

Caracterización de un material compuesto de fibra de coco y matriz de resina epoxi

Characterization of a compound material of coconut fiber and epoxy resin matrix

Julio César Leguísamo Milla ^{1,*}

julio.leguisamo@uisek.edu.ec¹

Fecha de recepción: 11 de mayo de 2018 — Fecha de aceptación: 18 de octubre de 2018

Resumen—En esta investigación se caracteriza las propiedades mecánicas de un material compuesto de fibra de coco y matriz de resina epoxica. Mediante una evaluación experimental se desarrolló los ensayos de tracción, flexión y dureza en base a las normas ASTM 3039, ASTM 7264 y ASTM D5628 respectivamente. A través de la fabricación de probetas y estratificación manual de un compuesto de matriz termoestable reforzado con fibras largas con orientación de 90^0 , 0^0 , 90^0 y 0^0 , 90^0 , variación volumétrica de la fibra de 25,30 y 40 % y la variación volumétrica de la resina del 60,65 y 70 % de fibra de coco y matriz de resina epoxi. Se analizó la influencia de la proporción másica fibra/matriz sobre las propiedades de resistencia a la tracción, la resistencia al impacto y flexión. En los resultados obtenidos del análisis a impacto se pudo determinar que las dos configuraciones es decir de 2 y 3 capas de fibra presentan igual capacidad de absorción de energía generando una hipótesis de que esta energía no depende del número de capas de fibra. El mayor esfuerzo corresponde a las probetas de configuración de 3 capas de fibra de coco orientadas a 90-0-90 con fracción volumétrica del 60 % en resina epoxi.

Palabras Claves—Material Compuesto, Fibra de Coco, Resina Epoxica.

Abstract—At this research being characterized the mechanical properties of a composite material made by coconut fiber and epoxy resin matrix. By an experimental evaluation of tensile, bending and hardness. All tests were developed based on the ASTM standards 3039, 7264 and D5628 respectively. Through the manufacture of specimens and manual stratification of a thermosetting composite matrix, reinforced with long fibers with 90^0 , 0^0 , and -90^0 orientation, volumetric variation of the fiber of 25.30 % and 40 %, Also, the volumetric variation of the resin of 60.65 % and 70 % of coconut fiber and epoxy resin matrix. The influence of the matrix mass ratio on the properties of tensile strength, impact resistance and bending was analyzed. On the results of the impact analysis was noted that the two configurations, of 2 and 3 layers of fiber, have the same energy absorption capacity, generating a hypothesis that this energy does not depend on the number of layers of fiber. The bigger effort corresponds to 3-layer coconut fiber configuration specimens with 60 % volumetric fraction at epoxy resin.

Keywords—Composite Material, Coconut Fiber, Epoxy Resin

INTRODUCCIÓN

La preocupación por el deterioro del medio ambiente en los últimos años ha sido inminente, tanto así que existe una tendencia por promover el uso de tecnologías limpias, el uso de recursos renovables y la optimización del uso de la energía. Debido a esto se ha venido incentivando en los últimos años, tanto al sector industrial como manufacturero el uso de fibras naturales al presentar buena resistencia mecánica, bajo costo y poco peso.

(1) (Spanevello, Suárez y Sarott) manifiesta que, en Europa la industria automotriz usa alrededor de 80 000 toneladas de fibras naturales al año para reforzar los paneles termoplásticos; en la India, se han desarrollado láminas de material compuesto hechas de fibra de coco por ser más resistentes que la madera de teca a las condiciones ambientales, mientras que en Brasil se está desarrollando material de techumbre reforzado con sisal.

En su estudio (2)(Mazón Ortiz, 2017), manifiesta que la matriz y el refuerzo corresponden a los componentes de un material compuesto y a la capa de unión entre estos se denomina

interfaz, existiendo la posibilidad de adicionar agentes de acoplamiento y revestimientos con el propósito de mejorar la capa de la interfaz del material compuesto y de esta forma mejorar las propiedades del material en lugar de verse afectadas.

La Escuela Politécnica Nacional (3) (Dávila et al., 2011) manifiesta que el material de la matriz transmite la carga a las fibras, las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada. Además, se afirma que los compuestos reforzados con fibras típicamente manifiestan anisotropía, lo que significa que algunas propiedades varían dependiendo del eje geométrico o plano a lo largo del cual fueron ubicadas las fibras.

