

## Fibra natural de yute como reforzante de materiales compuestos

### Natural fiber of jute as a reinforcer of composite materials

RAMÍREZ-PUENTE, José Manuel<sup>1</sup>, MENDOZA-MIRANDA, Juan Manuel<sup>1</sup>, SALAZAR-HERNÁNDEZ, Mercedes<sup>2\*</sup>, y SALAZAR-HERNÁNDEZ, Carmen<sup>1†</sup>

<sup>1</sup> Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Guanajuato, Av. Mineral de Valenciana No. 200 Col. Fracc. Industrial Puerto Interior, C.P.36275 Silao de la Victoria, Guanajuato, México.

<sup>2</sup> Universidad de Guanajuato. Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología, Ex Hacienda de San Matías S/N Colonia San Javier, C.P.36020 Guanajuato, Gto, México

ID 1<sup>er</sup> Autor: *José Manuel, Ramírez-Puente*

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Juan Manuel, Mendoza-Miranda*

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Mercedes, Salazar-Hernández*

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Carmen, Salazar-Hernández*

Recibido 23 de Marzo, 2018; Aceptado 12 de Mayo, 2018

#### Resumen

Los materiales compuestos resina / reforzante han remplazado el uso de distintos materiales, por ejemplo los metales. En el presente trabajo se realizó la caracterización mecánica de una familia de materiales compuestos reforzados con fibra de yute (MC-RY). El material reforzante se probó en diferentes combinaciones de capas y de orientación de la fibra (0°, 30° y 60°). La caracterización del material compuesto, se realizó por medio de pruebas mecánicas; tales como: resistencia a la tensión, prueba de impacto y dureza Leeb. De acuerdo con las propiedades mecánicas medidas en los diferentes materiales se obtuvieron funciones matemáticas que relacionan la propiedad mecánica con la orientación de la fibra y el número de capas.

**Material compuesto, Fibra yute, Caracterización mecánica, Simulación solid work**

#### Abstract

Composite resin / reinforcing materials have replaced the use of different materials, for example metals. In the present work, the mechanical characterization of a family of jute fiber reinforced composite materials (MC-RY) was performed. The reinforcing material was tested in different combinations of layers and orientation of the fiber (0°, 30° and 60°). The characterization of the composite material was carried out by means of mechanical tests; such as: tensile strength, impact test and Leeb hardness. According to the mechanical properties measured in the different materials, mathematical functions were obtained that relate the mechanical property to the orientation of the fiber and the number of layers.

**Composite material, Yute fiber reinforced, Mechanical characterization**

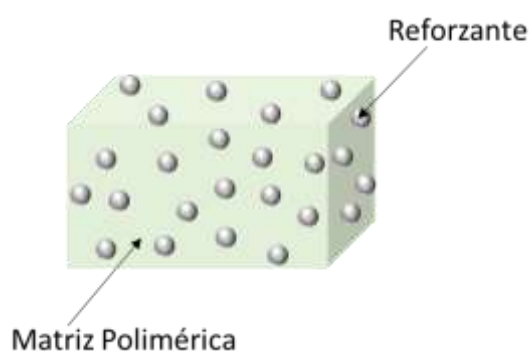
**Citación:** RAMÍREZ-PUENTE, José Manuel, MENDOZA-MIRANDA, Juan Manuel, SALAZAR-HERNÁNDEZ, Mercedes, y SALAZAR-HERNÁNDEZ, Carmen. Fibra natural de yute como reforzante de materiales compuestos. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2018, 2-6: 1-5

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: msalazarh@ipn.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Un material compuesto (MC) se obtiene a través de la mezcla física de dos o más tipos diferentes de materiales, con el único propósito de combinar propiedades no presentes en los materiales originales. Por lo tanto, se crean nuevos materiales con propiedades inusuales, tales como alta rigidez, conductividad, dureza y termofluencia, tracción y resistencia a la corrosión [1,2]. Los MC están constituidos por una matriz o fase continua que podría ser un material metálico, polimérico o cerámico. El otro constituyente de un compuesto es una fase dispersa o refuerzo, y su función principal radica en mejorar las propiedades de la matriz (véase Figura 1).



