

*bac2010 - 2º Congreso Ibérico sobre betão auto-compactável
2º Congreso Ibérico sobre Hormigón Autocompactante
Guimarães – 1 y 2 de julio de 2010*

Influencia de la estructura porosa en la durabilidad de hormigones autocompactantes de similar resistencia

**Ester B. Bermejo
Núñez¹**

**Jaime C. Gálvez
Ruiz¹**

**Amparo
Moragues
Terrades¹**

**Manuel
Fernández
Cánovas¹**

RESUMEN

Los estudios de hormigón autocompactante realizados se han centrado en obtener dosificaciones óptimas, pero hay dudas acerca de su durabilidad, en especial en hormigones de resistencia moderada.

Este trabajo estudia la durabilidad de tres hormigones autocompactantes de resistencia moderada (resistencia característica aproximada de 25 MPa), cuya dosificación y propiedades mecánicas son casi iguales, pero que emplean cementos con distinto tipo de adición. El estudio pone de manifiesto la importancia de la estructura porosa, en particular de la distribución de tamaño de poro, en la durabilidad. Los ensayos realizados han sido: ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión, penetración de CO₂ en cámara ambiental con atmósfera controlada y penetración del ión cloruro por difusión en probetas saturadas. Además, se ha obtenido el volumen total de poros y su distribución por tamaños mediante porosimetría por intrusión de mercurio.

El trabajo muestra cómo hormigones autocompactantes con comportamientos muy similares, tanto en estado fresco como endurecido, presentan una estructura porosa distinta, que afecta de forma directa a su durabilidad potencial.

PALABRAS CLAVE

Hormigón autocompactante, cemento, adiciones, estructura porosa, durabilidad.

¹ Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Departamento de Ingeniería Civil-Construcción. C/ Profesor Aranguren s/n, 28040 Madrid. España. ebermejo@caminos.upm.es, jaime.galvez@upm.es, amoragues@caminos.upm.es, mfcánovas@caminos.upm.es.

1. INTRODUCCIÓN

El hormigón autocompactante (HAC) se desarrolló originariamente en Japón a mediados de los años 80, bajo la dirección del Prof. Okamura [1]. El uso del HAC se ha ido incrementando a lo largo del tiempo, especialmente en el sector de la prefabricación donde se ha mejorado y optimizado la fabricación. Desde su aparición, el HAC ha sido objeto de estudio de muchos investigadores, pero algunas preguntas permanecen sin respuestas, sobre todo en los aspectos de durabilidad en comparación con el hormigón convencional (HC). Los escasos resultados existentes [2-3] sobre este tema se refieren a HAC de alta resistencia, prestándose menos atención a la durabilidad de hormigones de baja y media resistencia [4]. Trabajos previos [3, 5-8] han puesto de manifiesto que el alto contenido de finos y el empleo de dosis mayores de superplastificantes, en comparación con el HC, modifican la estructura porosa, afectando a los mecanismos de transporte de líquidos y gases en el hormigón, aspectos que deben ser estudiados. El término “*durabilidad potencial*” hace referencia al comportamiento del HAC frente a posibles ataques en distintos ambientes, con especial atención a los mecanismos de transporte y difusión [6].

El objetivo de este trabajo de investigación es estudiar y comparar la durabilidad potencial de tres HACs de resistencia moderada (aproximadamente 25 MPa de resistencia característica), cuyo comportamiento en estado fresco y sus propiedades mecánicas en estado endurecido son prácticamente iguales. Todos los HACs se han fabricado con los mismos áridos e igual dosificación, únicamente diferenciándose en el tipo de cemento empleado y el contenido de aditivo superplastificante. Los ensayos de durabilidad realizados son: ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión, penetración de CO₂ en cámara ambiental con atmósfera controlada y penetración del ión cloruro por difusión en probeta saturada. Además, se ha obtenido el volumen total de poros y su distribución por tamaños mediante porosimetría por intrusión de mercurio.

2. CAMPAÑA EXPERIMENTAL

2.1 Materiales

Se han estudiado tres HACs, cada uno con un tipo de cemento. Los cementos empleados han sido, un cemento portland sin adiciones (CEM I 42,5 R), y otros dos portland con adición de puzolanas (CEM II/A-S 42,5 N) y escorias (CEM II/A-P 42,5 R) respectivamente, cumpliendo todos los cementos la Instrucción para la Recepción de Cementos (RC-08).

