Rev. LatinAm. Metal. Mat.

Artículo Regular

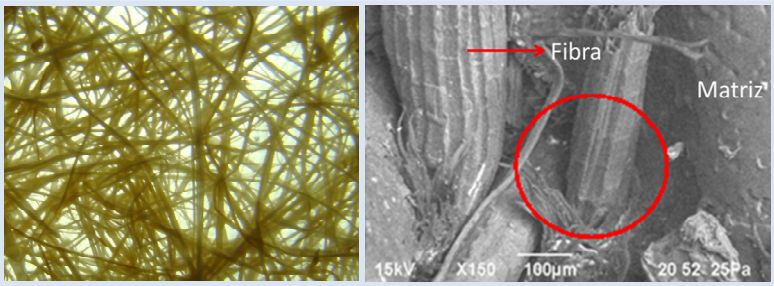
www.rlmm.org

ANÁLISIS MECÁNICO DEL COMPUESTO POLIETILENO ALUMINIO REFORZADO CON FIBRAS CORTAS DE FIQUE EN DISPOSICIÓN BIDIMENSIONAL

Miguel Hidalgo, Mario Muñoz, Karen Quintana*

Facultad de Ingeniería, GITEM, Universidad Autónoma de Occidente, GMC, Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.

** e-mail: mahidalgo@uao.edu.co*



RESUMEN

En este artículo se presenta el estudio del comportamiento físico-mecánico de la fracción de PEBD/Al reciclado de empaques de Tetra Pak, de origen post consumo, reforzado con fibras de fique, en el cual se enfatiza en el reforzamiento del material con fibras cortas en disposición bidimensional aleatoria. Para observar el efecto producido por la incorporación de fibras en las propiedades físico-mecánicas, se fabricaron tableros, por medio del proceso de moldeo en prensa, de platos calientes controlada por computador, con porcentajes de 10, 30 y 50 % v/v de fibra, y se realizó una comparación de las propiedades obtenidas, con las del PEBD/Al sin refuerzo. Siguiendo esta metodología, fué posible obtener un incremento de la resistencia, y el módulo a tensión del material en un 216 y 515 % respectivamente, cuando se incorporó 50 % de fibra, sin embargo los mejores resultados a flexión alcanzados se presentaron con 30 % de fique. Por otra parte, se puede apreciar una tendencia incremental de absorción de agua con la incorporación de fibra en el material. Adicionalmente se observó el compuesto utilizando la técnica MEB, con el objeto de cualificar la adherencia de la fibra a la matriz, la homogeneidad y porosidad del compuesto.

Palabras Claves: *Compuesto, Fibras de fique, PEBD/Al, Fibra corta, comportamiento mecánico, NFPCs.*

MECHANICAL ANALYSIS OF POLYETHYLENE ALUMINUM COMPOSITE REINFORCED WITH SHORT FIQUE FIBERS AVAILABLE A IN TWO-DIMENSIONAL ARRANGEMENT

ABSTRACT

The study of the behavior of the physical-mechanical fraction of recycled LDPE/AL recovered from Tetra Pak packing from a post-consumer source, reinforced with fique fiber is presented in this paper, which emphasizes in the reinforcement of the material with short fibers on dimensional random arrangement. To observe the effect produced on physical-mechanical properties due to the fiber's addition, boards were made through the molding process in a hot press controlled by computer, with percentages of 10, 30 and 50 % v/v of fiber and a comparison was made between the properties obtained and the obtained with the LDPE/Al without reinforcement. Following this methodology, it was possible to obtain an increase on strength and tensile modulus of the material in a percentage of 216 and 515 % respectively, when 50 % of fiber was incorporated. However the best results achieved were presented in flexion with 30 % of fique. Moreover, an increasing trend on water absorption can be observed with the addition of fiber in the material. Additionally, the compound was observed using SEM technique in order to qualify the fiber adhesion, to the matrix, the homogeneity and porosity of the compound.

