

Caracterización de propiedades mecánicas de las fibras de banano de la corteza y el cuerpo del tallo

David **Armas-Ruiz**¹

Steven **Ruiz-Galarza**¹

Marcelo **Piován**²

Luis **Carrión-Matamoros**³

Christian **Narváez-Muñoz**³

¹Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE
Carrera de Ingeniería Mecánica
Av. Rumiñahui s/n Sangolquí.
ECUADOR.

²Universidad Tecnológica Nacional-FRBB
Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica
y Aplicada, 11 de abril 461, Bahía Blanca, BA,
B8000LMI.
ARGENTINA.

³Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica,
Av. Rumiñahui s/n Sangolquí.
ECUADOR.

correo electrónico (email): saruiz1@espe.edu.ec
daarmas4@espe.edu.ec

Recibido 04-08-2015, aceptado 11-11-2015.

Resumen

En los últimos años la ingeniería ha empezado a tratar más sobre el estudio de materiales orgánicos como las fibras vegetales que se encuentran en abundancia en distintos lugares del mundo, extraídas de plantas como la cabuya, abacá, paja toquilla, algodón, seda, bambú, balsa, caucho, mimbre, etc. Estas fibras en la actualidad se utilizan en mayor cantidad ya sean solas para motivos artesanales o combinadas con otros materiales para formar un material compuesto con propiedades mecánicas de elasticidad, fragilidad, fatiga y resis-

tencia, que sean aplicables a distintas áreas de la ingeniería. En este artículo se utilizaron distintas fibras que se extraen del tallo del banano, tratadas y sin tratar, combinadas con resina poliéster como matriz.

Las probetas fueron diseñadas con base en la norma ASTM D790, mediante máquinas de ensayos de tracción y flexión universales utilizadas para fibras, se obtuvieron los esfuerzos de tracción y flexión que pueden soportar estos materiales compuestos para su estudio y análisis, así como aplicaciones: estructurales, automotrices, textiles, entre otras.

Palabras clave: fibras de banana, flexión, material compuesto, resina poliéster, tracción.

Abstract (Characterization of Mechanical Properties of Fiber Banana Crust and Stem Body)

In the last few years, engineering has begun to study about the organic materials like the vegetal fibers which can be found in abundance around the world, such as fibers extracted from plants like the sisal, abaca, toquilla straw, cotton, silk, bamboo, balsa wood, rubber, rattan, etc. Actually, the fibers are being used in more amount. People use single fibers for handicraft reasons or combined fibers with other materials to make a composite with some mechanical properties of elasticity, fragility, fatigue and resistance that are applicable to different areas of engineering. In this article we use different fibers extracted from the banana stem combined with the polyester resin as matrix.

Some fibers were treated chemically using a mixture of sodium chloride with water. The specimens of composite material, previously designed with the Standard ASTM D790, were means of machines of universal tests of traction and flexion used for fibers, there were obtained the efforts of traction and flexion that can support these composite materials for study, analysis and applications: structural, automotive, textiles, among others.

Index terms: banana fibers, composite material, bending, polyester resin, tensile.

1. Introducción

En la actualidad se están utilizando fibras naturales por su fácil obtención y extracción de la naturaleza, además, los costos de estos son reducidos en comparación a fibras obtenidas artificialmente [1] y, en muchos casos, sus propiedades presentan ventajas como: gran resistencia mecánica, flotabilidad, resistencia al daño por agua salada y el largo de sus filas. Estas fibras se utilizan para reforzar a los polímeros formando materiales compuestos con un mayor campo de aplicación en la industria [2].

Existen en el Ecuador alrededor de 25 especies de fibras vegetales especialmente usadas a nivel artesanal. Los desechos orgánicos de las bananeras ecuatorianas no son aprovechados y generan gran cantidad de desperdicios que pueden ser utilizables como es el caso de la fibra de banano. Estos mal considerados desperdicios podrían ser explotados dentro de la ingeniería [3].

