
Caracterización de un material compuesto con matriz de resina de poliéster reforzado con partícula de totora

Characterization of a composite material with a polyester resin matrix reinforced with reed particles

Jaime Vinicio Molina Osejos¹, Diana Belén Peralta Zurita², Antonio Edilberto Llanes Cedeño³, Gaibor Chacha Erika Rafaela⁴, Celi Ortega Santiago Fernando⁵

Resumen:

El presente proyecto se centra en la caracterización mecánica de un material compuesto a base de resina de poliéster reforzado con partículas de totora. Se realizaron ensayos de tracción y flexión, siguiendo las normativas ASTM D 3039 y ASTM D 7264, respectivamente, para materiales compuestos. Los ensayos se realizaron en la máquina de ensayos universales MTS - modelo T 5002. Se determinó que la configuración con una fracción volumétrica de fibra particulada de totora del 20% presenta las mejores características mecánicas en tracción, mientras que la configuración con un 5% de fibra particulada de totora destaca en flexión. Es importante destacar la importancia de encontrar el porcentaje adecuado de fibra en el material compuesto. Un exceso de fibra puede disminuir la resistencia mecánica, mientras que un porcentaje óptimo puede mejorar las características mecánicas a la flexión y tracción. Por lo tanto, se enfatiza la necesidad de encontrar un equilibrio adecuado para lograr un rendimiento óptimo del material compuesto

Palabras clave: Material compuesto, resina poliéster, tracción, totora.

Abstract:

This project focuses on the mechanical characterization of a composite material based on polyester resin reinforced with reed particles. Tensile and bending tests were carried out, following the ASTM D 3039 and ASTM D 7264 regulations, respectively, for composite materials. The tests were carried out in the MTS universal testing machine - model T 5002. It is extended that the configuration with a 20% volumetric fraction of reed particulate fiber presents the best mechanical characteristics in

¹ Universidad Particular Internacional Sek, Magister Diseño Producción y Automatización Industrial, <https://orcid.org/0000-0003-3310-9590>

² Universidad Particular Internacional Sek, Magister en Sistemas de Manufactura, <https://orcid.org/0000-0002-9523-0743>

³ Universidad Particular Internacional Sek, Doctor Dentro Del Programa De Doctorado En Ingeniería Rural, <https://orcid.org/0000-0001-6739-7661>

⁴ Universidad Particular Internacional Sek, Ingeniera Mecánica En Energía Y Control

⁵ Instituto Superior Tecnológico Kachariy, Magister En Administración Y Marketing, <https://orcid.org/0000-0002-8302-3413>

Autor de correspondencia: jaime.molina@uisek.edu.ec

traction, while the configuration with 5% reed particulate fiber stands out in flexion. It is important to highlight the importance of finding the right percentage of fiber in the composite material. An excess of fiber can decrease the mechanical resistance, while a maximum percentage can improve the mechanical characteristics in bending and traction. Therefore, the need to find the right balance to achieve optimal performance of the composite material is emphasized.

Keywords: Composite material, polyester resin, traction, totora

Introducción

Los materiales compuestos han despertado un creciente interés en diversas aplicaciones debido a su combinación de propiedades mecánicas superiores y versatilidad en el diseño. En este contexto, el presente estudio se centra en la caracterización mecánica de un material compuesto basado en resina de poliéster reforzado con partículas de totora. El Ecuador es un país con una exuberante vegetación, según Yáñez (Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador., 2023) existen 4500 plantas endémica agrupadas en 184 familias y 842 géneros, entre ellas se encuentra la totora (*Schoenoplectus californicus*). La totora es una fibra natural abundante y económica.

Investigaciones previas realizadas en el campo han utilizado una gran diversidad de fibras naturales, entre estas están: cabuya, totora, abacá, coco, palmas, paja toquilla, algodón, lufa, seda, bambú, bejucos, pitigua, balsa, matapalo, caucho, rampira, anona, batea, achiote, majagua, higuerón, ortiga, mimbre y bejuco real, por lo tanto, el uso de refuerzos vegetales es prometedor en el país.

La presente investigación establecería un nuevo material compuesto a base de resina de poliéster reforzado con fibra particulada dispersa de totora, buscando mejores propiedades mecánicas en función de su composición volumétrica.

