

## DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MECÁNICA DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ LDPE/PP REFORZADA CON POLVO DE MADERA

*Daniel S. Vásquez<sup>1\*</sup>, Miguel A. Hidalgo<sup>2</sup>, José H. Mina<sup>3</sup>*

1: Candidato a Grado Ingeniería de Materiales, Universidad Del Valle, Cali, Colombia

2: Ingeniero Mecánico Ph. D., Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia

3: Ingeniero de Materiales Ph. D., Universidad del Valle, Cali, Colombia

\*Contacto: danvas12@hotmail.com

### RESUMEN

Las condiciones ambientales actuales han hecho que se realice una búsqueda constante de nuevos materiales que afecten en menor índice al medio ambiente, siendo interesante buscar materiales que preferiblemente procedan de residuos postconsumo y/o agroindustriales, y que puedan llegar a ser sustitutos parciales para la madera natural. Con el fin de producir un material con buenas propiedades que pueda ser alternativa para solucionar esta problemática se planteó desarrollar un material compuesto de matriz LDPE/PP (virgen) reforzado con partículas de polvo de madera, las cuales fueron obtenidas de residuos postconsumo e industriales.

Considerando los aspectos anteriormente comentados, se desarrolló una matriz polimérica LDPE/PP (0/100, 25/75, 50/50, 75/25 y 100/0), homogenizada mediante el proceso de extrusión de perfiles continuos, empleando un husillo sencillo, reforzada con diferentes proporciones de polvo de madera (0, 25 y 50% en peso), para obtener tableros de compuesto de madera plástica (WPC) por prensado uniaxial en caliente.

Se caracterizó física y mecánicamente las diferentes muestras obteniendo como resultado más importante que el aumento en contenido de PP y polvo de madera genera propiedades mecánicas mejores, sin embargo con un incremento de LDPE en la matriz polimérica la procesabilidad del material compuesto puede ser mejor, debido a que se obtuvo un incremento en el MFI.

Finalmente fue posible obtener un material compuesto con buenas propiedades, lo cual puede hacer tener en consideración este material compuesto como posible reemplazante de la madera natural en la industria.

**Palabras Clave:** *Madera plástica, Materiales compuestos, LDPE, PP*

### ABSTRACT

The current environmental conditions have led to perform a constant search for new materials having less effect index on the environmental, being interesting find materials that preferably come from post-consumer and/or agroindustrial waste, and that may become in partial substitutes for natural wood. In order to produce a material with good properties which can be alternative to solve this problem, to develop a composite material with matrix LDPE/PP (virgin) reinforced

with wood dust particles, which were obtained from post-consumer and agroindustrial waste; was proposed.

Considering the aspects previously mentioned, a polymeric matrix LDPE/PP (0/100, 25/75, 50/50, 75/25 and 100/0), homogenized by the process of continuous profiles extrusion, using a single screw, reinforced with different proportions of wood dust (0, 25 and 50% by weight), to obtain boards of wood plastic composite (WPC) by hot uniaxial pressing, was developed in the present project.

The different samples were characterized physically and mechanically, obtaining as result that more important that a higher content of PP and wood dust produce mechanical properties better, however with a increasing of LDPE in the polymeric matrix the processability of the composite material could be better, due that there was an increase in MFI.

Finally it was possible obtain a composite material with good properties, which can take into consideration this composite material as a possible replacement of natural wood in the industry.

**Keywords:** *Wood plastic, Composite materials, LDPE, PP*

## **1 INTRODUCCIÓN**

Los materiales de naturaleza polimérica, en especial los plásticos, han transformado el estilo de vida de las personas, llegando a ser materiales de uso básico y necesario en la cotidianidad. Debido a la gran variedad de propiedades, el consumo de plásticos en el mundo se ha incrementado significativamente, generando así una amplia búsqueda en implementaciones y nuevos procesos que permitan optimizar o acondicionar un proceso con el fin de obtener productos de mejor calidad [2].

Una de las opciones más empleadas actualmente en la industria es la elaboración de materiales compuestos con una matriz polimérica reforzada con fibras o partículas, este proceso en algunos casos es realizado utilizando materiales reciclados, ya sea para la elaboración de la matriz polimérica o como fuente del material reforzante. El uso de material reciclado es una de las opciones encontradas para reducir el impacto ambiental, el cual ha tenido una gran acogida en la industria pues ha permitido obtener productos con propiedades útiles y aplicables, abaratando los costos de producción.