Se utilizó el mismo árido en los tres hormigones: arena de río y árido grueso rodado, ambos silíceos, con tamaño máximo de 16 mm. Se empleó filler calizo cuya granulometría cumple con la norma UNE 12620:2002. La cantidad máxima de partículas finas añadidas (que pasan por el tamiz UNE 0,063 mm), incluidas las adicionadas al cemento, no superó los 250 kg/m³. El aditivo empleado fue un superplastificante, SIKA Viscocrete 3425, de tipo policarboxilato modificado en base acuosa. La Tabla 1 muestra las dosificaciones, por metro cúbico, empleadas para cada hormigón. La diferencia entre ellas radica en el tipo de cemento y la cantidad de aditivo (0,8% a 2,1%).

El amasado se realizó en una amasadora planetaria de eje vertical con una capacidad máxima de 100 l. Se hicieron dos tipos de probetas cilíndricas (15 Ø x 30 cm de altura y 10 Ø x 20 cm de altura) para la realización de los ensayos correspondientes.

2.2 Ensayos realizados

2.2.1 Estado fresco del hormigón

Los ensayos realizados fueron tres: ensayo de escurrimiento (UNE 83361:2007), ensayo de la caja en L (UNE 83363:2007) y ensayo del embudo en V (UNE 83364:2007), siempre en el mismo orden.

Tabla 1. Dosificaciones propuestas para cada hormigón estudiado (por m³ de hormigón).

<i>Hormigón</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Tipo de cemento	CEM I 42,5 R	CEM II/A-S 42,5 N	CEM II/A-P 42,5 R
Adición	Filler Calizo	Filler Calizo	Filler Calizo
Cemento (kg)	350	350	350
Adición (kg)	200	200	200
Agua (kg)	193	193	193
Arena (kg)	960	960	960
Grava (kg)	695	695	695
Aditivo (kg)	7,4 (2,1%)	2,8 (0,8%)	6,3 (1,8%)
a/c	0,55	0,55	0,55

2.2.2 Estado endurecido del hormigón

La caracterización de las propiedades mecánicas de los hormigones en estado endurecido se determinó mediante la realización de tres ensayos a las edades de 7, 28 y 91 días de edad de las probetas. Las propiedades determinadas fueron la resistencia a compresión (UNE-EN 12390-3:2003), módulo de elasticidad (UNE 83316:1996) y resistencia a tracción indirecta (UNE-EN 12390-6:2001).

2.2.3 Ensayos de durabilidad

El estudio de la durabilidad de los hormigones se realizó mediante los ensayos de penetración de agua bajo presión, CO₂ e ión cloruro. Todos los ensayos se iniciaron a la edad de 91 días del hormigón y su duración fue de 72 horas para el primer ensayo y de 3 meses para los otros dos ensayos.

El ensayo de penetración de agua bajo presión se realizó según la norma UNE-EN 12390-8. Se emplearon probetas cilíndricas de 15 Ø x 30 cm de altura. La presión aplicada fue de 500 kPa. La Figura 1 muestra el ensayo (Fig. 1a), y el perfil de penetración de agua (Fig. 1b).

La penetración de CO₂ se determinó mediante el ensayo de carbonatación acelerada. El ensayo se hizo con probetas cilíndricas de 10 Ø x 20 cm de altura, en una cámara de carbonatación (ver Fig. 2a) con temperatura (23°C ± 2°C) y humedad relativa (65% ± 1%) controladas. La concentración de CO₂ (6% ± 1%) fue constante y la diferencia hasta el 100% de gas nitrógeno. Para medir la profundidad de carbonatación se aplicó un indicador de fenolftaleína según la norma UNE 112011:1994. Se realizaron medidas a las edades de 120, 150 y 180 días desde la confección de las probetas. En la Fig. 2b se muestra la profundidad de la carbonatación.

La penetración del ión cloruro se realizó con probetas cilíndricas de 10 Ø x 20 cm de altura, siguiendo la norma ASTM C1543-02. Antes del ensayo, las probetas se saturaron en agua y se cubrieron todas las caras excepto una con pintura epoxi impermeable, garantizándose así la difusión unidireccional del cloruro. Las probetas se sumergieron en una disolución de agua destilada y NaCl al 3%, a temperatura de laboratorio. Una vez finalizado el ensayo, se obtuvo el perfil de penetración de cloruros hasta la profundidad de 30 mm, con intervalos cada 5 mm. La concentración del ión cloruro se determinó según la norma UNE 112010:1994.

2.2.4 Ensayo de porosimetría por intrusión de mercurio

Los ensayos de porosimetría por intrusión de mercurio se realizaron con un porosímetro Micromeritics, modelo Autopore IV 9500, que alcanza una presión máxima de 228 MPa y cuyo rango de medida de diámetro de poro es de 0,006 µm a 175 µm.