Con base a que un material compuesto es un sistema que combina las propiedades y características de dos o más fases de materiales de distinta naturaleza para generar propiedades superiores y diferentes a las de sus elementos constituyentes (Mazón Ortiz & Vaca Ortega, 2017). Se consideran tres puntos principales al momento de generar el material compuesto (Hull, 2021):

- Dos o más materiales distintos físicamente y diferentes propiedades.
- Se fabrican combinando diferentes materiales donde la dispersión es controlada para alcanzar propiedades óptimas.
- Tienen mejores propiedades y en algunos casos únicas, al tratarse como materiales separados.

Por otra parte las partículas que conforman el material compuesto poseen una naturaleza dual en términos de propiedades mecánicas. Por un lado, son duras y frágiles, mientras que, la matriz que las rodea es más blanda y dúctil (Besednjak Dietrich, 2009). Este tipo de configuración presenta ventajas significativas en términos de resistencia y rigidez del material compuesto.

Las partículas naturales, como las utilizadas en este estudio, presentan una serie de propiedades atractivas que las convierten en una excelente alternativa como refuerzo en materiales compuestos de matriz polimérica (García, 2009). Entre estas propiedades se destacan su carácter renovable y biodegradable, lo cual es beneficioso desde una perspectiva ambiental. Además, las partículas naturales son comparativamente económicas en comparación con fibras de ingeniería convencionales como el Kevlar o la fibra de vidrio. Así mismo, su bajo peso contribuye

a la reducción del peso total del material compuesto, lo que resulta especialmente relevante en aplicaciones donde se busca optimizar la relación resistencia-peso (ver tabla 1). Otro aspecto destacado, es su desempeño como aislante térmico y acústico, lo cual, puede ampliar aún más las posibles aplicaciones del material compuesto. Por último, las partículas naturales exhiben una alta resistencia a la tensión, lo que, confiere al material compuesto una mayor capacidad para soportar cargas y resistir deformaciones.

Tabla 1.

Ventajas y desventajas de utilizar partículas naturales como refuerzo en materiales compuestos

Ventajas	Desventajas
Sostenibilidad	Baja Resistencia al agua
Generan un bajo consumo de CO ₂	Alta absorción de agua
Son Biodegradables	Baja estabilidad dimensional
Requieren un bajo consumo de energía	Pobre interfaz
No quedan residuos tóxicos la quemarlas	Dureza
Su densidad es baja	Dificultad en su procesamiento
Poseen buenas propiedades mecánicas	Calidad heterogénea
No son tóxicas ni abrasivas	Demanda y ciclos de suministros variables
Tienen bajo costo	Presentan alta flamabilidad

Nota. Baillie, C., & Jayasinghe, R. (2004).

La matriz está conformada de un material termoestable, mismos que se caracterizan por ser normalmente isotrópicas, lo que, significa que sus propiedades son idénticas en todas las direcciones (Besednjak Dietrich, 2009). Una de las propiedades más distintivas de estos materiales es su respuesta al calor, ya que no se funden al calentarlos, pero pierden su rigidez a la temperatura de distorsión térmica (Ashby, 2018).

Es importante tener en cuenta que los polímeros termoestables no pueden ser reciclados y reutilizados debido a que han experimentado modificaciones en su estructura química y a nivel molecular. Sin embargo, pueden ser endurecidos o curados mediante la aplicación de calor o dejándolos reposar a temperatura ambiente (García, 2009). En el caso específico de las resinas de poliéster, se destacan por su relación calidad-precio y su capacidad para combinarse con diversos tipos de refuerzo (Avilés, 2016).

La figura 1 muestra el proceso de reacción de la resina de poliéster a través de una polimerización acelerada por sales de cobalto. El tiempo de curado puede variar

dependiendo de los porcentajes de catalizador, acelerante y temperatura utilizados (Hull, 2021).

Figura 2.

