



**PREPARATION AND CHARACTERIZATION
MECHANICS OF MATERIALS BASED HYBRID FIBER
NATURAL WOOD AND RESIN BIOPOXY**

**PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN MECÁNICA
DE MATERIALES HÍBRIDOS BASADOS EN FIBRAS NATURALES, MADERA Y
RESINA BIOPOXY**

Maldonado J. J.;* Ph. D Bladimir Ramón Valencia*; Ph.D Alberto López Arraiza.**

*** Estudiante Ingeniería Química, Universidad de Pamplona;**

***Doctor Ingeniería de Materiales, Programa de Ingeniería Mecánica,
Profesor Titular;**

**Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona,
Pamplona, Colombia**

****Doctor Ingeniería de Materiales, Dpto. Ciencias y Técnicas de la
Navegación, Máquinas y Construcciones Navales,
Escuela Técnica Superior de Náutica y Maquinas Navales, Universidad del
País Vasco (UPV/EHU), España.**

e-mail: baramon12@gmail.com; jjmalvi@hotmail.com

Abstract: ...

Resumen: La presente investigación se realiza, con la finalidad de obtener y caracterizar el comportamiento mecánico de materiales híbridos, constituidos de láminas de madera con biocompuestos conformados entre bioresina, modificando el refuerzo fibroso de tipo natural como el lino, yute y fique. La etapa de preparación de los materiales híbridos se llevó a cabo, mediante el proceso de infusión en vacío, utilizada en la preparación de materiales compuestos convencionales. Para la caracterización mecánica se probaron cinco formulaciones, combinando para cada sistema el tipo de fibra bajo la norma ASTM D3039. Los resultados arrojaron una mayor eficiencia de las propiedades mecánicas como el módulo y la resistencia a la tracción en los sistemas que contenían refuerzo de fibra con láminas de roble, siendo el sistema con yute/roble con el mejor rendimiento mecánico. Se estimó la densidad por medio del método de desplazamiento. Los valores evidenciaron un incremento de la densidad para las combinaciones que contenían refuerzo de fibra/roble. Igualmente, remarcar que las densidades más próximas a la resina sin refuerzo se consiguieron para que el sistema fique/roble.

aproximadamente 30 millones de toneladas de fibras naturales alrededor del mundo y sus aplicaciones tradicionales son: la cordelería, vestido, tapicería, entre otros. [5]

El objetivo de la presente investigación, esta direccionado en la preparación y caracterización mecánica de materiales híbridos. Para tal fin, se han seleccionado diferentes tipos de fibras naturales como el lino, yute y fique que actúan como refuerzo. Las fibras están comprendidas en una estructura tipo sándwich entre láminas de madera como el roble. Adicionalmente se ha seleccionado una resina bioepoxy obtenida a partir de fuentes renovables de procesos industriales.

La elección de mezclar diferentes fibras naturales entre placas de roble con resina bioepoxy representa una propuesta novedosa en el campo de la ciencia y la tecnología debido al poco conocimiento que se tiene al respecto en las propiedades mecánicas de los biocompuestos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados en este trabajo han sido; **Resina termoestable Bio epoxy (Super Sap™ 100 / 1000)**; 100 Epoxi con 1000 Endurecedor, es una versión modificada de resina epoxi líquida clea, diseñada específicamente para aplicación y curado a temperatura ambiente, para la preparación de materiales compuestos reforzados confibras.

A diferencia de resinas epoxi tradicionales que se componen principalmente de materiales a base de petróleo, las formulaciones Súper Sap™ contienen un 55% de materiales bio-renovables de origen

como co-productos de los residuos de otros procesos industriales, como la celulosa y la producción de bio-combustible [6]. Ver tabla

Tabla 1. Propiedades de la resina Super Sap.

Densidad (Kg/L)	1.0
Resistencia a la tracción (MPa)	62; (9000 psi)
Módulo de tracción (GPa)	2,5; (3.6x10 ⁵ psi)
Alargamiento de corte (%)	7
Resistencia a la flexión (MPa)	83; (12.000 psi)
Módulo de flexión (GPa)	2.1; (3.0x10 ⁵ psi)

Las fibras naturales como lino, yute y fique; todas son fibras naturales obtenidas por la extrusión de la planta seca y poseen buenas características de resistencia y flexibilidad. La producción de los tejidos de fibra natural se realiza de manera artesanal o tecnificada, según el tipo de fibra y el proveedor; poseen buena capacidad de absorber líquidos, de hasta un 20% y mayor resistencia a la rotura, que las fibras de algodón y lana. [7,8] También se refuerza el material con láminas de **Madera de Roble**, otorgando otras características de resistencia en dirección de la beta vertical de la madera, además de un buen acabado.