Los ensayos se realizaron a los 91 días de edad de las muestras adoptando la norma ASTM D4404-84 (2004). El tamaño de las muestras fue de 3,5 g ± 0,3 g. Previamente, las muestras fueron secadas a una temperatura de 40°C hasta peso constante y, posteriormente se desgasificaron, mediante una bomba de vacío, durante 40 minutos.

Influencia de la estructura porosa en la durabilidad de hormigones autocompactantes de similar resistencia

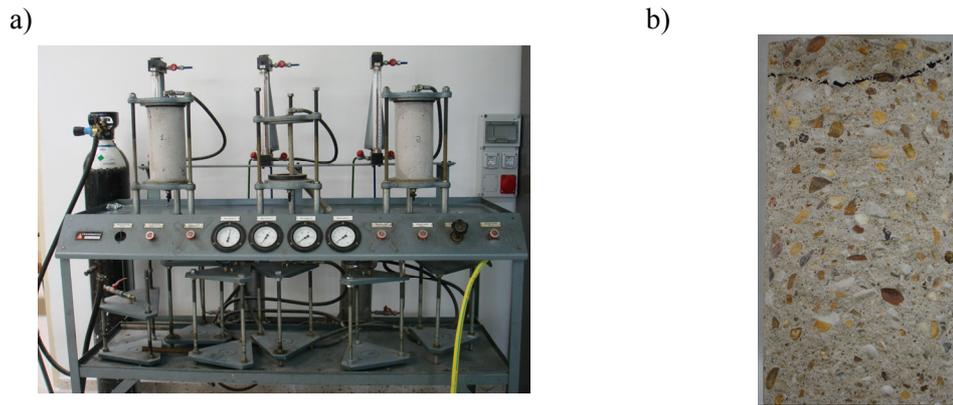


Figura 1. Ensayo de penetración de agua a presión: a) equipo con las probetas preparadas para ensayar, y b) muestra del perfil de humedad de la probeta.

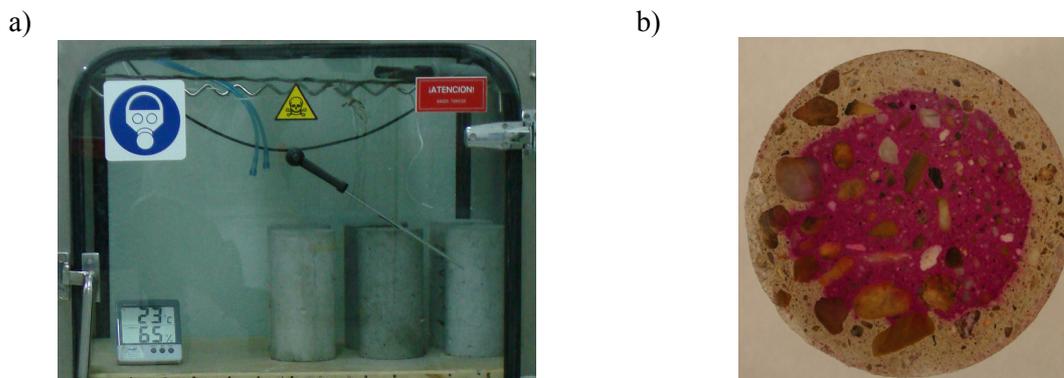


Figura 2. Ensayo de carbonatación acelerada: a) cámara empleada para la realización del ensayo, y b) muestra en la que se observa la zona carbonatada tras la aplicación del indicador.

3. RESULTADOS

3.1 Resultados de los ensayos de hormigón en estado fresco

La Tabla 2 muestra los valores de caracterización del estado fresco de cada hormigón, e incluye los rangos admisibles de la Instrucción EHE-08 [9].

3.2 Resultados de los ensayos de caracterización del hormigón endurecido

Las Figuras 3, 4 y 5 muestran los resultados de resistencia a compresión, módulo de elasticidad y resistencia a tracción indirecta para cada hormigón a las edades de 7, 28 y 91 días. Los valores presentados corresponden al valor medio de tres probetas ensayadas.

La Figura 3 muestra que los tres hormigones alcanzan la resistencia a compresión solicitada a los 28 días. El hormigón 3 tiene mayor resistencia a compresión a las edades de 28 y 91 días que los hormigones 1 y 2. El hormigón 2 presenta una ligera mayor resistencia a compresión a los 28 días que el hormigón 1, pero a 91 días ésta es mayor en el hormigón 1.