Reacción Exotérmica



Nota. Gazechim Composites Ibérica (2017)


Metodología

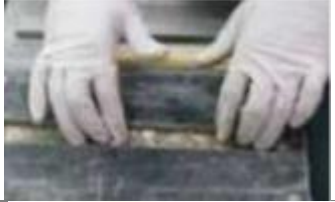

La parte metodológica que abarca la preparación del material compuesto, la caracterización de la resina de poliéster, y los ensayos de flexión y tracción para la posterior caracterización mecánica del material compuesto.

Se inicia con la estratificación, que consiste en la superposición de capas o divisiones. Se prepara una mezcla de resina y partículas de totora en proporciones iguales, que se coloca en un molde de manera uniforme. La resina de poliéster se impregna en las partículas de totora, asegurando una distribución homogénea. (Gil, 2012), en la tabla 2 se muestra el proceso de estratificación.

Tabla 2.

Esquema de Proceso por Estratificación

PROCESO POR ESTRATIFICACIÓN			
Item	Etapas del proceso	Descripción	Imagen
1	Impregnación	Humectación de las partículas	

2	Estratificación	Orientación refuerzo	
3	Consolidación	Aplicar presión	

Nota. Imágenes del proceso para la aplicación de resina y partículas de totora. Autores

La composición de las diferentes probetas se realiza a través del cálculo de la fracción volumétrica, con el peso del material particulado de totora que va a ser introducido en la resina. (Kalpakjian, 2002), para lo cual, se utiliza las ecuaciones 1, 2 y 3:

$$V_P = \frac{V_{pfv}}{V_c} \quad (1)$$

$$V_m = \frac{V_{mfv}}{V_c} \quad (2)$$

$$V_P + V_m = V_c \quad (3)$$

Donde:

V_{pfv} es la fracción de volumen de las partículas

V_{mfv} es la fracción de volumen de la matriz

V_m, V_c, V_p son los volúmenes de matriz, compuesto y particulado respectivamente.

En la tabla 3 se muestra los porcentajes de fibra de totora.

Tabla 3

Porcentaje de totora en mm³ y gr

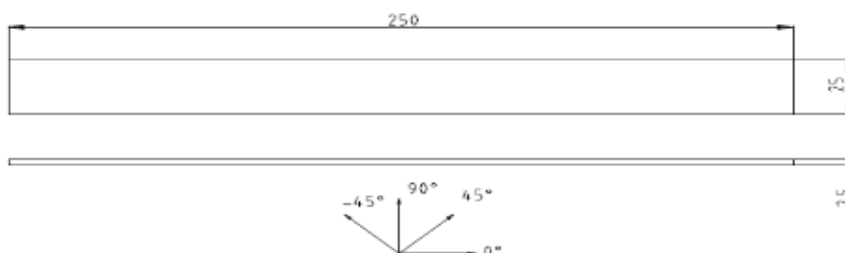
Porcentaje de Totora	Ensayo Tracción Volumen (mm ³)	Ensayo Tracción Peso (gr)	Ensayo Flexión Volumen (mm ³)	Ensayo Flexión Peso (gr)
5%	0,78	0,064	0,42	0,034
10%	1,56	0,128	0,83	0,068
15%	2,34	0,193	1,25	0,103
20%	3,13	0,257	1,66	0,137
25%	3,91	0,321	2,08	0,171
30%	4,69	0,385	2,50	0,205

35% 5,47 0,449 2,91 0,239

Una vez obtenidas las probetas de material compuesto los ensayos de flexión (figura 2) y tracción (figura 3), se lleva a cabo según la normativa ASTM D 7264 para materiales compuestos. Estas probetas se someten a una carga en una máquina de ensayos universales MTS - modelo T 5002.

Figura 2.

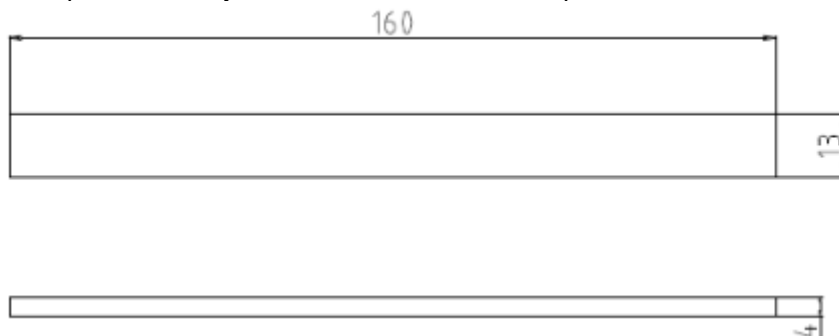
Dimensiones probetas ensayos de flexión.