Keywords: *Composite, Fique fiber, LDPE/Al, Short fibers, mechanical behavior, NFPCs.*

Recibido: 28-10-2010 ; **Revisado:** 05-04-2011
Aceptado: 17-06-2011 ; **Publicado:** 21-06-2011

pISSN: 0255-6952 | eISSN: 2244-7113
Rev. LatinAm. Metal. Mat. 2012; **32** (1): 89-95

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad algunos sectores industriales como el aeroespacial, el automotriz y el de la construcción; se han interesado por los materiales compuestos y por su desarrollo, esto debido a que presentan buenas propiedades específicas y su costo es bajo frente a los materiales tradicionales.

Los materiales compuestos de matriz polimérica están conformados por dos fases, una fase contínua (matriz polimérica) y una fase dispersa (partículas o fibras). Estos son evaluados principalmente por medio de sus propiedades mecánicas, las cuales dependen de cada uno de sus componentes, de la disposición de la fase dispersa en la contínua y de la interacción interfacial de los componentes.

En los últimos años, la tendencia por la incorporación de fibras celulósicas, como el sisal, fique, jute, henequén, pulpa de madera, entre otras, en los materiales compuestos, ha crecido; esto debido a que actualmente se encuentran estudios donde se ha demostrado, que por sus buenas propiedades mecánicas, las fibras pueden actuar como refuerzo de matrices poliméricas [1]. Estas fibras naturales le proporcionan a los compuestos de matriz polimérica algunas ventajas, como son la baja densidad y un cierto grado de biodegradabilidad. Sin embargo, estos compuestos, presentan algunas dificultades causadas principalmente, por la poca compatibilidad entre las fases; debiéndose esto, en parte, a la naturaleza hidrofílica de las fibras y las características hidrofóbicas de la matriz [2].

Marsh reportó un estudio desarrollado por BMW, acerca del uso de fibras naturales para reforzar algunos de sus productos, al igual que Mercedes Benz, fabricantes de elementos internos de puertas, en materiales reforzados con fibras de lino desde 1995 [3].

El PEBD/Al es un material fabricado a partir del reciclado de envases larga vida de Tetra Pak, estos envases están compuestos por 5 % de aluminio, 20 % polietileno y 75 % papel, los cuales son materiales con un período de descomposición prolongado. El reciclaje de este producto se basa en la separación de la pasta celulósica de las capas de polietileno y aluminio, que conforman el material; este proceso se denomina hidropulpado. De acuerdo a esto el PEBD/Al se puede clasificar como un material compuesto particulado, con aproximadamente 20 % de aluminio y 80 % polietileno de baja densidad [4].

El PEBD/Al ha sido estudio por diferentes autores [5-7], quienes han determinado sus propiedades físico-mecánicas, permitiendo el uso de este material en la industria, en aplicaciones de baja exigencia estructural, como las tejas plásticas, láminas para cubiertas, pupitres y similares [8]. Con miras a incrementar estas propiedades, con el fin de ampliar el rango de aplicaciones industriales, en este estudio se evaluó el comportamiento físico-mecánico de este material, reforzado con fibras de fique.

El fique es la fibra con mayor producción en Colombia, la cual genera un promedio de aproximadamente 11200 empleos anuales directos, con más de 17000 hectáreas, distribuidas en diferentes departamentos del país, principalmente en Cauca, Nariño, Santander y Antioquia, departamentos que producen el 98 % de las fibra en Colombia. La industria nacional consume el 52 % de la producción nacional [9].

Delvasto et al, evaluaron las propiedades a flexión y a tensión de compuestos de matriz de polietileno de alta densidad (PEAD), reforzados con fibra de fique; con porcentajes del 7 al 55 % (v/v) de fibra, obteniendo resultados muy importantes en la búsqueda de un material que sustituya la madera, lo que conllevó a que las empresas productoras de empaques de Colombia, se vean beneficiadas, al usar la fibra de fique como materia prima [10].

En este artículo, se presentan los resultados obtenidos para compuestos fabricados con fibras cortas de fique, dispuestas aleatoriamente en dos direcciones, paralelas al tablero.