Es una madera semidura con las siguientes características. [9] Ver tabla.

Tabla 2. Propiedades de la madera de roble.

Densidad media	720Kg/m ³
Resistencia de rotura a la flexión	950 kg/Cm ²
Resistencia de rotura a la compresión	570 kg/Cm ²
Resistencia de rotura a la tracción	980 kg/Cm ²
Resistencia a los choques	60kg/Cm ²



Las conclusiones de la siguiente investigación dejan en claro una nueva alternativa de materiales amigables con el medio ambiente con prestaciones de servicio en un amplio rango, para la sustitución de materiales convencionales que atentan contra el medio ambiente.

Keywords: Biocomposite, thermosetting resin, Vacuum Infusion.

Palabras Claves: Biocompuesto, Resina termoestable, Infusión en vacío.

Fecha de recibido: Octubre 1 de 2013

Fecha de aprobado: Febrero 2 de 2014

1. INTRODUCCIÓN

Los materiales compuestos son aquellos que se forman por la unión de dos materiales para conseguir la combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales originales. Estos compuestos pueden seleccionarse para lograr combinaciones poco usuales de rigidez, resistencia, peso, rendimiento a alta temperatura, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad [1].

Están formados de 2 o más componentes distinguibles físicamente y separables mecánicamente; Presentan varias fases químicamente distintas, completamente insolubles entre sí y separadas por una interface; Sus propiedades mecánicas son superiores a la simple suma de las propiedades de sus componentes (sinergia).

Los materiales reforzados con fibras; se forman por la introducción de fibras fuertes, rígidas y frágiles dentro de una matriz más blanda y dúctil. Se consigue mejor resistencia (incluso a altas temperaturas), rigidez y alta relación resistencia/peso. [2]

El material de la matriz transmite la fuerza a las fibras y proporciona ductilidad y tenacidad, mientras que las fibras soportan la mayor parte de la fuerza aplicada. En la actualidad utilizamos gran variedad de materiales compuestos, como el caso de la fibra de vidrio o fibra de carbono.

Las propiedades ingenieriles de los compuestos derivan, principalmente, de las propiedades físicas y mecánicas de la fase discontinua que son las fibras de refuerzo. Al aumentar la fracción en volumen de fibra, aumentan las propiedades mecánicas; hasta el punto en que la cantidad de matriz es insuficiente para soportar las fibras y transferir la carga al material compuesto. [3]

La utilización de materiales reforzados con fibras que sean más económicas y de menor impacto medioambiental es una realidad. Para ello, se refuerzan muchos polímeros con fibras provenientes de productos naturales como el lino, yute con propiedades físicas y mecánicas propicias para cumplir con los requerimientos de refuerzo de materiales híbridos. [4]

Por otra parte, la inclusión de fibras naturales como refuerzo de materiales compuestos ha sido estudiada ampliamente en las últimas dos décadas. En la actualidad se producen

El método de preparación del material, llamado **Infusión en vacío**, es un proceso mediante el cual el vacío succiona resina hacia un laminado de fibra seca en un molde de un solo lado. Se coloca una membrana de película rígida o flexible sobre la parte superior y se sella alrededor de la periferia del molde. La infusión de resina se considera un “proceso a molde cerrado”. [10,11]

Mediante el proceso de infusión en vacío se prepararon los siguientes sistemas para su posterior estudio

Tabla 3. Sistemas de estudio.

Sistema	Cantidad de roble	Fibra natural	Resina
Lino roble A	2 laminas	Lino tejido 3 capas	Super Sap
Lino roble B	2 laminas	Lino desmenuzado 2 capas	Super Sap
Fique roble	2 laminas	Fique tejido 2 capas	Super Sap
Yute roble	2 laminas	Yute tejido 3 capas	Super Sap

De cada lámina se cortaron probetas estandarizadas según norma ASTM D3039 de 150 mm de longitud X 25,4 mm de ancho X 3 a 4 mm de espesor y una longitud calibrada de no menos de 40 mm.

Figura 1. Dimensiones de probetas para ensayo de tracción según norma ASTM D3039.