Nota: Matriz para ensayos de tracción de material compuesto. (Standard Test Method for Flexión Properties of Polymer Matrix Composite Materials, 2017)

Figura 3.

Dimensiones probeta ensayo de Tracción Material Compuesto



Nota. (Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, 2017)



Es importante destacar que el proceso de solidificación de la mezcla de resina y partículas de totora varía en un rango de 60 a 180 minutos, dependiendo de los porcentajes de catalizadores y acelerantes utilizados. Este tiempo de solidificación es crucial para el desarrollo adecuado de las propiedades del material compuesto.

Resultados y Discusión

Los ensayos a tracción y flexión, se realizan en probetas con diferente concentración de fracción volumétrica de 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% y 35% de partículas de totora, con la composición de material base de 1% de MEKP, 10% de estireno y la variación de octanato de cobalto del 0.4%, 0.5% y 0.6%. En la tabla 4, se muestran las probetas obtenidas.

Tabla 4

Compuesto de matriz poliéster reforzado con partículas de totora

Probeta	Imagen
Flexión	
Tracción	

La tabla 5, muestra el peso en gramos de las probetas de Poliéster sometidas a tracción, con una concentración de 10% Estireno, 1% MEKP, variando únicamente el porcentaje de Cobalto de 0,4%, 0,5% y 0,6%.

Tabla 5

Peso en gramos de las probetas de Poliéster con diferentes porcentajes de cobalto

Código Probetas	Cobalto 0,4%	Cobalto 0,5%	Cobalto 0,6%
P1	16,03	16,01	15,99
P2	16,00	16,00	15,98
P3	16,02	15,99	16,00
P4	16,03	16,02	16,02
P5	16,02	16,01	15,98

La tabla 6, muestra los resultados obtenidos de los ensayos a tracción de las probetas de Poliéster, con una concentración de 10% Estireno, 1% MEKP, variando únicamente el porcentaje de Cobalto de 0,4%, 0,5% y 0,6%.

Tabla 6

Esfuerzo Último a tracción de Resina de Poliéster (MPa)

Código Probetas	Cobalto 0,4%	Cobalto 0,5%	Cobalto 0,6%
P1	22,69	22,61	19,44
P2	11,74	20,27	21,66
P3	24,66	18,48	22,86
P4	22,56	22,17	12,45
P5	22,66	21,14	20,54

En la tabla 7, se presenta el peso de las probetas de material compuesto a base de resina de Poliéster con las diferentes concentraciones de factor volumétrico de fibra particulada de totora para el ensayo de tracción.

Tabla 7

Peso en gramos de las probetas de Poliéster con las diferentes fracciones volumétricas de partícula de totora (FVT).

Peso Probetas en gramos (gr)							
Código Probetas	5%FVT	10%FVT	15%FVT	20%FVT	25%FVT	30%FVT	35%FVT
P1 Co 0,5%	15,43	14,76	14,39	13,78	13,41	12,68	12,65
P2 Co 0,5%	15,35	14,85	14,17	13,64	13,34	12,91	12,54
P3 Co 0,5%	15,48	14,79	14,32	13,86	13,28	12,93	12,47
P4 Co 0,5%	15,38	14,75	14,23	13,88	13,26	12,86	12,35
P5 Co 0,5%	15,29	14,90	14,11	13,65	13,32	12,90	12,32
Promedio Peso (gr)	15,39	14,81	14,24	13,76	13,32	12,86	12,47

En la tabla 8, se muestran los resultados de cada ensayo a tracción realizado por probeta en las diferentes configuraciones de factor volumétrico de partícula de totora.

Tabla 8

Esfuerzo Último Tracción por cada ensayo y factor volumétrico de partícula de totora (FVT).

