

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/280052190>

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA INTERFACIAL AL CORTANTE EN MATERIALES COMPUESTOS CON RESIDUOS DE MADERA DE PINO Y HDPE EXPUESTOS A CICLOS DE ABSORCIÓN Y DESORCIÓN DE HUMEDAD

Conference Paper · August 2013

CITATIONS

0

READS

159

5 authors, including:



Soledad Pech

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco

3 PUBLICATIONS 10 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Ricardo Herbé Cruz-Estrada

Centro de Investigación Científica de Yucatán

59 PUBLICATIONS 177 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Carlos VIDAL Cupul-Manzano

Centro de Investigación Científica de Yucatán

25 PUBLICATIONS 53 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Alex Valadez

Centro de Investigación Científica de Yucatán

53 PUBLICATIONS 2,685 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



UMT-2016-0009 [View project](#)



Aprovechamiento sustentable del cultivo de la piña (Ananas comosus L. Merrill) en México [View project](#)

Evaluación de la resistencia interfacial al cortante en materiales compuestos con residuos de madera de pino y HDPE expuestos a ciclos de absorción y desorción de humedad

Soledad Pech-Cohuo ¹, Ricardo Cruz-Estrada ^{1*}, Carlos Cupul-Manzano ¹, Alex Valadez-González ¹, Fernando Navarro-Arzate ²

1: Unidad de Materiales, Centro de Investigación Científica de Yucatán. Mérida, México

2: Departamento de Madera, Celulosa y Papel, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México

* E-Mail Autor de correspondencia: rhcruze@cicy.mx

Resumen

Los materiales compuestos madera-matriz termoplástica son una alternativa viable para sustituir materiales convencionales como la madera. Sin embargo al ser expuestos a ciclos de humedad (absorción y desorción de agua) se puede dañar la región interfacial polímero-madera, disminuyendo la resistencia mecánica. Este trabajo evalúa el efecto de 4 ciclos de humedad sobre la resistencia interfacial al cortante (RIC) de un material compuesto a base de 40 % de residuos de madera de pino en polietileno de alta densidad (HDPE), con un agente acoplante (AA) y ayuda de proceso; empleando el método losipescu y microscopía electrónica de barrido (MEB). Los materiales con AA tuvieron un mejor comportamiento mecánico que los que no tuvieron. Al cuarto ciclo de humedad, la RIC del material con AA disminuyó siendo similar a la del que no tuvo, sugiriendo que la acción del agua afectó al AA y por consiguiente dañó la interfase.

Palabras Clave: Reciclaje, Polietileno, losipescu, Resistencia Interfacial, Humedad.

Sesión: Materiales compuestos de matriz polimérica

1 INTRODUCCIÓN

Los compuestos madera-polímero (WPC's por sus siglas en inglés) pueden utilizarse como una alternativa para reemplazar materiales convencionales como la madera. Sin embargo, su desempeño puede ser afectado cuando se expone a una combinación de condiciones ambientales incluyendo radiación ultravioleta (R-UV), temperatura (T) y humedad. Está documentado que al exponer a R-UV la matriz polimérica se degrada, facilitando que el agua en el medio tenga acceso a las partículas de madera (Flores, 2012). El agua absorbida es perjudicial debido a la naturaleza hidrofílica del relleno usado, lo que da como resultado que las propiedades mecánicas del material disminuyan (Huang et al, 2006). Al respecto ocurre en el material el fenómeno de "mecano-sorción", que consiste en cambios simultáneos de contenido de humedad y cargas mecánicas que inducen una acelerada reducción de la resistencia mecánica (Hanhijärvi, 2000). Este fenómeno puede provocar tres situaciones: la región interfacial se rompe debido al hinchamiento y encogimiento repetido de la madera, producción de microgrietas en el polímero y fractura interna de las partículas de madera debido al hinchamiento (Stark, 2006). Es posible minimizar las situaciones descritas con la adición de un agente acoplante (AA) (Han-Seung et al, 2006).

Una de las técnicas empleadas para cuantificar los cambios en las propiedades de los WPC's, es el Análisis Dinámico Mecánico (DMA). Investigadores han utilizado los datos del DMA para representar indirectamente la existencia de una región interfacial entre refuerzo y matriz debida al A.A (Behzad et al, 2004). También se puede caracterizar el comportamiento mecánico de la región interfacial mediante el método losipescu, el cual proporciona información en términos de la resistencia interfacial al cortante (RIC) (García-Hernández et al, 2004). Esta técnica se ha empleado junto con el DMA, y así corroborar la correspondencia entre los datos obtenidos con ambos análisis (Khan et al, 2005). El objetivo de este estudio es exponer a ciclos de humedad (absorción-desorción), un material compuesto de desechos de madera de Pino (DM-P), HDPE y AA. Con la finalidad de evaluar el efecto de este proceso sobre la RIC. Para corroborar lo observado en cuanto al daño interfacial se realizaron análisis en el DMA y el MEB.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales.

