

Determinación de la Compatibilidad de Mezclas de Aserrín de *Pinus spp* y Cemento Portland para la Potencial Manufactura de Tableros Cemento-Madera

Juana María Paucar Carrion¹, José Guadalupe Hernández Rodríguez², Raúl Rodríguez Anda³, José Antonio Silva Guzmán³ y Francisco Javier Fuentes Talavera³.

¹Alumna del Programa de Maestría en Ciencia de Productos Forestales del Dpto. de Madera, Celulosa y Papel (DMCyP). CUCEI UdeG., y Becaria de la Fundación Ford (jpaucar12@gmail.com). ²Asistente de investigación del DMCyP. ³Profesor Investigador del DMCyP. Apdo. Postal 52-93. Zapopan, Jalisco. México. (ffuentes@dmcyp.cucei.udg.mx).

INTRODUCCIÓN

La industria de aserrío que transforma la madera en rollo a madera aserrada (tablas, tablones y vigas) procesa anualmente alrededor del 70% de la producción forestal maderable en la república mexicana. Sin embargo, en el proceso de transformación, los coeficientes de aserrío (% de conversión de madera en rollo a tabla) varían de 45 a 60%, lo que significa que aproximadamente el 40% se convierte en residuos de escaso a ningún valor económico, (Rivas y Morales 2001).

Dentro de ese tipo de residuos, se destaca el aserrín que se genera en la sierra principal, regularmente no tiene una aplicación o comercialización importante, más bien se convierte en un problema de disposición y manejo para esta industria, mismo que termina enviándose a usos artesanales y rudimentarios como combustible, auxiliar para limpieza en casas y granjas, e incluso abandonado en el campo, por la falta de propuestas tecnológicas para un aprovechamiento industrial.

No existen datos precisos y confiables acerca de la cantidad de aserrín que se genera en la industria del aserrío, cifras y estimaciones aisladas permiten deducir una probable potencialidad de disposición de este recurso. Por ejemplo, la Asociación de Industriales Forestales de Durango señala que tan solo en el Estado de Durango se producen aproximadamente 3 600 ton/año, (Hidalgo et al, 2000). Una cantidad similar es posible estimar para el estado de Chihuahua, que es junto con el de Durango los dos principales productores de madera aserrada de la República Mexicana. Considerando solo estos dos estados, la producción de aserrín de madera pudiera rebasar los 7 000 ton/año.

Una posibilidad importante para el aprovechamiento tecnológico del aserrín, es en el campo de los materiales compuestos. Este tipo de materiales tienen la característica de ser producidos por la combinación de dos o más materias primas con propiedades físicas, químicas y biológicas diferentes, por lo que su combinación genera una sinergia de propiedades, que les confiere cualidades sobresalientes incrementando su potencial de utilización. En este sentido, la combinación del aserrín con el cemento puede ser una opción para la producción de tableros madera-cemento, cuyo uso principal es en la industria de la construcción.

Un primer factor importante para que la combinación de cemento con partículas de madera genere tableros con propiedades físico-mecánicas de aceptables a excelentes, es la compatibilidad entre ambos componentes. La compatibilidad madera-cemento es referida al grado de fraguado cuando el cemento es mezclado con agua y partículas de madera. Si el proceso químico de endurecimiento del cemento no es interferido o interferido mínimamente, se dice entonces que existe compatibilidad entre la madera y el cemento, (Jorge et al 2004).

Responsables de la potencial compatibilidad o incompatibilidad de la madera y el cemento son las sustancias extraíbles contenidas en la madera y están formadas por mezclas complejas de componentes químicos, como resinas, ácidos grasos, terpenos y terpenoides, fenoles, taninos, azúcares simples y sales, que varían considerablemente en sus características de solubilidad y están contenidas en diferentes proporciones dependiendo de las especies de madera. Dependiendo de su tipo y proporción pueden influir retardando el proceso de hidratación del cemento lo que puede repercutir en una baja compatibilidad de la madera-cemento, y bajas propiedades de los tableros resultantes, (Vaickelionis and Vaickelioniene 2006).

De acuerdo a Hachmi and Moslemi (1989), Semple and Evans (1998), el efecto de compatibilidad de la madera-cemento puede ser determinado en función a la disminución del calor liberado durante proceso químico exotérmico de hidratación del cemento (Factor C_A). Este factor resulta del cociente del calor liberado por la mezcla cemento-agua-madera y del calor liberado de la hidratación de la mezcla cemento-agua, suele ser expresado en %.