2. PARTE EXPERIMENTAL

El desarrollo de este proyecto comprende en su fase experimental, las especificaciones generales del PEBD/Al y la fibra de fique, la preparación del material compuesto, además de los parámetros implementados en cada una de las pruebas de caracterización. Con el fin de determinar el comportamiento del compuesto, y el efecto causado por la incorporación del fique a la matriz, se trataron tres porcentajes de carga de fibra corta (10, 30 y 50 % v/v). La caracterización del material se hizo mediante ensayos de tensión, flexión, impacto, densidad y absorción de agua.

©2012 Universidad Simón Bolívar

2.1 Materiales.

El material estudiado está compuesto por PEBD/Al y fibras de fique, algunas propiedades de estos materiales se muestran en la tabla 1 [4,11-13].

Tabla 1. Propiedades de las componentes del material estudiado.

Material	*PEBD/Al*	*Fique*
Densidad (g/cm³)	1,08	1,47
Absorción de agua (%)	0,12	60
Temperatura de fusión °C	107	---
Temperatura de degradación °C	---	220
Diámetro (µm)	---	0,24
Resistencia a tensión (MPa)	11	132,40
Módulo de elasticidad (GPa)	0,16	8,20-9,10
Elongación última (%)	46	9,80

2.2 Procesamiento.

El material de la matriz, PEBD/Al, se llevó a un tamaño mínimo de partícula, por medio de un proceso de molienda, el cual fue necesario para promover la impregnación de las fibras con la matriz. Para obtener el compuesto, se cortó la fibra de fique a 21 mm, la cual corresponde a la longitud crítica, determinada en investigaciones previas, mediante el ensayo de *Pull-Out* [14], y se distribuyó homogéneamente en la matriz, de acuerdo a cada uno de los porcentajes establecidos, como se muestra en la figura 1; posteriormente, en una prensa automática (*Automatically operated platen press, type LabPro400 of FONTIJNE PRESSES*), controlada por computador, se realizó el proceso de moldeo, a una temperatura de 180 °C y una presión de 50 MPa durante 12 minutos, incluyendo el tiempo de refrigeración, obteniendo los tableros del compuesto PEBD-Al/Fique. Las fibras de fique se secaron en un horno de vacío a 70 °C, durante 12 horas, antes de la preparación de los compuestos.

Adicionalmente, se realizaron placas de PEBD/Al sin reforzamiento, bajo los mismos parámetros de proceso que los usados para la fabricación del compuesto.

Por otra parte, en la figura 2, se puede apreciar la distribución de las fibras en la matriz, la cual se dispuso totalmente aleatoria en dos planos, considerando así, un material isótropo, si se tiene un espesor despreciable del compuesto.



Figura 1. Obtención del material compuesto en la prensa de platos calientes.

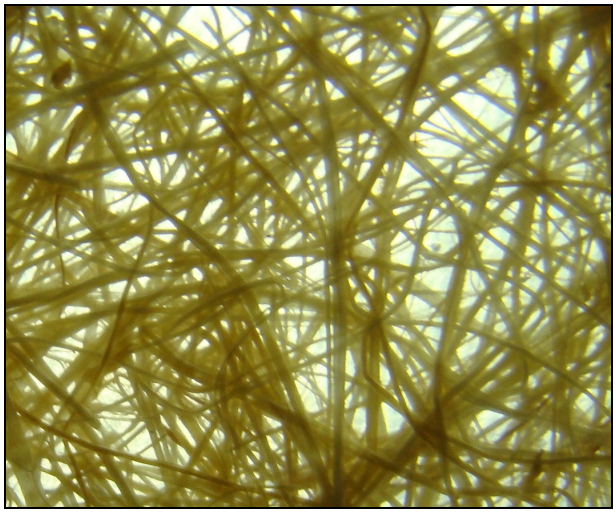


Figura 2. Distribución de las fibras, usada en la fabricación del compuesto.

2.3 Caracterización.

Los parámetros y las normas bajo los cuales se realizaron las pruebas, se presentan en la tabla 2. Debido a la propiedad hidrofílica que presenta la fibra de fique, fue descartado el ensayo de densidad convencional, de inmersión en agua destilada, siendo necesario utilizar como líquido de inmersión, aceite mineral, el cual tiene una densidad de 0,997 g/cm^3.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Ensayo de tensión.

