

DESARROLLO DE COMPOSITOS A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES POTENCIALMENTE EMPLEADOS EN TRANSPORTE MASIVO

Agro-industrial residue composites for potential transport application

RESUMEN

Uno de los retos que experimenta el sector del transporte masivo se relaciona con la reducción del consumo energético a través del uso de materiales de bajo peso en diferentes partes de los vehículos. Algunas de las alternativas existentes tienen alto precio o son de difícil consecución. Para subsanar esta situación, los composites reforzados con fibras naturales son una alternativa, pues combinan baja densidad y costo competitivo. Pero pueden experimentar desventajas desde el punto de vista de desempeño mecánico y comportamiento frente al fuego. En trabajo se aborda el desarrollo de composites reforzados con fibras extraídas de los residuos de la agroindustria platanera con el fin de evaluar su posible utilización en piezas para estos vehículos. Su comportamiento mecánico ha sido incrementado sometiendo a los reforzantes a tratamiento térmico con vapor, de tal forma que los materiales elaborados son viables para este tipo de aplicaciones.

PALABRAS CLAVES: Comportamiento mecánico, fibras de plátano, materiales compuestos, residuos agroindustriales, tratamiento de fibras, tratamiento con vapor

ABSTRACT

One of the most important challenges for rail transportation is the reduction of energy consumption using low density materials. Some of these materials are expensive or have distribution problems. However, composites reinforced with natural fibers can be an alternative, because they offer an interesting combination between low density and cost. In spite of this, drawbacks of natural composites as flame resistance or mechanical behavior could affect their potential use in this application. In this work, the potential application in rail transportation elements of composites reinforced with fiber bundles isolated from plantain residues have been analyzed. The mechanical behavior of natural composites has been improved using a steam explosion as fiber bundle treatment. The results obtained suggest that treated composite materials can be an alternative material to develop rail transport elements.

KEYWORDS: *Agroindustrial residues, composite materials, fiber treatment, mechanical properties, plantain fiber bundles, steam explosion treatment*

1. INTRODUCCIÓN

El incremento de la población en las áreas metropolitanas en más de un 20% en los últimos veinte años ha generado serios problemas de transporte colectivo. Para subsanar esta situación, algunas de las estrategias que se han implementado incluyen la expansión de la infraestructura a través de la construcción de nuevas vías e intersecciones a desnivel y ampliación de la capacidad de las vías existentes, o la construcción de alternativas de transporte masivo mediante líneas férreas tal como ocurre

Fecha de Recepción: 23 Mayo de 2007
Fecha de Aceptación: 3 Agosto de 2007

SILVIO SALAZAR

Ingeniero Mecánico, Estudiante de maestría.
Profesor Auxiliar
Universidad Pontificia Bolivariana
silvio.salazar@upb.edu.co

HERBERT KERGUELEN

Ingeniero Mecánico, Ms C
Profesor Auxiliar
Universidad Pontificia Bolivariana
herbert.kerguelen@upb.edu.co

JAVIER CRUZ

Ingeniero Mecánico, Ph.D.
Profesor Titular
Universidad Pontificia Bolivariana
luis.cruz@upb.edu.co

MAURICIO PALACIO

Ingeniero Mecánico, MsC
Metro de Medellín Ltda
mpalacio@metrodemedellin.gov.co

JAIME PÉREZ

Ingeniero Electricista
Metro de Medellín Ltda
jperez@metrodemedellin.org.co

PIEDAD GAÑÁN

Ingeniera Química, Ph.D.
Profesor Titular
Universidad Pontificia Bolivariana
piedad.ganan@upb.edu.co

en el caso del Metro, en el caso de la ciudad de Medellín (Colombia).