Otros autores como Weatherwax and Tarkow (1964) y Hofstrand et al (1984) han sugerido la determinación del índice de inhibición como una forma de conocer la compatibilidad de la madera con el cemento. En este caso el cálculo es con base a las temperaturas y tiempos máximos de hidratación del cemento y de la mezcla cemento-madera, así como a la pendiente de la curva tiempo – temperatura de hidratación. Entre más bajo sea el índice de inhibición, mayor será la compatibilidad de la madera con el cemento.

Por lo anterior el objetivo de esta investigación es determinar el índice de inhibición del fraguado en mezclas de aserrín de *pinus spp* y cemento portland e inferir su potencial utilización para la manufactura de tableros cemento-madera. Si bien en principio la mayoría de las coníferas muestran buena compatibilidad con el cemento, la zona de madera de duramen suele ser incompatible (Semple and Evans, 2000), de ahí la importancia de conocer si existe alguna influencia de la proporción de partículas derivadas de la zona de duramen en su compatibilidad.

Materiales y métodos

Se recolectaron 50 kg de aserrín de madera de pino (libre de corteza y húmedo) de un aserradero ubicado en la región maderera de ciudad Guzmán, Jalisco. El aserrín recolectado es el que se genera en la sierra principal, que es el punto del proceso donde mayor proporción de aserrín es producido. Se procedió a secarlo mediante exposición al aire libre. El contenido de humedad del aserrín al final de 4 días de exposición fue de 10%. Se empacó en bolsas plásticas para su conservación y manejo durante el proceso experimental.

Para la determinación de los índices de inhibición del fraguado, el aserrín fue dividido en 4 fracciones definidas por sus tamaños: partículas que pasaron la malla de 5 mm y se retuvieron en la malla de 3 mm; partículas que pasaron la malla 3 mm y se retuvieron en la de 2 mm; partículas que pasaron la malla 2 mm y se colectaron en la bandeja para finos; El cuarto grupo lo constituyó el aserrín con todas las fracciones de partículas. De cada una de estas fracciones la determinación se realizó por triplicado.

Se utilizó cemento Portland ordinario de la marca Tolteca (Cemex). Se trata de un cemento gris de uso común para construcciones, se considera ideal para la elaboración de productos prefabricados (CEMEX, 2008). Se seleccionó este tipo de cemento por ser de uso general y además que es el tipo de cemento utilizado en la producción de tableros cemento-madera. También al cemento 100% se le determinaron por triplicado su temperatura y tiempo máximo de hidratación.

Para cada determinación del índice de inhibición se mezclaron en vasos térmicos 200 g de cemento con 15 g de aserrín de madera saturada de humedad (para cada fracción de partículas) y adición de agua equivalente a una relación cemento/agua = 0.4. Estos parámetros fueron seleccionados con base en experiencias y recomendaciones de otros autores (Semple et al 1999; Ling et al, 2000) para este tipo de determinación. Una vez hecha la mezcla cemento-aserrín-agua y uniformemente homogeneizada, se colocó en un sistema térmico, como se muestra en la figura 1, se cerró perfectamente y se procedió a monitorear la temperatura y tiempo de hidratación de cada mezcla durante todo el experimento.



Figura 1. Implementación del sistema térmico para el monitoreo de la temperatura y tiempo máximo de hidratación de las mezclas cemento-aserrín.

El cálculo del índice de inhibición (I) se realizó de acuerdo a la ecuación propuesta por Hofstrand et al (1984), a continuación se indica:

$$I = \left[\left(\frac{t_{m\acute{a}x} - t'_{m\acute{a}x}}{t'_{m\acute{a}x}} \right) \left(\frac{T'_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{a}x}}{T_{m\acute{a}x}} \right) \left(\frac{S' - S}{S} \right) \right] 100$$

Donde:

I = Índice de inhibición [%]

$t_{m\acute{a}x}$ = tiempo máximo en alcanzar la temperatura máxima de hidratación de la mezcla cemento-madera.

$t'_{m\acute{a}x}$ = Tiempo máximo para alcanzar la máxima temperatura de hidratación del cemento.

$T_{m\acute{a}x}$ = Temperatura máxima de hidratación de la mezcla cemento-madera.

$T'_{m\acute{a}x}$ = Temperatura máxima de hidratación del cemento.

S = Pendiente de la curva de tiempo vs temperatura de hidratación de la mezcla cemento-madera.