El comportamiento a tensión de cada uno de los compuestos se muestra en la figura 3, en la cual, es posible observar que a medida que se incrementa la carga de fique en el compuesto, la resistencia y el módulo de elasticidad a tensión, tienden a aumentar, mientras que la deformación disminuye, lo que se puede interpretar como una rigidización del compuesto con la incorporación de fibra. Debido a que se presentan anclajes de tipo mecánico en la

©2012 Universidad Simón Bolívar

interface fibra-matriz, que restringen la capacidad de deformación del PEBD/Al, y prima la rigidez de la fibra. Por otra parte, una vez alcanzado el esfuerzo máximo, los materiales presentan diferentes comportamientos. Las curvas para los compuestos, muestran una fractura gradual atribuida al desprendimiento de la fibra, que mediante fricción se opone a la fractura súbita del compuesto. Este comportamiento es más notorio en las curvas correspondientes a los compuestos reforzados con 30 y 50 % de fibra de fique, mientras que en el compuesto reforzado con 10 % de fibras, tiende a ser similar al de la matriz, debido a la débil oposición proporcionada por el bajo contenido de reforzamiento.

Tabla 2. Parámetros de ensayos [15].

Ensayo	*Norma*	*Acond.*	*Parámetros de ensayo*	
Tensión	ASTM D638	50 % Humedad 25 °C por 48h	Velocidad	5 mm/min
			Temperatura	25 °C
Flexión	ASTM D790	50 % Humedad 25 °C por 48h	Velocidad	1,71 – 3,24 mm/min
			Temperatura	25 °C
Impacto	ASTM D256	50 % Humedad 25 °C por 48h	Velocidad	3,35 m/s
			Temperatura	25 °C
			Escala del martillo	2,71 y 13,56 N.m
Densidad	NTC 907	50 % Humedad 25 °C por 48h	Liquido de inmersión	Aceite mineral
Absorción de agua	ASTM D570	50 °C por 24h	Tiempo Temperatura	24 h 23 °C

En un compuesto con 50 % de refuerzo de fibras cortas de fique, se obtuvo una resistencia a la tensión de 24,86 MPa y un módulo de 3,65 GPa, representando una mejora en la resistencia, de un 216 %, y en el módulo de 515 %, respecto a la matriz en la cual se obtuvo valores de 7,86 y 593,08 MPa para la resistencia y el módulo, respectivamente (figura 4). Sin embargo, La deformación disminuyó en un 56,98 % frente a la presentada por el material sin refuerzo.

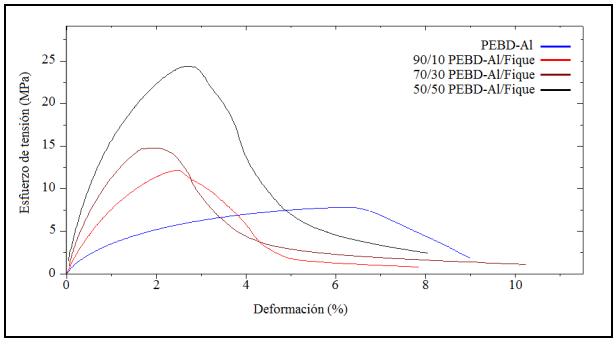


Figura 3. Ensayo de tensión. Curva Esfuerzo Vs. Deformación.

Al comprar las propiedades mecánicas obtenidas para el compuesto PEBD-Al/Fique, con las reportadas por George *et al,* [16] en compuestos de matriz PEBD reforzados con 30 % de fibras de sisal y piña, se encontró que los valores para el esfuerzo máximo son similares, (14,7 y 13 MPa, respectivamente), mientras que el módulo de elasticidad del PEBD/sisal y PEBD/piña, son menores con valores de 781 y 570 MPa, respectivamente. Este comportamiento podría ser atribuido al aluminio presente en la matriz de polietileno, el cual estaría contribuyendo a la rigidización del material.