Como muestra la Figura 4, se obtiene un módulo de elasticidad ligeramente mayor, a la edad de 91 días, en el hormigón 3, pero en el resto de las edades dicho valor es mayor en el hormigón 1. El módulo de elasticidad del hormigón 1 apenas ha variado en el tiempo. El valor que se obtiene de la resistencia a tracción indirecta es relativamente parecido en todos los HACs como se puede ver en la Figura 5, aunque es ligeramente superior en los hormigones 1 y 3.

Tabla 2. Resultados de los ensayos de hormigón fresco y comparación con el rango admisible según la Instrucción EHE-08 [9].

<i>Hormigón</i>		1	2	3	<i>Rango admisible (EHE-08)</i>
Extensión de flujo	T ₅₀₀ (s)	3	1,2	5	T ₅₀ ≤ 8 s
	Ø _m (cm)	65	70	63	550 mm ≤ d _f 850 mm
Embudo V	T _V (s)	14	5,5	10	4 s ≤ T _V ≤ 20 s
Caja en L	T ₆₀₀ (s)	3	1,4	3	
	H ₂ / H ₁	0,63	0,80	0,74	0,75 ≤ C _{bl} ≤ 1,00

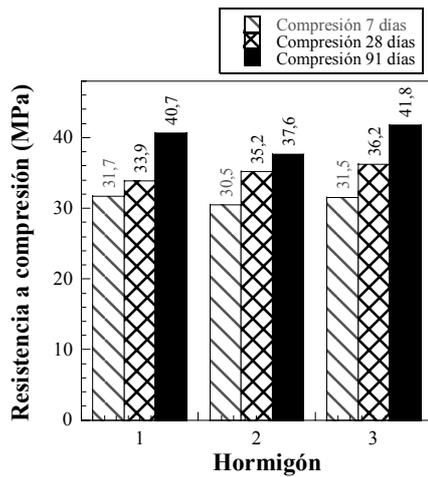


Figura 3. Resistencia a compresión.

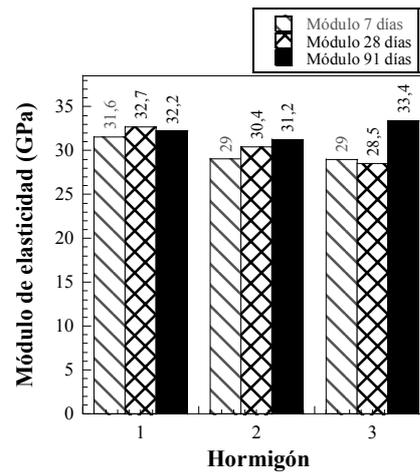


Figura 4. Módulo de elasticidad.

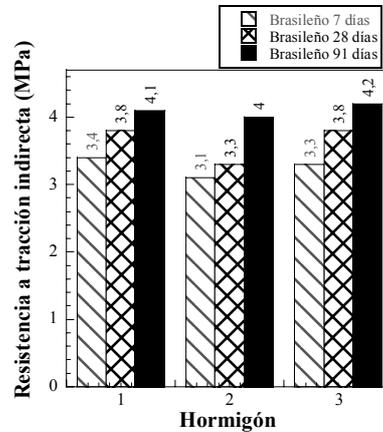


Figura 5. Resistencia a tracción indirecta.

3.3 Resultados de los ensayos de durabilidad

La Figura 6 muestra la profundidad máxima de penetración de agua y la resistencia a compresión a los 91 días. Como se puede observar, la penetración de agua es notablemente mayor en el hormigón 2, siendo ligeramente inferior en el hormigón 1 que en el hormigón 3.

La profundidad máxima de penetración del CO₂ es mayor en el hormigón 2 (Figura 7). El hormigón 1 es el hormigón que menor profundidad de carbonatación tiene. El hormigón 3 muestra una profundidad máxima de carbonatación menor respecto al hormigón 1 al comienzo del ensayo, pero con el tiempo crece por encima de la del 1, llegando a alcanzar un valor de profundidad ligeramente inferior al del 2. Esto se debe a que la velocidad de carbonatación en el hormigón 3 es algo más del

doble con respecto a los otros dos HACs, como se observa en la Tabla 3, donde se recogen los valores de velocidad de carbonatación de los tres HACs.

La Tabla 4 muestra el coeficiente efectivo de transporte del ión cloruro para cada uno de los HACs. Como se observa a simple vista, el hormigón 2 es el que tiene un coeficiente mayor respecto al resto.