S' = Pendiente de la curva de tiempo vs temperatura de hidratación del cemento.

Resultados y discusión

a) Temperatura y tiempo máximo de hidratación

En el cuadro 1 se muestran los resultados de la indagación de las temperaturas y tiempos máximos de hidratación tanto para el cemento (100%) como para cada una de las mezclas de cemento aserrín con cada partícula estudiada. Los valores de temperatura máxima de hidratación para la mezcla cemento-aserrín fluctuaron entre 43.9 °C y 46 °C, resultando obviamente inferiores a la del cemento 100% (52.8° C), lo cual es normal y atribuible al efecto de las sustancias extraíbles de las partículas de madera.

Estos valores de temperatura de hidratación son similares a los obtenidos por Semple and Evans (2000) con la madera de *Pinus radiata* (46.1 °C) e inferiores a los reportados por Lee et al (1987) para el pino del sur (66.8 °C).

Cuadro 1. Temperaturas y tiempos máximos de hidratación del cemento y mezclas de cemento-aserrín de *Pinus spp.*

Factores	Cemento	Mezcla Cemento-aserrín			
		P. Finos	P. 2 mm	P. 3 mm	P. Totales
Tiempo [h]	9.0	10.3	10.5	10.1	10.2
Temp. máx [°C]	52.8	43.9	42.7	45.8	46.0

Promedio de tres repeticiones

Para el caso particular de esta investigación, las temperaturas de hidratación de las mezclas cemento-aserrín, se consideran bajas para maderas de coníferas, muy probablemente atribuible en cierta proporción al mismo cemento empleado (portland ordinario) en la investigación, ya que su temperatura de hidratación apenas alcanzó los 52.8 °C, mientras que las reportadas por otros autores para cemento portland son de 70 °C (Akira et al, 2007), 55.7 °C (Semple and Evans, 2000) y 80 °C (Hachmi and Campbell, 1990).

En el cuadro 1 también se hace mención a los tiempos en que fueron alcanzadas las temperaturas máximas de hidratación. Para las mezclas cemento-aserrín el tiempo fue de 10.1 a 10.5 h (mínima variación), mientras que para el cemento 100% fue de 9 h. La diferencia entre ambos es también muy pequeña. Tiempos para alcanzar las

temperaturas máximas de hidratación son reportados entre 8 a 10 h por otros autores (Alberto et al, 2000, Defo et al, 2004), por lo que los tiempos obtenidos en este trabajo de investigación coinciden con los reportados bibliográficamente.

Algunos autores suelen dictaminar la compatibilidad por medio de la temperatura máxima de hidratación alcanzada en la mezcla cemento-madera, particularmente por la facilidad de su indagación. Karade et al (2003) señalan que la interpretación de tales temperaturas puede conducir a errores debido a la complejidad del proceso de hidratación de la mezcla atribuibles a diversos factores experimentales como tipo de cemento, calorímetro, relación madera-cemento-agua, tamaño de partícula, entre otros. Para el caso de esta investigación la sola indagación de la temperatura máxima de hidratación de cada mezcla cemento-aserrín es insuficiente, principalmente debido a la temperatura máxima de hidratación del cemento, que al resultar relativamente baja, ubicaría al aserrín de *Pinus spp* en el rango de incompatible.

b) Índices de inhibición de las mezclas cemento-aserrín

En los cuadros 2, 3, 4 y 5 se muestran los Índices de Inhibición para cada una de las mezclas de cemento-aserrín de madera de *Pinus spp* y para cada grupo de partículas estudiadas: Finos, 2 mm, 3 mm y totales (aserrín integral). Los valores de índice de inhibición del fraguado fueron de 1.46 para la mezcla de cemento-aserrín de partículas finas, 1.82 para la mezcla de cemento-aserrín de partículas 2 mm, 0.58 para la mezcla de cemento-aserrín de partículas de 3 mm y 0.90 para la mezcla de cemento-aserrín de partículas totales.

Las mezclas de cemento-aserrín con las partículas más pequeñas tuvieron índices de inhibición del fraguado de mayor magnitud en comparación con las mezclas de partículas de mayor dimensión. Esta característica también se ha reportado por otros autores como Latorraca (2000), Hachmi and Campbell (1991) y suelen atribuirla al hecho de que los extraíbles migran más rápidamente a la superficie de la partícula ejerciendo con ello un efecto inhibitorio del fraguado del cemento de mayor magnitud y por consecuencia un efecto negativo en las propiedades mecánicas de los tableros cemento-madera.

