vidrio. La matriz polimérica utilizada fue resina poliéster insaturada. Las fibras de guadua fueron obtenidas de la especie guadua angustifolia *Kunt* por un proceso de desfibrado mecánico y posteriormente fueron sometidas a un tratamiento químico en hidróxido de sodio. El material compuesto con una fracción de volumen de fibra constante fue producido por método manual en forma de lámina a partir de las cuales se obtuvieron probetas normalizadas, que a su vez fueron sometidas a ensayo de tracción, flexión e impacto Charpy. Los resultados de los ensayos mecánicos muestran que en el material compuesto resultante de mezclar fibra de guadua con fibra de vidrio en iguales proporciones se produce un incremento en la rigidez, la resistencia a la tensión, la resistencia al impacto con respecto al material compuesto con sólo fibra de guadua, pero a su vez, se registra una disminución en la ductilidad y en la resistencia a la flexión.

**Palabras clave**— Materiales compuestos, fibras naturales, compuesto híbridos, caracterización mecánica.

**Abstract**— This work shows the experimental results obtained from the mechanical characterization of polymer matrix composite materials reinforced with guadua fiber and / or glass fiber. The polymeric matrix used was unsaturated polyester resin. The guadua or bamboo fibers were obtained from the guadua angustifolia *Kunt* species by a mechanical defibering process and later they were subjected to a chemical treatment in sodium hydroxide. The composite material with a constant fiber volume fraction was produced by manual method in the form of a sheet from which standardized specimens were obtained, which in turn were subjected to tensile, bending and Charpy impact tests. The results of the mechanical tests show that in the composite material resulting from mixing guadua fiber with glass fiber in equal proportions, there is an increase in stiffness, tensile strength, impact resistance with respect to composite material with only guadua fiber, but in turn, there is a decrease in ductility and flexural strength.

**Key Word** — Composite materials, natural fibers, hybrid compounds, mechanical characterization.

## I. INTRODUCCIÓN

Un material compuesto o composite se puede definir como "un material estructural que consiste en dos o más constituyentes que se combinan a un nivel macroscópico y no son solubles entre sí" [1]. Los materiales compuestos más comunes presentan solo dos fases: matriz (fase continua) y refuerzo (fase dispersa). Si la fase continua es un polímero, se obtienen los denominados compuestos de matriz polimérica (CMP). La matriz puede ser termoplástica, termoestable o elastomérica y el refuerzo puede ser en forma de fibra o de partícula. Durante varias décadas, se han utilizado fibras sintéticas como el vidrio, la aramida y el carbono en la preparación de CMP [2]. Sin embargo, estos materiales compuestos se obtienen a partir de recursos no renovables, que están relacionados con las desventajas ambientales inherentes. Por el contrario, la sociedad moderna requiere materiales que preservan el medio ambiente. Las fibras lignocelulósicas naturales se han estudiado como una alternativa de refuerzo en materiales compuestos, debido a su menor densidad, menor costo, capacidad de renovación, biodegradabilidad y propiedades mecánicas relevantes [3-4]. En años recientes, innovaciones tecnológicas en el desarrollo de materiales han despertado considerable interés debido a la crisis energética mundial como también a la preocupación global por aspectos ambientales. Por esta razón, el uso de fibras naturales como agente reforzante de CMP, emerge como alternativa ecológica sostenible para reemplazar a las fibras sintéticas. Las fibras vegetales, por ejemplo, como material de refuerzo, pueden ser usadas eficientemente en obras civiles, aplicaciones estructurales, como también, en la fabricación de autopartes e implementos deportivos [5].

Hay algunas desventajas en el uso de fibras naturales en compuestos de matriz polimérica, incluyendo la alta absorción de humedad, poca uniformidad y pobres propiedades mecánicas. Pero, la mayor desventaja es la naturaleza polar e hidrofílica de las fibras lignocelulósicas frente al carácter no polar de las resinas termofijas, en particular cuando se utiliza