**Figura 1** Componentes de un Material Compuesto

Debido a sus principales características de ligereza y alta resistencia mecánica, los MC han sido empleados en diferentes industrias, tales como automotriz, aeronáutica y la de construcción [3-5]. Por ejemplo se puede mencionar el techo del BMW M6, que actualmente es fabricado con material sintético reforzado con fibra de carbono [6].

En la actualidad el uso de matrices poliméricas reforzados con fibras sintéticas como: polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP) y polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP) se ha utilizado en materiales estructurales primarios de aviones, vigas de piso y en el fuselaje [7]. En los automóviles, estos materiales se han empleado en el sistema de suspensión del automóvil [8], techo del coche [9], entre otros componentes.

Sin embargo, el proceso de degradación de estos materiales es muy lento y ocasiona una alta acumulación de residuos, lo cual se ha ido reflejando con una problemática ambiental.

En esta propuesta de investigación se comprobará la viabilidad de la aplicación de fibras naturales Yute (YFRP; Polímero Reforzado con Fibra de Yute) para la fabricación de materiales compuestos que puedan ser empleados en la construcción de partes del vehículo como lo es la defensa automotriz.

Los YFRP se caracterizan mecánicamente con diferentes ensayos determinando el efecto de la orientación de la fibra en las propiedades del material.

## Metodología

### Fabricación de YFRP

El material compuesto se integró en un laminado, conformado por una matriz de resina poliéster PP-70X60 (grado industrial, Poliformas) adicionando el 5% en peso de catalizador K-2000 (grado industrial, Poliformas). Los laminados se obtuvieron con 1 a 3 capas de fibra de yute y se dejaron curar por 24 horas. La Tabla 1 indica las diferentes configuraciones que fueron estudiadas en este proyecto.

RP	Número de Capas	Orientación de Capa (grados)
	Resina Poliéster sin Reforzante	
YFRP-1a	1 capa de Fibra	0
YFRP-1b	1 capa de Fibra	30
YFRP-1c	1 capa de Fibra	60
YFRP-2a	2 capa de Fibra	0
YFRP-2b	2 capa de Fibra	30
YFRP-2c	2 capa de Fibra	60
YFRP-3a	3 capa de Fibra	0
YFRP-3b	3 capa de Fibra	30
YFRP-3c	3 capa de Fibra	60

**Tabla 1** Laminados de YFRP fabricados para la caracterización mecánica

### Caracterización Mecánica de YFRP

La manufacturación de las probetas se realizó acorde con las normas ASTM de cada ensayo mecánico. Cada prueba mecánica fue realizada con un promedio de 10 probetas normalizadas.

### Ensayo de Tensión

Se realizó de acuerdo con la norma ASTM D3039/D3039M [10], empleando una maquina universal shimadzu AGX-300KN con velocidad de desplazamiento de 5 mm/min y una probeta plana normalizada con concentrador de esfuerzos.

RAMÍREZ-PUENTE, José Manuel, MENDOZA-MIRANDA, Juan Manuel, SALAZAR-HERNÁNDEZ, Mercedes, y SALAZAR-HERNÁNDEZ, Carmen. Fibra natural de yute como reforzante de materiales compuestos. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2018

## Ensayo de Dureza Leeb

Este ensayo se realizó considerando las especificaciones de la norma ASTM A956/A956M [11]; empleando un medidor portátil INSPEX-312, midiendo en escala Leeb (HL) con orientación vertical de la fuerza y como material de referencia se seleccionó bronce.

## Prueba de Impacto

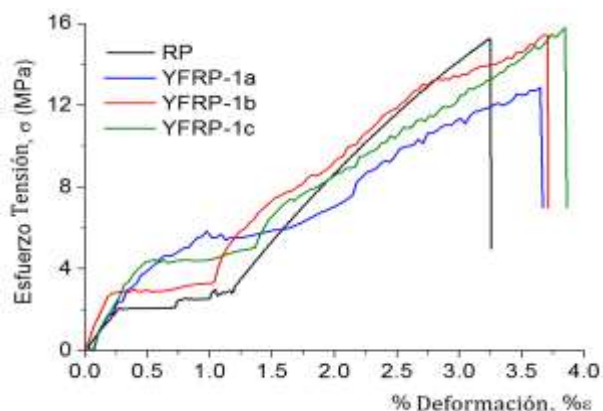
La norma empleada fue la D7136/D7136M [12]; el ensayo se llevó a cabo en un péndulo de Charpy DIT-PC410 con fuerza de impacto de 150 Nm.