Un material compuesto permite obtener propiedades especiales que no se pueden lograr con materiales originales, donde cada uno de los materiales usados aporta para lograr las propiedades buscadas. Los desechos industriales de la industria maderera junto con los artículos de madera que han cumplido su ciclo de vida han sido un problema por no saber cómo disponer de manera última de este desecho, pese a que el impacto ambiental que se puede generar no es un gran problema, por ser un material natural, es bueno el evaluar alternativas para su disposición final, sin contar que en el aspecto de salud de la población es una gran ayuda al evitar que puedan llegar a sufrir alguna enfermedad respiratoria, además es posible de esta manera reducir en una buena proporción la utilización de madera natural reduciendo así la tala y destrucción de las zonas forestales vitales para tener un ecosistema estable.

Considerando los aspectos anteriormente comentados, con el presente proyecto se pretende desarrollar un compuesto de madera plástica (WPC) teniendo como matriz polimérica la mezcla de polietileno de baja densidad (LDPE) con polipropileno (PP) reforzada con polvo de madera proveniente de sub-productos y desechos madereros, con el fin de obtener un material con características visuales y decorativas similares a la madera natural, pero con propiedades mecánicas y físicas superiores a esta para poder ser empleado en la industria.

## 2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### 2.1. Materiales

Se utilizó polietileno de baja densidad (ECOPETROL Resina 641) y polipropileno (PROPILCO 02R01CA-1) con un índice de fluidez de 1,7 y 1,6 g/10 min y densidad de 0,9203 y 0,9104 g/cm<sup>3</sup> respectivamente.

El polvo de madera empleado fue obtenido de la pulverización de residuos de la industria maderera, con un tamaño máximo de partícula de 5 mm y densidad promedio de 0,927 g/cm<sup>3</sup>.

### 2.2. Preparación del material compuesto

Primero fueron mezclados el LDPE y PP puros en proporciones de 0/100, 25/75, 50/50, 75/25 y 100/0 en peso, el proceso de homogenización se realizó en una extrusora mono husillo, provista con un tornillo de un diámetro de 18 mm, relación de compresión de 4:1 y relación L/D de 20. La rapidez de giro se mantuvo a 33 RPM constantemente para todas las mezclas y el perfil de temperaturas fue de 160, 170, 170 y 190°C para las tres zonas del tornillo y el cabezal respectivamente. Posteriormente se obtuvo el material compuesto mediante el proceso de prensado en caliente, en una prensa manual CARVER 4389, para obtener tableros de dimensiones 140 X 140 X 2 mm.

El proceso de compactación se realizó a una temperatura de 190°C con una fuerza de cierre de 40000 lb durante 7 minutos. De los tableros compactados fueron cortados en una ruteadora CNC 1426 ROUTER, configurada previamente con un plano de corte adecuado para obtener las probetas de sección reducida Tipo V, las de flexión y las de impacto tipo IZOD, conforme a las normas ASTM D638, D790 y D256 respectivamente.

### 2.3. Caracterización físico-química

#### 2.3.1. Índice de Fluidez (MFI)

El ensayo se realizó en un EXTRUSION PLASTOMETER TINIUS OLSEN MP600, utilizando el Procedimiento A explícito en la norma ASTM D1238-10, con una muestra de 3,5 g, temperatura de 190°C, tiempo de ensayo por muestra de 3 minutos y factor de fluidez de 3,33. Para determinar el MFI de cada muestra se calculó por medio de la ecuación 1.

$$MFI = Masa \times Factor \text{ de fluidez} \quad (1)$$

## 2.4. Caracterización Mecánica

### 2.4.1. Ensayo de Flexión

El ensayo de flexión se llevó a cabo en una MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS H50KS TINIUS OLSEN, se utilizaron probetas rectangulares de dimensiones 12,7 X 63,5 X 1,7 mm, el procedimiento fue conforme a la norma ASTM D790 utilizando una separación del soporte de 16 veces el espesor de la probeta, velocidad de 1 mm/min y una deflexión máxima de 3,63 mm en la cual se alcanza un 5% de deformación.

Los ensayos se llevaron a cabo con el objetivo de determinar el Modulo Elástico en Flexión ( $E_B$ ) y la Resistencia máxima en Flexión ( $\sigma_f$ ).