Independiente del tamaño de partículas, los índices de inhibición del fraguado resultaron de bajos a muy bajos, por lo que son un indicativo de que el aserrín de madera de *Pinus spp* generado en la industria de aserrío de trozas, no obstante de proceder de albura y duramen (mezcla), es apropiado para la manufactura de tableros cemento-madera, es decir, existe una buena compatibilidad, por lo que las probables propiedades de estos tableros estarían principalmente determinados por la proporción cemento-aserrín y por la geometría de las partículas del aserrín.

Cuadro 2. Índice de inhibición del fraguado de las mezclas de cemento-aserrín utilizando partículas finas.

Prueba	Tiempo de fraguado		Temperatura máx.		Pendiente curva		Índice de inhibición
	C+A	C	C	C+A	C	C+A	
	[h]	[h]	[°C]	[°C]	-	-	
1	10.3	8.58	51.9	40	3.38	1.68	2.32
2	10.3	8.58	51.9	41	3.38	1.77	2.00
3	10.2	8.58	51.9	50.6	3.38	2.90	0.07
Promedio							1.46

C = Cemento. A = Aserrín. C+A = Mezcla cemento aserrín.

Cuadro 3. Índice de inhibición del fraguado de las mezclas de cemento-aserrín utilizando partículas 2 mm.

Prueba	Tiempo de fraguado		Temperatura máx.		Pendiente curva		Índice de inhibición
	C+A	C	C	C+A	C	C+A	
	[h]	[h]	[°C]	[°C]	-	-	
1	10.45	8.58	51.9	42	3.38	2.02	1.67
2	11.1	8.58	51.9	42	3.38	1.69	2.79
3	10.0	8.58	51.9	44	3.38	2.05	0.99
Promedio							1.82

C = Cemento. A = Aserrín. C+A = Mezcla cemento-aserrín.

Cuadro 4. Índice de Inhibición del fraguado de las mezclas de cemento-aserrín utilizando partículas 3 mm.

Prueba	Tiempo de fraguado		Temperatura máx.		Pendiente curva		Índice de inhibición
	C+A	C	C	C+A	C	C+A	
	[h]	[h]	[°C]	[°C]	-	-	
1	11	8.58	51.9	43.3	3.38	2.50	1.22
2	10	8.58	51.9	47.2	3.38	2.75	0.28
3	9.4	8.58	51.9	47.0	3.38	2.50	0.24
Promedio							0.58

C = Cemento. A = Aserrín. C+A = Mezcla cemento aserrín.

Cuadro 5. Índice de inhibición del fraguado de las mezclas de cemento-aserrín integral (todos los tamaños de partículas).

Prueba	Tiempo de fraguado		Temperatura máx.		Pendiente curva		Índice de Inhibición
	C+A	C	C	C+A	C	C+A	
	[h]	[h]	[°C]	[°C]	-	-	
1	10.3	8.58	51.9	45	3.38	2.09	1.04
2	10.3	8.58	51.9	45	3.38	1.83	1.22
3	10.0	8.58	51.9	48	3.38	2.09	0.47
Promedio							0.90

C = Cemento. A = Aserrín. C+A = Mezcla cemento aserrín.

Los anteriores índices de inhibición determinados en las mezclas de cemento-aserrín de madera de *Pinus spp* en comparación con otras especies de coníferas resultaron más bajos, por ejemplo Hofstrand et al (1984) reporta para *Pinus contorta* un índice de 2.6, para *Pinus monticola* de 3.9 y *Pinus ponderosa* 37.9, lo que también confirma la buena compatibilidad del aserrín de *Pinus spp* con el cemento portland.

Conclusiones

Las temperaturas de hidratación de las mezclas cemento-aserrín de madera de *Pinus spp* resultaron bajas, principalmente debido también a una baja temperatura de hidratación del cemento.

Los índices de inhibición del fraguado de las mezclas cemento-aserrín resultaron ser muy bajos, lo que permite dictaminar una muy buena compatibilidad de las partículas del aserrín de *Pinus spp* con el cemento y su buen potencial para la manufactura de tableros cemento-madera. Obviamente las propiedades mecánicas de estos tableros estarían determinadas principalmente por la geometría de la partícula y las condiciones de proceso.