Para la caracterización mecánica del material se utilizó una **Máquina Universal**, haciendo un **ensayo de tracción** bajo la norma ASTM D3039 Método de prueba estándar para las propiedades de tracción de los materiales compuestos de resina y fibra. [12]

La Máquina Universal para ensayos de caracterización mecánica **SHIMADZU UH-600**, posee una capacidad de aplicación de esfuerzos desde 10 KN hasta 600 KN y software de control **TRAPEZIUM 2**,

El ensayo de tracción se realizó a temperatura ambiente con una velocidad de desplazamiento de la plataforma de 2mm/min y aplicando una carga inicial a la máquina de 30 KN, para asegurar las probetas a las mordazas de sección plana y así iniciar el ensayo de manera eficaz.

El **Cálculo de la densidad** de los materiales se realizó a través del método de desplazamiento bajo norma NTC 907. [14] Donde se aplica una parte del principio de Arquímedes, que dice que al sumergir un objeto en un líquido, el volumen del objeto es igual al volumen del líquido desplazado por este y aplicando la ecuación de densidad:

$$\rho = m/V \quad \text{ec. 1}$$

Donde: (ρ) es la densidad, (m) es la masa del objeto y (V) es el volumen de líquido desplazado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento a tracción

En la figura 2. Se muestra el diagrama esfuerzo Vs deformación para los sistemas

estudiados. Para cada ensayo se realizaron un mínimo de cinco pruebas por sistema, como lo demanda la norma ASTM D 3039, obteniendo los valores promedio con su desviación estándar del módulo de Young, esfuerzo máximo a la rotura y el alargamiento a rotura. Ver tabla 2.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 2, se encontraron que los valores promedios del módulo de Young y el esfuerzo máximo de rotura, presentan valores superiores a la resina sin refuerzo, lo que hace presumir a primera vista que, la combinación fibras naturales junto con las placas de roble, mejoran el rendimiento mecánico de la bioresina sin refuerzo .

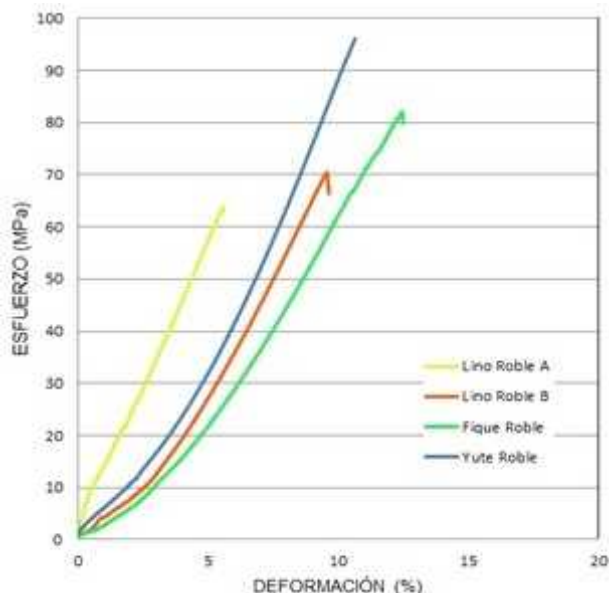


Figura 2. Diagrama tensión-deformación de los materiales híbridos.

Igualmente, las desviaciones estándar de los promedios obtenidos en cada uno de los parámetros, nos indican la homogeneidad en la composición de las partes que conforman el híbrido, corroborando que el proceso de fabricación de infusión en vacío

es una técnica apropiada para la obtención de materiales compuestos libre de defectos.

Material	E (GPa)	Esfuerzo a rotura (MPa)	Deformación %
Bio-Resina	2.5	62	7
Lino Roble A	11.456 ± 0.360	68.731 ± 3.388	8.871 ± 0.507
Lino Roble B	9.225 ± 0.197	69.336 ± 3.046	14.358 ± 0.101
Figue Roble	7.945 ± 0.156	79.543 ± 2.352	18.477 ± 0.387
Yute Roble	11.056 ± 0.837	95.029 ± 1.833	15.731 ± 0.226

De acuerdo a los valores obtenidos del módulo de Young, en tracción, para los sistemas objeto de estudio, como se muestran en la figura 3, se observa un aumento del módulo para los materiales híbridos, siendo los de mejor comportamiento las configuraciones de lino-roble y yute-roble, con incrementos del 358,24% y 342,24% respectivamente con respecto a la resina bioepoxy. Para los sistemas con refuerzos de linoroble y figue-roble los incrementos fueron menores, e s t i m a d o s e n 2 6 9 % y 2 1 7 , 8 % r e s p e c t i v a m e n t e . Estos resultados demuestran el carácter fuerte de la orientación de las vetas de las láminas de madera, dando origen a un material anisotrópico como se observa en la figura 6.