Existen estudios sobre el comportamiento de las fibras de banano, en sus propiedades mecánicas, así como tratamientos químicos a los que se somete la fibra, para que posteriormente combinarla con algún tipo de polímero (resina epoxi en la gran mayoría de los casos [4]) y, así, mediante equipos para ensayos de flexión, tracción e impacto, caracterizar estos materiales compuestos. El investigador Shashi Shankar [5] en su estudio sobre el comportamiento de fibras de banano con epoxi realizó ensayos sobre flexión, tracción e impacto de estas fibras reforzando a la resina epoxi; el investigador Mario Fernando Muñoz Vélez [6] llevó a cabo un análisis sobre cómo realizar tratamientos químicos de alcalinización a las fibras para determinar la variación de sus propiedades comparadas con las fibras sin tratar químicamente [7].

En el presente estudio se realizaron pruebas de tracción y flexión en equipos de ensayos universales, para determinar las propiedades de las fibras de banano, de la resina poliéster y del material compuesto conformado entre ambos. Para esto las fibras fueron obtenidas del tallo, desde su corteza hasta la parte más interna del mismo, en la que se extrajeron las fibras en forma de hilos (obtenidas de corteza propia de cada capa del tallo) y fibras en forma de mallas (obtenidas bajo la corteza de cada capa). Se consideraron, además [8],[9],[10],[11],[12].

Dentro de este análisis se realizaron pruebas con las fibras de banano sin tratamiento y con un tratamiento químico de curado con NaOH al 10%, para obtener el comportamiento de sus propiedades mecánicas.

2. Desarrollo

Posterior a la cosecha del fruto de banano se obtiene del tallo los diversos tipos de fibras (véase Fig. 1).

2.1. Extracción de fibra

Para la extracción de las fibras de banano se siguen los siguientes pasos:

- Retiro de las capas del tallo de la planta para poder identificar las correspondientes fibras.
- Extracción de los diferentes tipos de fibras de banano presentes en cada capa, hasta cuando dicha capa lo permita.
- Una vez extraídas todas las capas del tallo del banano, se procede a separar los tipos de fibra que pueden obtener de estas capas, clasificándolos en fibra dura y malla.

2.1.1. Fibra dura

Fibra más usada y la más resistente, por lo que es empleada en la conformación de soporte de elementos (véase Fig. 2).

2.1.2. Malla

Su textura peculiar tiene una especie de entramado que le da su nombre de malla (véase Fig. 3).

Posterior a la extracción de todas las fibras posibles de cada capa, se procede al secado de las fibras por 72 horas a una temperatura ambiente de 18°C.



Fig. 1. Fibras obtenidas del tallo del banano.



Fig. 2. Fibra de banano tipo dura.

2.2. Tratamiento químico de las fibras

Un porcentaje de las fibras extraídas son sometidas a un tratamiento químico con un 10% de NaOH haciéndolas hervir por 45 minutos en agua, esto con la finalidad de eliminar las gomas presentes en las fibras. Posterior al tratamiento las fibras son secadas nuevamente al ambiente.

2.3. Molde para las probetas

Para la selección del material del molde se realizó un estudio de propiedades y costos de posibles materiales, así como la facilidad de maquinado y disponibilidad. El proceso de fabricación de los moldes se realizó en una fresadora CNC marca FADAL. Se utilizó el acero ASTM A36 por el costo, y las propiedades adecuadas que este material brinda. La plancha



Fig. 3. Fibra de banano malla.

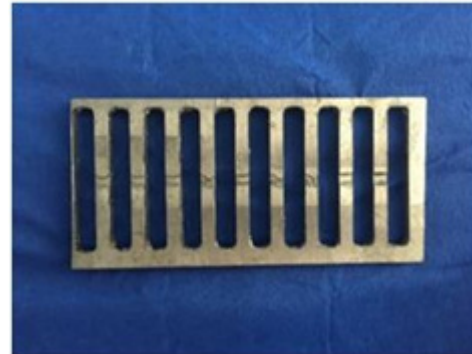


Fig. 4. Molde para probetas.

que se utilizó es de 232.50mmx100mmx8mm, en esta plancha existen 10 moldes con dimensiones de 12mmx80mmx8mm. En la Fig. 4 se puede observar el molde terminado.

2.4. Probetas compuestas (resina poliéster y fibras)

Las probetas fueron realizadas en los moldes anteriormente mencionados y teniendo de dimensiones finales 12x80x8 mm \pm 0.5mm según la norma ISO 178 (véase Fig. 5).

