

La influencia de la escoria granulada de alto horno como reemplazo parcial del árido fino en la durabilidad de los hormigones autocompactantes

Miñano, I.; Parra, C.; Valcuende, M.; Benito, F.

Escuela de Arquitectura e Ingeniería de Edificación. Universidad Politécnica de Cartagena
Departamento Arquitectura y Tecnología de la Edificación. Grupo de investigación: EsTE.
Campus Alfonso XIII – Edificio Arq&Ide. Paseo Alfonso XIII, 50, 30202 Cartagena (Murcia)
Tel.: +34 968325485; Fax: +34 968 32593
Email: isabelminano@hotmail.com

Resumen. La investigación se enfoca al análisis de la durabilidad y al reciclado de la escoria granulada de origen de alto horno en procesos siderúrgicos para producir hormigones autocompactantes donde se sustituye escoria por el árido fino calizo, y se va incrementando el reemplazo desde un 0% hasta 50%. Se realizó el ensayo de penetración de iones cloruros y el de penetración de carbonatación para analizar el comportamiento de los hormigones autocompactantes en función del reemplazo. Como conclusión general la escoria afecta a la durabilidad positivamente cuando se usa como árido fino en los hormigones autocompactantes.

1. Introducción

Entre los diversos problemas asociados al crecimiento de la población y a la generación de bienestar está el consumo de recursos naturales y la generación de contaminación. Una de las formas de reducir el impacto al medio ambiente es por medio de la reutilización y reciclado de desechos y subproductos industriales.

La escoria granulada de alto horno (en adelante escoria) se produce como consecuencia de la reducción del mineral de hierro en los altos hornos, o sea que es un desecho industrial que contamina el ambiente, por lo que resulta interesante lograr una aplicación diferente a la que en la actualidad se está dando.

En total, la industria del hormigón usa 12,6 billones de toneladas de materia prima por año, siendo el mayor usuario de recursos naturales del mundo. A nivel mundial emplean aproximadamente 10 billones de toneladas de arena y roca natural, a la vez que genera más de 1 billón de toneladas de residuos de construcción y demolición cada año [2].

El objetivo principal de esta investigación es determinar cómo afecta la sustitución del árido fino por escoria en los hormigones autocompactantes (HAC) y analizar sus propiedades. Investigaciones anteriores han demostrado que la escoria granulada de alto horno empleada como árido fino mejora la durabilidad de los hormigones convencionales vibrados [1,3].

2. Dosificación

La dosificación del hormigón es un factor que influye de forma significativa en el comportamiento futuro

de este, para ello optamos por una adaptación del método Bolomey para hormigones autocompactante, que utiliza una curva de referencia de granulometría variable.

De acuerdo a investigaciones anteriores llevadas a cabo por el grupo de investigación, los parámetros recomendados para obtener los HAC fueron los siguientes:

- Volumen de pasta $\geq 400\text{dm}^3$.
- Relación agua/pasta entre 0,8 y 1,1
- Contenidos de finos $>$ de 500kg/m^3
- Consistencia fluida

Para todo ello, se adopta $a=20$ como constante en la ecuación de Bolomey.

Se fabricaron seis tipos de hormigones autocompactantes con una sustitución del árido fino por escoria del 0% al 50%, todos ellos con una cantidad de cemento de 375kg/m^3 y una relación agua/material cementante igual a 0,55. El tipo de cemento de las mezclas fue un CEM II /B-M (S-L) 42,5R y el aditivo empleado un superplastificante de policarboxilato. Se emplearon áridos de piedra caliza machaqueada, de la cantera Carasoles situada en el Turia (Valencia): grava 4/12 y dos tipos de arena: una gruesa 0/4, y otra fina 0/2. Además se añadieron adiciones de cenizas volantes para evitar la segregación en las mezclas de HAC y de finos calizos, para compensar la carencia de finos de las escorias.

3. Programa experimental

Para cada dosificación se han realizado ensayos de penetración de iones cloruros AASHTO T250-02 y el ensayo de profundidad de carbonatación acelerada UNE EN 13295.