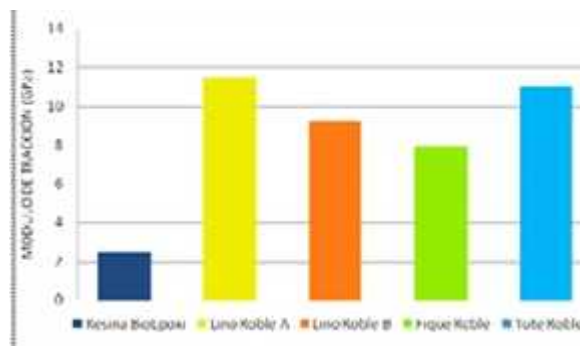


Figura 3. Balance módulo de tracción.

La respuesta de los materiales híbridos frente a la resistencia, ver figura 4, se torna algo similar a los valores obtenidos para el módulo de Young, con incrementos sustanciales del esfuerzo a rotura para los sistemas con refuerzo fibra natural/roble frente a la resina bioepoxy. En este caso, el mejor comportamiento es atribuido, al igual que en el módulo al componente yute-roble con un 53,27% superior frente a la resina sin carga. Sin embargo, los híbridos con fique-roble, se ubican como el segundo sistema con el mejor rendimiento a la resistencia con un incremento del 28,29%. Para las formulaciones con lino-roble tanto trenzada con mat, con aumentos similares del 11,8% y 10,3% respectivamente. A luz, de los resultantes obtenidos en el esfuerzo de rotura, se contempla la contribución del tipo de fibra en la mejora de esta propiedad, al parecer la adhesión entre las fibras la madera y la resina bioepoxy, ha generado una buena compatibilidad entre ellos.

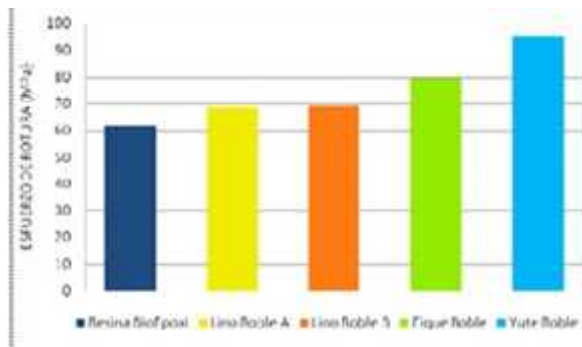


Figura 4. Balance esfuerzo de rotura.

Como se muestra en la figura 5, el comportamiento en la deformación a rotura, para los sistemas estudiados, se aprecia un comportamiento con crecimiento positivos

del alargamiento a la rotura. Los valores con un mejor comportamiento están representados en el sistema fique-roble con incrementos del 163,95%, seguido por el yute-roble con un delta de 124,7%, estos valores son referenciados con relación a la bioresina sin refuerzo. Las combinaciones que contienen lino, demuestran los menores valores de los incrementos en la deformación a la rotura, siendo más pronunciado la mezcla que contiene las fibras de lino mat. Podemos concluir con respecto a los incrementos de los porcentajes a la deformación, la disminución del contenido de resina, y por otro lado, el aporte de un material fibroso, con mayores valores al alargamiento, como lo demuestra la investigación llevada a cabo por Higalco M. A et al, con relación a compuestos reforzados con fibras de fique.[15]

Figura 5. Balance deformación máxima.

Las características de la resina, se ven claramente mejoradas con la aplicación del refuerzo, las partes que conforman el nuevo material se combinan de manera exitosa con una buena compatibilidad.

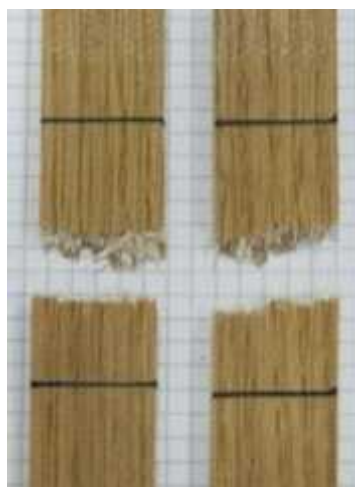


Figura 6. Comportamiento de rotura.

Calculo de la densidad

La densidad de los materiales (vease figura 7), registro densidades relativamente bajas a comparación de la densidad de muchos materiales que se utilizan actualmente el las industrias, esto por la baja densidad del refuerzo utilizado y el metodo de fabricasión.