Las proporciones en volumen de las probetas se obtuvieron con las ecuaciones 1 y 2:

$$\%Resina = \frac{v_p - v_f}{v_p} 100\% \quad (1)$$



Fig. 5. Molde con fibras de banana colocadas.

$$\%Fibra = \frac{v_p - v_r}{v_p} 100\% \quad (2)$$

En donde v_p es el volumen de la probeta final, v_f es el volumen de las fibras que contiene cada probeta (se considera un volumen constante de fibras de 4287.08 mm³), v_r es el volumen de la resina.

2.5. Ensayo de tracción

Se utilizó una máquina de ensayos de tracción universal marca AMSLER modelo 02-2H-118. Este es uno de los ensayos más empleados y consiste en someter una probeta normalizada a esfuerzos progresivos y crecientes de tracción en la dirección de su eje hasta que llegue a la deformación y a la rotura correspondiente.

Se aplicó la ecuación 3 para calcular el esfuerzo último que la probeta es capaz de soportar en tracción:

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad (3)$$

En donde, σ_t es el esfuerzo de tracción, F es la fuerza aplicada, A es el área donde la fuerza es aplicada. En la Fig. 6 se indica la máquina y la probeta durante el ensayo.

Para determinar el módulo de elasticidad de la resina reforzada con fibra se debe aplicar las ecuaciones que se describen a continuación.



Fig. 6. Mordaza de la máquina AMSLER para ensayos de tracción horizontales.

En el caso de tracción toda la sección resistente del material compuesto se deforma (en teoría) igual con la siguiente tasa:

$$\epsilon_x = \frac{\Delta L}{L} \quad (4)$$

En donde ϵ_x es la deformación unitaria, ΔL es la variación de la longitud de la probeta medida en dos puntos conocidos, L es la longitud inicial de la probeta medida en dos puntos conocidos.

La tracción σ_x en la dirección longitudinal es:

$$\sigma_x = E_x \epsilon_x \quad (5)$$

En la que E_x es el módulo de elasticidad longitudinal del material compuesto y se calcula en función de los módulos de elasticidad de los constituyentes como:

$$E_x = E_m V_m + E_f V_f \quad (6)$$

Donde E_m y E_f son los módulos de elasticidad longitudinal de la matriz (resina) y fibras, respectivamente.

2.6. Ensayo de flexión

En la probeta sometida a flexión se crea un estado de esfuerzos heterogéneo. La parte inferior se encuentra traccionada y la superior comprimida. Además debido a la variación del momento a lo largo de la muestra, los esfuerzos relacionados con el momento también varían.

Se sometió a las probetas a los ensayos de flexión en la máquina MTS modelo T5002 (véase Fig. 7 y Fig. 8).



Fig. 7. Máquina MTS con la probeta colocada entre apoyos para ensayo de flexión.



Fig. 8. Ensayo de flexión realizado en la máquina MTS.

La norma ASTM D790 investiga el comportamiento a la flexión de plásticos reforzados y no reforzados para determinar la resistencia a la flexión, el módulo de flexión y otros aspectos de la relación tracción/deformación a la flexión. Además se incluye materiales compuestos de alto módulo, materiales aislantes en forma de barras rectangulares moldeadas directamente o cortados de láminas, placas o formas moldeadas. Estos ensayos son generalmente aplicables tanto a materiales rígidos como a semi-rígidos. Para determinar el esfuerzo de flexión se utilizó la ecuación 7:

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bf^2} \quad (7)$$

En donde, σ_f es el esfuerzo de flexión de la probeta, P es la fuerza aplicada, L es la longitud de la probeta, b es el ancho de la probeta, d es el espesor de la probeta.

2.7. Resultados y discusión

En esta parte de la investigación se detallan los valores de los ensayos experimentales y el análisis de las fibras de banano reforzando la resina poliéster.

Tabla 1. Nivel de THDi registrado el 08/03/2015, 4:30p.m.