Resistencia a la Tracción (MPa)							
Código Probetas	5%FVT	10%FVT	15% FVT	20% FVT	25% FVT	30% FVT	35% FVT
P1 Co 0,5%	24,68	23,28	23,51	23,59	20,96	13,29	8,55
P2 Co 0,5%	22,83	23,22	23,45	23,62	21,06	12,81	6,73
P3 Co 0,5%	22,85	23,31	23,55	23,60	20,93	13,13	6,81
P4 Co 0,5%	22,84	23,38	23,48	23,57	21,44	12,65	6,39

P5 Co 0,5% 22,83 23,31 23,56 23,60 21,15 13,00 7,85

En la tabla 9, se presenta el peso de las probetas sometidas a ensayo de flexión de material compuesto a base de resina de Poliéster con fibra particulada de totora.

Tabla 9

Peso de probetas de material compuesto para ensayo de flexión a diferentes fracciones volumétricas de partícula de totora (FVT)

Código Probetas	Peso en gramos (gr)					
	5%FVT	10%FVT	15%FVT	20%FVT	25%FVT	35%FVT
P1 Co 0,5%	8,34	7,93	7,51	7,31	7,11	6,68
P2 Co 0,5%	8,22	7,88	7,59	7,39	7,15	6,71
P3 Co 0,5%	8,26	7,95	7,65	7,32	7,04	6,58
P4 Co 0,5%	8,18	7,84	7,62	7,37	7,18	6,65
P5 Co 0,5%	8,16	7,87	7,58	7,29	7,01	6,63
Peso Promedio (gr)	8,23	7,89	7,59	7,34	7,10	6,65

En la tabla 10, se muestran los resultados de cada ensayo a flexión realizado por probeta en las diferentes configuraciones de factor volumétrico de partícula de totora.

Tabla 10

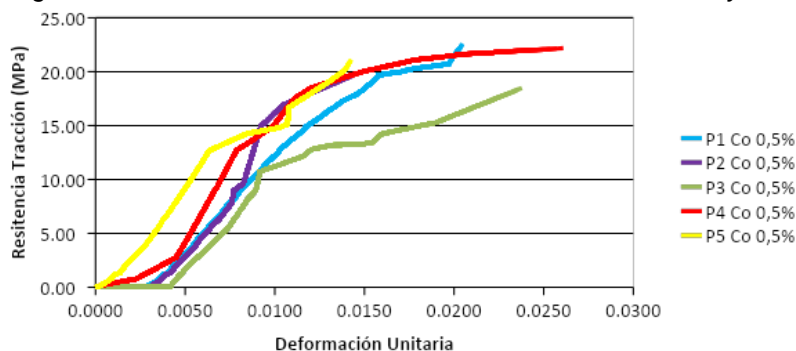
Esfuerzo a flexión por cada ensayo y factor volumétrico de partícula de totora (FVT)

Código Probetas	Resistencia a la Flexión (MPa)					
	5%FVT	10% FVT	15% FVT	20% FVT	25% FVT	35% FVT
P1 Co 0,5%	6,76	4,85	4,73	5,48	4,72	4,46
P2 Co 0,5%	6,66	4,71	4,58	4,85	4,56	4,30
P3 Co 0,5%	7,68	4,77	4,75	4,86	4,66	4,39
P4 Co 0,5%	6,92	4,82	4,70	4,76	4,69	4,43
P5 Co 0,5%	6,98	4,75	4,62	4,66	4,59	4,33

La figura 4, representa el diagrama de resistencia a la tracción del material compuesto en función de la deformación unitaria (MPa). Se realizaron 5 ensayos utilizando la configuración de 1% de MEKP, 10% de estireno y 0,5% de cobalto. En la mayoría de los ensayos, se observa que la deformación unitaria alcanza aproximadamente 0,025, lo cual, indica un mejor comportamiento del material en esta configuración. Se destaca que la zona plástica es mayor que la zona elástica, con un esfuerzo a la tracción en el rango de 15 a 25 MPa. Además, las gráficas muestran una tendencia estable y similar entre sí.

Figura 4.