poliéster como matriz [6]. La compatibilidad entre la fibra de celulosa y la matriz de polímero puede mejorarse mediante la modificación del polímero o de la superficie de la fibra. El tratamiento alcalino es uno de los métodos más utilizados para la modificación química de fibras naturales. Este tipo de tratamiento proporciona un rompimiento efectivo de los enlaces de hidrógeno en la superficie de la fibra, aumentando así su rugosidad. Además, también elimina algo de hemicelulosa, lignina, ceras y aceites de la superficie de la fibra [7]. Actualmente, muchos trabajos se están enfocando en la hibridación como una forma de alcanzar propiedades mecánicas notables para compuestos basados en fibras vegetales. La incorporación de diferentes tipos de refuerzos en una sola matriz ha llevado al desarrollo de compuestos híbridos. El comportamiento de los compuestos híbridos es una suma ponderada de los componentes individuales en los que existe un equilibrio más favorable entre las ventajas y desventajas inherentes a cada uno de los tipos de refuerzo [5]. Las fibras de guadua o bambú, pueden ser una alternativa viable de material sostenible para su aplicación en el diseño industrial, dado que en recientes años ha habido un creciente interés científico por estudiar el potencial de fibras de este material en materiales compuestos de matriz polimérica [8].

El objeto de este trabajo es reportar la fabricación de CMP reforzados con fibra de guadua, fibra de vidrio e híbridos, mostrar las propiedades físicas y mecánicas obtenidas y sobre todo mostrar los resultados de comparar las propiedades entre los compuestos con un solo tipo de fibra y los compuestos híbridos. Los materiales fabricados fueron sometidos a ensayos de tensión, de flexión en tres puntos y de impacto Charpy. Además, se determinó la densidad de cada uno de los tres tipos de materiales, con el fin de obtener propiedades específicas, tales como: rigidez y resistencia específica.

## II. MATERIALES, PROCESOS Y CARACTERIZACIÓN.

### A. Materiales.

Como material para la matriz, se utilizó resina poliéster híbrida para laminación, la cual ya tenía incluida el acelerador. La fibra de vidrio utilizada fue roving continuo en forma de hilo x 2400 tex, la cual fue cortada en longitudes de aproximadamente 0,5 cm. Estas materias primas, además del agente de curado fueron suministradas por la empresa Sumiglas S.A. Como agente desmoldante se utilizó alcohol polivinílico líquido.

Los haces de fibra utilizados como material de refuerzo fueron obtenidos de la especie guadua angustifolia *Kunt.* Las guaduas son procedentes de un guadual existente en una finca de un municipio del departamento de Caldas. Estas se cortaron verticalmente en forma de láminas delgadas y por un proceso de desfibrado mecánico se obtuvieron fibras largas heterogéneas en cuanto a su longitud y grosor. De estas fibras se seleccionan las más homogéneas y más delgadas y se colocaron a secar por un tiempo aproximado de 3 días, al aire

libre. Una vez secas, se cortaron en longitudes de aproximadamente 5 mm.

Con el propósito de retirar impurezas y lograr un mejor acoplamiento con el material de la matriz, los haces de fibra se sometieron a un tratamiento con NaOH, con una concentración del 5%, luego fueron lavadas con agua destilada y secadas en un horno a una temperatura de 105°C. En la figura 1, se pueden apreciar aspectos del proceso de preparación de los haces de fibra angustifolia.

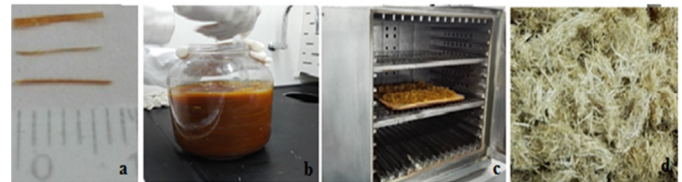


Fig. 1. a. Fibras cortadas, b. tratamiento con NaOH, c. secado en horno y d. fibras secas.

### B. Proceso de obtención del material compuesto.

Utilizando un proceso de moldeo manual, el cual consistió en la preparación de moldes en aluminio, mezclado de la fibra corta con la resina poliéster a la cual se le adicionó el agente de curado en un porcentaje del 2% y distribución de la mezcla en el molde, tal como se observa en la figura 2, se prepararon tres láminas de 250 x 250 x 5 mm, con las especificaciones que se muestran en la tabla 1.



Fig. 2. Proceso de obtención de láminas del material compuesto.

Lámina #	Resina poliéster %	Fibra de guadua %	Fibra de vidrio %
L <sub>1</sub>	90	10	0
L <sub>2</sub>	90	5	5
L <sub>3</sub>	90	0	10

Tabla 1. Especificaciones de las láminas de materiales compuestos fabricados.