### 2.4.2. Ensayo de Dureza

El ensayo de dureza fue realizado conforme a la norma ASTM D2240, en la escala Shore D, con un durómetro ELECTROMATIC EQUIP'T CO. INC. HPSD-M, las mediciones se realizaron 5 veces a lo largo de la superficie de los tableros, tal como lo indica la norma.

## 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Caracterización físico-química

#### 3.1.1. Índice de Fluidéz (MFI)

En la Figura 2 es posible observar el MFI de las diferentes muestras evaluadas, donde se puede observar que las matrices poliméricas con 0% de polvo de madera presentan un incremento al aumentar el contenido de LDPE, debido a que este material por su estructura molecular presenta una mayor movilidad de las cadenas poliméricas, la cual puede aumentarse con la temperatura, por lo tanto a una temperatura de 190°C presenta una mayor fluidez que el PP proporcionándole a las matrices poliméricas una mayor facilidad en la movilidad de las cadenas poliméricas.

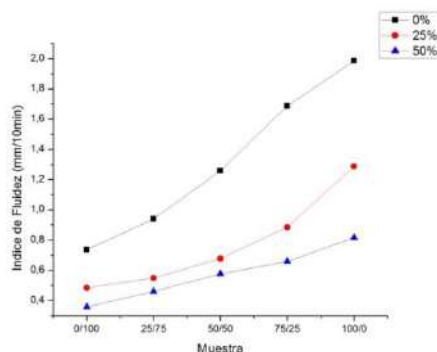


Figura 1. Gráfica de MFI para las muestras de LDPE/PP con 0, 25 y 50% de polvo de madera.

Al adicionar el polvo de madera se obtuvo una disminución notoria en el MFI de todas las matrices, lo cual se atribuye a que al estar presentes estas partículas en la matriz polimérica, las cuales no tienen variación morfológica con la temperatura, obstaculizan el paso del material, reduciendo de esta manera el área transversal del capilar, además del incremento en la fuerza que debe emplear la matriz polimérica para movilizar dichas partículas.

Sin embargo pese a la disminución del MFI con la adición de polvo de madera, es posible procesar este material en alguno de los procesos de transformación industriales masivos de producción como la extrusión y la inyección, sin embargo es necesario tener en cuenta condiciones de procesamiento que deben incrementarse para mejorar la plastificación del material compuesto, como la temperatura, presión en el caso de la inyección y revoluciones del tornillo en el caso de la extrusión. Por lo tanto, para obtener una buena fluidez del material es aconsejable utilizar la mayor cantidad de LDPE que sea posible en la matriz y conforme a la aplicación del material compuesto también es apropiado un bajo contenido de polvo de madera.

### 3.2. Caracterización Mecánica

#### 3.2.1. Ensayo de Flexión

Las propiedades mecánicas en flexión fueron evaluadas en el material compuesto con respecto al Módulo Elástico a Flexión ( $E_B$ ) y la Resistencia máxima a Flexión ( $\sigma_f$ ), reportados en la Tabla 2, los cuales tomando en cuenta lo reportado por *Shao-Yuan Leu et al.* [5] es de esperar que haya una leve disminución en la Resistencia máxima y un incremento en el Modulo Elástico.

**Tabla 1.** Valores de Modulo Elástico y Resistencia máxima a Flexión de las muestras de LDPE/PP con 0, 25 y 50% de polvo de madera.

Muestra	Módulo Elástico a Flexión ( $E_B$ )			Resistencia máxima a Flexión ( $\sigma_f$ )		
	GPa			MPa		
	0%	25%	50%	0%	25%	50%
<b>0/100</b>	1,19 ±0,005	1,39 ±0,071	1,97 ±0,002	59,75 ±0,014	69,63 ±0,015	98,48 ±0,021
<b>25/75</b>	0,98 ±0,022	1,25 ±0,022	1,73 ±0,040	48,80 ±0,017	62,49 ±0,013	86,37 ±0,025
<b>50/50</b>	0,66 ±0,005	0,80 ±0,028	1,05 ±0,002	33,22 ±0,021	40,04 ±0,007	52,45 ±0,011
<b>75/25</b>	0,42 ±0,023	0,61 ±0,048	0,75 ±0,041	21,08 ±0,011	30,28 ±0,013	37,67 ±0,011
<b>100/0</b>	0,26 ±0,011	0,46 ±0,011	0,65 ±0,039	12,93 ±0,006	22,78 ±0,007	32,77 ±0,009

Los resultados reportados previamente muestran una clara reducción de las propiedades en Flexión a medida que aumenta el contenido de LDPE para las muestras con y sin adición de polvo de madera, lo cual se debe a que el PP es un polímero con mayor rigidez que el LDPE, por consiguiente al ejercer una carga de flexión sobre este material, se presentará una mayor oposición al dobles y consecuentemente la resistencia máxima en Flexión será mayor. Por lo anterior las matrices poliméricas con las diferentes mezclas heredan esta característica del PP y de esta manera hay una predominancia en esta propiedad cuando la matriz polimérica contiene una mayor proporción de PP.