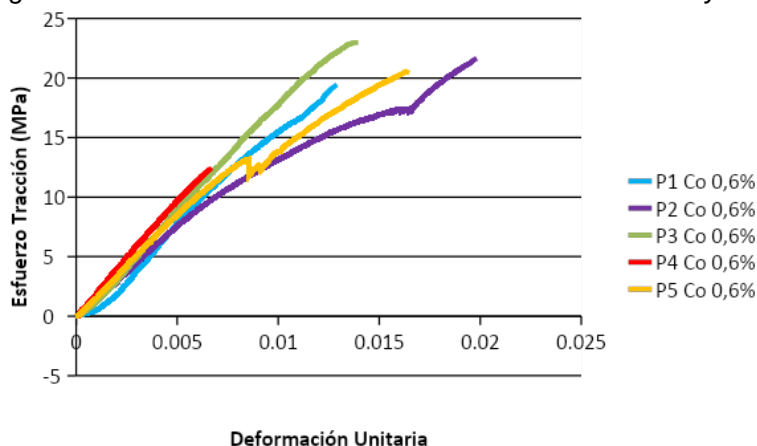
Diagrama Resistencia Promedio a la Tracción – Número Ensayos



La figura 5, presenta el diagrama de resistencia a la tracción del material compuesto en función de la deformación unitaria (MPa). Se realizaron 5 ensayos utilizando la configuración de 1% de MEKP, 10% de estireno y 0,6% de cobalto, en los ensayos, se observa que la deformación unitaria alcanza aproximadamente 0,02, mientras que el esfuerzo a tracción varía en el rango de 10 a 25 MPa.

Figura 5.

Diagrama Resistencia Promedio a la Tracción – Número Ensayos

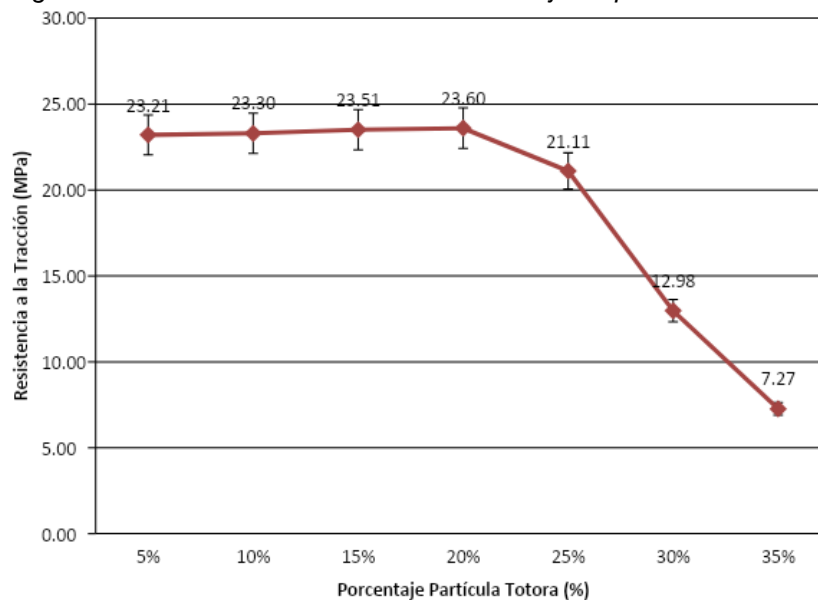


La figura 6, muestra el diagrama Resistencia a la Tracción (MPa) Vs. Porcentaje de partícula de totora en cada configuración de probetas de resina de Poliéster y totora, donde se observa que al 5% de factor volumétrico de partícula de totora la resistencia es de 23,21 MPa, con un aumento progresivo hasta al 20% de factor volumétrico, donde el valor máximo de resistencia a la tracción es de 23,60 MPa. A partir de este punto la resistencia de las probetas sometidas a tracción disminuye teniendo su punto más bajo al 35% de factor volumétrico con 7,27 MPa, es decir, mientras más presencia de fracciones volumétricas de partícula de totora (FVT), su resistencia a la tracción disminuye y su peso en gramos se vuelve más liviano, sin embargo, en estudios realizados por de la Cruz, Chamorro, Córdoba (2021), se puede mencionar que un factor para que esta tendencia se dé, puede ser debido a la

densidad de la totora, el cual, influye en la utilidad de la fibra para su uso, además, para explicar esta tendencia se debe tomar en cuenta un estudio de composición estructural, que generaría una mayor explicación sobre el fenómeno de aumento de FVT y disminución de resistencia a la tracción, ya que, según estudios realizados por (Tapia, Paredes, Simbaña y Bermudez, 2006), (Majewski y Bledzki, 2013) (Suarez, Restrepo, Quinchia y Mercado, 2017). La composición estructural permite establecer la resistencia mecánica, y considerar una proporción adecuada de fibras vegetales como aditivo para la elaboración de materiales (de la Cruz, Chamorro, Córdoba, 2021

Figura 6.

