

EVALUACIÓN MEDIANTE MÉTODOS ACELERADOS DE LA DURABILIDAD DE HORMIGONES RECICLADOS FRENTE AL ATAQUE POR SULFATOS

J.N. Caputti¹, L.R. Santillán², C.J. Zega³

¹ LEMIT, La Plata, Argentina. janocaputti@gmail.com

² LEMIT, La Plata, Argentina. lautarorsantillan@gmail.com

³ LEMIT, CONICET, La Plata, Argentina. hormigones@lemit.gov.ar

RESUMEN

Los métodos para evaluar la resistencia del hormigón frente al ataque externo por sulfatos consideran, mayormente, su ingreso por difusión, requiriendo extensos períodos de tiempo para la obtención de resultados, y sólo contemplan un ataque de tipo químico. Por otra parte, debido a la problemática ambiental actual originada por la generación de residuos de hormigón, surge la necesidad de mejorar y determinar rápidamente la durabilidad de los hormigones reciclados frente al ataque por sulfatos. En este trabajo se propone emplear dos métodos acelerados para evaluar el desempeño frente a los sulfatos del hormigón reciclado. Uno de ellos resulta de aplicación para evaluar la potencial resistencia de un hormigón reciclado frente al ataque químico por sulfatos, mientras que el otro procura evaluar un comportamiento más parecido al que tendría el hormigón en condiciones de servicio, es decir, frente al ataque por sulfatos de carácter físico-químico.

Palabras claves: sulfatos; hormigón reciclado; ensayos acelerados

INTRODUCCIÓN

Actualmente el hormigón es el material masivamente más utilizado en la construcción, y en volumen, el segundo más utilizado por la humanidad después del agua. Dado que para su elaboración se emplean grandes cantidades de recursos naturales, es necesario entonces resolver las problemáticas ambientales producto del hormigón y de sus materiales constituyentes [1]. Para ello, las estrategias más estudiadas se agrupan en dos conceptos: primero, la utilización de materiales más eco-eficientes, como ser agregados y/o adiciones minerales provenientes de los residuos de construcción y demolición (RCD) o de otras industrias; y segundo, el diseño y empleo de hormigones más durables. Este último hecho redundará en una menor generación de RCD, contribuyendo así a solventar también el problema medioambiental creciente vinculado al tratamiento de dichos residuos. La desventaja de la utilización de los RCD radica en la potencial presencia de contaminantes deletéreos para el hormigón, como arcilla, vidrio, o yeso. Por este motivo, se ha puesto mayor énfasis en la utilización de los residuos de hormigón como agregados para la elaboración de nuevos hormigones, llamados "hormigones reciclados" (HR). El empleo de HR está ampliamente difundido a nivel internacional, especialmente en países con una fuerte conciencia ecológica, pudiendo alcanzarse niveles resistentes similares a los de hormigones convencionales elaborados con agregados naturales (AN) [2-4]. El uso de agregados gruesos reciclados (AGR) puede mejorar la interfase agregado-mortero, respecto al AN, ya que la textura superficial del AGR es más rugosa y abierta [5-7].

La mayoría de los problemas de durabilidad en los HR están vinculados a una mayor porosidad del hormigón debido a las características propias del AR, por lo cual es esperable que sus propiedades de transporte se incrementen con relación a un hormigón elaborado con AN. Sin embargo, frente a la exposición en ambientes agresivos, el desempeño durable del HR puede ser semejante o incluso superior al de un hormigón convencional [8]. En el caso particular del ataque externo por sulfatos (AES), la utilización de AR puede afectar de dos maneras: desde el punto de vista físico, al aumentar la porosidad del hormigón se incrementará el ingreso de iones sulfato, y desde el punto de vista químico, la presencia del AR incrementa el contenido de productos de hidratación del cemento (pasta de cemento adherida al AR) y por ende el contenido relativo de fases inestables frente a los sulfatos. Sin embargo, los resultados hallados en la bibliografía muestran un posible beneficio del uso de AR. La mayor porosidad inducida por el AR significaría un mayor espacio para la precipitación de los productos expansivos de reacción, a la vez de una menor rigidez frente a las deformaciones de la matriz cementícea, disminuyendo el riesgo de fisuración. Esta relación entre los efectos positivos y negativos del AR en el AES depende del contenido de AR utilizado [9-12]. Asimismo, se ha estudiado el efecto de la relación a/c y del uso de materiales cementíceos suplementarios sobre el AES en HR [13,14].