Sin embargo, uno de los constantes problemas que enfrenta el transporte masivo se centra en el uso adecuado por parte de los usuarios, lo que implica enfrentarse a constantes problemas de envejecimiento, vandalismo y deterioro, manifestados principalmente en diferentes áreas del vehículo tales como pisos o sillas. Sumado a lo anterior, se encuentran las perspectivas de normativas para el sector, que como en el caso de la

Argentina buscan propugnar porque estos ambientes se conviertan en espacios permanentes de limpieza, desodorización y desinfección, lo que implica que componentes del vehículo como los pisos por ejemplo sean susceptibles de un mayor deterioro debido a la presencia continuada de la humedad, y de agentes químicos requeridos para esta actividad. La combinación de estos factores genera un permanente consumo de materiales, y que para el caso de algunas de estas compañías implica altos costos.

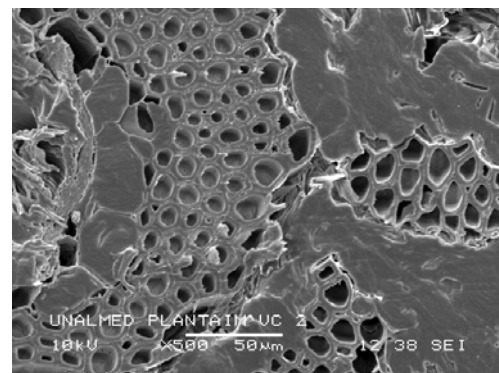
De otro lado, es importante reconocer la cada vez mayor participación de los materiales compuestos en el transporte masivo y férreo debido a las diferentes ventajas que ofrecen y entre las que se encuentran reducciones en peso cercanas al 50 % en piezas estructurales y del 75% en no estructurales, incremento en la velocidad del vehículo, aumento de la potencia, disminución de la inercia y el desgaste de los rieles y mejor eficiencia en la relación que existe entre el tamaño o número de la carga transportada respecto al consumo energético.

La búsqueda permanente de materiales ligeros y que a la vez permitan suplir la constante demanda de reposición de partes en los vehículos es un reto permanente del sector. Más aún cuando existen de altos costos y consecución. Sin embargo, los composites elaborados a partir de fibras naturales pueden proporcionar ahorro de energía, disminución de emisiones contaminantes ligadas a la producción de esta energía, mejor comportamiento dinámico del coche y confort de marcha además de la apropiada combinación entre bajo costo y densidad que brindan. Sin embargo una de sus limitaciones para este tipo de aplicaciones se puede centrar en su desempeño mecánico. Para mejorar este comportamiento, las fibras naturales pueden ser modificadas superficialmente de tal forma que al incrementar la compatibilidad en la interfase fibra natural/matriz polimérica [1-3] las propiedades mecánicas se vean beneficiadas. Uno de estos procesos corresponde al tratamiento con vapor que permite reducir la presencia de componentes no celulósicos como las hemicelulosas, y propicia cambios en la estructura de la lignina [4-5] En este trabajo se abordan entonces el desarrollo de diferentes tipos de materiales compuestos elaborados a partir de fibras naturales de origen colombiano, tal como es el caso de las aisladas a partir de los residuos de cosecha de la producción platanera y que puedan ser potencialmente empleadas en componentes interiores no estructurales de los vehículos de transporte masivo de pasajeros. En este caso un tratamiento termomecánico empleando vapor y conocido como *steam explosion* ha sido utilizado con miras a mejorar el desempeño mecánico de los diferentes tipos de composites. La caracterización de los diferentes materiales compuestos incluye la elaboración de ensayos de flexión a tres puntos. Adicionalmente ensayos de inflamabilidad han sido realizados.

2. METODOLOGÍA

2.1 Materias primas

Las fibras empleadas corresponden a haces fibrosos extraídos mediante procesos de raspado mecánico de la vena central de plantas de plátano. Todas las muestras fueron obtenidas de la región de Urabá y fueron amablemente suministradas por la Fundación Corbananol. En la figura 1 se presentan micrografías de SEM de cortes transversales y longitudinales de los haces fibrosos empleados. En este caso se aprecia que los haces fibrosos están conformados por múltiples fibras elementales, cuyo número condiciona las dimensiones finales del haz.



a)



b)

Figura 1. Micrografías SEM de haces fibrosos aislados de vena central de la hoja. a) Corte transversal, b) corte longitudinal.