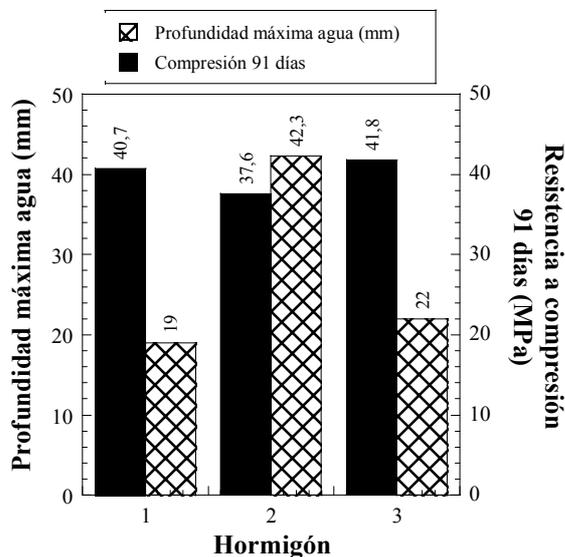


Figura 6. Profundidad máxima de penetración de agua y resistencia a compresión.

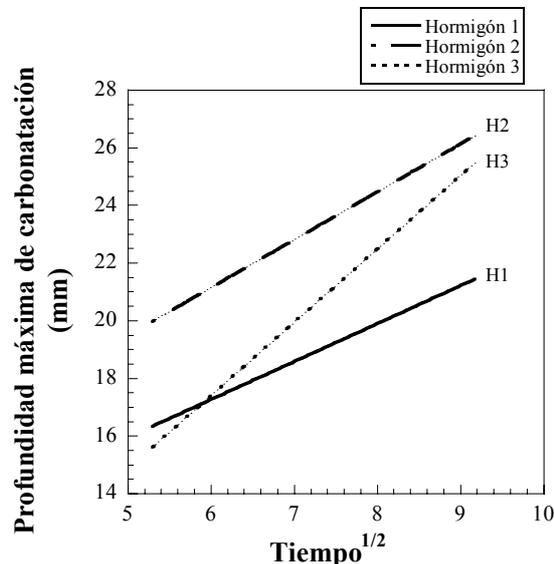


Figura 7. Carbonatación acelerada.

Tabla 3. Velocidad de carbonatación (mm/días^{1/2}).

Hormigón	Velocidad de carbonatación (mm/días ^{1/2})
1	0,9
2	0,8
3	1,7

3.4 Resultados de los ensayos de porosimetría por intrusión de mercurio

La Figura 8 presenta la porosidad total y la resistencia a compresión a la edad de 91 días de los tres HACs. Se observa que no existen grandes diferencias en cuanto a la porosidad total en los tres hormigones, siendo ligeramente superior en el hormigón 3 y, ligeramente inferior en el hormigón 2.

La Figura 9 muestra la profundidad máxima de penetración de agua bajo presión y el diámetro promedio de poro para cada uno de los HACs. El valor mayor del diámetro promedio de poro corresponde al hormigón 3, aunque no coincide con la máxima penetración de agua.

Los resultados obtenidos en el ensayo de porosimetría por intrusión de mercurio se presentan en las Figuras 10 y 11 para cada uno de los hormigones estudiados. En la Figura 10 se reflejan los logaritmos de los volúmenes de las intrusiones diferenciales obtenidos en dicho ensayo. En la Figura 11 se muestra el volumen de intrusión de mercurio acumulado para cada uno de los hormigones estudiados. Y, por último, la Tabla 5 presenta el volumen de macroporos y mesoporos de cada uno de los HACs. Como se observa, la estructura porosa es muy diferente en cada uno de los hormigones estudiados.

Tabla 4. Coeficiente efectivo de transporte del ión cloruro (mm^2/s).

Hormigón	Coeficiente efectivo de difusión C_I (mm^2/s)
1	2,98E-12
2	3,60E-12
3	1,95E-12

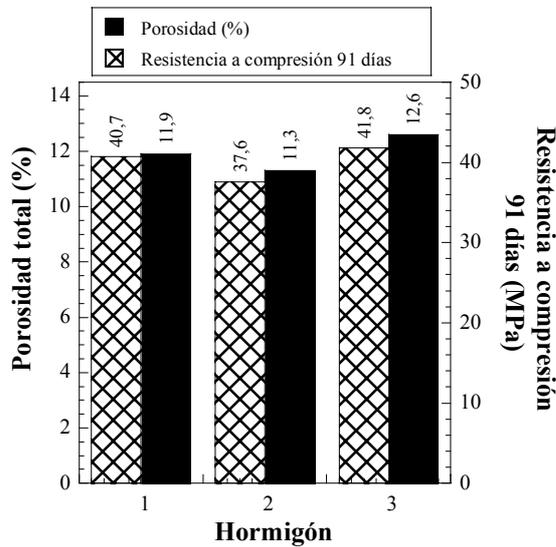


Figura 8. Porosidad total y resistencia a compresión.