## Resultados

### Caracterización Mecánica

La Figura 2 muestra las curvas esfuerzo-deformación correspondientes a los MC reforzados con una capa de fibra de yute a diferentes orientaciones; la resina polimérica mostró una zona de fluencia entre 0.28 a 1.18 % $\epsilon$ . Al ser adicionada la capa de fibra de yute esta zona desaparece para volver a observarse en los materiales con una orientación de la fibra de 30° y 60°.

La Tabla 2 indica las principales propiedades obtenidas del ensayo de tracción; al adicionar la fibra de yute se obtiene un material con mayor plasticidad, se incrementó el porcentaje de elongación entre el 21.7% y 28 % de acuerdo con la orientación de la Fibra. Sin embargo, cuando la fibra de Yute se mantiene sin rotar se observó una disminución del 15.5 % en la tracción ( $\sigma_u$ ) y el 25.25% en el módulo elástico; lo que confirma la formación de un material más elástico.



**Figura 2** Efecto de la orientación de la fibra en las propiedades mecánicas de YFRP

La Tabla 3 resume las resistencias a la tracción determinadas y los porcentajes de incrementos generados en cada configuración al incrementar las capas de fibra de yute. El mayor incremento se obtuvo cuando la fibra se orienta a 30°.

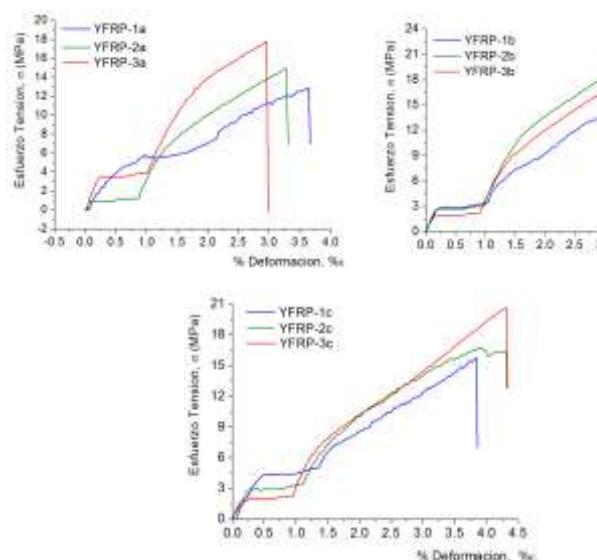
	$\sigma_u$ (MPa)	% $\sigma_u$ en la fractura	E (GPa)
RP	15.20	3.0	2.0
YFRP-1a	12.84 (-15.5)	3.65 (+21.7)	1.49 (-25.25)
YFRP-1b	15.41 (+1.38)	3.68 (+22.7)	4.88 (+144.1)
YFRP-1c	15.72 (+3.42)	3.84 (+28.0)	3.73 (+86.65)

**Tabla 2** Propiedades de tracción para la matriz polimérica y los YFRP

En paréntesis se muestran los porcentajes de modificación; (+) indica incremento (-) indica reducción

Al rotar la fibra de Yute en 30° y 60° se identificaron incrementos en el  $\sigma_u$  entre el 1 y 3.42%, formando materiales más rígidos con módulos elástico de 4.88 GPa y 3.723 GPa al rotar de 30° a 60° respectivamente. Sin embargo, la rotación de la fibra no modifica la ductilidad del material ya que el % $\epsilon$  se mantiene con un incremento superior al 20%.

La Figura 3 muestra el efecto del número de capas con la orientación de la fibra; en todos los casos a mayor número de capas se tiene mayor resistencia a la tracción; alcanzando un máximo de 21.72 MPa para el YFR-3b (3 capas de yute orientadas a 30°).