2.2. Tratamiento con vapor - *steam explosion*

Para llevar a cabo el tratamiento con vapor de las fibras de plátano, se empleó un reactor discontinuo de 10 L dotado con un tanque para expansión de 5 L. Las variables para controlar el proceso corresponden a la temperatura y el tiempo de exposición, la condición de tratamiento empleada en este caso ha sido establecida en un trabajo anterior [6]. Tras la modificación, las fibras fueron sometidas a un proceso de secado a una temperatura de 60 °C durante 24 h. Transcurrido este

tiempo fueron molidas a un tamaño de 4 mm con miras a su posterior utilización en la realización de los materiales compuestos.

2.3. Elaboración de materiales compuestos

Los materiales compuestos fabricados con fibras tratadas y no tratadas así como con o sin presencia de matriz sintética adicional fueron elaborados mediante compresión en caliente empleando una temperatura de trabajo de 180 °C y ciclos de presión aplicados durante 15 minutos para lograr una adecuada desgasificación del sistema. Dos niveles de fuerza de cierre durante el proceso de compresión fueron analizados. En la tabla 1 se presenta una convención de los diferentes tipos de composites realizados.

Abreviatura para tipo de muestra	Características de la muestra
U	Sin tratamiento
ST, F1	Tratada con vapor, fuerza empleada= 6,5 ton
ST, F2	Tratada con vapor, fuerza empleada= 15 ton

Tabla 1. Abreviaturas empleadas para designar composites elaborados sin matriz sintética.

En cuanto a los composites realizados con matriz sintética, una resina fenólica tipo novolaca con un nivel de captación de humedad del 1,5% y un punto de fusión de 70 °C/min fue utilizada. Para llevar a cabo el curado de la resina, hexametilentetramina ha sido empleada, con una relación de 8,5% respecto a la cantidad de resina fenólica.

2.4. Ensayos de caracterización

Las muestras de los diferentes composites fueron evaluadas desde el punto de vista mecánico empleando una máquina universal de ensayos marca Instron 5582 y siguiendo los lineamientos de la norma técnica ASTM D 1037-99. En este caso, el tamaño de las probetas corresponde a 150x 50 x 4 mm. La relación L/d empleada corresponde a 16. Al menos 5 probetas fueron analizadas en cada caso. Respecto a la densidad, las muestras fueron evaluadas de acuerdo con la norma ISO 1183. De forma complementaria, la superficie de rotura de las muestras fue analizada empleando un microscopio electrónico de barrido SEM (JEOL JSM, modelo 5910 LV). Debido a las características no conductoras de los laminados, las muestras fueron previamente recubiertas con oro en una cámara Denton Vacuum.

En cuanto a la prueba de flamabilidad, esta fue realizada de acuerdo con la norma ASTM D635. En este caso se

utilizó una cámara con un volumen constante de 0,19 cm³.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las tablas 2 y 3 se presenta las características físicas y mecánicas de los composites desarrollados con fibras de plátano tratadas y sin tratar así como con o sin presencia de matriz sintética tipo novolaca. En el caso de los composites elaborados sin la presencia de un polímero sintético se basan en la idea de que los componentes no-celulósicos presentes en las paredes celulares como la lignina, la hemicelulosa y las pectinas remanentes conforman la matriz. Los incrementos registrados tanto en la densidad como en la resistencia máxima (σ) y el módulo de elasticidad (E) sugieren que las variaciones químicas que experimentan algunas de las estructuras no-celulósicas, hemicelulosas y lignina principalmente, presentes en las paredes vegetales de las fibras de plátano tras el tratamiento con vapor podrían promover una mejor auto-ensamblaje al interior del composite [7]. De otro lado, al incrementar el valor de la presión de compresión, se observan incrementos sobre el desempeño mecánico y la densidad que podrían estar ligado a alteraciones sobre el lumen de las fibras y una promoción un mayor grado de plastificación por parte de los componentes no-celulósicos que actúan en este caso como matriz.