3.1. Profundidad de carbonatación

El ataque de CO₂ a las probetas se realizó en una cámara climática y saturada de CO₂, con un 1% de CO₂, una temperatura de 21 ± 2 °C y una humedad relativa de 60 ± 10 %. Ver Figura 1.



Fig. 1. Probetas en el interior de la cámara climática.

Para medir la profundidad de carbonatación, las probetas prismáticas de 100x100x400 mm se cortaron transversalmente con un cincel, un trozo de muestra de aproximadamente 5 cm de espesor a la edad de 56 días. A continuación se atomizó la cara interna con el indicador fenolftaleína, aplicándola mediante un rociador. La tonalidad fucsia indica que el hormigón está en buen estado (pH>10); incoloro indica hormigón ha carbonatado. Además se midió la profundidad de ataque, en centímetros, siguiendo las indicaciones de UNE EN 13295, lo cual queda reflejado en la figura 4.



Fig. 2. Proceso de obtención de la muestra.

En la figura 3, se dan a conocer la profundidad de carbonatación de cada muestra, con respecto a la sustitución de escoria, para 56 días.

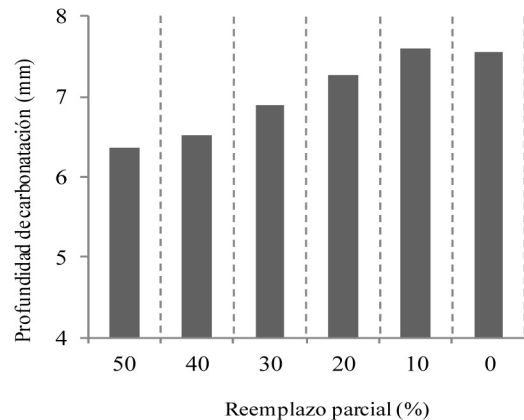


Fig. 3. Profundidad de carbonatación a 56 días.

El análisis fotográfico de las experiencias resulta ser imprescindible para un completo registro del comportamiento de cada probeta frente al ataque de CO₂. A continuación se muestran en las figuras 4, las probetas cortadas, después de 56 días de carbonatación acelerada para un sustitución del 50 % (arriba) y 0 % (abajo).

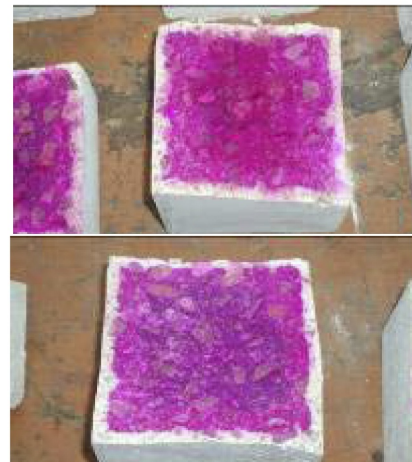


Fig. 4. Probeta HAC 50 % (arriba) y HAC 0 % (abajo) con disolución de fenolftaleína.

3.2. Profundidad de ataque del ión cloruro

El ensayo de penetración de iones cloruros se ha realizado según la norma AASHTO T259, se realizaron probetas de 100x100x400mm se introducen en la cámara de curado durante 14 días y en cámara de secado hasta los 28 días de edad, (ver figura 5) se protegen las caras laterales con un material impermeable, con el fin de crear un área estanca que contendrá una solución de cloruro sódico, y se vuelven a meter a la cámara de secado hasta la edad de 42 días. A la edad de 42 días se añade la solución de cloruro sódico al 3 %, controlando que siempre se mantenga una lamina de 15 mm aproximadamente.



Fig. 5. Probetas en el interior de la cámara secado.