3.2 Ensayo de Flexión.

En la figura 5, se presenta las curvas promedio para cada uno de los materiales evaluados a flexión, en la cual, se puede observar un porcentaje de fibra óptimo correspondiente al 30 %, en el que se puede evidenciar una mejora de propiedades, como la resistencia y el módulo referente a los demás compuestos analizados. En el compuesto fabricado con un 50 % de fibra corta, se observa una caída de la resistencia y el módulo de flexión, lo que puede atribuirse a que en compuestos reforzados con fibra corta, la carga de fique alcanza un volumen en el cual, la matriz no impregna la totalidad de las fibras, restringiendo la transmisión de cargas de la matriz, a un cierto volumen de fibras, reflejándose en la disminución de las propiedades a flexión del material.

Como se muestra en la figura 6, al reforzar el material con 30 % de fibra corta se alcanzó una resistencia de 31,26 MPa, y un módulo de elasticidad de 1,43 GPa, representando los mejores

©2012 Universidad Simón Bolívar

resultados obtenidos para el compuesto, y mejorando las propiedades del PEBD/Al en un 212 y 218 %, respectivamente.

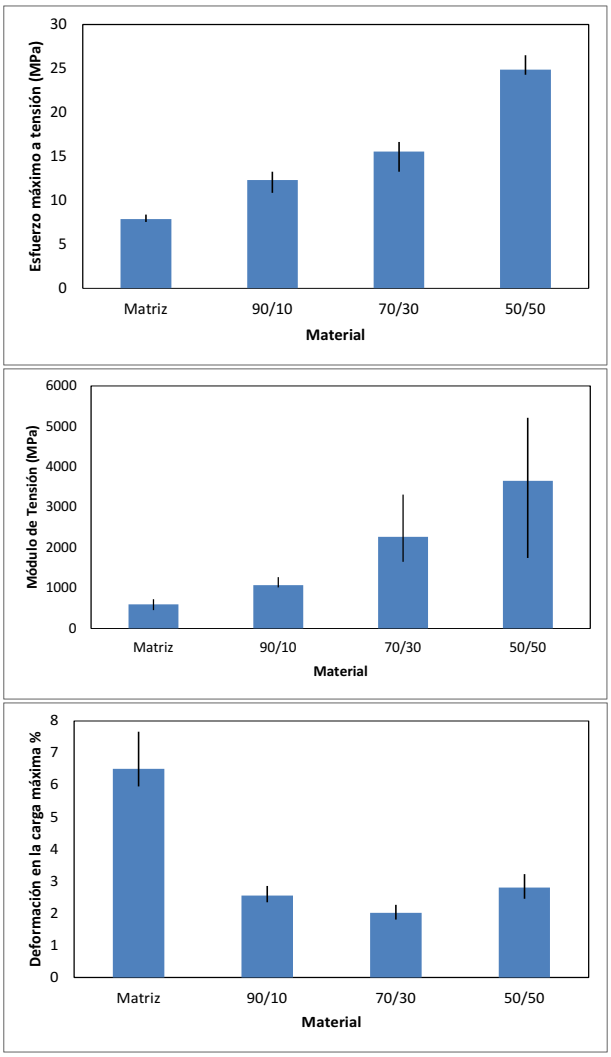


Figura 4. Ensayo de tensión. Propiedades.

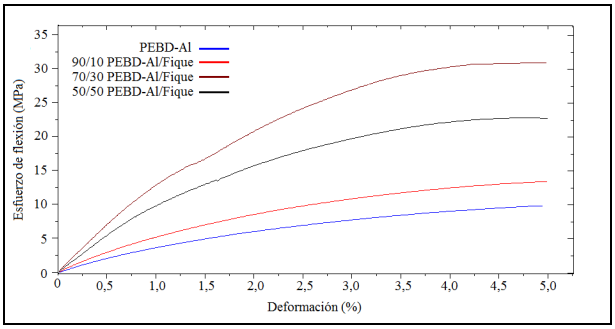


Figura 5. Ensayo de flexión. Curva Esfuerzo Vs. Deformación.