Tipo de muestra	Densidad (g / cm ³)	σ (MPa)	E (MPa)
U	1,05 ± 0,03	12,9 ± 3,2	1923 ± 788
ST, F1	1,09 ± 0,03	13,5 ± 1,6	2416 ± 461
ST, F2	1,13 ± 0,05	17,4 ± 2,8	3898 ± 691

Tabla 2. Comportamiento mecánico a flexión de composites elaborados sin matriz sintética.

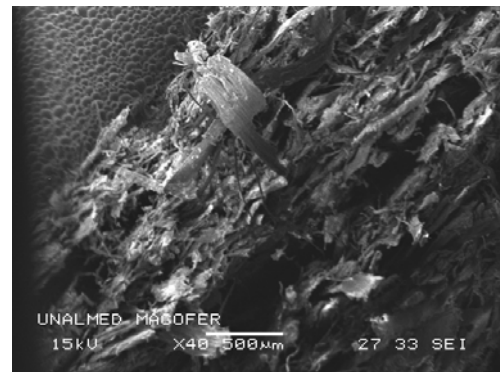
Contenido en fibra tratada (%)	Densidad (g / cm ³)	σ (MPa)	E (MPa)
10	1,05 ± 0,05	26,2 ± 3,2	3685 ± 574
20	1,17 ± 0,06	41,8 ± 5,8	5725 ± 898
30	1,14 ± 0,07	49,7 ± 8,0	6106 ± 293
50	1,17 ± 0,08	32,2 ± 6,5	6054 ± 1707

Tabla 3. Comportamiento mecánico a flexión de composites elaborados a partir de fibras de plátano tratadas con vapor y matriz fenólica.

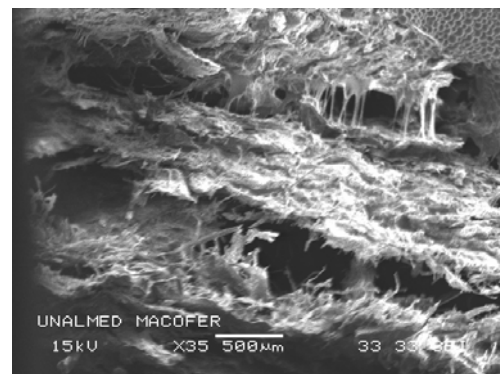
En el caso de los composites elaborados con matriz sintética, se observa un ostensible incremento en el desempeño mecánico con ligeras variaciones sobre la densidad. Este efecto puede estar ligado a que la presencia de la resina fenólica permite mejor la transmisión de carga al interior del material compuesto. En la tabla 3 también se observa un nivel óptimo de admisión de fibra tratada por parte del composite y que se encuentra alrededor del 30% en peso. Estos resultados sugieren que una mayor presencia de fibra afecta el desempeño del material pues incrementa el número de contactos entre fibra y fibra, promoviendo posiblemente más irregularidades al interior del material. Los resultados mecánicos obtenidos sugieren que composites desarrollados con ausencia de matriz polimérica pueden ser útiles para aplicaciones no estructurales, en tanto que los elaborados con resina fenólica podrían ser empleados para elaborar componentes del vehículo tales como los pisos.

En orden a tener una mejor comprensión de estos resultados, en la figura 2 se presentan micrografías obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) de las superficies de fractura de muestras de composites con o sin presencia de matriz fenólica. En ambas micrografías se aprecian indicios de adecuada adhesión, en especial en el caso del sistema fenólico, lo que indica que la presencia de la resina permite una mejor humectación al interior del sistema, mejorando por la transmisión de carga a través de la interfase así como la homogeneidad del material.