Id probeta	Fuerza de tracción [N]	Fuerza/Área [MPa]
R1	686,7	8,21
R2	451,26	5,05
promedio	6,63	

2.7.1. Ensayo de tracción

Las probetas para los ensayos fueron las siguientes: resina poliéster reforzada con fibra de banano mallada sin tratar, resina poliéster reforzada con fibra de banano mallada tratada químicamente, resina poliéster reforzada con fibra de banano dura y por último la resina poliéster sin ningún tipo de refuerzo, las probetas fueron preparadas por estándares para ensayos de tracción, los ensayos se realizaron a una velocidad constante de 10 mm/min para determinar el esfuerzo último a la tracción como se muestra en las tablas 1, 2, 3, y 4.

Tabla 2. Esfuerzo de tracción y módulo de elasticidad en probetas de resina poliéster reforzada con fibra de banano mallada sin tratar (ST: sin tratamiento químico).

Id probeta	Fuerza de tracción [N]	Fuerza/Área [MPa]	Desplazamiento [mm]	Deformación	Módulo Elasticidad [MPa]
SC1	971,19	10,49	0,74	0,01	805,03
SC2	941,76	10,51	2,02	0,04	291,44
SC3	922,14	9,94	3,46	0,06	164,31
SC4	961,38	10,71	1,82	0,03	336,00
SC5	686,70	7,49	1,3	0,02	320,79
SC6	971,19	10,79	2,38	0,04	258,36
SC7	971,19	11,22	1,66	0,03	375,03
SC8	971,19	10,36	1,08	0,02	543,87
SC9	1314,54	14,24	2,00	0,03	410,07
SC10	745,56	8,21	0,84	0,01	553,51
SC11	1510,74	16,58	0,54	0,01	1771,33
SC12	1177,20	12,76	2,42	0,04	294,33
SC13	765,18	8,81	0,64	0,01	785,74
SC14	774,99	8,70	3,96	0,07	124,06
SC15	784,80	8,77	1,66	0,03	303,78
SC16	755,37	8,49	0,72	0,01	650,05
SC17	951,57	10,77	0,75	0,01	815,35
promedio	951,57	10,52	1,65	0,03	517,83

Tabla 3. Esfuerzo de tracción y módulo de elasticidad en probetas de resina poliéster reforzada con fibra de banano mallada tratada químicamente (C: con tratamiento químico).

Id probeta	Fuerza de tracción [N]	Fuerza/Área [MPa]	Desplazamiento [mm]	Deformación	Módulo Elasticidad [MPa]
C1	1569,60	16,88	0,47	0,01	1115,00
C2	1706,94	19,98	0,42	0,01	1384,17
C3	1687,32	18,58	0,83	0,03	685,96
C4	1079,1	12,30	1,57	0,05	220,88
C5	981,00	10,68	0,52	0,02	614,30
promedio	1404,79	15,68	0,76	0,02	804,06

Tabla 4. Esfuerzo de tracción y módulo de elasticidad en probetas de resina poliéster reforzada con fibra de banano dura (H: fibra tipo dura).

Id probeta	Fuerza de tracción [N]	Fuerza/Área [MPa]	Desplazamiento [mm]	Deformación	Módulo Elasticidad [MPa]
H1	1255,68	13,48	0,99	0,02	798,14
H2	1922,76	22,09	2,07	0,04	597,09
H3	1765,80	19,30	0,59	0,01	1897,01
H4	1569,60	17,50	1,72	0,03	580,02
H5	1628,46	18,00	2,56	0,04	407,74
promedio	1628,46	18,07	1,59	0,03	856,00



Fig. 9. Comparación de ensayos de tracción.

2.7.2. Ensayo de flexión

Las probetas para los ensayos fueron las siguientes: resina poliéster reforzada con fibra de banano mallada sin tratar, resina poliéster reforzada con fibra de banano mallada tratada químicamente resina poliéster reforzada con fibra de banano dura y por último la resina poliéster sin ningún tipo de refuerzo, las probetas fueron preparadas bajo la norma ASTM D790 para determinar el esfuerzo ultimo a la flexión como se muestra en las tablas 5, 6, 7, 8 y 9.

Tabla 5. Módulo de elasticidad de los elementos utilizados para la realización de las probetas de material compuesto.

Módulo de elasticidad experimental	
Elemento	Fuerza/(Área×Deformación) [MPa]
Resina	488,15
Fibra sin tratamiento químico	961,11
Fibra con tratamiento químico	1161,82
Fibra dura	1427,65

Tabla 6. Esfuerzo de flexión en probetas de resina poliéster sin ningún tipo de refuerzo.