Los DM-P (viruta) se adquirieron de Maderas Oriente, Grupo Bajce (Mérida, Yucatán, México). Para reducir el tamaño de partícula se empleó un molino de cuchillas

marca Pagani (modelo 1520) con una criba de 1 mm de diámetro. Lo obtenido se depositó en un tamizador marca Rotap (W.S.Tyler, Incorporated), y se recuperó los residuos retenidos en la malla 40. Como matriz se utilizó HDPE virgen grado 56035, adquirido de Petroquímica Morelos (Coatzacoalcos, Veracruz, México). Anhídrido maléico injertado a HDPE (polybond 3009) como AA, el cual fue suministrado por Brenntag México, S.A. de C.V. Una mezcla de esteres de ácidos grasos de Struktol Co. De América, se usó como una ayuda de proceso (AP). El HDPE, AA y AP se procesaron por separado en un molino marca Brabender (Tipo 880804 de cuchillas rotacionales), empleando una criba de 1 mm.

2.2 Métodos.

2.2.1 Preparación del compuesto.

Los DM-P, el HDPE y los aditivos se adicionaron a una mezcladora de cintas (Intertécnica Co, modelo ML-5). La mezcla obtenida, se secó en una estufa de convección forzada durante 24 horas a T de 80-85 °C, antes de la extrusión. Se prepararon dos diferentes formulaciones que se presentan en la tabla 1. Las mezclas se procesaron térmicamente en un extrusor cónico doble-husillo marca Brabender. Las temperaturas de procesamiento fueron de 180°C en todas las zonas del extrusor, con velocidad de rotación de husillos de 50 rpm y al final se empleó un dado de extrusión de 4 cm de largo y 5 mm de diámetro interno. El material compuesto extruido se "pelletizó" empleando un equipo marca CW-Brabender.

Tabla 1. Composición porcentual de los WPC's elaborados.

	DM-P	HDPE	AA	AP
A	40	60	0	3*
B	40	60	5*	3*

*p% con respecto a los DM-P

2.2.2 Preparación de las probetas losipescu y DMA.

Del material "pelletizado" se hicieron placas en una prensa automática Carver (modelo 3891) con dimensiones de 15 cm x 15 cm con 3 y 2 mm de espesor, para probetas losipescu y DMA respectivamente. Se utilizó una T= 160°C en ambos platos y una fuerza de compresión de 26,689 N (6000 lbf). De las placas obtenidas se cortaron rectángulos usando una sierra de disco de diamante (Truper, modelo CAZ-EL-7). Las dimensiones de las probetas losipescu fueron acorde a la norma ASTM D 5379/D

5379 M. Las muestras para DMA tuvieron las dimensiones de 76 mm x 30 mm, para su fácil colocación en la cámara de envejecimiento acelerado.

2.2.3 Ciclos de radiación UV

Para promover el paso de humedad hacia las partículas de madera la R-UV se llevó en una cámara de intemperismo acelerado (Atlas/UVCON), ubicada en el Centro de Investigación de Corrosión de la Universidad Autónoma de Campeche (CICORR). Se utilizaron ciclos de 24 horas de radiación continua durante 16 días (384 horas), con lámparas UVB-313 y T=60°C. Se siguieron las normas ASTM-D618, ASTM-G147-02, ASTM-G151 y ASTM-G154.

2.2.4 Exposición a ciclos de humedad (absorción-desorción).

Probetas con y sin R- UV fueron sujetas a 4 ciclos de humedad acorde a las normas ASTM-D570 y ASTM-D5229. Cada ciclo consistió en sumergir las muestras en agua destilada por 10 días y un posterior secado por 5 días, ambos procesos a T=60°C. La variación de los pesos fue monitoreada durante los experimentos.

2.2.5 Ensayos a cortante (método losipescu)

Se aplicó de acuerdo a la norma ASTM D 5379/5379 M, a probetas desde condiciones iniciales hasta con todos los procesos de degradación. Se empleó una máquina de pruebas universales Shimadzu (modelo AGS-X), con celda de carga de 1000 N y velocidad de cabezal de 1 mm/min.

2.2.6 Análisis Mecánico Dinámico

Las muestras se cortaron de los rectángulos descritos en la sección 2.2.2. Las dimensiones finales fueron: 20mm de longitud y 5mm de ancho. Se utilizó un equipo DMA marca Perkin Elmer (DMA-7) en modo flexión a tres puntos, con barrido de T= -80 a 100°C, frecuencia de 1Hz y velocidad de calentamiento de 3°C/min.