La resina epoxi (4) (Jácome, 2015), en su estructura cuenta con un monómero reactivo, generalmente estireno, que formará entrecruzamientos entre las cadenas poliméricas durante el proceso de curado, además de proporcionar la viscosidad adecuada a la resina. Estas resinas tienen una buena adhesión a otros materiales, buena resistencia química y al medio ambiente, buenas propiedades como aislantes eléctricos y buenas propiedades mecánicas. En el caso de las propiedades mecánicas, la resistencia a la tracción, la resistencia al impacto, entre otras, dependerán del tipo de matriz, del tipo de refuerzo la fracción volumétrica y la orientación de las fibras.

*MAGISTER EN SISTEMAS AUTOMOTRICES

Existe una investigación (5) (Trejos Taborda, 2014) que se usó en su investigación el mesocarpio del coco en la cual manifiesta que esta envoltura fibrosa se deseca y se endurece al acercarse a la madurez, el espesor de la corteza o mesocarpio varía entre 3 y 5 centímetros y representa el 35 % del total de la fruta. El 90 % del mesocarpio está conformado por fibras constituidas por lignina y celulosa alcanzando longitudes de entre 15 y 30 centímetros. En la actualidad por la calidad de resistencia y durabilidad las fibras de coco se están usando para fabricar una serie de materiales como pisos, hilos, sogas, paneles, etc.

En el proyecto (6) (Manjarrés, F., Santillán, E., Guerrero, R., Pachacama, 2015) se desarrolló ensayos de tracción y flexión basados en las normas ASTM D3039-08 y ASTM D7264M-07 respectivamente, del material compuesto de cabuya y matriz de resina epoxi. Presentando una resistencia a la tracción de aproximadamente 85.92 MPa, valor que es superior en un promedio del 44,84 % con respecto a las referencias bibliográficas de compuestos de cabuya y resina poliéster. El módulo de elasticidad, del compuesto mencionado con relación a los compuestos de fibra de cabuya y poliéster, incremento en promedio de 8,66 %.

En otra investigación referente al uso de fibras de coco delgado (7) (Delgado, F., Galeas S., Guerrero, 2014) se exponen los resultados producto de la caracterización mecánica de los compuestos híbridos de matriz poliéster, reforzado con fibras de coco y vidrio. Los ensayos experimentales de tracción, flexión e impacto se basaron a las normas ASTM, colocando a las fibras en la disposición tipo sándwich vidrio – coco – vidrio. Debido a los resultados obtenidos procedieron a la fabricación de los tableros con la composición antes nombrada. En (8) (Onuegbu, Umoh, Okoroh, 2013) se investiga el efecto de tratamiento con álcali y la carga de fibra en las propiedades de tracción y la dureza de los materiales compuestos de poliéster insaturado de fibra-orto de coco. Las fibras de corta longitud se incorporaron en resina de poliéster. Las muestras compuestas de fibra tratados y no tratados se sometieron a ensayos de tracción de acuerdo con ASTM D638. Los hallazgos significativos de la investigación mostraron que el tratamiento alcalino mejoró las propiedades de tracción y la dureza del compuesto.

En el presente trabajo se analizó la influencia de la proporción másica fibra/matriz sobre las propiedades de resistencia a la tracción, la resistencia al impacto y flexión. Así como la observación de las zonas de la rotura de las probetas sometidas a tracción. En los resultados obtenidos del análisis a impacto se pudo determinar que las dos configuraciones es decir de 2 y 3 capas de fibra presentan igual capacidad de absorción de energía generando una hipótesis de que esta energía no depende del número de capas de fibra. El mayor esfuerzo promedio presentaron las probetas cuya configuración consiste en 3 capas de fibra de coco orientadas a 90° 0° 90° con fracción volumétrica del 60 % en resina epoxi.

METODOLOGÍA

Materiales

Se empleó el método experimental para evaluar la influencia sobre la resistencia a la tracción, la flexión y la resistencia al impacto; de diferentes niveles de porcentaje de fibra: 25, 30 y 40 %, niveles escogidos como una aproximación inicial a esta influencia. Se mantuvieron fijas y controladas todas las variables, dejándose solo como variable independiente la masa de material de refuerzo incluido en la fabricación del material a fin de establecer su influencia en las características estudiadas. La resistencia a la tracción de las fibras utilizadas fue determinada mediante la norma (9) ASTM 3039 (ASTM, 2007b), los valores de los ensayos a flexión y al impacto de los materiales con los niveles de porcentaje de fibra testados fueron evaluados siguiendo las recomendaciones de las normas ASTM 7264 (ASTM, 2007a) para flexión y la norma ASTM D5628 (Standard, 2013) para impacto.