Id probeta	Fuerza de flexión [N]	Esfuerzo de flexión [MPa]
R3	58,86	9,21
R4	77,50	11,59
R5	99,08	15,83
promedio		12,21

Tabla 7. Esfuerzo de flexión promedio en probetas de resina poliéster reforzada con fibra de banano mallada sin tratar.

Id probeta	Fuerza de flexión [N]	Esfuerzo de flexión [MPa]
SC18	130,47	19,89
SC19	157,94	23,73
SC20	264,87	37,30
SC21	187,37	28,66
SC22	241,33	35,19
SC23	194,24	27,04
SC24	233,48	36,91
promedio		29,82

Tabla 8. Esfuerzo de flexión promedio en probetas de resina poliéster reforzada con fibra de banano mallada tratada químicamente.

Id probeta	Fuerza de flexión [N]	Esfuerzo de flexión [MPa]
C6	249,17	35,45
C7	195,22	27,15
C8	175,60	23,94
C9	262,91	37,26
C10	233,48	33,14
promedio		31,39

Tabla 9. Esfuerzo de flexión promedio en probetas de resina poliéster reforzada con fibra de banano dura.

Id probeta	Fuerza de flexión [N]	Esfuerzo de flexión [MPa]
H6	465,98	62,47
H7	463,03	67,68
H8	333,54	46,40
H9	296,26	41,99
H10	361,01	51,59
promedio		54,03

2.7.3. Análisis computacional

Se realizó simulaciones utilizando el método de elementos finitos, para determinar valores teóricos y poderlos comparar a posterior con los resultados reales obtenidos en los distintos ensayos de laboratorio, para realizar estos modelos numéricos se utilizó los valores reales obtenidos posterior a los ensayos de tracción y de flexión.

Para el modelado del ensayo de flexión y tracción se utilizó los módulos de elasticidad indicados en la tabla 5 y los valores de fuerza máxima utilizada para cada ensayo. Los valores a comparar para el ensayo de tracción serán los de deformaciones máximas permisibles obtenidas experimentalmente con las obtenidas por el software de elementos numéricos y para el ensayo de flexión se comparará los esfuerzos últimos obtenidos experimentalmente con las obtenidas por el mismo software.

2.7.3.1. Análisis para ensayos de tracción

Se muestran los análisis en la tablas 10 y 11 (véase Fig. 9).

2.7.3.2. Análisis para ensayos de flexión

Se muestran los análisis en la tablas 12 y 13 (véase Fig. 10).