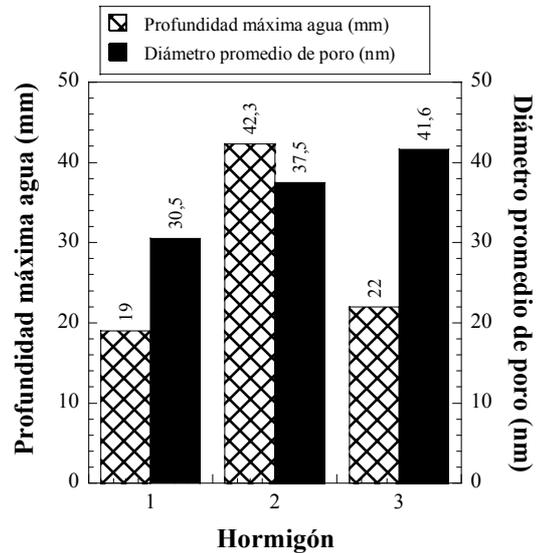


Figura 9. Diámetro promedio de poro y profundidad máxima de agua.

Tabla 5. Volumen de macroporos y mesoporos.

Hormigón	Volumen de macroporos (ml/g)	Volumen de mesoporos (ml/g)
1	0,016	0,038
2	0,036	0,025
3	0,032	0,026

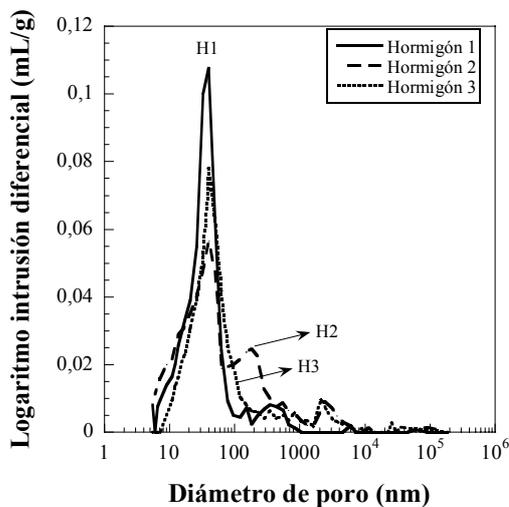


Figura 10. Logaritmo de la intrusión diferencial de mercurio.

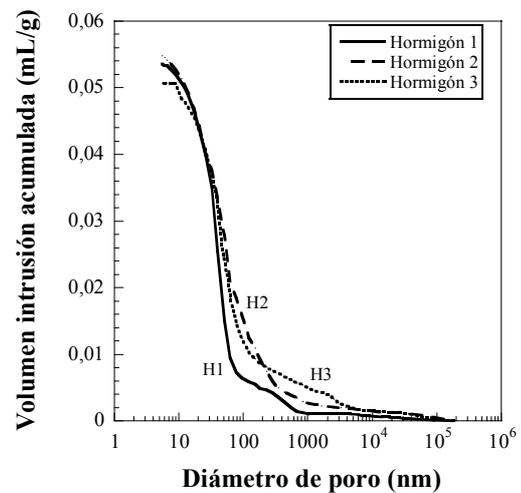


Figura 11. Volumen acumulado de intrusión de mercurio.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos muestran que con los cementos utilizados se consiguen HACs con resistencia característica a compresión de 25 MPa aproximadamente, pero su comportamiento y estructura porosa es diferente entre ellos.

Las dosificaciones propuestas para los tres hormigones son similares, diferenciándose en el contenido de aditivo y en el tipo de cemento: el cemento del hormigón 1 es sin adición (CEM I 42,5 R), el cemento del hormigón 2 tiene adición de escorias (CEM II/A-S 42,5 N) y el cemento del hormigón 3 adición de puzolana (CEM II/A-P 42,5 R).