A la edad de 56 días, se trocea una rodaja, de la misma manera que se procedió con el método de carbonatación y se atomiza con una solución de nitrato de plata, midiendo en mm la profundidad de penetración en función del color, una tonalidad más oscura indica que el hormigón está en buen estado; incoloro indica la presencia de iones cloruros. En la figura 6, se representa la profundidad de penetración de los iones cloruros de cada muestra, con respecto a la sustitución de escoria, para 56 días.

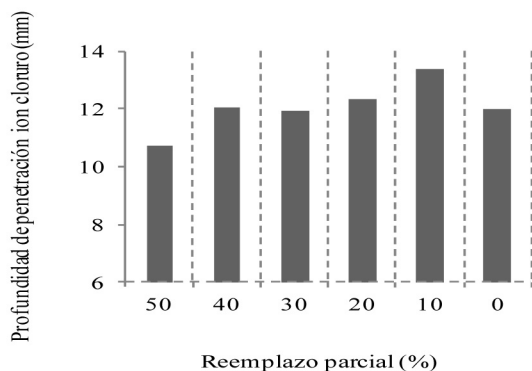


Fig. 6. Profundidad de penetración de iones cloruros a 53 días.

3. Conclusiones

En base a la observación de las probetas, a las que se aplicó fenolftaleína, se pudo observar que los hormigones autocompactantes a medida que se iba sustitución escoria presentaban un mejor comportamiento frente al ataque de CO_2 . Las mayor penetración de carbonatación a 56 días se encontraron en el HAC de referencia, el cual mostró una penetración superior al 16 % respecto al HAC con un 50 % de reemplazo parcial de árido fino natural por escoria.

El mejor comportamiento frente penetración de iones cloruro lo presentan los HAC con un reemplazo parcial del 50 %. Los HAC con una sustitución del 40 % y 30 %, han obtenido iguales características en cuanto a la penetración de iones de cloruro.

Como conclusión general la escoria influye a la durabilidad positivamente cuando se usa como árido fino en los hormigones autocompactantes.

Referencias

- [1] Yuksel, I., Bilir, T. y Ozkan, O. (2007) Durability of concrete incorporating non-ground blast furnace slag and bottom ash as fine aggregate. *Building and Environment* 42, 2651-2659.
- [2] Mehta, P.K. (2002) Greening of the concrete Industry for Sustainable Development. *Concrete International*.
- [3] Lauber, M. (2009) Influencia de la calidad de los residuos metalúrgicos granulares utilizados como áridos en las propiedades del hormigón. Universidad Politécnica de Cataluña.
- [4] Antonina, M. (2002) Contribuição ao estudo da carbonatação e da retração em concretos com elevados teores de escória de alto-forno. Programa de pós-graduação em engenharia civil. Universidade Federal do Espírito Santo.
- [5] Mendoza, J. y Castro, P. (2009) Validez de los conceptos y modelos vigentes de vida de servicio de estructuras de hormigón ante los efectos del cambio climático global. Situación actual. *Materiales de Construcción*. Vol. 59, 296, 117-124.
- [6] Bilir, T. (2012) Effects of non-ground slag and bottom ash as fine aggregate on concrete. *Construction and Building Materials*, v.26, 1.
- [7] Cervantes, V. y Roesler, J. (2005) Ground Granulated Blast Furnace Slag Tech Note. n.º 35. University of Illinois, Department of Civil and Environmental Engineering. 1211 NCEL, MC-250. Urbana. Illinois. U.S.A.
- [8] Parra, C. y Valcuende, M. (2010) Natural carbonation of self-compacting concretes. *Construction and Building Materials*. Vol. 24, 848-853.
- [9] Puertas, F. (1993) Escorias de alto horno: Composición y comportamiento hidráulico. *Materiales de construcción*. Vol. 43. n.º 229.
- [10] Parra, C.; Valcuende, M., y Gomez, F. (2011) Splitting tensile strength and modulus of elasticity of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*. Vol. 25, 1, 201-207.
- [11] Isaia, G. y Gastaldini, A. (2009) Concrete sustainability with very high amount of fly ash and slag. *Ibracon Structures and materials journal*, Vol. 2/3, 244-253.