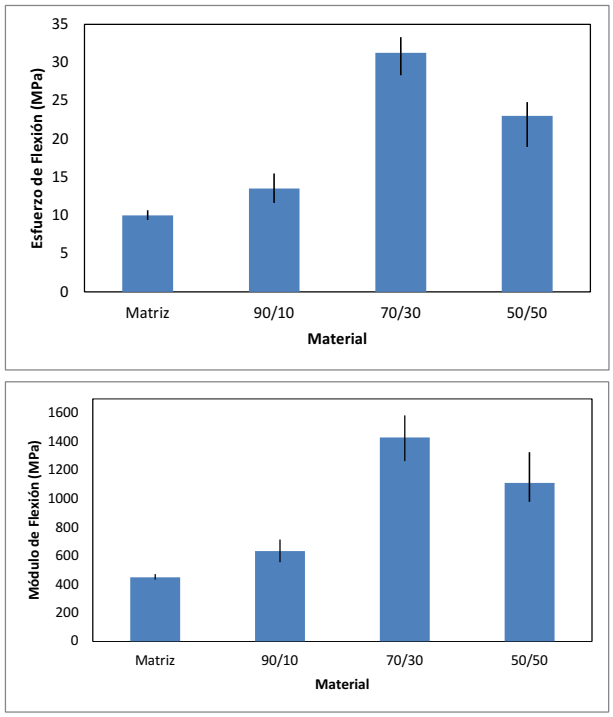


Figura 6. Ensayo de flexión. Propiedades.

3.3 Ensayo de Impacto.

La capacidad para absorber energía o resistencia al impacto de los compuestos estudiados, se muestran en la figura 7, en la cual es posible observar la dependencia directa de la resistencia al impacto del material, con el porcentaje de fibra incorporado en el compuesto. Esto puede ser explicado teniendo en cuenta, que en compuestos reforzados con fibras cortas, las fibras se oponen a la generación de grietas, debido a que estas antes de fracturarse, tienden a desprenderse, haciendo necesario, un trabajo adicional para vencer los anclajes de tipo mecánico, establecidos entre la fibra y la matriz. Lo que permite intuir que si hay una mejor calidad interfacial en el compuesto, el material ganaría resistencia al impacto.

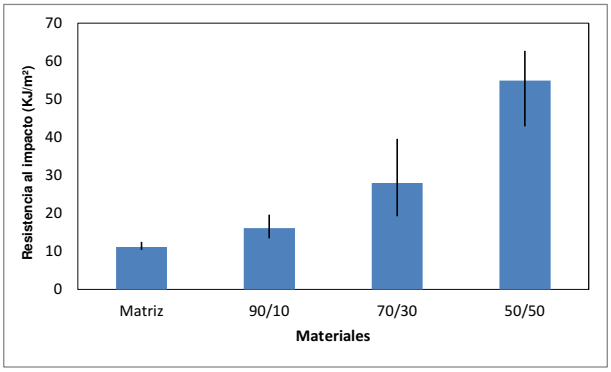


Figura 7. Resistencia al Impacto.

Por otra parte, la fractura de las probetas fue de tipo P en la cual, se presenta falla incompleta con fractura mayor al 90 % de la profundidad de la probeta, (ASTM D1822), lo que se atribuye al aporte dúctil de la matriz al compuesto.

Fue posible incrementar la resistencia al impacto de la matriz, (PEBD/Al) en un 353 %, reforzando el material con 50% de fibra corta de fique.

3.4 Ensayo de Densidad.

La densidad presentó un comportamiento casi constante alrededor de 1,04 g/cm^3, frente a la matriz que tiene una densidad de 1,09 g/cm^3, valor acorde al reportado por Hidalgo [11], como se muestra en la figura 8. Estos valores representan una disminución del peso del compuesto frente a la matriz, lo que le da un valor agregado al compuesto, teniendo en cuenta que se están mejorando las propiedades mecánicas de la matriz, con un peso ligeramente inferior; permitiendo así obtener mejores propiedades especificas, y optimizar el material desde el punto de vista de diseño y aplicaciones de ingeniería. Sin embargo, esta tendencia de la densidad, a disminuir con la incorporación de carga de fibra, no era la esperada, ya que la fibra presenta una densidad mayor frente a la del PEBD/Al, es por esto que la disminución en la densidad del compuesto, es atribuida a la posible formación de poros, y oquedades entre la fibra y la matriz; causadas por la presencia de humedad en las fibras, que generan gases en el proceso de fabricación.