### C. Caracterización físico-mecánica.

La caracterización física se enfocó únicamente en determinar la densidad de cada tipo de material, con el fin de establecer relaciones entre densidades y propiedades específicas, es decir, relación rigidez-peso y resistencia mecánica peso. El procedimiento consistió en cortar probetas de aproximadamente la misma forma y dimensiones de cada uno de los tipos de material fabricado, medir sus dimensiones, calcular el volumen ( $v$ ), pesar las muestras en una balanza digital Bernalo con capacidad de 600 g y 0,01 g de precisión

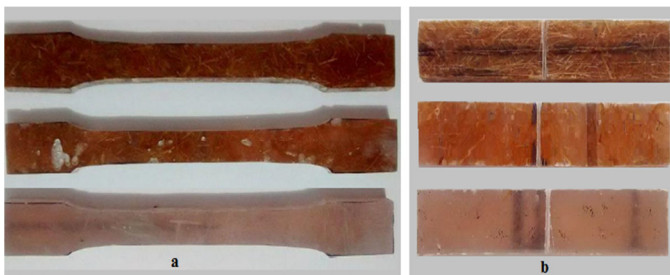
para determinar la masa ( $m$ ) y utilizando la ecuación 1, se obtuvo la densidad ( $\delta$ ) promedio de cada tipo de material.

$$\delta = m/v \quad [1]$$

En cuanto a la caracterización mecánica, los materiales compuestos fabricados fueron sometidos a pruebas de tensión, flexión en tres puntos e impacto Charpy, con el fin de determinar propiedades mecánicas tales como rigidez, resistencia a tensión, ductilidad, tenacidad y resistencia a la flexión o módulo de rotura. Antes de realizar estas pruebas fue necesario preparar las probetas a partir de las láminas fabricadas y con base en estándares normativos.

La preparación de las probetas, tanto para el ensayo de tensión como para el ensayo de impacto y flexión se hizo en forma manual. Primero se cortaron formas rectangulares, posteriormente utilizando moldes, un esmeril y lijado manual se llevaron a la forma establecida en la norma particular para cada ensayo, tal como se puede observar en las figuras 3a y 3b.

El ensayo de tensión se realizó con base en las normas NTC-595 y ASTM D638-14, en el Laboratorio de polímeros y compuestos de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, utilizando una máquina universal de ensayos marca Shimadzu modelo AG-X con una celda de carga de 20 kN, a una velocidad de 5mm/minuto. Las condiciones del laboratorio fueron 24,3° de temperatura y 58% de humedad. En esta máquina se sometieron a ensayo 5 probetas de cada uno de los materiales fabricados.



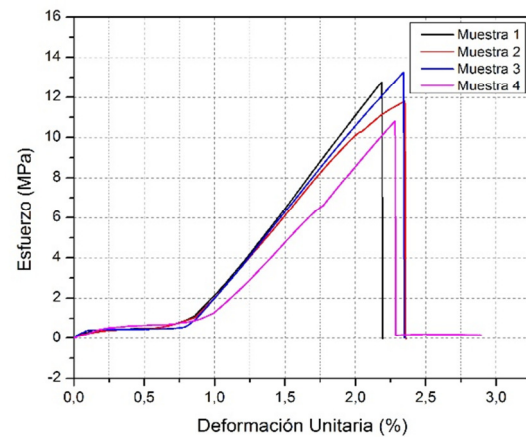
**Fig. 3. a.** Probetas para el ensayo de tensión, **b.** probetas para el ensayo de impacto Charpy.

El ensayo de impacto Charpy, se llevó a cabo con base en las normas ASTM 256.7706 y ASTM 6110-10, en el Laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Se usó una máquina Leipzig con capacidad de 300 J, con una distancia entre apoyos de 40 mm.

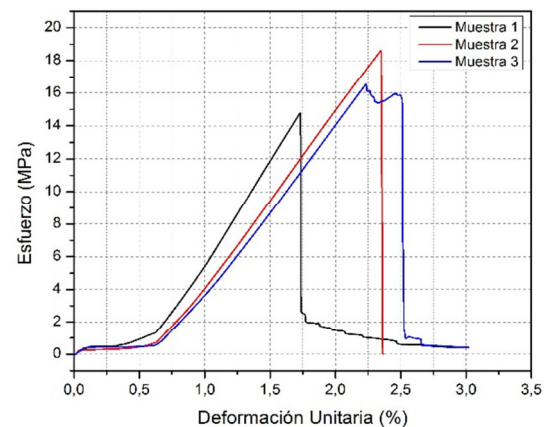
El ensayo de flexión en tres puntos se hizo con base en la norma NTC 1769, utilizando una máquina universal existente en el laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