Para los experimentos se fabricaron cinco probetas para cada condición en base a la norma ASTM A36, y la cantidad mínima recomendada por la norma de tracción, ASTM D3039; por la norma ASTM D- 7264 para flexión y por la norma y ASTM D-5628 de impacto. El número de experimentos permite realizar un control de rangos de los resultados y desechar los considerados defectuosos. El proceso escogido para la fabricación de las placas de material compuesto fue el proceso de compresión en frío, por ser simple y permitir establecer diferentes porcentos en masa de fibra/matriz dentro del material compuesto utilizando para esto el mismo molde. Las propiedades de la resina epoxica utilizada como matriz se indican en la tabla 1. El material utilizado como desmoldeante es crema a base de ceras naturales y colorantes sintéticos Meltonian 6.

Tabla 1. Características Generales resina epoxica

Propiedad	Resina Epoxi
Densidad (gr/cm ³)	1,17-1,25
Alargamiento a la rotura (%)	6-8
Fluencia	Muy buena
Temperatura de moldeo (°C)	Temperatura ambiente hasta 170
Temperatura de reblandecimiento	80-130
Propiedades reológicas	Muy Buenas
Calor de la reacción	Reacción exotérmica dependiendo de la geometría
Contracción del fraguado (%)	1-3
Contracción Posterior (%)	Prácticamente ninguna
Tiempo de almacenamiento	6 meses

Fuente: Autor

Las probetas para el ensayo de tracción fueron cinco probetas de 40 % de fibra de coco con 60 % de resina epoxi y orientación 90° 0° 90°, cinco probetas de 25 % de fibra de coco con 75 % de resina epoxi y orientación 90° 0°. Las características de las probetas para el ensayo de flexión son cinco probetas de 40 % de fibra de coco con 60 % de resina epoxi y orientación 90° 0° 90°; cinco probetas de 30 % de fibra de coco con 70 % de resina epoxi y orientación 90° 0°.

Mientras que para el ensayo de impacto fueron cinco probetas de 25 % de fibra de coco y 2 capas con 75 % de resina epoxi y orientación $90^0\ 0^0$ y cinco probetas de 25 % de fibra de coco y 3 capas con 75 % de resina epoxi y orientación $90^0\ 0^0\ 90^0$.

Métodos de ensayo

El ensayo de tracción se llevó a cabo bajo las regulaciones de la norma respectiva y se lo realiza utilizando una máquina universal de ensayos Tinius Olsen "H25KS". El ensayo a flexión expresa que se realiza mediante la norma D7264/D7264M-07, determinando la rigidez a la flexión y propiedades de resistencia de un compuesto de matriz polimérica. La prueba de impacto mediante caída de dardo se realiza de acuerdo con los estándares de la norma técnica ASTM D5628. La máquina de ensayos utilizada para esta prueba fue construida en el LAEV según las especificaciones y requerimientos de la norma ASTM.

RESULTADOS

Ensayo a Tracción

De acuerdo a los datos obtenidos se puede establecer que para la configuración $90^0\ 0^0\ 90^0$ el esfuerzo máximo promedio es 97,06 MPa y el módulo de elasticidad promedio es 4 459,54 MPa, mientras que para la segunda configuración $90\ 0$ el esfuerzo máximo promedio es 67,80 MPa y el módulo de elasticidad es 2 907,36MPa; de lo cual podemos concluir que la primera configuración posee una mayor resistencia, pero se puede mencionar que esta configuración tiene una mayor rigidez debido a que su módulo de Young es más elevado. En el ensayo a tracción de las 5 probetas de las dos configuraciones donde se evidencia la ausencia de la zona plástica antes de la fractura y que no existe un punto de fluencia definido y la ausencia de la zona plástica antes de la fractura. Mediante los resultados obtenidos, determinando que la primera configuración posee mejores propiedades mecánicas en la comparación con la segunda configuración.

Ensayo a Flexión

Del análisis en los resultados del material compuesto se observa que el esfuerzo máximo para la primera configuración es 104,35MPa y para la segunda es 108,84MPa, también se determinó el módulo de elasticidad para la primera configuración con un valor de 20 934,65 MPa y para la segunda configuración de 16 565,59 MPa. Al realizar la prueba de flexión se determina las propiedades mecánicas como el esfuerzo máximo a la flexión y el módulo de flexión máximo. Al comparar el esfuerzo máximo a flexión de las dos configuraciones se puede observar que existe una variación importante entre el límite superior e inferior de los datos obtenidos de las dos configuraciones, además se observa que la media de la segunda configuración es levemente superior a la primera configuración determinando una propiedad mecánica del esfuerzo máximo a la flexión similar. Al analizar los datos obtenidos en el

ensayo a flexión se observa que las dos configuraciones tienen propiedades mecánicas similares con una mínima superioridad de la primera configuración. Del análisis en los resultados del material compuesto constituido por resina epoxi y fibra de coco, no presentan un punto de fluencia definido y la ausencia de la zona plástica antes de la fractura.