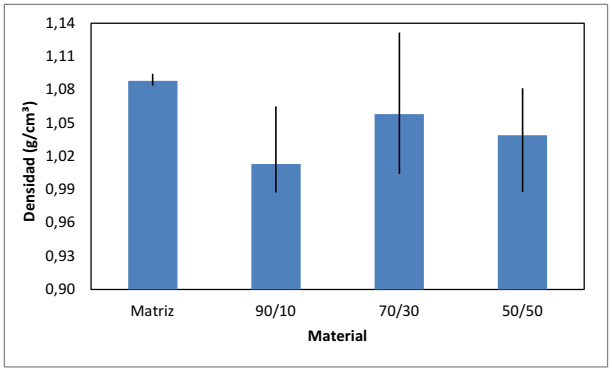


Figura 8. Densidad de los compuestos.

3.5 Ensayo de Absorción de Agua.

La figura 9, muestra el comportamiento del compuesto, en cuanto a absorción de agua, en la cual se puede apreciar claramente, que la propiedad hidrofílica del fique, hace que el compuesto tenga mayor capacidad para absorber agua, y presente una tendencia a incrementarla, en la medida que se incorpora fibra en el material; esto limita considerablemente las aplicaciones del compuesto frente a la matriz de carácter hidrofóbico, ya que afecta sus propiedades y desempeño en productos expuestos a ambientes húmedos. Por otra parte, la posible presencia de poros y oquedades, facilita la retención de líquidos en estos espacios vacíos del material.

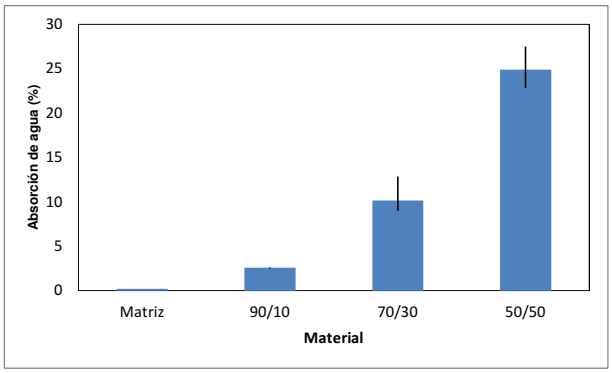


Figura 9. Absorción de agua.

3.6 Microscopia Electrónica de Barrido.

Por medio de micrografías obtenidas por la técnica MEB, se realizó una observación cualitativa de la calidad interfacial del compuesto.

La figura 10, muestra que la calidad en la interface es pobre, presentando oquedades entre la fibra y la matriz del compuesto, lo que permite corroborar la presencia de vacíos, que afectan propiedades como densidad y absorción de agua. En este contexto, es posible considerar un incremento de las propiedades del material, mejorando la interface fibra-matriz mediante el uso de agentes de acople y/o aditivos que fortalezcan la adherencia entre las fases del compuesto, tal como lo hicieron Valadez *et al*. [17], quienes estudiaron la interface del compuesto de matriz polietileno de alta densidad reforzado con fibra de Henequén, mediante la técnica de micromecánica, con el fin de estimar la resistencia cortante en la interface. Los autores evaluaron la modificación química y morfológica de las fibras con tres tipos de tratamiento I) tratamiento alcalino, II) tratamiento con silano y III) pre-impregnación con polietileno; encontrando que el tratamiento alcalino tuvo dos efectos sobre la fibra: I) aumentó la rugosidad de la superficie, lo que ayudó a mejorar el enclavamiento mecánico y II) incrementó la cantidad de celulosa en la superficie de la fibra, lo que aumentó la posibilidad de reacción química en

©2012 Universidad Simón Bolívar

el compuesto; mientras que el mayor nivel de adherencia fibra-matriz, se consiguió con la incorporación de un agente de acoplamiento tipo silano, aumentando la eficiencia en la transferencia de carga de la matriz al refuerzo; sin embargo, este tratamiento no parece mejorar la humectación de la fibra. En este contexto, se espera optimizar los resultados encontrados en esta investigación, implementando técnicas que permitan mejorar la calidad de la interface fibra-matriz en estudios posteriores.

