

LIGHTWEIGHT PINE BARK CONCRETE: ADDITIVES TO AVOID THE INHIBITION OF CONCRETE SETTING

Vergara Gonzalez, Eliseo P.; Vergara Gonzalez, David; Nájera Hernández, Pilar;
Otaño Jimenez, Luis

Universidad de La Rioja

Lightweight concrete involve a great interest as composite material for the building field due to their low weight, thermal insulation and sound absorption capacity. Traditionally, lightweight concrete are obtained by foaming, by adding lightweight mineral fillers, polymers or vegetable origin materials.

Bark is the material that plants make as defense and protection against climatic and biological action, resulting less dense than wood. Pine bark is a byproduct of the timber industry, sustainable, with global accessibility and low cost. Due to its natural properties and design has an interesting potential as lightweight filler in cement - wood composites.

The idea of including pine bark in a cement matrix is not new, but until now had been discarded because pine bark contains large amounts of polyphenols. These substances exert a strong inhibitory effect of cement setting, making it impossible to achieve useful materials from pine bark.

This paper has explored the treatment of pine bark with different additives to prevent the inhibition of cement setting due to the release of polyphenols. Applying these results, for the first time a lightweight pine bark concrete is presented.

Keywords: *Materials; Concrete; Pine bark*

HORMIGÓN LIGERO BASADO EN CORTEZA DE PINO: ADITIVOS QUE EVITAN LA INHIBICIÓN DEL FRAGUADO

Los hormigones ligeros implican un gran interés como materiales composite para el sector de la edificación debido a su bajo peso, aislamiento térmico y capacidad de absorción de sonido. Tradicionalmente los hormigones ligeros son obtenidos por espumado, por adición de cargas ligeras minerales, polímeros o cargas de origen vegetal.

La corteza es el material que las plantas fabrican como defensa y protección frente a la acción climática y biológica, resultando menos densa que la madera. La corteza de pino es un subproducto de la industria de la madera, sostenible, con accesibilidad global y de bajo coste. Debido a su diseño natural y propiedades tiene una interesante potencialidad como carga en composites cemento-madera.

La idea de incluir corteza de pino en una matriz de cemento no es nueva, sin embargo hasta ahora se había descartado porque la corteza de pino contiene gran cantidad de polifenoles. Estas sustancias ejercen un fuerte efecto inhibidor del fraguado del cemento, resultando imposible lograr materiales útiles a partir de corteza de pino.

Palabras clave: *Materiales; Hormigón; Corteza pino*

Correspondencia: luis.otano@unirioja.es

1. Introducción

Los hormigones ligeros generan en la actualidad un gran interés como materiales para el sector de la construcción por sus propiedades de bajo peso, aislamiento térmico y capacidad de absorción de sonido. Estas propiedades les otorgan capacidades como el ahorro energético, la reducción de costes en la construcción y funcionalidades innovadoras.

Tradicionalmente los hormigones ligeros se obtienen por inclusión de aire o por adición de cargas ligeras minerales, poliméricas o productos vegetales. En este último caso, además, los hormigones ligeros con cargas de origen vegetal son una opción para la reducción de las emisiones de carbono y la aproximación del sector de la construcción a la sostenibilidad.

La corteza es la estructura natural fabricada por la planta para su protección y defensa frente a la acción del clima y el ecosistema, coincidiendo su funcionalidad con los objetivos buscados para un material apropiado para el sector de la construcción. Desde el punto de vista industrial, la corteza de pino es un subproducto procedente del sector de la madera, con posibilidades de acceso global y bajo coste, siendo además un material renovable y sostenible.

La posibilidad de obtener hormigones ligeros basados en corteza de pino es una idea que nunca se ha resuelto debido a que la corteza de pino contiene una gran cantidad de polifenoles que actúan como inhibidores del fraguado del cemento, resultando materiales deleznable (Defo et al 2004).