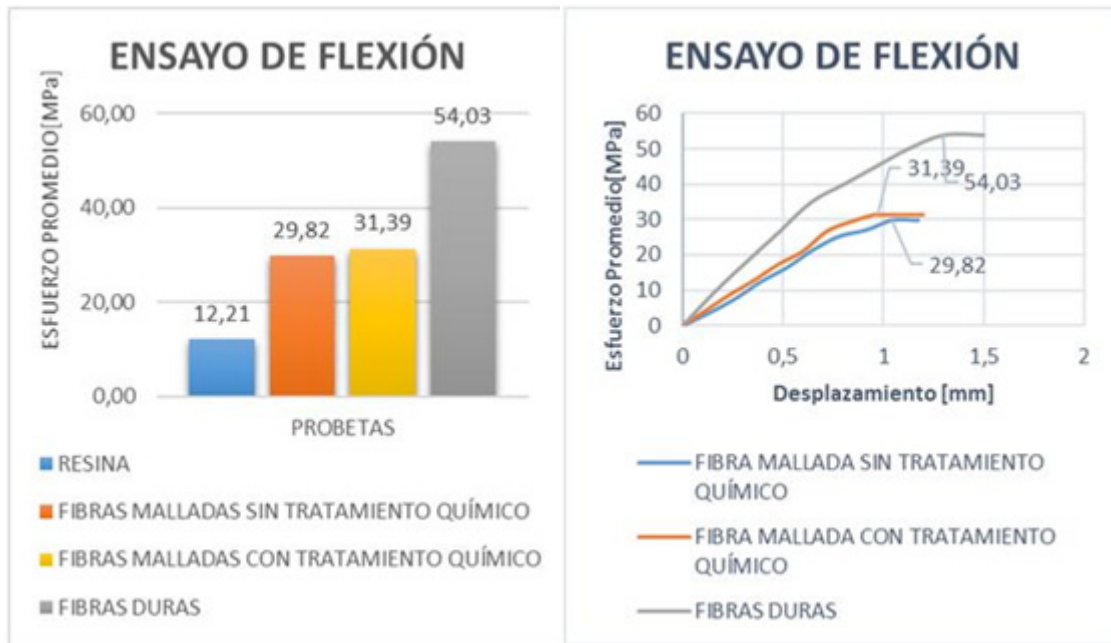


Fig. 10. Comparación de ensayos de flexión.

Tabla 10. Modelo de simulación para esfuerzos de flexión promedio en software general de elementos finitos para compuesto de resina poliéster reforzado con fibra mallasada sin tratamiento químico.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias	Deformación unitaria equivalente	0.0110933	0.0372182

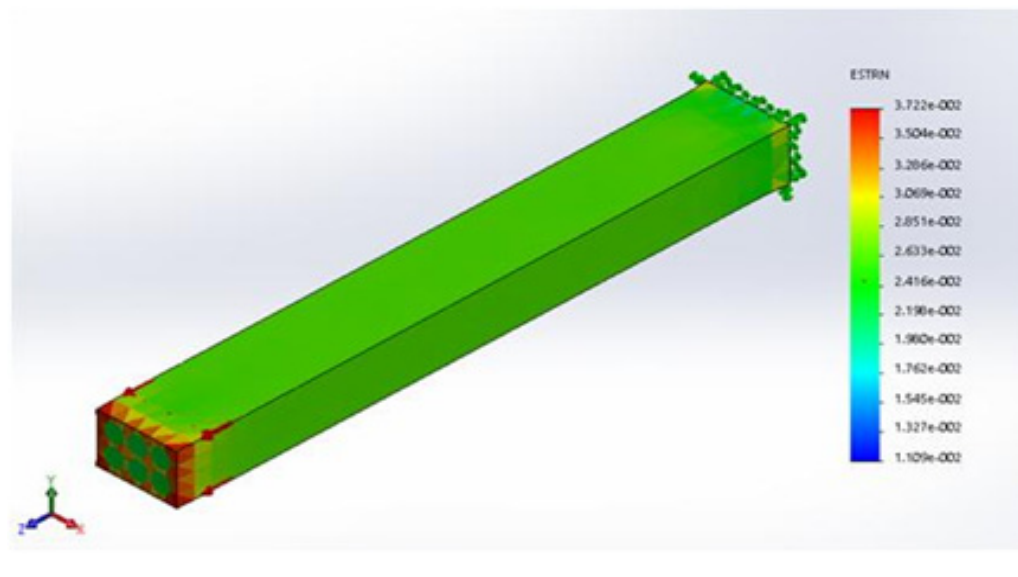


Tabla 11. Comparación de deformaciones unitarias del modelo experimental y el modelo computacional de los distintos tipos de refuerzos utilizados para la resina poliéster, medidos en la sección media longitudinal.

Comparación deformaciones experimentales y computacionales			
Fibra de Refuerzo para Resina	Experimental	Computacional	% error relativo
Mallada sin Tratamiento Químico	0,0396	0,0372	6,32
Mallada con Tratamiento Químico	0,0187	0,0205	8,67
Dura	0,0375	0,0414	9,44

Tabla 12. Modelo de simulación para esfuerzos de flexión promedio en software general de elementos finitos para compuesto de resina poliéster reforzado con fibra mallada sin tratamiento químico.