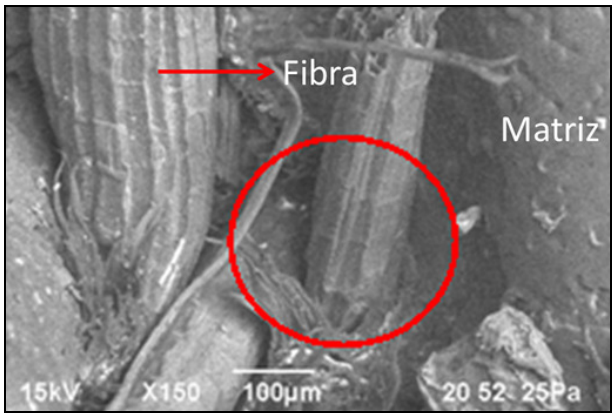


Figura 10. MEB de adherencia interfacial del PEBD-Al/Fique 70/30.

4. CONCLUSIONES

El material PEBD/Al reforzado con fibra corta de fique, presentó propiedades mecánicas que superan las de la matriz sin refuerzo, lo que se hace más significativo, en la medida en la que se incorpora mayor carga de fique al material. No obstante el comportamiento a flexión del compuesto, mostró una tendencia atípica, con respecto a la presentada en otras propiedades, ya que al incorporar 50 % de fibra, las propiedades a flexión, fueron inferiores a las del material con 30 % de reforzamiento.

También se pudo observar, que el reforzamiento con fibra de fique, incrementa la absorción del agua del compuesto, limitando de esta forma, las aplicaciones del material bajo condiciones ambientales de humedad. Por lo que se recomienda implementar técnicas que impidan la absorción de agua del material como lo indica Hidalgo *et al*. [15].

5. REFERENCIAS

[1]. Wambua P, Ivensn J, Verpoest I. *Composites Science and Technology*. 2003; 63: 1259–1264.

[2]. Valadez A. *Efecto del tratamiento superficial de fibras de henequén sobre la resistencia interfacial fibra- matriz y en las propiedades efectivas de materiales compuestos termoplásticos*, Tesis Ph.D. México D.F. (México): Universidad Autónoma Metropolitana, 1999.

[3]. Marsh G. Reinforced Plastics.1999; 43: 42-46.

[4]. Lopes C, Felisberti M. *Journal of Applied Polymer Science*. 2006; 101: 3183–3191.

[5]. Cerqueira M.H. *Artigos Técnicos, Tetra Pak.* 2003.

[6]. Hidalgo M.A, Moya J.C, Baena E. "Processing of LDPE/Al composite from recycled carton packages and evolution of mechanical properties". En: Proceeding *GPEC, SPE's 2010 Global Plastics Environmental Conference.*

[7]. Desdiera C. *Blendas de poliamida reciclada e polietileno proveniente da recuperação de embalagens multicamadas*, Tesis Ph.D. Campinas (Brasil): Universida de Estadual De Campinas, 2007.

[8]. Neves A. *O Papel.* 1999; 53: 24-31.

[9]. Martínez H, Pinzón N. *La cadena del fique en Colombia una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006.

[10]. Delvasto S, Perdomo F, Mejía R. *Ciencia y Tecnología*. 2001; 3: 43-49.

[11]. Hidalgo M. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 2011; 70: 232-234.

[12]. Delvasto S, Toro E, Perdomo F, Mejía R. *Construction and Building Materials.* 2010; 24: 187–192.

[13]. Gañan P, Mondragón I. *Polymer Composites.* 2002; 23: 383-394.

[14]. Hidalgo M, Muñoz M. **"**Interacción interfacial del compuesto LDPE/Al reforzado con fibra de fique: influencia de la temperatura". XI *Iberomet 2010.*

[15]. Hidalgo M, Muñoz M, Quintana K. Rev. LatinAm. Metal. Mat. 2011; 31: 187 -194.

[16]. George J, Bhagawan S, Prabhakaran N, Thomas S. Journal of Applied Polymer Science. 1996; 57: 841-864.

[17]. Valadez A, Cervantes J.M, Olayo R, Herrera P.J. Composites: Part B. 1999; 30: 309–320.

©2012 Universidad Simón Bolívar