En general, tanto para diferentes maderas, corteza de pino, así como fibras vegetales, las sustancias solubles extraíbles influyen en la compatibilidad con el cemento (Hofstrand et al. 1984, Moslemi and Lim, 1984; Hachmi and Moslemi, 1989;)

Para aquellas especies o materiales que poseen una fuerte inhibición del fraguado del cemento se han propuesto diferentes tipos de tratamientos tendentes a reducir el efecto negativo de las sustancias solubles extraíbles:

- Lavado previo en agua a temperatura ambiente o caliente (Okino et al 2005)
- Almacenamiento a largo plazo (Cabangon et al 2002; Lee et al. 1987)
- Métodos de extracción química (Moslemi et al 1983)
- Adición al cemento de aceleradores típicos como CaCl_2 o MgCl_2 (Kavvouras 1987, Rashwan et al. 1992) u otros productos químicos como SnCl_4 , FeCl_3 , AlCl_3 (Zhengtian and Moslemi, 1985)
- Recubrimiento del material vegetal previamente a su mezcla con el cemento (Okino, 2005) empleando CaCl_2 o silicato de sodio.

En este trabajo se presenta un método para la selección de aditivos a sustancias vegetales con alto contenido en polifenoles para evitar la inhibición del fraguado por parte de estos. A partir de los resultados obtenidos de la aplicación de este método, se ha diseñado el tratamiento y se han fabricado composites de cemento-corteza de pino.

2. Objetivos

Los objetivos planteados en este trabajo son:

- Preparación de composites basados en cemento-corteza de pino.
- Aplicación de tratamientos para la minimización de problemas de fraguado de los composites.

- Caracterización de la densidad, conductividad térmica y resistencia a la compresión de los composites.

3. Metodología

La metodología de trabajo se divide en cuatro fases principales:

1. Preparación y caracterización de la corteza de pino en cuanto a sus características de empleo como carga para composites cemento-corteza de pino.
2. Tratamiento de la madera de pino.
3. Dosificación de componentes y preparación de las probetas para su caracterización respecto de densidad, conductividad térmica y resistencia a la compresión.
4. Medida de densidad, conductividad térmica y resistencia a la compresión.

3.1. Preparación y caracterización de la corteza de pino

La corteza de pino empleada procede de la especie *Pinus silvestris* con aplicaciones en el sector de la madera en España.

El material de partida consiste en trozos de tamaño variable entre 3 y 100 mm.

El material se reduce de tamaño en molino de impacto y se tamiza en tamaño de 0 a máximo de 20 mm de paso de luz del tamiz.

Se caracteriza el contenido de sustancias extraíbles en la corteza de pino mediante extracción en 1 l de medio básico NaOH 1 M de muestras de 100 gr de corteza molida durante 6 horas, filtración por papel whatman nº6 y evaporación hasta sequedad del extracto líquido y pesada del mismo.

3.2. Tratamiento de la corteza de pino

A partir de 1 ml de extracto de corteza de pino obtenido anteriormente se prepara una dilución 1:1000 del mismo. El extracto inicial tiene coloración marrón oscura intensa y la dilución 1:1000 tiene coloración marrón rojiza poco intensa.

Se toma 1 ml de la anterior dilución y se añade respectivamente a diferentes tratamientos escogidos como posibles mejoradores del fraguado de los composites: NaCl, CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y cemento. Los aditivos se pesan en cantidad de 0,5 gr y se colocan en tubos de ensayo de 50 ml. A los tubos se añade 10 ml de dilución 1:1000 de extracto de corteza y se valora de forma cualitativa el efecto, transcurridos 30 min.

Se seleccionan dos tratamientos en los que se observa retención de los polifenoles presentes en la corteza de pino, debido a que desaparece la coloración marrón-rojiza del extracto: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. El cemento se toma como referencia y en el ensayo cualitativo se observa claramente la absorción de los polifenoles por parte de este.

El tratamiento de la corteza de pino se establece en la adición de un 10% en peso de los dos aditivos seleccionados dispersado en el caso de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o disuelto en el caso de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ en 300 ml de agua. El líquido se extiende y moja la totalidad del material y se seca apilado al aire libre durante 7 días.

3.3. Dosificación y preparación de las probetas

La dosificación se diseña para disminuir la densidad del material final siendo éste de tipo cavernoso.

Tabla 1. Composición de las probetas

TIPO	VOLUMEN CORTEZA PINO / l	PESO CORTEZA PINO / Kg	RELACION CEMENTO / CORTEZA PINO	PESO CEMENTO / Kg	RELACION CEMENTO / AGUA	PESO AGUA / Kg
Sin tratamiento	18	5,15	1	5,2	1	5,2
Tratamiento 10% Ca(OH) ₂	18	5,15	1	5,2	1	5,2
Tratamiento 10% Al ₂ (SO ₄) ₃ ·12H ₂ O	18	5,15	1	5,2	1	5,2

Para cada uno de los tres diseños de composite se realizan 3 probetas cúbicas de 15x15x15 cm para ensayos de resistencia a compresión y 3 probetas cilíndricas para ensayo de conductividad térmica, mediante mezcla en hormigonera.