Ensayo a Impacto

Se determinó que la primera configuración tiene una energía promedio absorbida de 1,20 J y una energía al impacto de 0,67 J, mientras que la configuración $90^0\ 0^0$ tiene los valores de 1,20 J y 0,67 J respectivamente. Se evidencia que las probetas poseen fracturas correspondientes a un material frágil. Mediante un análisis estadístico comparamos la media de los datos obtenidos de la resistencia máxima al impacto de las dos configuraciones. Al comparar la resistencia al impacto de las dos configuraciones se puede observar que no poseen variación de sus datos. En este tipo de ensayos, las probetas presentan igual capacidad de absorción de energía independientemente del número de capas de fibra que se encuentre, lo que se podría decir que la capacidad de absorción de energía del material no depende del número de capas que se añadan.

DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados del ensayo a tracción que se muestran en la tabla 2, se puede determinar que la mejor composición de las que se lleva en análisis en este estudio corresponde a las probetas de tres capas con fracción volumétrica 60 % - 40 % y orientación: $90^0 - 0^0 - 90^0$, cuyo esfuerzo a tracción promedio es superior en comparación con las otras probetas. Por lo tanto, se elige la mejor familia con la mejor fracción volumétrica y configuración como las probetas con mejores características junto con sus valores específicos que le corresponden. De la revisión de la literatura se encontró que en los resultados (10) (Anupama, 2014) de fibra de coco pulverizada con resina epoxica a 5, 10 y 15 % (m/m) de partículas. Los resultados indican un aumento de la resistencia a la tracción, proporcional al aumento de la concentración de refuerzo en la matriz, y se puede determinar que a un 15 % de fibra de coco pulverizada tenemos un esfuerzo de tracción de 80,68 MPa, mientras que con un porcentaje de fibra de coco al 40 % de fibra normal un esfuerzo de tracción de 97,06 MPa, de lo que podemos concluir que el uso de fibra de coco pulverizada incrementa las propiedades de tracción y flexión del material compuesto.

Comparando entre los resultados de las probetas ensayadas a flexión, considerando los diferentes porcentajes de fracción volumétrica y el número de capas de fibra indicados en la tabla 3. Se puede determinar que la mejor composición de las que se lleva en análisis en este estudio corresponde a las probetas de dos capas con fracción volumétrica 70 % - 30 % y orientación: $90^0 - 0^0$, al presentar un mejor esfuerzo a la flexión que las otras probetas a pesar de existir una diferencia mínima. Con respecto a los resultados en investigaciones donde también

Tabla 2. Datos del ensayo experimental a tracción del material compuesto

Orientación	F.V. Resina Epoxi (%)	F.V. Fibra de coco (%)	Capas	Fuerza Máxima Promedio (N)	Esfuerzo a Tracción Promedio (MPa)
90°-0°- 90°	60	40	3	2 166,33	97,06
90°- 0°	75	55	2	2 268,89	67,80

Fuente: Elaboración Propia

utilizaron (1) (Sapuan, P., Zan, M., Zainudin, E., Arora, 2005) una matriz epóxica para reforzar con endocarpio de coco y los resultados más relevantes indican el aumento del módulo de elasticidad (E) con el incremento de endocarpio en la matriz; con el 10% y 20% de fibra de coco pulverizada tenemos un módulo de elasticidad de 683,56 MPa y 688,14 MPa respectivamente mientras que con la fibra al 40% el módulo de elasticidad corresponde a 2 0937,60MPa y al 30% de fibra a 16 365,59 MPa lo que indica que la fibra sin pulverizar incrementa considerablemente el módulo de elasticidad.