Agradecimientos

Se agradece a la Fundación Ford el apoyo económico otorgado para la realización de los estudios de Maestría (2006 – 2008) de la autora Juana María Paucar Carrion, procedente del Perú. Este trabajo es parte de su investigación de tesis de Maestría en Ciencia de Productos Forestales.

Bibliografía

- Alberto M. M., Mougel E. and Zoulalian A.** 2000. Compatibility of some tropical hardwoods species with Portland cement using isothermal calorimetry. *Forest Products Journal* vol 50, N° 9. pp. 83 – 88.
- Akira M. F., Veiga L. Y., Marin M. L. y De Figueiredo L. J.** 2007. Estudio da compatibilidade entre a Madeira e as casca de *Eucalyptus grandis* e cimento Portland. *Brasil Rev. Ciência Florestal, Santa Maria* Vol 17 N (3) pp. 257-264.
- CEMEX. 2008.** Datos generales sobre el cemento Portland ordinario. www.cemexmexico.com/ce/ce_pr_ne.html. 30/10/2008.

- Defo M., Cloutier A., Riedl B.** 2004. Wood-Cement compatibility of some eastern Canadian woods by isothermical calorimetry. *Forest Products Journal* Vol. 50 N°10, pp. 49 – 56.
- Hachmi M. H. and Campbell A.** 1990. Wood-cement chemical relationships. The Hassan II institute of Agronomy and Veterinary science, Morococo, and the University Minnesota, USA pp 43-47.
- Hachmi M. H. and Campbell A.** 1991. Wood-cement chemical relationships. The Hassan II institute of Agronomy and Veterinary science, Morococo, and the University Minnesota, USA pp 43-47.
- Hachmi M. and Moslemi A. A.** 1989. Correlation between wood-cement compatibility and wood extractives. *Forest Products Journal* 39(6): 55-58.
- Hofstrand, A. D., Moslemi A. A. and Garcia J. F.** 1984. Curing characteristics of wood particles from nine northern Rocky Mountain species mixed with Portland cement, *Forest Product Journal* 34(2), pp 57-61.
- Jorge F. C., Pereira C. and Ferreira J. M. F.** 2004. Wood-Cement composites: A Review. *Holz als Roh- und Werkstoff*. Vol. 62. pp 370 – 377.
- Karade R., S. Irle M. and Maher K.** 2003. Assessment of wood-cement Compatibility: A new approach. *Holzforschung*. Vol 57 N° 06 pp. 672 – 680.
- Latorraca, J. V. F.** 2000. *Eucalyptus* spp. Na produção de paines de cimento madeira. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 191 p.
- Lee A. and Hong Z.** 1987. Effect of cement/wood ratios and wood storage conditions on hydration temperature, hydration time, and compressive strength of wood-cement mixtures. *Wood and Fiber Science* 19 (3) pp 262-268.
- Ling F. M., Yamauchi H., Pulido O.R, Tamura Y., Sasaki H., y Kawai S.** 2000. Manufacture of cement-bonded boards from wood and other lignocellulosic Materials: relationships between cement hidration and mechanical properties of cement-bonded boards. Proceedings of a workshop held at Rydges Hotel, Canberra, Australia, on 10 December 2000. pp 13-23
- Rivas Ch. R. C. V. y Morales Q. L.** 2001. Coeficiente de aserrío para un aserradero de sierra banda en Cebollas, Durango. Memorias del V congreso mexicano de Recursos Forestales. San Luís Potosí, México. Pp. 31 – 32.
- Semple K. E. and Evans P. D.** 1998. Compatibility of some Australian acacias with Portland cement. *Holz als Roh- und Werkstoff* 56: 24.
- Semple K., Evans P. D.** 2000. Adverse effects of heartwood on the mechanical properties of wood-wool cement boards manufactured from radiate pine wood. *Wood Fibre Science*. 32 (1) pp. 37-43.
- Semple K.E., R. B. Cunningham and P.D. Evans.** 1999. Cement Hydration Tests Using Wood Flour may not Predict the Suitability of *Acacia mangium* and *Eucalyptus pellita* for the Manufacture of Wood-Wool Cement Boards. *Holzforschung* 53, (3) pp. 327 – 332.
- Vaickelionis G. and Vaickelioniene R.** 2006. Cement hydration in the presence of wood extractives and pozzolan mineral additives. *Ceramics – Silikáty*, 50 (2) pp. 115-122.
- Weatherwax R. C. and Tarkow.** 1964. Effect of wood on setting of Portland Cement. *Forest Products Journal*. Vol. 14. pp. 567 – 570.