Las propiedades con respecto a la proporción de polvo de madera adicionado fueron incrementadas, comportamiento esperado en el Módulo Elástico, puesto que se tenía como base

lo reportado en la investigación de *Shao-Yuan Leu et al.* [5]. El incremento de las propiedades en Flexión se debe a que la madera es un material que presenta mucha más rigidez que estos dos polímeros, dicha propiedad se debe en gran parte a la lignina que es un polímero natural altamente ramificado, este polímero es el que se encarga de unir las fibras de madera concediéndole la forma sólida que todos conocemos; pese a que la madera se encuentra en partículas muy pequeñas estas igualmente poseen lignina y en parte su alta rigidez, al introducir las partículas de madera en la matriz polimérica esta hace la función de la lignina unificando las partículas de madera, por lo tanto la rigidez del nuevo material es el resultado del aporte de la matriz polimérica y el polvo de madera, generando de esta manera un nuevo material más resistente a la Flexión que la matriz polimérica sin adición de polvo de madera.

### 3.2.2. Ensayo de Dureza

Tal como se puede observar en la Tabla 3, hay una disminución en la dureza al aumentar el contenido del LDPE en la matriz polimérica, al igual que en la investigación realizada por *Abdel-Hamid I. Mourad* [6].

**Tabla 2.** Valores de Dureza para cada muestra de LDPE/PP con 0, 25 y 50% de polvo de madera.

Muestra	Dureza SHORE D		
	0%	25%	50%
0/100	71 ±1,1	67 ±0,8	66 ±2,2
25/75	68 ±1,6	64 ±1,3	63 ±0,9
50/50	63 ±0,9	62 ±1,3	61 ±0,8
75/25	59 ±1,1	58 ±0,5	57 ±1,8
100/0	55 ±1,3	52 ±1,6	50 ±4,3

Este comportamiento es el mismo para todas las mezclas con y sin adición de polvo de madera, ya que es el PP el que presenta una mayor dureza debido a su microestructura en la cual los enlaces entre cadenas son un poco más fuertes por la presencia del grupo metilo, por consiguiente es este material el que proporciona a las mezclas el incremento de esta propiedad.

En las matrices con adición del 0% de polvo de madera se tiene un resultado comparable con lo reportado por *Abdel-Hamid I. Mourad* [6] puesto que aunque existe una pequeña diferencia entre los valores exactos, reportan una dureza de las mezclas entre 53 y 75 SHORE D que son muy aproximados a los obtenidos que se encuentran entre 55 y 71 SHORE D.

Con respecto a las matrices con adición del 25 y 50% de polvo de madera se observa un comportamiento similar entre las matrices con una leve disminución en la dureza a medida que aumenta el contenido de polvo de madera adicionado, sin embargo esta reducción es de menos del 10% lo cual no es una cantidad muy grande. Esta leve disminución se debe a que al adicionar un material no miscible lo que se genera es una discontinuidad en el material lo que permite que pueda ser más fácil su penetración, vale la pena resaltar que el hecho de que las partículas de polvo de madera sean pequeñas (5 mm aproximadamente) hace que esta discontinuidad del material no sea tan grande y por lo tanto la pérdida de propiedades haya sido tan leve.

#### 4 CONCLUSIONES

Con el ensayo de índice de fluidez (MFI) fue posible determinar que el material compuesto puede ser procesado sin problema en un método de producción industrial como son la inyección y extrusión.

En la caracterización mecánica fue posible observar un incremento en las propiedades del material compuesto al aumentar la cantidad de PP, ya que por la composición del PP y su respectiva distribución de las cadenas poliméricas es este material el que proporciona una mayor rigidez y resistencia superficial al material compuesto, por lo tanto se recomienda una matriz polimérica con el mayor contenido de PP posible teniendo en cuenta la aplicación que se le desee dar a este material.

La adición de polvo de madera en las propiedades mecánicas a flexión produjo una mejora del material, debido a la alta rigidez que presenta la madera, por lo tanto pese a la reducción en la dureza es posible recomendar un alto contenido de polvo de madera para mejorar las propiedades mecánicas del material, puesto que esta reducción fue relativamente baja (inferior al 10%).

Las propiedades generales del material compuesto son buenas, lo cual puede hacer tener en consideración este material compuesto como posible reemplazante de la madera natural en la industria, teniendo en consideración aplicaciones que requiera un rápido procesamiento y una buena resistencia mecánica.

#### 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. [http://huespedes.cica.es/aliens/gimadus/17/03\\_materiales.html](http://huespedes.cica.es/aliens/gimadus/17/03_materiales.html)
2. Chaoqin Li, Yong Zhang, Yinxi Zhang. "Melt grafting of maleic anhydride onto low-density polyethylene/polypropylene blends". *Polymer Testing* 22, 191–195, 2003.
3. Fabio Zuluaga, Braulio Insuasty, Brian Yates. "Análisis Orgánico Clásico y Espectral". Santiago de Cali. Universidad del Valle.
4. D.S. Achilias, C. Roupakias, P. Megalokonomos, A.A. Lappas, E.V. Antonakou. "Chemical recycling of plastic wastes made from polyethylene (LDPE and HDPE) and polypropylene (PP)". *Journal of Hazardous Materials* 149 536–542, 2007.
5. Shao-Yuan Leu, Tsu-Hsien Yang, Sheng-Fong Lo, Te-Hsin Yang. "Optimized material composition to improve the physical and mechanical properties of extruded wood-plastic composites (WPCs)". *Construction and Building Materials* 29 120–127, 2012.
6. Abdel-Hamid I. Mourad. "Thermo-mechanical characteristics of thermally aged polyethylene-polypropylene blends" *Materials and Design* 31 918–929, 2010

7. Derek Hull. “Materiales Compuestos”. Editorial Reverté S.A.
8. R.A. Shanks, J. Li, L. Yu. “Polypropylene/polyethylene blend morphology controlled by time-temperature-miscibility”. *Polymer* 41 2133–2139, 2000.
9. [http://www.construmatica.com/construpedia/Exposici%C3%B3n\\_a\\_Polvos\\_de\\_Maderas\\_Duras.\\_Riesgos\\_Asociados](http://www.construmatica.com/construpedia/Exposici%C3%B3n_a_Polvos_de_Maderas_Duras._Riesgos_Asociados)
10. Nadir Ayrilmis, Jan T. Benthien, Heiko Thoemen. “Effects of formulation variables on surface properties of wood plastic composites”. *Composites: Part B* 43 325–331, 2012.
11. J. Li, R.A. Shanks, Y. Long. “Miscibility and crystallisation of polypropylene/linear low density polyethylene blends”. *Polymer* 42 1941–1951, 2001.
12. Sylvie Bertin, Jean-Jacques Robin. “Study and characterization of virgin and recycled LDPE/PP blends”. *European Polymer Journal* 38 2255–2264, 2002.
13. J. Z. Liang, J. N. Ness. “The Melt Die-Swell Behaviour During Capillary Extrusion of LDPE/PP Blends”. *Polymer Testing* 17 179–189, 1998.
14. Z. Liang, J. N. Ness. *Polymer* “Investigation on the Melt Flow Properties of Polyethylene and Polypropylene Blends”. *Testing* 16 379-389, 1997.
15. Jiří Dostál, Věra Kašpárková, Martin Zatloukal, Jan Muras, Lubomír Šimek. “Influence of the repeated extrusion on the degradation of polyethylene. Structural changes in low density polyethylene”. *European Polymer Journal* 44 2652-2658, 2008.
16. Rapeephun Dangtungee, Satyen S. Desai, Supawan Tantayanon, Pitt Supaphol. “Melt rheology and extrudate swell of low-density polyethylene/ethylene–octene copolymer blends”. *Polymer Testing* 25 888-895, 2006.
17. F. Fallani, G. Ruggeri, S. Bronco, M. Bertoldo. “Modification of surface and mechanical properties of polyethylene by photo-initiated reactions”. *Polymer Degradation and Stability* 82 257-261, 2003.
18. Yanhong Zheng, Zhigang Shen, Chujiang Cai, Shulin Ma, Yushan Xing. “The reuse of nonmetals recycled from waste printed circuit boards as reinforcing fillers in the polypropylene composites”. *Journal of Hazardous Materials* 163 600–606, 2009.