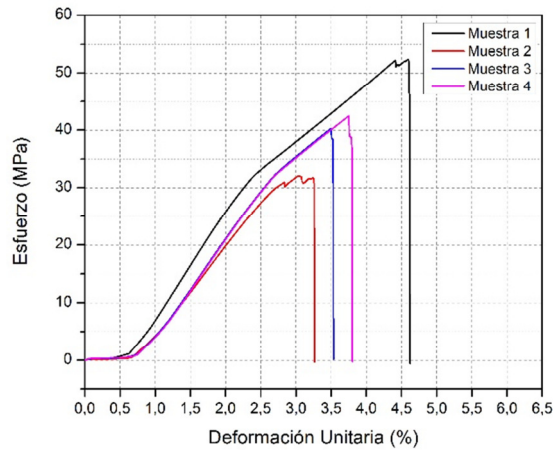
En las figuras 4,5 y 6 se muestran las gráficas de esfuerzo deformación unitaria de los ensayos de tensión de los tres tipos de materiales compuestos fabricados, a partir de las cuales se obtuvieron propiedades tales como rigidez, resistencia a la tensión y ductilidad.



**Fig 4.** Gráficas de esfuerzo deformación unitaria para compuestos con 10% en volumen de fibra de guadua.



**Fig 5.** Graficas de esfuerzo deformación unitaria para compuestos con 5% en volumen de fibra de guadua y 5% de fibra de vidrio.



**Fig 6.** Graficas de esfuerzo deformación unitaria para compuestos con 10% de fibra de vidrio.

Los valores promedio de las propiedades mecánicas derivadas de las gráficas esfuerzo-deformación unitaria, del ensayo de impacto Charpy y del ensayo de flexión en tres puntos, se resumen en la tabla 2.

Material compuesto	Módulo elástico (MPa)	Resistencia máxima (MPa)	% de elongación	Resistencia al impacto (J)	Resistencia a la flexión (MPa)
Poliéster/10% fibra de guadua	824,6	12,2	2,29	0,59	14,3
Poliéster/5% fibra de guadua-5% fibra de vidrio	1120,8	16,7	2,1	0,88	10,4
Poliéster/10% fibra de vidrio	1677,5	41,8	3,72	4,04	65

**Tabla 2.** Valores promedio de las propiedades mecánicas obtenidas a partir de los ensayos mecánicos.

En la tabla 2, se observa que tanto la resistencia máxima como la rigidez se incrementan en función del contenido de fibra de vidrio en el material. Dichos resultados son coherentes si se tiene en cuenta que tanto la rigidez ( $\approx 70$  GPa), como la resistencia máxima ( $\approx 1350$  MPa), de la fibra de vidrio son mayores a los de la fibra de guadua, que son ( $\approx 37$  GPa) para la rigidez y ( $\approx 550$  MPa) para la resistencia máxima [7]. El material compuesto híbrido 5% fibra de guadua y 5% fibra de vidrio con respecto al material compuesto poliéster/10% fibra de guadua, registra un incremento del 36% en la rigidez, un incremento del 37% en la resistencia a la tensión, un incremento del 49,2% en su resistencia al impacto, una disminución del 8,35 en la ductilidad y una disminución del 27,3% en la resistencia a la flexión.

El material compuesto híbrido, con respecto al compuesto poliéster/10% fibra de vidrio, muestra una disminución del 33% en la rigidez, 60% en la resistencia mecánica, 43% en la ductilidad, 78% en la resistencia al impacto y 84% en la resistencia a la flexión.

Con respecto a la tenacidad, se observa un incremento de esta propiedad a medida que aumenta el contenido de fibra de vidrio. De acuerdo a [5], este comportamiento se puede atribuir al hecho de que entre la resina poliéster y la fibra de vidrio se presenta una mejor adherencia en comparación con la combinación resina poliéster-fibras naturales.

Con el propósito de obtener propiedades específicas, se determinó la densidad de cada tipo de materiales. Las densidades promedio obtenidas fueron:  $1174 \text{ kg/m}^3$ ,  $1190 \text{ kg/m}^3$  y  $1320 \text{ kg/m}^3$  para poliéster-10% fibra de guadua, poliéster-5% fibra de guadua-5% fibra de vidrio y poliéster-10% fibra de vidrio respectivamente.

Material compuesto	Rigidez específica (MPa/kg)	Resistencia específica (MPa/kg)
Poliéster/10% fibra de guadua	702,4	10,4
Poliéster/5% fibra de guadua-5% fibra de vidrio	941,9	14,1
Poliéster/10% fibra de vidrio	1270,8	31,7

**Tabla 3.** Valores de rigidez y resistencia específica de los materiales compuestos.

En la tabla 3, se pueden ver los resultados de combinar las propiedades mecánicas, específicamente la rigidez y la resistencia máxima con la densidad de los materiales fabricados.