Estos valores representan una variacion del peso de los materiales muy baja respecto a la matriz, observando que hay una mejora de las propiedades mecanicas del material con poca adiccion de peso, se puede decir que se le da valor agregado al material. Se observó que el material reforzado con fibra de fique presenta un valor mas bajo, atribuyendo este a su alta porosidad.

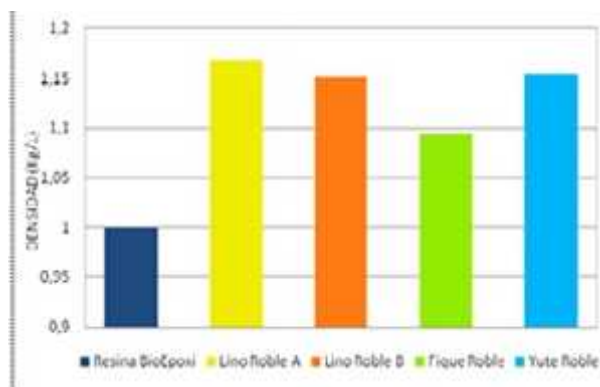


Figura 7. Densidad de los materiales.

4. CONCLUSIONES

En la presente investigación se ha demostrado la posibilidad de fabricar mediante el método por infusión en vacío estructuras híbridas de biocompuestos reforzados con fibras naturales y láminas de madera deroble

Los resultados de los ensayo de tracción uniaxiales demuestran el carácter fuerte de

la orientación de las vetas de las láminas de madera, dando como consecuencia un material

anisotrópico

Los valores obtenidos de las densidades son muy favorables para competir con las propiedades específicas como la resistencia y el módulo de algunas materiales convencionales

Esta nueva generación de materiales híbridos constituidos de componentes naturales, son una nueva alternativa de materiales amigables con el medio ambiente con prestaciones de servicio en un amplio rango para la sustitución de materiales que atentan contra el ecosistema

Referencias Bibliográficas.

- 1 askeland, donald r - ciencia e ingeniería de los materiales. Tercera edición Universidad de Missouri-Rolla.
- 2 Smith W "Ciencia e ingeniería de materiales". Madrid. Editorial Paraninfo, 2004.
- 3 Materiales y materias primas, cap 10 Materiales compuestos; Franco Stupenengo.
- 4 Propiedades mecánicas de materiales reforzados con fibras naturales. Exequiel Rodríguez y Analía Vásquez. Universidad de Mar del Plata, INTEMA, Argentina.



- 5 FAO, "El año internacional de las fibras naturales 2009; ¿Por qué naturales?", Recuperado de: http://www.fao.org.ec/Fibras/AIFN_hojas.pdf [citado el 1 de diciembre de 2009].
- 6 Technical Data Sheet – Super Sap™ 100 Epoxy Resin/Super Sap™ 1000 Hardener Updated 6/1/2010
- 7 Relaciones entre la estructura química y las propiedades de las fibras. Dr. André Parisot, Laboratorio Químico Instituto Textil de Francia.
- 8 Silva Rodríguez, Francisco; Sanz Aragonés, José Emilio (1996). «Tema 13. Las fibras textiles. 13.4. Fibras de origen animal». *Tecnología Industrial I* (1ª edición). Aravaca (Madrid, España): McGrawHill/Interamericana de España, S.A.U.. pp.197-199.
- 9 Junta del acuerdo de Cartagena. 1981. Tablas de propiedades físicas y mecánicas de la madera de roble y de otras 24 especies en Colombia. PADTREFORT. 53p.
- 10 VIP – Vacuum Infusion Process. J Summerscales and T J Searle. "Low-pressure (vacuum infusion) techniques for moulding Large composite structures", proceedings of the Institution of the Mechanical Engineers.
- 11 Santos PA, Spinace MAS, Feroselli KKG, De Paoli MA. Polyamide-6/vegetal fiber composite prepared by extrusion and injection molding. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2007;38:2404–11
- 12 Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Material ASTM D3039M. Institute for Standards Research.
- 13 Plastics. Test method for density and specific gravity (relative density) of plastics by displacement NTC 907, ASTM D 792-91..
- 14 ...fique...Desempeño mecánico del compuesto polietileno aluminio reforzado con agro fibras continuas de fique. *Miguel A. Hidalgo*^{1*}, *Mario F. Muñoz*¹, *Karen J. Quintana*¹. Facultad de Ingeniería, GITEM, Universidad Autónoma de Occidente, GMC, Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia