

Efecto de la temperatura de procesamiento sobre las propiedades mecánicas de tableros aglomerados sin resina sintética

Effect of processing temperature on the mechanical properties of binderless fiberboards

Jesús Fernando De La Cuesta Herrera¹, Úrsula Montoya Rojo²,
Santiago Betancourt Parra³, Catalina Álvarez López⁴

¹Estudiante Ingeniería Mecánica

²Ingeniera Agroindustrial. Joven investigadora

³PhD. Docente-Investigador. Grupo de Investigación sobre Nuevos Materiales

⁴PhD. Docente-Investigador. Grupo de Investigación Agroindustriales

Universidad Pontificia Bolivariana. Circular 1, # 70-01

Email: alvarezl.catalina@gmail.com

Recibido 30/10/11, Aceptado 11/12/2011

RESUMEN

En el desarrollo de tableros aglomerados sin resinas sintéticas, la temperatura de procesamiento juega un papel fundamental, ya que al no existir un material aglomerante, la conformación del material se da mediante la interacción física y química de las fibras, interacciones que se originan durante los procesos de degradación, los cuales a su vez generan reacciones de condensación, principalmente lignina-lignina. En el presente trabajo se pretende evaluar el efecto de la temperatura de procesamiento sobre las propiedades mecánicas (MOE y MOR) de los tableros aglomerados elaborados a partir de fibras de la vena central de la hoja de plátano y de madera de café, mediante ensayos de flexión. Con el fin de determinar la relación entre la temperatura inicial de degradación de las muestras y las propiedades de los materiales elaborados bajo diferentes condiciones de procesamiento, se realizaron análisis termogravimétricos (TGA) a las fibras estudiadas. Los resultados obtenidos demuestran que en tanto se incrementa la temperatura de procesamiento, se presenta un aumento en las propiedades de los materiales, mientras aumenta la degradación de las fibras, como se observa en los ensayos termogravimétricos.

Palabras clave: Tablero aglomerado, Fibra lignocelulósica, Degradación térmica.

ABSTRACT

In the development of binderless fiberboard, the processing temperature play a fundamental role because in the absence of a binder material, the composition of the material occurs by physical and chemical interaction of the fibers, interactions that originate during the degradation processes, which in turn generate condensation reactions, mainly lignin-lignin. In this paper aims to assess the effect of processing temperature on the mechanical properties (MOE and MOR) of particleboard produced from fibers of the plantain and coffee by bending tests. In order to determine the relationship between the initial temperature of degradation of the samples and the properties of materials elaborated under different processing conditions, thermogravimetric analysis (TGA) was performed to the fibers studied. The results show that while increasing the processing temperature, there is an increase in material properties while increasing degradation of the fibers as observed in thermogravimetric tests.

Keywords: Binderless fiberboard, lignocelulosic fiber, thermal degradation.

1. INTRODUCCIÓN

Los materiales lignocelulosicos están constituidos por celulosa, lignina y hemicelulosa en una relación aproximada de 4:3:3, los cuales, gracias a sus características como su origen renovable, biodegradabilidad y múltiples posibilidades de reciclaje, son una fuente de materiales de interés industrial. La celulosa, es el componente más abundante de los materiales lignocelulósicos y su base estructural. La lignina, cumple la función de ser el elemento aglomerante de las fibras y protege contra la humedad. La hemicelulosa, es el elemento intermediario entre la celulosa y la lignina, y brinda resistencia. Además, existen otros componentes llamados extraíbles, que compuestos orgánicos e inorgánicos (sales) de bajo peso molecular y en algunos casos contribuyen con la durabilidad de las fibras [1].

Las fibras lignocelulósicas pueden provenir de fibras madereras, fibras procedentes de plantas anuales (kenaf, lino, yute), residuos agrícolas (maíz, arroz, caña) y hierbas silvestres (bambú). Por lo anterior el interés por los materiales lignocelulósicos, de origen forestal, agrícola o urbano, ha crecido de la mano con el nacimiento de diversas aplicaciones, entre las cuales se encuentra la elaboración de tableros aglomerados, pellets para combustible, bio-etanol, celulosa, entre otros. [1-3].

El uso de residuos lignocelulósicos provenientes tanto de la madera como de otras fuentes, para el desarrollo de tableros aglomerados permite proteger el medio ambiente y generar un valor agregado a estos productos que pueden representar una buena fuente económica que aún no ha sido explotada. En el desarrollo de tableros aglomerados son usados generalmente resinas sintéticas que permiten la conformación del material. No obstante, ha sido comprobado en diferentes trabajos que mediante el prensado de las fibras a altas temperaturas también se pueden desarrollar estos materiales. El fundamento de este procedimiento es que durante el conformado, las muestras experimentan una degradación que favorece la activación de las fibras generando nuevos enlaces covalentes que son los encargados de dar la resistencia al material elaborado. Sin embargo, presentan un desempeño mecánico inferior en relación a los tableros que tiene como matriz una resina sintética, y su uso se reduce a aplicaciones no estructurales [4].

En los últimos años se ha intensificado la búsqueda de mecanismos que permitan realizar un mejor enlace entre las fibras naturales para la elaboración de tablero aglomerados sin resinas sintéticas y así poder mejorar sus propiedades mecánicas y físicas, con el fin de disminuir el uso de este tipo de materiales que son altamente dependientes del petróleo, el cual es un recurso no renovable y de difícil degradación. Estos mecanismos van desde tratamientos

termomecánicos hasta tratamientos enzimáticos y químicos. Además, se ha estudiado la relación de las diferentes variables de fabricación (temperatura, presión, tiempo de prensado, espesor, tamaño de partícula y porcentaje de humedad) en relación a las propiedades mecánicas [5].

En diferentes investigaciones, se ha mostrado mediante análisis termogravimétrico que la celulosa y la hemicelulosa degradan a menor temperatura que la lignina, y se ha sugerido que la temperatura de fabricación de tableros aglomerados no debe exceder estos valores con el fin de mantener la estabilidad térmica de la fibra y no degradar el material [6]. No obstante, en un estudio realizado con fibras de plátano, se encontró que un incremento en la temperatura de degradación de la fibra por efecto de la remoción de los componentes extraíbles acuosos, tiene una influencia negativa sobre las propiedades de los materiales, y que a mayores temperaturas de prensado, las propiedades presentaban una mejor respuesta mecánica [7].

El presente trabajo pretende evaluar el efecto que tiene la temperatura de procesamiento sobre las propiedades de los tableros aglomerados sin resinas sintéticas, teniendo en cuenta el efecto de la remoción de los componentes extraíbles.

2. METODOLOGÍA

Fibra Lignocelulósica: La fibra de la vena central de la hoja de plátano y la madera de café fueron suministradas por la Fundación Social Corbanacol y el Grupo Empresarial Monarca, respectivamente.

Las fibras fueron molidas y pasadas por una malla para homogenizar el tamaño de las partículas antes de ser utilizadas. Con el fin de evaluar el efecto de la presencia y ausencia de los extraíbles acuosos de las fibras, sobre el comportamiento térmico y las propiedades mecánicas de los tableros aglomerados, 200 g de fibra de café fueron tratados con 3 l de agua caliente durante 3 h y enjuagados con agua caliente para remover parte de los componentes extraíbles acuosos. Posteriormente, 500 ml de la mezcla de agua mas extraíbles resultante del proceso anterior, fueron mezclados con la misma cantidad de fibra (200 g) y homogenizados mediante un proceso manual. El proceso de secado de la fibra se realizó a 105°C.

Elaboración del Material: 35 g de fibras molidas fueron depositadas en un molde de 5 x 15 cm. Las condiciones del proceso de compresión en caliente se muestran en la Tabla 1. Para cada tipo de fibra sin tratar se trabajaron temperaturas desde 160°C hasta 260°C, con incrementos de 20°C, a presión constante de 13,8 MPa y un tiempo de 10 min de prensado. En el ciclo de termocompresión, se realizó un descompresión rápida a los 3 minutos del proceso para

liberar los gases producidos por la evaporación de la humedad de las muestras.

Ensayo de Termogravimetría: Los ensayos de termogravimetría se realizaron en una termobalanza METTLER TOLEDO TGA/SDTA 851e, en un rango de temperaturas entre 30°C y 800°C, en atmósfera inerte mediante nitrógeno con una velocidad de calentamiento de 10°C/min.

Ensayo de Flexión: Los ensayos de flexión a tres puntos para calcular la propiedades mecánicas (MOE y MOR) de los tableros aglomerados se realizaon en una Maquina Universal De Ensayos Instrom 3366 serie lx/s, utilizando una celda de carga de 1 kN, a una velocidad de avance de 3 mm/min y un span de 120 mm.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La degradación de las fibras lignocelulósicas depende de su composición química, la cual está relacionada con la cantidad de celulosa, hemicelulosa, lignina, y de sus componentes extraíbles. Es por ello que, cada una de las diferentes fibras lignocelulósicas presenta un desempeño característico en relación a los procesos térmicos [8].

En la fig 1. se muestra el comportamiento térmico de las fibras de plátano y de madera de café. En los termogramas

representados, se observa que para las fibras de plátano y café, en un rango comprendido entre 50°C a 100°C se elimina la humedad, correspondiente al 5 y 2% respectivamente. En la fibra de plátano, a diferencia de la de café, se observa una pequeña degradación comprendida entre 140°C y 160°C, la cual corresponde a la degradación de componentes de bajo peso molecular, como por ejemplo los extraíbles.

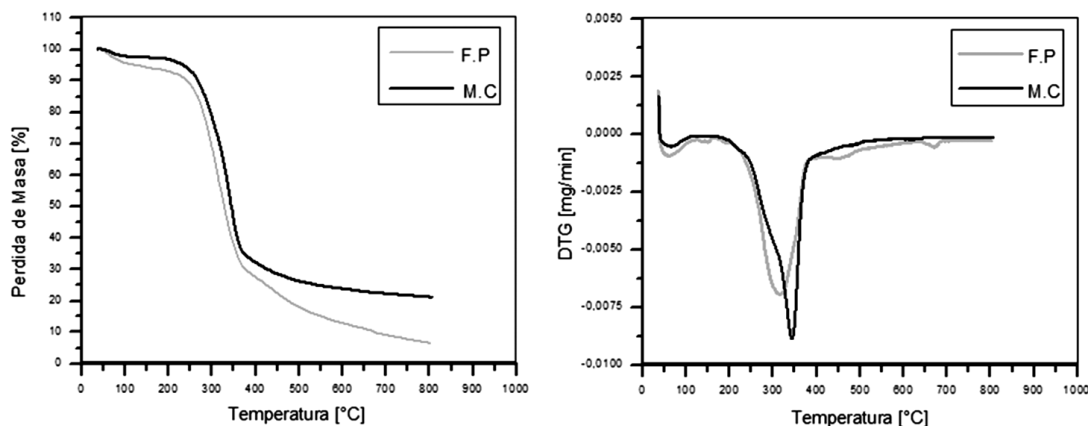
Como es característico de todas las fibras lignocelulósicas, continúa el proceso de degradación comenzando por la hemicelulosa, en un rango de temperatura entre los 200°C y 330°C [8], la cual se observa más claramente en la curva de degradación de la madera de café. La degradación principal de las fibras, correspondiente al proceso degradativo de la celulosa, está entre los 200°C y 450°C, y representa una pérdida aproximada del 70% total de la masa. La degradación de la lignina, que se da entre 400°C y 600°C, solo se observa en la fibra de plátano, cerca de los 450°C. Al final de la degradación (800°C) se observa un contenido de cenizas de 20% para la fibra de café y 6 % para la fibra de plátano.

Para ambas muestras, la temperatura inicial de degradación comienza aproximadamente a los 200 °C, a diferencia de la temperatura de máxima degradación que para la fibra de plátano se observa a 315°C y la de café a 343°C.

Tabla 1. Condiciones de Elaboración del Material.
Table 1. Conditions of material preparation.

Tipo de Fibra	Sigla	Temperatura [°C]	Presión [MPa]	Tiempo [min]
Fibra de plátano	F.P	160 a 260	13,8	10
Fibra de madera café	M.C	160 a 260	13,8	10
Fibra de madera café + extraíbles	M.C + E	220	13,8	10
Fibra de madera café - extraíbles	M.C - E	220	13,8	10

Figura 1. TG y DTG fibras lignocelulósicas.
Figure 1. Figure 1. TG and DTG of lignocellulosic fibers



En relación a los resultados obtenidos, se estableció un rango entre 160°C a 260°C para la fabricación de los tableros por termocompresión, y la evaluación del módulo de elasticidad (MOE) y el esfuerzo máximo (MOR).

Los tableros fabricados a 160°C, 180°C y 200°C para ambas fibras, presentaron color pálido y poca consistencia, mientras que aquellos fabricados a 220°C presentaron brillo en su color y una mayor compactación. En los materiales elaborados a 240°C se observó la formación de grietas y puntos quemados, y finalmente para los tableros de 260°C su textura se tornó rugosa debido a la generación de grietas prominentes y gran parte de la superficie se observaba quemada.

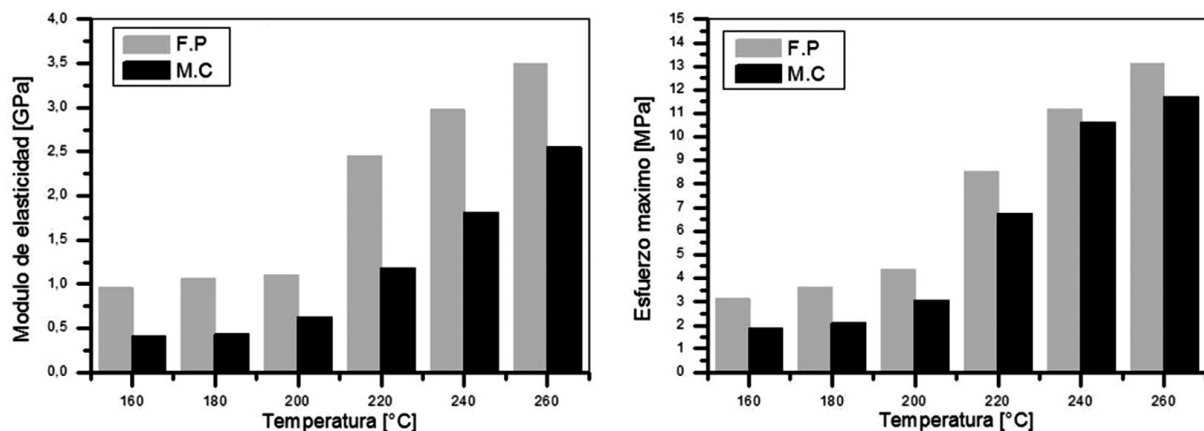
Los resultados de las pruebas de flexión a tres puntos mostraron una tendencia creciente en relación al aumento de la temperatura, con una estabilidad en el rango entre 160°C y 200°C, y un crecimiento al pasar de los 220°C (ver fig 2). Por ejemplo, para la fibra de plátano, el MOE y el MOR pasaron de 1,1 GPa y 4,4 MPa a los 200 °C, hasta 2,5 GPa y 8,6 MPa cuando se trabajó a 220°C. Entre 220 y 260°C se observó un crecimiento constante tanto para plátano como para café. Comparando estos resultados con las propiedades térmicas de las fibras, se encuentra que el incremento de las propiedades mecánicas se da justo después de la temperatura inicial de degradación, lo que nos indica que el proceso degradativo favorece la activación de los componentes estructurales de la fibra para lograr mayor adhesión. Sin embargo, cuando se trabaja a muy altas temperaturas a pesar de mejorar las propiedades mecánicas el material se comienza a degradar y se afecta la apariencia del tablero obtenido. Este mismo comportamiento con relación a la temperatura ha sido descrito por Bouajila y otros (2005) [9].

Los tableros aglomerados elaborados con fibra de plátano, en comparación a los elaborados con la fibra de madera de café, presentan mejores propiedades mecánicas.

Para comprobar como cambia la temperatura de degradación de las fibras ante un cambio en su composición química, se sustrajeron los componentes extraíbles a una muestra de la fibra de madera de café y esos extraíbles se le añadieron a otra muestra. De acuerdo a la literatura, los componentes extraíbles, y principalmente los iones inorgánicos presentes en ellos, son sustancias que sirven de catalizadores en las reacciones térmicas, y bajo su presencia, la temperatura de degradación de las muestras disminuye [10, 11].

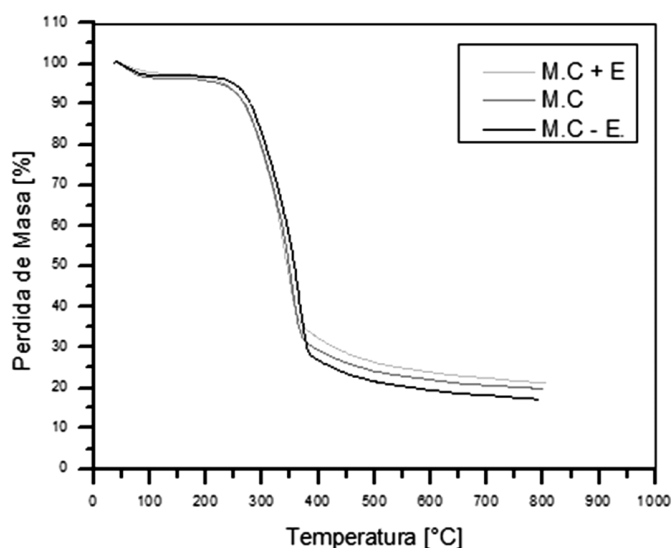
En su trabajo, Shebania y otros (2008) [12] demostraron que la exposición de material lignocelulósico a altas temperaturas pueden llevar a propiedades no deseadas, tales como cambios de olor, decoloración y la pérdida de la resistencia mecánica, por lo que es indispensable realizar la sustracción de los componentes extraíbles para mejorar la estabilidad térmica de las fibras permitiendo aumentar la temperatura inicial de degradación sin perder las propiedades. Este resultado, en relación al procesamiento de elaboración los tableros aglomerados sin resinas sintéticas tiene un elemento de análisis primordial, y es el factor energético. Como se mencionó anteriormente, si se disminuye la temperatura de degradación se pueden fabricar tableros a menores temperaturas, lo que implica un ahorro a nivel energético. Pero si se sustraen, aunque se mejora la estabilidad térmica de las fibras se necesitaría mayor temperatura para lograr la activación de las fibras en el proceso de adhesión y mayor costo energético.

Figura 2. Propiedades mecánicas (MOE y MOR) de tableros sin resina sintética.
Figure 2. Mechanical properties (MOE and MOR) of binderless fiberboards.



Al analizar mediante termogravimetría el comportamiento térmico de la fibra de madera de café en estado natural, la fibra con extraíbles y la fibra sin extraíbles (fig 3), se encontró que la remoción de estos componentes incrementó levemente la temperatura inicial de degradación, mientras que no se encontraron cambios muy significativos en MC + E. Este comportamiento muestra que los extraíbles son componentes que se encuentran en muy bajo porcentaje en la fibra, o que el tratamiento utilizado no remueve una cantidad significativa de estos. Sin embargo, al observar el contenido de cenizas a los 800°C, se observa que las muestras sin extraíbles presentan un menor contenido de estas (17%), y aquellas a las cuales se les adicionó el agua con extraíbles, presentan un mayor contenido (22%). Esta característica puede ocasionar cambios en el comportamiento térmico de las fibras, ya que como se mencionó anteriormente, los iones inorgánicos, los cuales se extraen con el tratamiento con agua caliente, ejercen un poder catalítico sobre las muestras.

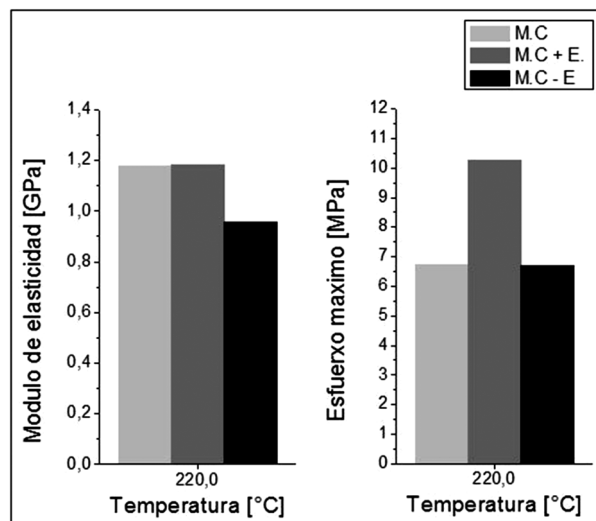
Figura 3. TG fibra de madera de café natural y tratada.
Figure 3. TG of coffee wood treated and non-treated



En la fig 4. se observa que los tableros elaborados a 220°C, con la fibra de café con adición de los extraíbles presenta un esfuerzo máximo superior a las otras dos muestras, lo cual, como se mencionó anteriormente, se relaciona con el efecto catalítico de los extraíbles adicionados. En el caso de la fibra a la cual se le removieron estos componentes, sí presentaron una disminución en su módulo de elasticidad.

Figura 4. MOE y MOR fibra de madera de café natural y modificada.

Figure 4. Mechanicals properies (MOE and MOR) of coffee wood treated and non-treated.



4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados muestras claramente que, con el aumento de la temperatura de prensado, las propiedades mecánicas de los tableros aglomerados incrementan, pero a muy altas temperaturas las características físicas de los materiales no son las deseadas, debido a la formación de grietas, rugosidad y a que el material presenta apariencia quemada.

Para elaborar tableros aglomerados sin el uso de resinas, con mejores propiedades y con menor costo energético, se podría adicionar a los materiales componentes catalíticos, para obtener una temperatura inicial de degradación mas baja y asi poder procesar los tableros a menor temperatura.

Para futuros trabajo, se recomienda realizar variaciones en la humedad, el espesor, el tiempo de prensado y el tamaño de partícula, para realizar una mejor caracterización de este tipo de tableros.

REFERENCIAS

[1] Barba, C. (2002). *Síntesis de carboximetilcelulosa (CMC) a partir de pastas de plantas anuales. Tesis de doctorado.* Universidad Rovira i Virgili.

- [2] Álvarez, C., Gañan, P., Arboleda, C., & Mejía, A. Desarrollo de materiales compuestos a partir de fibras de plátano modificadas con enzimas ligninolíticas. *Scientia et Technica*, 36, 725-730, 2007.
- [3] Tapia, C. (2007). "Elaboración de Tableros de Partícula Fina a partir de Residuos Lignocelulósicos y Resinas Termoeestables". Tesis de grado. Escuela superior politécnica del litoral.
- [4] Salazar, S., Kerguelen, H., Cruz, J., Palacio, M., Pérez, J., & Gañan, P. (2007). Desarrollo de composites a partir de residuos agroindustriales potencialmente empleados en transporte masivo. *Scientia et Technica*, 36, 719-723, 2007.
- [5] Okuda, N., & Sato, M. Manufacture and mechanical properties of binderless boards from kenaf core. *J Wood Sci*, 50, 53-61, 2004.
- [6] Martin, A., Martins, M., Da Silva, O., & Mattoso, L. Studies on the thermal properties os sisal fiber and its constituents. *Thermochimica Acta*, 506,14-19,2010.
- [7] Álvarez, C., Capanema, E., Rojas, O., & Gañan, P. Desarrollo de tableros aglomerados auto-enlazados a partir de fibra de la vena central de la hoja de plátano. *Prospectiva*, 7 (2), 69-74, 2009.
- [8] P. Methacanona, U. Weerawatsopphona, N. Sumransina, C. Prahsarna, D.T. Bergadob. Properties and potential application of the selected natural fibers as limited life geotextiles. *Carbohydrate Polymers*, 82,1090-1096, 2010.
- [9] Bouajila J., Limare A., Joly C., Dole P. Lignin plasticization to improve binderless fiberboard mechanical properties. *Polymer Engineering and Science*,45, 809-816, 2005.
- [10] J.P.A. McCoy. Hardening fusible phenolic condensation products. U.S. Patent 1, 269, 627, 1918.
- [11] L.K. Dalton, Resins from sulphited tannins as adhesives for wood, *Australian Journal of Applied*
- [12] A.N. Shebania, A.J. van Reenena, M. Meinckenb. The effect of wood extractives on the thermal stability of different wood species. *Thermochimica Acta*, 471, 43-50, 2008. *Science*,4,136-145, 1953.