En cuanto a las pruebas de flamabilidad, diferentes muestras de materiales compuestos fueron expuestas a la aplicación de fuego en forma horizontal, de acuerdo con la norma ASTM D 635, de tal forma que sea posible establecer una indicación inicial sobre su potencial resistencia. En la tabla 3 se presenta la tipología que según la norma tienen todas las muestras evaluadas. Según esto corresponden a la categoría HB que corresponde a materiales con baja tolerancia a la llama. Es de anotar, que entran dentro de esta categoría debido a que pesó a que no se encienden en los primeros 25 mm, si lo hacen entre esta marca y la que se registra a 100 mm. Esta situación indica que independiente de la presencia de la matriz fenólica se tiene una baja tolerancia al fuego, y que posiblemente se encuentra más asociada a las características del reforzante. En cualquier caso, estos resultados indican que con miras a la realización de componentes para los vehículos, y en particular aquellos que se encuentran en contacto directo con los usuarios es preciso evaluar la utilización de agentes retardantes a la llama. También se observa, que el tratamiento con vapor empleado tiene baja influencia sobre el desempeño frente a la llama de los materiales desarrollados, pues al igual que ocurre en los demás casos las muestras se encienden entre las marcas de 25 y 100 mm, pesó a que este evento tarde mayor tiempo en ocurrir.



a)



b)

Figura 2. Micrografías por SEM de composites elaborados a partir de fibras de plátano. a) sin matriz fenólica, b) 50% en contenido de resina fenólica.

Tipo de muestra Contenido en fibra tratada (%)	Designación
U	HB
ST, F1	HB
<i>Composites elaborados a partir de fibras de plátano tratadas con vapor y matriz fenólica.</i>	
10	HB
20	HB
30	HB

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo diferentes tipos de materiales compuestos con y sin la presencia de matriz sintética han sido elaborados empleando fibras aisladas de residuos de los cultivos de plátano como elemento de refuerzo. De acuerdo con los resultados obtenidos de la caracterización mecánica se aprecia que el tratamiento

con vapor empleado y el incremento en el nivel de presión de compresión empleado permiten incrementar el desempeño mecánico del material. Pese a que los composites desarrollados sin presencia de matriz sintética tienen un desempeño mecánico inferior a aquellos que tienen como matriz resina fenólica tipo novolaca, podrían ser potencialmente empleados para el desarrollo de elementos no estructurales, en tanto que los composites con resina podrían ser empleados en la fabricación de piezas internas de los vehículos con un mayor nivel de exigencia mecánica tal como ocurre en el caso de los pisos. Adicionalmente los ensayos de flamabilidad llevados a cabo indican que todos los materiales desarrollados tiene una baja tolerancia a la llama, lo que indica que es necesario ahondar en el estudio de agentes retardantes al fuego que incrementen este desempeño.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a Colciencias por su apoyo económico que ha permitido el desarrollo del presente trabajo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Gañán, and I. Mondragon., "Influence of compatibilization treatments on the mechanical properties of fique fiber reinforced polypropylene composites," *International Journal of Polymer Materials*, vol 53, pp 997 – 1013, 2004.
- [2] J. Gassan, and A. Bledzki. "Possibilities for improving the mechanical properties of jute/epoxy composites by alkali treatment of fibres," *Composites Science. Technology*, vol. 59, pp 1303-1309, 1999.
- [3] L. Yan, M. Wing and Y. Lin. "Sisal fibre and its composites: a review of recent developments," *Composites Science Technology.*, vol. 60, pp 2037-2055, 2000.
- [4] M. N. Anglés, J. Reguant, D. Montané, F. Ferrando, X. Farriol and J. Salvadó, "Binderless composites from pretreated residual softwood," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 73, pp 2485-2491, 1999.
- [5] C. García-Jaldon, D. Dupeyre, M. R. Vignon, "Fibres from semi-retted hemp bundles by steam explosion treatment," *Biomass Bioenergy*, vol. 14, pp. 251-260, 1998 .
- [6] P. Gañán, G. Quintana, J. Velásquez and I. Mondragon, "Green composites from Musaceas agroindustrial residues," in *Proc. 2007 Sixteenth International Conference on Composite Materials, ICCM-16*, pp 882-883.
- [7] R. Widyorini, J. Xu, T. Watanabe T. and Kawai S. "Chemical changes in steam-pressed kenaf core binderless particleboard," *Journal of Wood Science*, vol. 51, pp 26-32, 2005.