Diagrama Resistencia a la Tracción – Porcentaje de partícula de Totora

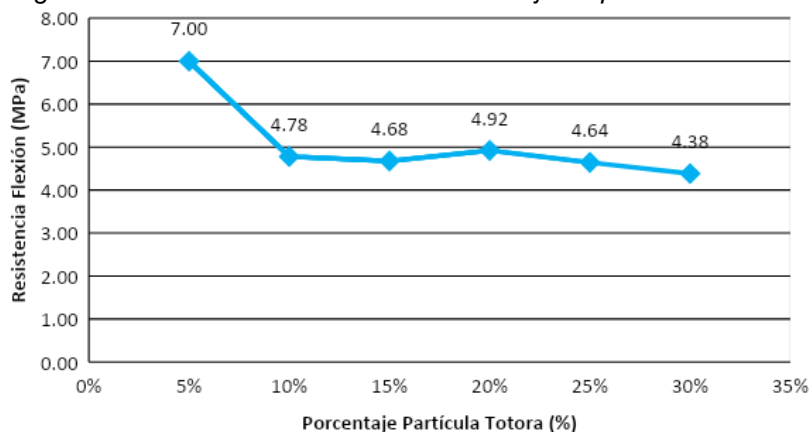


La figura 7, muestra el diagrama de resistencia a la flexión (MPa) en función del porcentaje de partícula de totora en las diferentes configuraciones de probetas de resina de poliéster y totora. Se observa que, a un 5% de fracción volumétrica de partícula de totora, se alcanza la resistencia máxima de 7 MPa, siendo este el valor más alto registrado. A partir de este punto, la resistencia disminuye gradualmente, y a un 20% de fracción volumétrica se obtiene el segundo valor máximo de resistencia, con 4,92 MPa. En cambio, a un 35% de fracción volumétrica, se registra el menor esfuerzo de todas las configuraciones, con 4,38 MPa. Estos resultados indican que el porcentaje de partícula de totora influye significativamente en la resistencia a la flexión del material compuesto, destacando la configuración con un 5% de fracción volumétrica como la de mayor resistencia, sin embargo, la composición de FVT del 10% al 35% no presenta una variación amplia de resistencia a la flexión, y según estudios de Amar, Manjusri & Lawrence, (2005) los materiales compuestos de matriz de resina reforzados con fibra que tienen una alta relación de resistencia a peso y de rigidez a peso se han vuelto importantes en aplicaciones sensibles al peso, como aviones y vehículos espaciales (Vilañez, 2020, p. 17), adicional dentro del proceso de fabricación de materiales compuestos, se observan varios estudios que utilizan como

matriz a polímeros como el polietileno, polipropileno, cloruro polivinílico o resinas termoestables por sus características de dureza y bajo costo (Mejía, 2017, p. 5),

Figura 7.

Diagrama Resistencia a la Flexión – Porcentaje de partícula de Totora



La figura 8, presenta la desviación estándar del módulo de elasticidad longitudinal para los distintos factores volumétricos de totora. Se observa que el valor máximo de desviación estándar es de 2,5 GPa, correspondiente al 35% de factor volumétrico de totora. Por otro lado, el valor mínimo de desviación estándar se registra en 1,25 GPa para un factor volumétrico del 30% de totora. Los demás valores se encuentran dentro de la media establecida. Estos resultados indican que el porcentaje de factor volumétrico de totora tiene un impacto en la variabilidad del módulo de elasticidad longitudinal, siendo el 35% de factor volumétrico el que presenta la mayor variabilidad y el 30% el que muestra la menor variabilidad en los datos.

Figura 8.