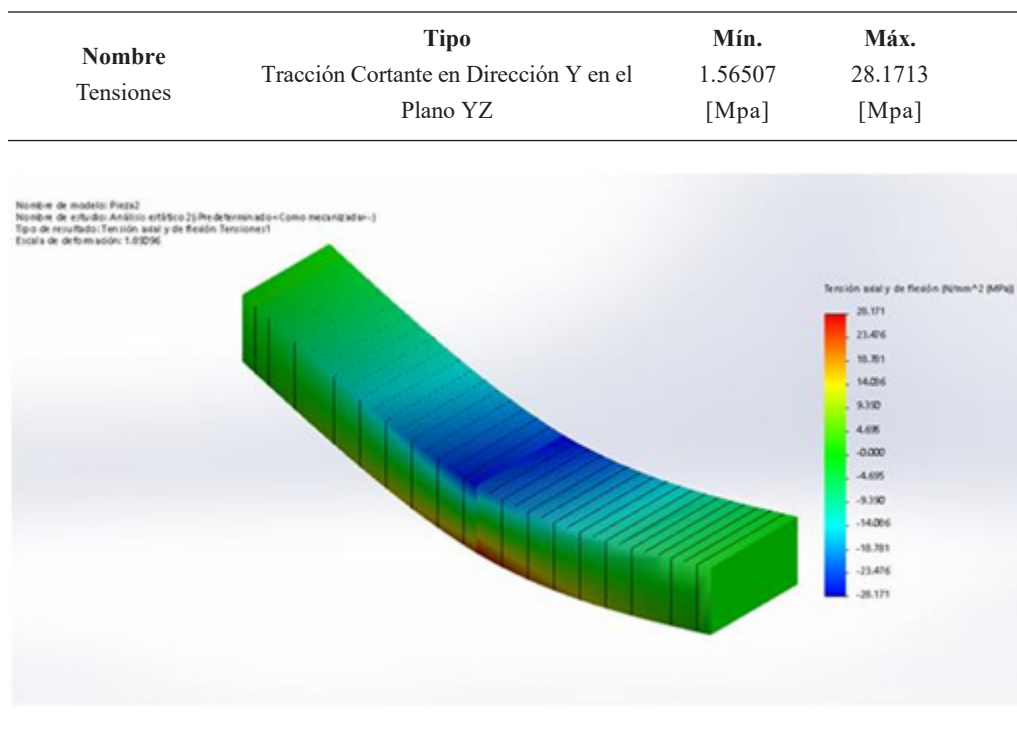


Tabla 13. Comparación de esfuerzos de flexión promedios del modelo experimental y el modelo computacional de los distintos tipos de refuerzos utilizados para la resina poliéster, medidos en la sección media longitudinal.

Comparación esfuerzos promedios flexión experimentales y computacionales			
Fibra de refuerzo para resina	Experimental [MPa]	Computacional [MPa]	% error relativo
Mallada sin Tratamiento Químico	29,8160	28,171	5,84
Mallada con Tratamiento Químico	31,3886	28,346	10,73
Dura	54,0267	48,7450	10,84

Posterior a dicha comparación de los ensayos de tracción y de flexión se puede deducir que estos errores obtenidos en el análisis experimental comparado con el análisis computacional se deben a lo siguiente:

- En las probetas utilizadas en los ensayos de laboratorio pudieron contener partículas de aire en su interior lo que provocó que no exista una distribución uniforme de las cargas utilizadas para el ensayo.
- La carga utilizada en el análisis experimental es constante, lo que en el software la carga va aumentando paulatinamente a medida que se ejecuta el análisis.
- El software considera condiciones ideales de trabajo, es decir, no considera factores externos que pueden afectar al trabajo como son la densidad del aire en el ambiente, la temperatura, la humedad relativa del ambiente, el tiempo de elaboración del elemento, cosa que en la vida real hay que considerar todos estos tipos de factores para la ejecución del ensayo.

3. Conclusiones

- Al obtener un material compuesto, reforzando la resina con fibras de banano de distintas características, las propiedades mecánicas que presenta este compuesto son mejores en comparación con el comportamiento de la resina poliéster, esto se puede verificar en los valores obtenidos en los ensayos de tracción y flexión de las distintas probetas.
- El tratamiento químico realizado a un grupo de fibras, y su posterior combinación con la resina demuestra que las propiedades mecánicas son mejoradas en comparación a la resina combinada con fibras no tratadas.
- El máximo valor de esfuerzo a tracción que se obtuvo es de 18.07 MPa pertenecientes a las probetas de resina poliéster reforzada con fibra de banano dura, en comparación del valor de 6.63 MPa correspondiente a la resina poliéster sin ningún tipo de refuerzo.
- El máximo valor de esfuerzo a flexión promedio que se obtuvo es de 58.60 MPa pertenecientes a las probetas de resina poliéster reforzada con fibra de banano dura, en comparación del valor de 12.21 MPa correspondiente a la resina poliéster sin ningún tipo de refuerzo.
- Con el material compuesto obtenido se puede aprovechar la elevada resistencia a la compresión que presenta la resina y la resistencia a la tracción que nos brinda la fibra, en múltiples aplicaciones y en distintas sollicitaciones que se le exija como por ejemplo: elementos de carrocería, partes de aeronaves o embarcaciones, estructuras aislantes, accesorios para herramientas entre otros.