En la Tabla 2 se observa que dos de los hormigones (1 y 3) ensayados poseen un coeficiente de bloqueo en la caja en L por debajo del límite de 0,75 que se establece en el Anejo 17 de la EHE-08 [9], aunque el coeficiente de bloqueo del hormigón 3 tiene un valor muy próximo a 0,75. No obstante algunos autores como Gettu et al. [10] indican que hormigones con coeficientes más bajos, hasta 0,60, han mostrado resultados aceptables en aplicaciones estructurales [11]. Los ensayos se realizaron antes de la entrada en vigor de la Instrucción EHE-08 [9].

Las propiedades mecánicas de los tres HACs son muy parecidas a las diferentes edades evaluadas. La resistencia a compresión de los hormigones 1 y 3 es muy similar a 91 días. El hormigón 2 es el que menor resistencia a compresión presenta. El módulo de elasticidad es similar en los tres hormigones, pero su evolución en el tiempo es diferente. Y, en cuanto a la resistencia a tracción indirecta, se obtiene un valor similar a 91 días en los tres hormigones, aunque a 28 días, en el hormigón 2 el valor es ligeramente inferior al resto.

Los valores obtenidos de la porosidad total (véase Fig. 8), son muy parecidos en los tres casos, lo que se corresponde con que sus propiedades mecánicas sean muy similares, especialmente la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad.

Los resultados de los ensayos de profundidad de penetración de agua bajo presión (Fig. 6) y carbonatación acelerada (Fig. 7 y Tabla 3) reflejan que el hormigón 1 presenta un mejor comportamiento, siendo el hormigón 2 el que tiene un peor comportamiento, debido a que la profundidad máxima de penetración de agua bajo presión es mayor del doble de la presentada por el hormigón 1, siendo muy similar en los hormigones 1 y 3. Además, la velocidad de carbonatación del hormigón 3 es casi el doble de la de los otros dos hormigones, siendo muy similares entre ambos.

Respecto a la difusión del ión cloruro (Tabla 4), el peor comportamiento lo presenta el hormigón 2.

Por todo ello se puede concluir que el mejor comportamiento frente a la durabilidad potencial lo presenta el hormigón 1 y el peor el hormigón 2. Y, aunque el hormigón 3 muestra un comportamiento intermedio, se aproxima más al del hormigón 1 que al del hormigón 2.

Los resultados de porosimetría por intrusión de mercurio muestran diferencias entre los tres HACs, que pueden explicar su diferente comportamiento frente a los ensayos de durabilidad. El volumen total de mercurio intruido es muy similar en los tres casos (Fig. 11), lo que indica una porosidad total muy parecida (Fig. 8). La diferencia radica en:

- El diámetro promedio de poro (Fig. 9) es notablemente mayor en el hormigón 3 alcanzando un valor de 41,6 nm, respecto al hormigón 2 (37,5 nm) y el hormigón 1 (30,5 nm).
- En la distribución de macroporos y mesoporos (Tabla 5), los hormigones 2 y 3 muestran un volumen de macroporos doble que el del hormigón 1. El volumen de mesoporos es mayor en el hormigón 1, siendo muy parecido en los hormigones 2 y 3.

El bajo contenido de macroporos del hormigón 1, en comparación con el resto, justifica su buen comportamiento frente a los ensayos de penetración de agua bajo presión y CO₂. Y, su mayor contenido de mesoporos da lugar a que su coeficiente de difusión efectiva de ión cloruro sea menor.

La distribución porosa del hormigón 2, con un volumen de macroporos mayor al doble del hormigón 1, justifica su peor comportamiento frente a los ensayos de penetración de agua bajo presión y CO₂, así como sus propiedades mecánicas, ligeramente inferiores. Además, posee un elevado volumen de mesoporos afectando a la penetración del ión cloruro. Además hay que añadir que las escorias, por su forma irregular, parece que suelen conducir a un peor sellado de los poros.

Y por último, el hormigón 3 tiene una estructura porosa muy parecida a la del hormigón 2, pero su comportamiento frente a los ensayos de durabilidad no sólo puede justificarse a partir de ella, pues los resultados difieren entre ambos. En este caso, la adición de puzolana que incluye el cemento 3 mejora los resultados de los ensayos de durabilidad, lo que parece deberse a que la puzolana genera centros de nucleación en los poros que facilitan su sellado. La resistencia a compresión es ligeramente mayor en el hormigón 3 que en el 2 debido al carácter activo de la puzolana, lo que contribuye a alcanzar una mayor resistencia a largo plazo. La profundidad de penetración de agua y el coeficiente efectivo de difusión del ión cloruro son mucho mayores en el hormigón 2 que en el 3. En cuanto a la penetración máxima de CO₂ no existen grandes diferencias, pero la velocidad de carbonatación es el doble en el hormigón 3, pudiéndose deber a que la adición de puzolanas crea una matriz más compacta y ello dificulte la entrada del agua y de algunos de los agentes agresivos. No obstante, es un aspecto que requiere un trabajo químico de identificación y valoración de los productos de hidratación del cemento y las adiciones, de su interacción mutua y con el aditivo, que queda fuera del alcance de este trabajo.

5. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- HACs con igual dosificación y mismas propiedades mecánicas pueden presentar comportamiento muy distinto frente a los ensayos de durabilidad. La diferencia se debe al tipo de cemento empleado y a la interacción cemento-adición-aditivo, que puede modificar su estructura porosa, en especial la distribución de tamaños de poro.
- La porosidad total obtenida en los tres HACs estudiados es muy similar, pero presentan notables diferencias en la distribución por tamaños de poros.
- El volumen de macroporos afecta a los resultados de los ensayos de la resistencia a compresión, profundidad máxima de penetración de agua bajo presión y difusión de CO₂. En cambio, el volumen de mesoporos parece influir fundamentalmente a los resultados del ensayo de difusión de cloruros.
- El hormigón fabricado con cemento CEM II/A-S 42,5N es el que ha mostrado un peor comportamiento frente a los ensayos de durabilidad, lo cual puede deberse a la forma irregular de las partículas de escoria (adición que incluye el cemento), que pueden provocar un peor sellado de los poros.
- En el caso del hormigón fabricado con cemento CEM II/A-P 42,5R, cemento con adición de puzolana, se obtiene una mejora de los resultados de los ensayos de durabilidad, lo que parece deberse a que dicha adición genera centros de nucleación en los poros que facilitan un mejor sellado.
- Debido a que la distribución de tamaños de poros es decisiva en el comportamiento frente a los ensayos de durabilidad, conviene profundizar en el papel que juega la interacción cemento-adiciones (al cemento) y filler-aditivo en la estructura porosa así como su evolución a lo largo del tiempo.

AGRADECIMENTOS

Los autores desean agradecer al Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA) la financiación parcial de los ensayos. Además agradecen al Ministerio de Ciencia e Innovación la concesión del proyecto BIA-2008-03523, al Ministerio de Fomento la concesión del proyecto MFOM-01/07, y al Ministerio de Educación la beca FPI concedida a D^a Ester Bermejo Núñez.

REFERENCIAS

- [1] OKAMURA, H. - Self Compacting High-Performance Concrete. Journal of Concrete International, vol. 19, nº 7, 1997. p. 50-54.
- [2] DE SCHUTTER, G. [et al.] - Durability of Self-Compacting Concrete. State of the Art Report of RILEM Technical Committee 205-DSC, 2007, RILEM, France. ISBN 978-2-35158-048-6.
- [3] ZHU, W. [et al.] - Permeation properties of self-compacting concrete, Journal of Cement and Concrete Research, 33, 2002. p. 921-926. ISSN: 0008-8846.
- [4] PERSSON, B.A. - A comparison between mechanical properties of SCC and the corresponding properties of normal concrete, Journal of Cement and Concrete Research, Vol. 31, 2001. p. 193-198. ISSN: 0008-8846
- [5] ASSIÉ, S. [et al.] - Durability properties of low-resistance self-compacting concrete. Magazine of Concrete Research vol. 58, nº 1, 2006. p. 1-7. ISSN 0024-9831.
- [6] ASSIÉ, S. [et al.] - Estimates of self-compacting concrete “potential” durability. Journal of Construction and Building Materials, 21, 2007. p. 1909-1917. ISSN: 0950-0618.
- [7] BOEL, V. [et al.] - Pore distribution of hardened cement paste in self compacting concrete. Seventh CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete, SP-234-11, 2006. p. 167-178.
- [8] AUDENAERT, K. [et al.] - Influence of capillary porosity on transport properties of self compacting concrete. Eight CANMET/ACI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology, SP-235-1, 2006. p. 1-12.
- [9] INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL (EHE-08). Anejo 17, Recomendaciones para la utilización del hormigón autocompactante, 2008. p. 569-582. ISBN 978-84-498-0830-2.
- [10] GETTU, R. [et al.] - Estado del arte del hormigón autocompactable y su caracterización (Parte II). Revista de Cemento y Hormigón, nº 862, 2004. p. 32-55. ISSN 0008-8919.
- [11] TVIKSTA, L, Guidelines - Report of Task 9: End Product, Rational Production and Improved Working Environment through using Self-Compacting Concrete. Brite EuRam project BRPR-CT96-0366, p. 48.