Desviación Estándar Módulo de Elasticidad Longitudinal



Conclusiones

Se determinó que el porcentaje adecuado de cobalto en la mezcla para preparar el material base es del 0,5%. Valores superiores de cobalto provocan fragilidad en las probetas, lo que resulta en una fácil ruptura, mientras que valores inferiores generan rigidez y pérdida de elasticidad en el material compuesto.

En cuanto a la resistencia a la tracción, se observó que el material compuesto con una fracción volumétrica de fibra particulada de totora del 20% exhibió la mayor resistencia, alcanzando un valor de 23,60 MPa. Esta configuración específica demostró una mayor capacidad para soportar cargas antes de experimentar deformación o fractura.

Por otro lado, en el ensayo de flexión, se determinó que la configuración con un 5% de fracción volumétrica de fibra particulada de totora mostró la mayor resistencia, con un valor de 7,00 MPa. Esto indica que dicha configuración posee una mayor capacidad para resistir fuerzas aplicadas en una dirección perpendicular al eje del material compuesto.

En general, el material compuesto con un 20% de fracción volumétrica de fibra particulada de totora exhibió las mejores características mecánicas tanto en términos de resistencia a la tracción como a la flexión. Esta configuración específica logró un equilibrio óptimo entre resistencia y flexibilidad, lo que lo convierte en una opción favorable para aplicaciones que requieran propiedades mecánicas destacadas.

Es importante destacar la importancia de encontrar el porcentaje adecuado de fibra en el material compuesto. Un exceso de fibra puede disminuir la resistencia mecánica, mientras que un porcentaje óptimo puede mejorar las características mecánicas a la flexión y tracción. Por lo tanto, se enfatiza la necesidad de encontrar un equilibrio adecuado para lograr un rendimiento óptimo del material compuesto.

Referencias

- Aguire Mendoza, Z., Jaramillo Díaz, N., & Quizhpe Coronel, W. (2019). Arvenses Asociadas a cultivos y pastizales del Ecuador. Loja: *EDILOJA Cía. Ltda.*
- Ashby, M. F. (2018). *Materials: engineering, science, processing and design. Butterworth-Heinemann.*
- (ASTM), A. S. (2016). Standard Test Method for Traction. Annual Book of ASTM Standards.
- Avilés, M. D.-P. (2016). Self-lubricating, wear resistant protic ionic liquid-epoxy resin. *Express Polymer Letters*, 11(3), 219 - 229. <https://doi.org/https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2017.23>
- Baillie, C. &. (2004). *Green composites: polymer composites and the environment. Elsevier.*
- Besednjak Dietrich, A. (2009). *Materiales Compuestos Procesos de fabricación de embarcaciones. UPC.*
- De la Cruz-Velasco, L., Chamorro-Mejía, J., Córdova-Cely, C., (2021). Caracterización físico-química y mecánicas de cuatro fibras vegetales utilizadas como materia prima artesanal en el Departamento de Nariño, *DINA*, (88)216, 101-1 96-102.
doi: <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n216.87958>
- García, J. (2009). *Química Bioproductos a partir de biomasa. Jaca.*
- Gil, A. (2012). *esinas de poliéster Guía de manejo. Universidad EAFIT.*
- Hull, D. (2021). *Materiales Compuestos. Barcelona: Reverté S.A.*
- Kalpakjian, S. &. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología. Pearson educación.*
- Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador. (2023). Obtenido de *Bioweb.Bio.*: <https://bioweb.bio/floraweb/librorojo/patrones/>
- Materials., A. C.-3. (2008). Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials. *ASTM international.*
- Mazón Ortiz, G. E., & Vaca Ortega, W. H. (2017). Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales. *Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica.*
- Mejía, D., (2017). Caracterización De Un Material Con Matriz De Resina Poliéster Y Refuerzo Con Fibra Natural De Totora (*Schoenoplectus Californicus*), Mediante Simulación A Partir De Microfotografía. *Escuela Politacnica del Ejército, Centro de Postgrado.*
- Vilañez, P., (2020). Caracterización de las Propiedades Mecánicas de un Material Compuesto Fabricado con Matriz de Resina Epóxica y Refuerzo de Fibra Natural de Totora. *Escuela Politacnica del Ejército, Centro de Postgrado*