2.2.7 Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)

Se cortaron muestras (6mmx6mm), se colocaron en soportes y fueron recubiertas con oro para ser observadas en un microscopio JEOL 6360LV.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se presentan los resultados de la RIC.

Tabla 2. RIC obtenida con el método losipescu.

Resistencia al cortante (MPa)				
Ciclos de humedad	No irradiadas		Irradiadas	
	A	B	A	B
0	9.33 (±0.32)	10.23 (±0.38)	9.49 (±0.51)	10.02 (±0.45)
1	9.21 (±0.49)	9.37 (±0.59)	8.63 (±0.43)	9.17 (±0.37)
2	9.04 (±0.59)	9.56 (±0.50)	9.49 (±0.62)	9.66 (±0.19)
3	9.02 (±0.33)	9.53 (±0.48)	9.30 (±0.45)	9.96 (±0.64)
4	8.86 (±0.28)	8.78 (±0.38)	8.99 (±0.11)	9.35 (±0.37)

Durante las condiciones iniciales se observó que para el material B no irradiado, presentó una mayor RIC comparado al material A, con lo que se puede inferir que el AA está ejerciendo un efecto favorable en la región interfacial. En cuanto a la R-UV no existe diferencia importante en la pérdida de RIC, sugiriendo que es resultado de fenómenos superficiales (Costa et al, 2010). Es notable que entre cada ciclo de humedad no se encuentra diferencia significativa, pero al comparar las RIC's del ciclo 0 y el 4, se observó una tendencia a la baja. Investigadores han mencionado que al exponer a intemperismo acelerado un WPC utilizando R-UV con y sin rocío de agua, la pérdida de propiedades mecánicas se atribuye a los efectos de la humedad (Stark, 2006). Esto sucede porque al exponer madera a R-UV se degrada principalmente el componente lignina, exponiendo a la celulosa en la superficie, lo cual puede físicamente bloquear la penetración de radiación. La exposición debida a una combinación de R-UV y agua cambia el mecanismo de absorción de humedad. La degradación de la lignina hidrofóbica y el incremento de las cantidades de celulosa hidrofílica producen un incremento en la humectación superficial. Esto es perjudicial por dos razones: la primera es que la presencia de agua en la madera acelera las reacciones de oxidación que son resultado directo de la fotodegradación. La segunda, es que las paredes celulares de la madera se hinchan

cuando el agua penetra, comprometiendo la región interfacial. Las grietas interfaciales que se forman contribuyen a una menor eficiencia de transferencia de esfuerzos entre la madera y matriz, ocasionando una disminución en la RIC. En cuanto al contenido de AA, se observa que al alcanzar el cuarto ciclo de humedad se obtienen valores similares de RIC para los materiales A y B, esto se ha atribuido al daño en las partículas de madera debidas a la acción del agua (Caufield et al, 1999).

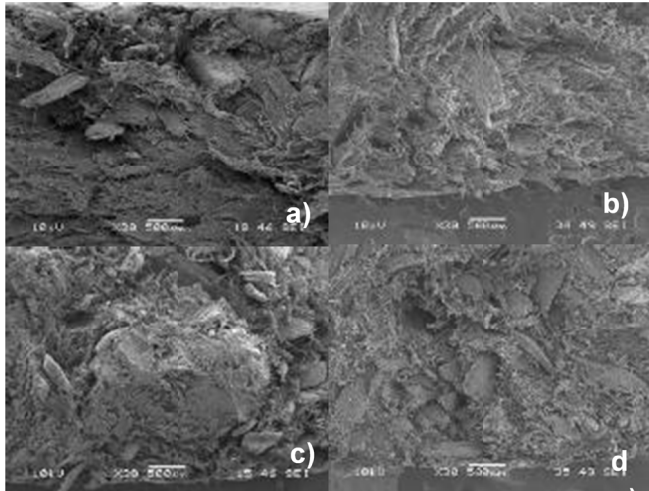
En cuanto a los resultados obtenidos con el DMA, se presentan en la tabla 3 los valores de los módulos de almacenamiento (E') de los WPC's evaluados a 30°C.

Tabla 3. Módulo de almacenamiento para los WPC's.