Durante el proceso del AES se distinguen dos períodos: el de incubación, en la cual se generan productos de la reacción pero la tasa de expansión es baja; y el de propagación, en la cual la tasa de expansión es alta y el proceso de deterioro se acelera exponencialmente. La lenta cinética del ataque por sulfatos en su período de incubación hace que los tiempos se extiendan por varios meses e incluso años hasta poder obtener resultados definitivos. Si bien se han propuesto métodos acelerados para evaluar el desempeño de hormigones convencionales frente al AES, ninguno de ellos ha sido normalizado aún, y tampoco han sido considerados para evaluar HR. Estos métodos permitieron obtener expansiones mesurables en períodos de tiempo sensiblemente más cortos que en los métodos convencionales. Asimismo, el contenido de sulfato en la pasta y la estructura mineral formada son comparables a los encontrados en condiciones reales, como así también, en morteros utilizados en ensayos a largo plazo [15,16].

En este trabajo se propone el empleo de dos métodos acelerados para evaluar la incidencia del AGR y de la nueva matriz en el desempeño de los HR frente a los sulfatos, con el objetivo de aportar resultados empíricos a la escasa bibliografía internacional vinculada a esta temática.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Mezclas a estudiar y métodos propuestos

Se consideraron hormigones de dos relaciones a/c (0,45 y 0,60), el uso de cementos con distinto grado de reactividad frente a los sulfatos (CPN50-ARS -cA- y CPF50-B -cB), el empleo de AGR en reemplazo del 20, 50 y 100 % en volumen del AGN y tres tipos de AGR (dos de ellos provenientes de hormigones elaborados con los cementos antes mencionados -ag-A y ag-B- y un tercero de origen desconocido -ag-C). Mayores detalles de los AGR y de las mezclas pueden encontrarse en [17]. En la Tabla 1 se presentan las características de las mezclas a estudiar.

Ensayo acelerado por saturación en vacío. Este método consiste en la sumersión de probetas de hormigón en solución de 50 g/l de sulfato de sodio, habiendo sido las mismas previamente saturadas en vacío con la misma solución. El método fue propuesto por Messad et al. [15] para evaluar hormigones convencionales en periodos cortos de tiempo (tres meses) debido a que aumenta fuertemente el ingreso de iones sulfato a la matriz. Las probetas de 7,5x7,5x30 cm son secadas en horno a una temperatura de 80 ± 2 °C hasta que la variación de masa en un periodo de 24 hs sea menor que el 0,05 %. Luego se las coloca

en una cámara de vacío por 4hs a una presión de 25 mBar. Finalmente, las probetas son cubiertas totalmente con solución de sulfato de sodio y sometidas a presión por otras 20 hs. Se medirán la variación de masa y de longitud cada dos semanas por un tiempo total de doce semanas. Los resultados obtenidos por Messad et al. [15] demuestran la sensibilidad del método al mayor contenido de C_3A y la menor relación a/c del hormigón. Asimismo, se observaron disminuciones de hasta un 90 % en la resistencia a la compresión de los hormigones luego de 12 semanas de exposición.

Tabla 1: Características de las mezclas a estudiar.

	A4	B4	A6	B6
a/c 0,45	x	x	-	-
a/c 0,60	-	-	x	x
Cemento cA	x	-	x	-
Cemento cB	-	x	-	x
AGN	x	x	x	x
ag-A (%)	20; 50	20; 50	-	20
AGR ag-B (%)	20; 50	20	20; 50; 100	20
ag-C (%)	20; 50; 100	20	-	20; 50

Ensayo acelerado con ciclos de saturación. Este método, propuesto por Loser et al. [16], consiste en realizar ciclos de saturación y secado en solución de sulfato de sodio, seguido de una inmersión de las probetas en la misma solución por ocho semanas. Este método evalúa el desempeño del hormigón en su conjunto (daño físico por cristalización de los productos del AES y daño químico por reacción de los iones sulfato con los compuestos cementíceos), simulando variaciones de humedad y temperatura a las que suelen estar sometidas las estructuras reales, permitiendo así obtener resultados relevantes en periodos de tiempo relativamente cortos. Los resultados de Loser et al. muestran efectos del tipo de cemento y la relación a/c de los hormigones. Se estudiaron diferentes protocolos variando los tiempos de inmersión y secado, la concentración de solución o la temperatura de secado. El más indicado según los resultados obtenidos es aplicar 4 ciclos de saturación, en una solución de 34 g/l de sulfato de sodio, y secado, en horno a una temperatura de 50 °C; con una duración de 2 y 5 días respectivamente. Luego del secado, sumergir las probetas en la solución manteniendo una relación de volumen hormigón/solución igual a 4,5, sin reemplazar la solución durante el ensayo. La temperatura de la solución durante todo el ensayo es de 20 °C. Los recipientes para las probetas son cubiertos a modo de evitar evaporación y prevenir cambios en la concentración de la solución. Las mediciones de variación de peso y longitud se realizan luego del ciclo de inmersión de las probetas.