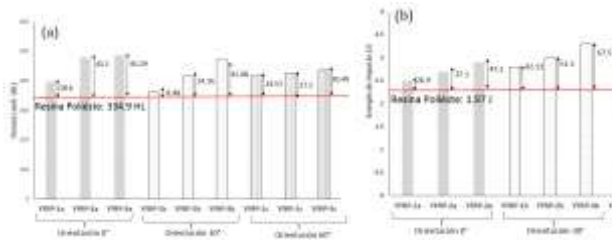


**Figura 3** Curvas Esfuerzo-Deformación para YFRP con diferentes capas de fibra y orientación (a) orientación 0° (b) orientación 30° (c) orientación 60°

Resistencia a la Tracción, $\sigma_u$ (MPa)			
	Orientación 0°	Orientación 30°	Orientación 60°
YFRP-1	12.87	15.41	15.72
YFRP-2	14.92 (+15.93)	20.23 (+31.28)	16.44 (+4.58)
YFRP-3	17.85 (+38.69)	21.72 (+40.95)	20.60 (+31.04)

En paréntesis se muestran los porcentajes de modificación; (+) indica incremento (-) indica reducción

**Tabla 3** Resistencia a la tracción de YFRP con diferentes capas y orientación de capa.



**Figura 3** Efecto del número de capas y orientación de las fibras en (a) Dureza Leeb (b) Energía absorbida en el impacto

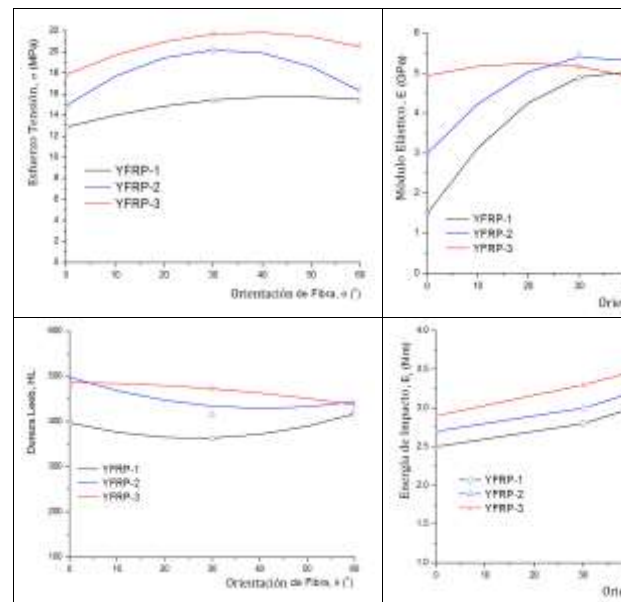
La Figura 3a resume los resultados obtenidos para los ensayos de dureza Leeb; a mayor número de capas se tiene un incremento en la dureza. Sin embargo, un mayor incremento entre capas fue observado con la configuración de orientación en 0° y 30°; por ejemplo para el material con una capa orientado a 30° (YFRP-1b) se incrementó la dureza en un 8.48%, mientras que para la misma orientación pero con tres capas (YFRP-3b) se tiene un incremento del 41.08%. Por su parte, la configuración con orientación de la fibra en 60° generó un incremento en la HL casi constante entre los 24.5% y el 30%.

Propiedad Mecánica	Ecuación General
<b>1 Capa de Fibra de Yute</b>	
Dureza (HL)	$0.0487x^2 - 2.59x + 397.2$
E. Impacto (N·m)	$0.015x + 2.45$
$\sigma_u$ (MPa)	$-0.0014x^2 + 0.1276x + 12.87$
E (GPa)	$-0.0025x^2 + 0.1887x + 1.49$
<b>2 Capa de Fibra de Yute</b>	
Dureza (HL)	$0.0412x^2 - 3.365x + 497.7$
E. Impacto (N·m)	$0.015x + 2.65$
$\sigma_u$ (MPa)	$-0.0051x^2 + 0.3287x + 14.92$
E (GPa)	$-0.0022x^2 + 0.1463x + 2.79$
<b>3 Capa de Fibra de Yute</b>	
Dureza (HL)	$-0.0119x^2 - 0.1133x + 486.6$
E. Impacto (N·m)	$0.015x + 2.88$
$\sigma_u$ (MPa)	$-0.0028x^2 + 0.2122x + 17.85$
E (GPa)	$-0.0008x^2 + 0.0315x + 4.94$