El cemento empleado es tipo I 42.5 R/SR UNE 80303-1.

Las probetas se desmoldan a las 24 h y se curan a 20°C de temperatura y 90% de humedad durante 28 días. Posteriormente las muestras se almacenan a 20°C y 60% humedad durante 30 días, previa realización de los ensayos.

3.4. Caracterización de densidad, conductividad térmica y resistencia a la compresión

La densidad se caracteriza mediante pesada de las muestras de 15x15x15 cm y 3375 cm³ de volumen.

La conductividad térmica se caracteriza mediante un sistema de medida de geometría cilíndrica. Las muestras son cilindros de 15 cm de altura y 8,5 cm de diámetro exterior, que contienen un cilindro hueco de cobre de 2,2 cm de diámetro externo en contacto con el composite, según método previamente validado (Vergara et al., 2013)

La resistencia a la compresión se caracteriza por rotura de las muestras en máquina Codein CME 300.

4. Resultados

Se obtienen composites cemento-madera de pino de tipo cavernoso.

4.1. Tratamiento de la corteza de pino

El tratamiento aplicado a la corteza de pino es fácilmente realizable desde el punto de vista industrial. Las cantidades de agua necesarias para la dispersión de las sales escogidas sobre la superficie de la madera en relación de volúmenes de 0,3 resultan manejables.

El secado se produce en 7 días manteniendo el material en el exterior, sin acceso de lluvia.

El tratamiento con Ca(OH)₂ produce un oscurecimiento de la corteza de pino.

4.2. Densidad final de los composites

La densidad de los composites obtenidos depende de la cantidad de agua que contienen. Para establecer una densidad real de los mismos, después del periodo de curado se han mantenido durante 30 días en condiciones de humedad del 60%.

Tabla 2. Densidad de los composites

TIPO	ENSAYO	VOLUMEN (cm ³)	PESO (Kg)	DENSIDAD (g/cm ³)
Sin aditivo	1	3375	3410	1,01
	2	3375	3257	0,97
	3	3375	3351	0,99
	MEDIA			0,99
	INCERTIDUMBRE			0,01
Tratamiento 10% Ca(OH) ₂	4	3375	3355	0,99
	5	3375	3444	1,02
	6	3375	3465	1,03
	MEDIA			1,01
	INCERTIDUMBRE			0,01
Tratamiento 10% Al ₂ (SO ₄) ₃ ·12H ₂ O	7	3375	3380	1,00
	8	3375	3414	1,01
	9	3375	3440	1,02
	MEDIA			1,01
	INCERTIDUMBRE			0,01

4.3. Conductividad térmica de los composites

Tabla 3. Conductividad térmica de los composites

TIPO	ENSAYO	DENSIDAD (g/cm ³)	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/mK)
Sin aditivo	1	1,01	0,235
	2	0,97	0,224
	3	0,99	0,230
	MEDIA	0,99	0,230
	INCERTIDUMBRE	0,01	0,03
Tratamiento 10% Ca(OH) ₂	4	0,99	0,241
	5	1,02	0,232
	6	1,03	0,237
	MEDIA	1,01	0,237
	INCERTIDUMBRE	0,01	0,03
Tratamiento 10% Al ₂ (SO ₄) ₃ ·12H ₂ O	7	1,00	0,241
	8	1,01	0,234
	9	1,02	0,242
	MEDIO	1,01	0,239
	INCERTIDUMBRE	0,01	0,03

Los composites obtenidos tienen una conductividad calorífica baja, actuando como aislantes térmicos.

4.4. Resistencia a la compresión de los composites

La resistencia a la compresión de los composites obtenidos es baja.