En ambos métodos, a las probetas se les empotrarán pernos de acero inoxidable en cada extremo a fin de permitir las mediciones de cambio de longitud producto del AES. Adicionalmente se impermeabilizarán los extremos de las barras con pintura epoxi para que el AES no se concentre en los extremos de la barra y afecte a las mediciones sobre los pernos.

CONSIDERACIONES FINALES

Esta comunicación describe el programa en desarrollo para la evaluación del ataque por sulfatos en hormigones elaborados con contenidos variables de agregados gruesos reciclados (AGR), en reemplazo del agregado grueso natural, mediante la aplicación de dos métodos acelerados. Con el fin de incluir diferentes factores que afectan las propiedades físicas y de transporte del HR, así como su resistencia al ataque por sulfatos, el programa incluye un total de 22 hormigones que comprenden cuatro matrices diferentes

variando la relación a/c y el tipo de cemento, y tres tipos de AGR empleados en porcentajes de reemplazo variables. Los resultados que se obtengan permitirán determinar si los métodos considerados son adecuados para evaluar el comportamiento de los HR frente a este tipo de exposición, y establecer su relación con el desempeño en ensayos convencionales de AES, contribuyendo a cubrir un área de vacancia en la bibliografía sobre esta temática.

AGRADECIMIENTOS

Estos estudios fueron parcialmente financiados por el FONCyT, a través del proyecto PICT 2015-3339.

REFERENCIAS

- [1] Mehta PK, "Greening of the concrete industry for sustainable development", *Concrete International*, V. 24, N° 7, (2002), 23-28.
- [2] Gómez-Soberón J, Fité L, "Propiedades físicas y mecánicas de los agregados reciclados de concreto", (2002)
- [3] Di Maio AA, Giaccio G, Zerbino R, "Hormigones con agregados reciclados", *Ciencia y Tecnología del Hormigón*, N° 9, (2002), 5–10.
- [4] Zega CJ, Di Maio, AA, "Efecto del agregado grueso reciclado sobre las propiedades del hormigón", *Bol. Téc., IMME*, Vol. 45, N° 2, (2007), 1–11.
- [5] Sri Ravindrarajah R, Tam CT, "Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate", *Magazine of Concrete Research*, Vol. 37, Issue 130, (1985), 29–38.
- [6] Sagoe-Crentsi, KK, Brown T, Taylor AH, "Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate", *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, Issue 5, (2001), 707–712.
- [7] Tam WYV, Gao XF, Tam CM, "Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach", *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, Issue 6, (2005), 1195– 1203.
- [8] Zega CJ, Santillán LR, Sosa ME, Villagrán-Zaccardi YA, "Durable performance of recycled aggregate concrete in aggressive environments", *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE. Vol. 32, N° 7, (2020). doi 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003253.
- [9] Li Y, Wang R, Li S, Zhao Y, Qin Y, "Resistance of recycled aggregate concrete containing low- and high-volume fly ash against the combined action of freeze–thaw cycles and sulfate attack", *Construction and Building Materials*, Vol. 166, (2018), 23–34.
- [10] Lee ST, "Influence of recycled fine aggregates on the resistance of mortars to magnesium sulfate attack", *Waste Management*, Vol. 29, Issue 8, (2009), 2385–2391.
- [11] Qi B, Gao J, Chen F, Shen D, "Evaluation of the damage process of recycled aggregate concrete under sulfate attack and wetting-drying cycles", *Construction and Building Materials*, Vol. 138, (2017), 254–262.
- [12] Santillán LR, Locati F, Villagrán Zaccardi YA, Zega CJ, "Long-term sulfate attack on recycled aggregate concrete immersed in sodium sulfate solution for 10 years", *Materiales de Construcción*, IETcc, Vol. 70, Issue 337, (2020), 212. doi 10.3989/mc.2020.06319
- [13] Bulatovic V, Melesev M, "Evaluation of sulfate resistance of concrete with recycled and natural aggregates", Vol. 152, (2017), 614–631.
- [14] Somna R, Jaturapitakkul C, Amde AM, "Effect of ground fly ash and ground bagasse ash on the durability of recycled aggregate concrete", *Cement and Concrete Composites.*, Vol. 34, Issue 7, (2012), 848–854.
- [15] Messad S, Carcassès M, Linger L, Boutillon L, "Performance Approach Using Accelerated Test Method for External Sulfate Attack", *Third International fib Congress*, (2010), 1–11.
- [16] Loser R, Leemann A, "An accelerated sulfate resistance test for concrete", *Materials and Structures*, Vol. 49, (2016), 3445–3457. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0731-2>
- [17] Santillán LR, "Durabilidad de hormigones reciclados frente al ataque químico", Tesis Doctoral, UNLP, Argentina, (2020), 200p.