Los resultados del ensayo de impacto indicaron que la orientación de la fibra incrementa considerablemente la capacidad de absorción de energía de impacto. La orientación de 0° incremento del 26.9% a 47.2% de acuerdo con el número de capas en los YFRP; mientras que a 30° se tiene un incremento de 42.13% al 67.5% y para la configuración a 60°, la  $E_j$  aumento en un 72.6% con una capa de fibra y un 92.9% con las tres capas.

**Correlación entre la Propiedades Mecánicas de YFRP y el Ángulo de Inclinación de la Fibra**

Los resultados de la caracterización mecánica se ajustaron a modelos matemáticos polinomiales que permiten predecir el comportamiento de los YFRP de acuerdo con el número de capas y la inclinación de la fibra (véase Figura 4). Las ecuaciones generales para los YFRP a partir de los modelos de correlación se indican en la Tabla 4. Correlación entre propiedades mecánicas de YFRP con el ángulo de inclinación



**Figura 4** Correlaciones entre propiedades mecánicas de YFRP y la inclinación de la Fibra

**Conclusiones**

Los resultados obtenidos indicaron que el Yute puede ser empleado como reforzante de la resina poliéster. Observando una función cuadrática entre el valor de la propiedad mecánica contra el ángulo de inclinación de la fibra reforzante. Estos modelos matemáticos se pueden emplear para la predicción y simulación de propiedades de MC-RY con una estructura prediseñada.

RAMÍREZ-PUENTE, José Manuel, MENDOZA-MIRANDA, Juan Manuel, SALAZAR-HERNÁNDEZ, Mercedes, y SALAZAR-HERNÁNDEZ, Carmen. Fibra natural de yute como reforzante de materiales compuestos. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2018

**Agradecimientos**

Se agradece al Instituto Politécnico Nacional a través de la Sección de Investigación y Posgrado por el apoyo económico brindado a través del proyecto SIP-20150002, SIP-20170091

**Referencias**

Karthigeyan P., Senthil Raja M., Hariharan R., Karthikeyan R., Prakash S (2017) Performance evaluation of composite material for aircraft industries, *Materials Today Proceedings*, 4, 3263–3269

Gibson R.F. (2010) A review of recent research on mechanics of multifunctional composite materials and structure, *Composite Structures* 92, 2793-2810

LeBaron P.C, Wang Z, Pinnavaia TJ (1999) Polymer layered silicate nanopocomposites: an overview, *Applied Clay Science*, 15, 11-29

Arasu P.M., Krishnaraj V., Rambabu B. (2014) Investigation of material and manufacturing process to develop high pedestrian safety composite bonnet, *Applied Mechanics and Materials* 592-594, 2518-2523

Menna C, Asprone D, Durante M, Zinno A, Balsamo A, Prota A (2015) Structural behaviour of masonry panels strengthened with an innovative hemp fiber composite grid, *Construction Building Materials*, 100, 111–121

Alen J., Nidhi M.B. (2014). Modelling and analysis of an automotive bumper used for a low passenger vehicle, *International Journal of Engineering Trends and Technology* 15 (7), 334-353

Nayak N.V (2014) Composite Materials in Aerospace Applications, *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(9), 238-247

Morris C.J. (1986) Composite integrated rear suspension, *Composite Structures*, 5, 233-242

Sapuan S.M (2017) Composite Materials, in: *Composite Materials Concurrent Engineering Approach*, Elsevier Ed, United Kingdom, p.p. 57-93.

Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. ASTM D3039/D3039M-17

Standard Test Method for Leeb Hardness Testing of Steel Products. ASTM-A956-06  
Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics. ASTM D110-10