Módulo de almacenamiento (E' [=] MPa)				
Ciclos de humedad	No irradiadas		Irradiadas	
	A	B	A	B
0	9.29E+9	1.31E+10	7.00E+9	7.43E+9
4	4.87E+9	5.60E+9	5.33E+9	7.45E+9

Se observa que el material B tiene módulos mayores que el material A. Es probable que este incremento se deba al efecto impartido por el AA, que permite un mayor grado de transferencia de esfuerzos en la región interfacial madera-polímero (Behzad et al, 2004). Comparando los materiales con sus similares irradiados, podemos notar que estos presentan módulos menores. Este comportamiento es similar a lo observado durante pruebas a flexión (norma ASTM-D790). Se sugiere que esta variación puede deberse a la calidad superficial de cada material, puesto que en la superficie están presentes en mayor o menor grado, grietas y partículas desprotegidas que pueden absorber la humedad del ambiente (Flores, 2012). En cuanto a la exposición a 4 ciclos de humedad, es notorio una disminución importante en el E' para todos los materiales comparados con sus similares a condiciones iniciales. Lo que sugiere un daño interfacial por acción del agua. Se observa de nuevo una caída importante de las propiedades en cuanto al material con A.A. después de los ciclos de humedad. De acuerdo a (Khan et al, 2005), los valores del E' y RIC reflejan la calidad de la región interfacial.

Como los materiales con R-UV no presentaron una pérdida significativa en la RIC, solo se discuten micrografías (Figura 1) de las superficies de fractura



de probetas no irradiadas.

Figura 1. Micrografías MEB de probetas sin R-UV: Muestra A a) 0 ciclos de humedad y b) 4 ciclos de humedad. Muestra B c) 0 ciclos de humedad y d) 4 ciclos de humedad.

Al comparar los materiales A y B a condiciones iniciales (figura a y c, respectivamente) es posible identificar, que en el material B se observan menos partículas de madera expuestas que en el material A, esto es posible debido al uso de AA. Al transcurrir los ciclos de humedad se observan para ambos casos partículas expuestas. Corroborando que el AA está siendo degradado y por lo tanto no ejerce el mismo efecto en la región interfacial madera-polímero. Micrografías similares se han obtenido en otros estudios (Huang et al, 2006), (Flores, 2012).

4 AGRADECIMIENTOS

Al Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Yucatán, proyecto YUC-2008-C06-107327, por el financiamiento otorgado para continuar el presente trabajo. Al CICORR de la Universidad Autónoma de Campeche, por las facilidades brindadas para el uso de sus instalaciones.

5 CONCLUSIONES

La RIC de un compuesto elaborado con DM-P y HDPE presenta tendencia a la baja debida a la exposición a 4 ciclos de humedad. La R-UV no tuvo un efecto significativo sobre la RIC, por lo que se le considera solo un fenómeno superficial. Al alcanzar los 4 ciclos de humedad, los materiales con y sin AA presentan valores similares de RIC, sugiriendo que el AA se ha degradado como consecuencia del agua. Para las

pruebas de DMA todos los materiales presentaron disminución en sus E' al ser sometidos a absorción-desorción de humedad.

6 REFERENCIAS

- BEHZAD M., et al. Dynamic mechanical analysis of compatibilizer effect on the mechanical properties of Wood flour-high density polyethylene composites. *International Journal of Engineering Transactions B: Applications*, 17, No 1, pp. 95-104, 2004.
- CAUFIELD D.F., et al. Interphase effects on the mechanical and physical aspects of natural fiber composites. *Die Angewandte Makromolekulare Chemie*, 272, pp. 57-64, 1999.
- COSTA A.P., et al. Influence of Environmental Conditioning on the Shear Behavior of Poly(phenylene sulfide)/ Glass Fiber Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 118, Pp. 180-187, 2010.
- FLORES I. Efecto de la absorción y desorción de humedad sobre las propiedades mecánicas de un material compuesto a base de residuos de madera de pino y HDPE. Mérida, Yucatán, México, Centro de Investigación Científica de Yucatán, 2012.
- GARCÍA-HERNÁNDEZ E., et al. Improvement to the Interfacial Compatibility between Sugar Cane Bagasse Fibers and Polystyrene for Composites. *Polymer Composites*, Vol. 25, No 2, pp. 134-145, 2004.
- HAN-SEUNG Y., et al. Water absorption behavior and mechanical properties of lignocellulosic filler-polyolefin bio-composites. *Composite Structures*, 72, pp. 429-437, 2006.
- HANHIJÄRVI A. Advances in the knowledge of the influence of moisture changes on the long-term mechanical performance of timber structures. *Materials and Structures*, 33, pp. 43-49, 2000.
- HUANG S.H., et al. "The influence of moisture on the mechanical properties of wood polymer composites". *Journal Material Science*, 41, pp. 5386-5390, 2006.
- KHAN M.A., HASSAN M.M, DRZAL L.T. Effect of 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA) on the mechanical and termal properties of jute-polycarbonate composite. *Composites: Part A*, 36 p.p 71-81, 2005.
- STARK N. M. Effect of weathering cycle and manufacturing method on performance of Wood Flour and High-Density Polyethylene Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 100, pp. 3131-3140, 2006.