Tabla 4. Resistencia a la compresión de los composites

TIPO	ENSAYO	DENSIDAD (g/cm ³)	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/m·K)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)
Sin aditivo	1	1,01	0,235	4,7
	2	0,97	0,224	4,6
	3	0,99	0,230	4,2
	MEDIA	0,99	0,230	4,5
	INCERTIDUMBRE	0,01	0,03	0,2
Tratamiento 10% Ca(OH) ₂	4	0,99	0,241	5,8
	5	1,02	0,232	5,6
	6	1,03	0,237	6,1
	MEDIA	1,01	0,237	5,8
	INCERTIDUMBRE	0,01	0,03	0,1
Tratamiento 10% Al ₂ (SO ₄) ₃ ·12H ₂ O	7	1,00	0,241	5,4
	8	1,01	0,234	5,5
	9	1,02	0,242	5,6
	MEDIO	1,01	0,239	5,5
	INCERTIDUMBRE	0,01	0,03	0,1

5. Conclusiones

- Se obtienen composites cemento-madera de pino de tipo cavernoso.
- El tratamiento aplicado a la corteza de pino es fácilmente realizable desde el punto de vista industrial.
- La reducción de tamaño y el tratamiento con sales en disolución o dispersión se realiza de forma operativa. El secado no necesita de aporte externo de energía. El material tratado no se degrada.
- Se fabrican composites de cemento-corteza de pino de densidad cercana a 1 g/cm³.
- La conductividad térmica de los composites se oscila entre 0,22 y 0,23 W/m·K resultando por tanto materiales aislantes térmicos.
- La resistencia a la compresión de los materiales es baja. El tratamiento para la eliminación de los taninos, en caso de Ca(OH)₂ mejora las propiedades mecánicas del material. El tratamiento mediante Al₂(SO₄)₃·12H₂O mejora las propiedades mecánicas en menor cuantía. Los materiales fabricados no presentan problemas de deleznableidad.

- Debido a que están fabricados a partir de materiales de origen natural estos composites actúan como sumidero de carbono y pueden ser aplicables en construcción sostenible.

6. Referencias

- Cabangon, R, Eusebio, D, Soriano, F Cunningham R.B. Evans P.D.; 2000, 'Effect of Post Harvest Storage on the Suitability of Acacia mangium for the Manufacture of Wood Wool Cement Boards', Pacific Rim Bio-based Composites Symposium 2000, Australian National University, Camberra Australia 10-13 th December, pp. 47-56
- Defo, M.; Cloutier, A.; Riedl, B. "Wood-cement compatibility of some Eastern Canadian woods by isothermal calorimetry." *Forest Products Journal*. Forest Products Society. 2004.
- Hachmi, M.; Moslemi, A.A. 1989. Correlation between wood-cement compatibility and wood extractives. *Forest Prod. J.* 39(6): 55-58.
- Hofstrand, A.D.; Moslemi, A.A; Garcia, J.F. 1984. Curing characteristics of wood particles from nine northern Rocky mountain species mixes with Portland cement. *Forest Prod. J.* 34(2): 57-61.
- Kavvouras P. K. Suitability of Quercus conferta wood for the manufacture of cement-bonded flakeboard. *Holzforschung*, 41(3), p. 159-163, 1987.
- Lee A. W. C., Hong Z., Phillips D. R., Hse C. Y. 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), p. 262-268, 1987.
- Moslemi A. A., Garcia J. F., Hofstrand A. D. Effect of various treatments and additives on wood-Portland cement-water systems. *Wood and Fiber Science*, 15(2), p. 164-176, 1983.
- Moslemi, A. A.; Lim, Y.T. 1984. Compatibility of southern hardwoods with Portland cement. *Forest Prod. J.* 34(7-8): 22-26.
- Okino, E.Y.A.; Souza, M.R.; Santana, M.A.E.; Alves, M.V.S.; Sousa, M.E.; Teixeira, D.E. 2005. Physico-mechanical properties and decay resistance of Cupressus spp. Cement-bonded particleboards. *Cement and Concrete Composites* 27 (2): 333-338.
- Rashwan M. S., Hatzinicolos M., Zmavc R. Development of a lightweight, low-cost concrete block using wood residue. *Forest Product Journal*, 42, p. 57-64, 1992
- Vergara E.; Vergara D.; Corral M.; Nájera P.; Otaño L. (2013) Medición de la conductividad térmica en composites de cemento mediante un sistema de geometría cilíndrica. XVII Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyectos (2013 Logroño) pp 0942-0954
- Zhengtian L., Moslemi A. A. Influence of chemical additives on the hydration characteristics of Western Larch wood-cement-water mixtures. *Forest Products Journal*, 35(7), p. 37-43, 1985.