- El material compuesto de fibra de banana con resina poliéster que presentó las mejores propiedades mecánicas tanto de tracción como de flexión fue la correspondiente a la combinación de fibra dura con resina. Este compuesto superó las propiedades mecánicas de la resina poliéster en aproximadamente el 272.55% en el esfuerzo máximo a la tracción, 292.46% en el módulo de elasticidad y 442.51% en el esfuerzo promedio de flexión.
- Al tratar químicamente a las fibras de banano malladas las propiedades mejoran en el esfuerzo a tracción en aproximadamente 150% y en flexión un 105% lo que nos demuestra que estos compuestos no tendrían inconvenientes en trabajar en ambientes salinos sin que sus propiedades se vean afectadas.

Referencias

- [1] K. Begum, and M. A. Islam, "Natural Fiber as a substitute to Synthetic Fiber in Polymer Composites: A Review," *Research Journal of Engineering Sciences*, vol. 2 no. 3, pp. 46-53, abril 2013.
- [2] D. Chandramohan, and K. Marimuthu, "A review on natural fibers," *International Journal of Review in Applied and Social Sciences (IJRASS)*, vol. 8, no. 2, pp. 194-206, 2011.
- [3] K. Torres, "Experimentación tecnológica de la fibra de banano aplicada en el diseño de objetos," tesis de licenciatura, Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador, 2013. [en línea] Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/2641>.
- [4] N. Venkateshwaran, and A. ElayaPerumal, "Banana Fiber Reinforced Polymer Composites - A Review," *A Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 29, no. 15, pp. 2387-2396, mayo 2010.
- [5] P. Shashi Shankar., K. Thirupathi Reddy and V. Chandra Sekhar., "Mechanical Performance and Analysis of Banana Fiber Reinforced Epoxy Composites", *International Journal of Recent Trends in Mechanical Engineering (IJRTME)*, vol. 1, pp. 1-10, 2013.
- [6] M. Muñoz, M. Hidalgo, and J. Mina, "Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos. Influencia de la modificación superficial," *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 12, no. 2, pp. 60-70, julio 2014.
- [7] L. A. Pothan, and S. Thomas, "Polarity parameters and dynamic mechanical behavior of chemically modified banana fiber reinforced polyester composites",

- Composites Science and Technology*, vol. 63, no. 9, pp. 1231-1240, julio 2003.
- [8] S. Raghavendra., Lingaraju, P. Balachandra Shetty, and P. G. Mukunda, "Mechanical Properties of Short Banana Fiber Reinforced Natural Rubber Composites," *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 2, no. 5, pp. 1652-1655, mayo 2013.
- [9] A. N. Nakagaito, and H. Yano, "The effect of morphological changes from pulp fiber towards nano-scale fibrillated cellulose on the mechanical properties of high strength plant fiber based composites," *Applied Physics Part A: Materials Science & Processing*, vol. 78, no. 4, pp. 547-552, marzo 2004.
- [10] J.Santhosh, N.Balanarasimman, R.Chandrasekar, and S.Raja, "Study of properties of banana fiber reinforced composites," *International Journal of Recent Trends in Mechanical Engineering (IJRTME)*, vol. 3, no. 11, pp.144-150, noviembre 2013.
- [11] S. Aguilar, J. Ramírez, and O. Malagón, "Extracción de fibras no leñosas," *Revista iberoamericana de Polímeros*, vol. 8, no. 2, pp.89-97, marzo 2007.
- [12] P. Pontón, and V. Guerrero, "Obtención de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de Abacá mediante estratificación manual", *Revista Tecnológica ESPOL - RTE*, vol.23, no. 3, pp.47-54, diciembre 2010.

Periódica

Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias

<http://periodica.unam.mx/>