Tabla 3. Datos del ensayo experimental a flexión del material compuesto

Orientación	F.V. Resina Epoxi (%)	F.V. Fibra de coco (%)	Capas	Fuerza Máxima Promedio (N)	Esfuerzo a Flexión Promedio (MPa)
90°-0°- 90°	60	40	3	48,28	104,35
90°- 0°	70	30	2	59,96	108,84

Fuente: Elaboración propia

En este tipo de ensayos a impacto, las probetas presentan igual capacidad de absorción de energía independientemente del número de capas de fibra que se encuentre, podemos observar en la tabla 4 los mismos valores característicos del ensayo a impacto en las dos configuraciones de las probetas, lo que se podría decir que la capacidad de absorción de energía del material no depende del número de capas que se añadan. Se puede ver en los resultados (Mohan, M., Shetar, 2016) que la resistencia al impacto varía cuando hay un tratamiento de las fibras en este caso el tratamiento alcalino de las fibras influyó el aumento del 12% de esta propiedad. Es bien sabido que la respuesta impacto de materiales compuestos de fibra está muy influenciada por la resistencia de la unión interfacial, la matriz y propiedades de la fibra. Por lo tanto, se puede decir que el uso de una estera de fibra de coco tejida en lugar de fibras de distribución al azar dará lugar a un material mucho más fuerte.

Tabla 4. Datos del ensayo experimental a flexión del material compuesto

Orientación Fibra	90° 0° 90°	90° 0°
Resina Epoxica	75%	75%
Fibra de coco	25%	25%
Capas	3	2
Energía Absorbida	1,20 J	A,20 J
Resistencia al impacto a 300 mm	0,67 J	0,67 J

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Se observó que la orientación de las fibras y el número de capas del refuerzo, en el material compuesto, influye en las propiedades de resistencia a la tracción, módulo de elasticidad y resistencia al impacto del poli epóxido. Además, se evidencio la ausencia de la zona plástica antes de la fractura y que no existe un punto de fluencia definido en los dos casos.

Los mayores esfuerzos máximos en el ensayo a tracción se dan en la configuración 90°-0°-90° con un valor 43,15% mayor que con la configuración 90°-0° que indica una mayor resistencia del material pero a su vez su módulo de elasticidad es 53,38% mayor que el material con dos aplicaciones lo que indica que es un material más rígido.

Del análisis experimental efectuado a tracción en el material compuesto, mayor esfuerzo promedio presentó las probetas cuya configuración consiste en 3 capas de fibra de coco orientadas a 90°-0°-90° con fracción volumétrica del 60% en resina epoxi comparado con la otra configuración que en este estudio se llevó a cabo.

Del análisis experimental efectuado a impacto se pudo determinar que las dos configuraciones es decir de 2 y 3 capas de fibra presentan igual capacidad de absorción de energía generando una hipótesis de que esta energía no depende del número de capas de fibra.

REFERENCIAS

- [1] S. Sapuan, M. Zan, E. Zainudin, and P. R. Arora, "Tensile and flexural strengths of coconut spathe-fibre reinforced epoxy composites," *Journal of Tropical Agriculture*, vol. 43, pp. 63–65, 2006.
- [2] G. E. Mazón Ortiz, "Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales," B.S. thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica . . . , 2017.

- [3] J. L. Dávila, S. Galeas, V. H. Guerrero, P. Pontón, N. M. Rosas, V. Sotomayor, and C. Valdivieso, “Nuevos materiales: aplicaciones estructurales e industriales,” 2011.
- [4] A. D. Jácome León, “Estudio de la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de butacas deportivas,” B.S. thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica . . . , 2015.
- [5] A. Standard *et al.*, “Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials,” *ASTM D3039/D M*, vol. 3039, p. 2008, 2008.
- [6] P. Nasimba and V. Patricio, “Diseño, caracterización y aplicación de un material compuesto con base de resina epoxi y refuerzo de fibras orgánicas para la aplicación en un prototipo de capot de la camioneta mazda bt50 2010.,” B.S. thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Carrera de . . . , 2015.
- [7] F. R. D. Arcentales, S. G. G. Hurtado, and V. H. G. Barragán, “Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzada con fibra de coco y fibra de vidrio para la elaboración de tableros,” *Revista Politécnica*, vol. 33, no. 1, 2014.
- [8] T. Onuegbu, E. Umoh, and N. Okoroh, “Tensile behaviour and hardness of coconut fibre-ortho unsaturated polyester composites,” *Global Journal of Science Frontier Research Chemistry*, vol. 13, no. 1, p. 1, 2013.
- [9] I. ASTM, “Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials,” *ASTM D790-07*, 2007.
- [10] N. A. S. Priya, P. V. Raju, and P. Naveen, “Experimental testing of polymer reinforced with coconut coir fiber composites,” *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 4, no. 12, pp. 453–460, 2014.