De los resultados anteriores se observa que: al sustituir fibra de guadua por fibra de vidrio, el incremento en la densidad con respecto al material poliéster/10% fibra de guadua sólo es del 1,4%, mientras que la disminución de la densidad con respecto al material poliéster/10% fibra de vidrio es del 9,85%. De otra parte, el material compuesto híbrido presenta un incremento del 34,1% en su rigidez específica respecto al material compuesto con 10% de fibra de guadua y una disminución del 25,8% respecto al compuesto con 10% de fibra de vidrio. Al comparar la resistencia específica las variaciones son: se incrementa en un 26,2% respecto al compuesto 10% fibra de guadua y disminuye en 55% respecto al compuesto 10% fibra de vidrio.

#### IV. CONCLUSIONES

Materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras de guadua angustifolia *Kunt*, fibra de vidrio y compuestos híbridos fueron producidos.

Utilizando diferentes técnicas de caracterización, fue posible evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales fabricados.

Fue posible fabricar materiales compuestos híbridos al mezclar fibras naturales y sintéticas (guadua y vidrio), como refuerzo de una matriz polimérica.

En general, las propiedades del material híbrido presentan variaciones lógicas respecto a los compuestos reforzados con sólo fibra de guadua o sólo fibra de vidrio debido a que se establece un equilibrio entre ventajas y desventajas de las propiedades de ambos tipos de fibras.

A partir de los resultados de este estudio, se abre la posibilidad de diseñar materiales compuestos híbridos, variando las fracciones volumétricas de las fibras de tal manera que se obtenga la mejor combinación de propiedades mecánicas en función de la necesidad a satisfacer, procurando de un lado amortiguar los impactos negativos que genera la utilización de fibras sintéticas y de otro, proporcionarle valor agregado a las fibras naturales, sin descuidar los costos de producción.

## RECOMENDACIONES

Se sugiere realizar otras investigaciones con este tipo de materiales variando las fracciones de cada una de las fibras utilizadas como refuerzo, así como, colocando las fibras en diferentes orientaciones dentro de la matriz.

Es necesario adelantar un estudio sistemático para determinar los efectos de la combinación de fibras en aspecto ambientales y de costos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan los más sinceros agradecimientos al personal técnico y administrativo de los diferentes laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales en los cuales se llevaron a cabo los diferentes ensayos.

## REFERENCIAS

- [1]. C. S. M. F. Costa, A. C. Fonseca, A. C. Serra & J. F. J. Coelho, "Dynamic Mechanical Thermal Analysis of Polymer Composites Reinforced with Natural Fibers", *Polymer Reviews*, 56:2, pp. 362-383, 2016.
- [2]. Ton Peijs, "Natural Fiber Based Composites," *materials Technology*, vol 15, pp. 281-285, 2000.
- [3]. K.L. Pickering, M.G. Aruan Efendy, T.M. Le, "A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance," *Composites: Part A* 83, pp. 98–112, 2016.
- [4]. Patricia M, Borda, Adriana Tedesco y Denise M, Lenz, "Effect of reinforcement nanoparticles addition on mechanical properties of SBS/curaúia fibers composites," *Materials Research*, vol 17(2), pp. 412-419, 2014.
- [5]. Daine, R., Heitor L, O., Sandro C.A, and Ademir, J.Z, "Preparation and characterization of ramie-glass fiber reinforced polymer matrix hybrid

*composites*," *Materials research*, vol 15(3), pp. 415-420, 2012.

- [6]. Maria F. V., Juliana N., Vinicius O., Iryna Grafova · Marianna K., Francesca V., Andrea S., and Andriy G., "Thermal and Mechanical Properties of Sustainable Composites Reinforced with Natural Fibers," *J Polym Environ*, Vol 23, pp. 251–260, 2015.
- [7]. Trujillo, E. de los R., "Polymer composite materials based in bamboo fibres," *Ku Leuven. Science, Engineering and Technology*, pp. 3, 2014.
- [8]. Santos D. Patricia, Braganza, L. Sebastiana, Ayres, Eliane, Santiago, P., Patricia O., Lambert, O., Rodrigo. "The potential of bamboo in the design of polymer composites". *Materials Research*, vol 15(4), pp. 639-644, 2012.