

Análisis de factores que afectan al ensayo de penetración de agua bajo presión empleado para la medida de las prestaciones de durabilidad de hormigones

Analysis of factors affecting the penetration of water under pressure test used for measurement of concrete durability performance

David Revuelta Crespo^a, Pedro Carballosa de Miguel^b, José Luis García Calvo^c,
Filipe Pedrosa^d, Joan Mas Amengual^e

^a Dr. Ing. Industrial, IETCC-CSIC, Científico Titular, d.revuelta@ietcc.csic.es

^b Dr. Ing. de Materiales, Dr. Ingeniero de Materiales, IETCC-CSIC, Titulado Superior, carballosa@ietcc.csic.es

^c Dr. Ing. en CC. Medioambientales, IETCC-CSIC, Titulado Superior Especializado, jolgac@ietcc.csic.es

^d Ing. Civil, IETCC-CSIC, Titulado Superior, filipe.pedrosa@ietcc.csic.es

^e Grado en Ing. de Minas, Universidad Politécnica de Madrid, joan.mas.amengual@alumnos.upm.es

RESUMEN

La Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08 recoge, entre otras acciones para asegurar la durabilidad de las estructuras de hormigón, la realización de ensayos de penetración de agua bajo presión en hormigones sometidos a ciertos tipos de ambientes. Este trabajo pretende evaluar la influencia de tres factores, la naturaleza del árido, la relación agua/cemento y el tratamiento previo (curado en balsa o secado en estufa conforme al procedimiento de la EHE-08), en los resultados obtenidos sobre hormigones fabricados con áridos de distinta naturaleza habituales en amplias de la Península Ibérica, en la medida de la penetración de agua bajo presión.

ABSTRACT

The Spanish regulation for concrete (EHE-08) includes, among other actions to ensure the durability of concrete structures, to carry out tests of water penetration under pressure in concrete subjected to certain types of environments. This work aims to assess the influence of three factors, the nature of the aggregate, the water/cement ratio and the pre-treatment (curing under water or oven-drying according to the EHE-08 procedure), in the results obtained on concretes manufactured with usual aggregates in wide the Iberian Peninsula, in the measurement of the penetration of water under pressure.

PALABRAS CLAVE: durabilidad, penetración de agua bajo presión, granito, caliza, sílice.

KEYWORDS: durability, penetration of water under pressure, granite, limestone, siliceous aggregates

1. Introducción

El ensayo de determinación de la profundidad de agua bajo presión sobre hormigón endurecido es un método normalizado por el Comité Europeo de

Normalización [1] cuya primera versión como norma europea fue publicada en el año 2001. El ensayo está basado en aplicar agua a una presión de 500 kPa durante 72 horas sobre una de las

caras de una probeta de hormigón endurecido. A continuación, se divide la probeta por rotura en dos mitades y se mide la profundidad de penetración del frente de agua. La norma especifica que, hasta el momento del ensayo, las probetas deben curarse completamente sumergidas en agua.

Este método fue empleado por vez primera por Soroka et al. a principio de la década de 1970 [2] con objeto de evaluar de forma indirecta la durabilidad de distintos hormigones, y durante la década de 1980 fue adoptado por distintos investigadores para clasificar la calidad del hormigón desde el punto de vista de su durabilidad [3-5], debido a su aparente facilidad de implementación e interpretación de resultados. Aunque el fundamento del método empleado por estos autores era el mismo, existían diferencias entre ellos tanto en el régimen de curado previo al ensayo (sumergido en agua, cámara húmeda) como en el número de escalones y la magnitud de la presión a la que se sometían las probetas.

Para tratar de reducir la variabilidad introducida por los factores mencionados anteriormente, el método fue normalizado por primera vez en Alemania en 1978 [6], y posteriormente recogido en una norma ISO [7]. En España, la primera norma que recoge el método data de 1990 [8]. La versión española de 1990 presenta diferencias importantes respecto a la actual versión europea: se establecía que, 24 horas antes del ensayo, las probetas debían secarse en estufa a $50 \pm 5^\circ\text{C}$; durante el ensayo, se aplicaban tres escalones de presión (100 kPa durante 48 horas, 300 kPa y 700 kPa durante 24 horas cada uno); y, por último, además de la penetración máxima de agua, se determinaba la profundidad media.

La Instrucción de Hormigón Estructural EHE de 1998 [9] estableció como reglamentario, por primera vez en España, la determinación de la profundidad de penetración conforme a [8] como constatación experimental, de carácter indirecto, del cumplimiento de los requisitos de

mínimo contenido de cemento y máxima relación agua/cemento establecidos como estrategia para asegurar la durabilidad de las estructuras de hormigón. Esta comprobación se realizaba para hormigones sometidos a clases de exposición con riesgo de corrosión por cloruros (IIIa, IIIb, IIIc y IV), ataque químico (Qa, Qb y Qc), hielo-deshielo (E y F) o abrasión (H). La idea subyacente es que una forma de garantizar la durabilidad del hormigón, así como su colaboración a la protección de las armaduras frente a la corrosión, consiste en obtener un hormigón con una permeabilidad reducida. Los límites considerados suficientes para garantizar esta impermeabilidad eran de 50 mm para la profundidad máxima, y de 30 mm para la profundidad media, para todos los ambientes mencionados.

La EHE fue sustituida el año 2008 por la vigente Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08 [10]. La EHE-08 mantiene la determinación de la profundidad de penetración como comprobación de que el hormigón posee una impermeabilidad suficiente como para garantizar la durabilidad durante la vida útil de la estructura. La comprobación debe realizarse empleando el escalón único de presión de la vigente norma europea, pero la Instrucción introduce la modificación de que, previo a la realización del ensayo, las probetas deben someterse a un período de secado de 72 horas en estufa a $50 \pm 5^\circ\text{C}$. Los límites son los mismos que en la anterior Instrucción y para los mismos tipos de ambiente, con la salvedad de elementos prefabricados sometidos a los ambientes IIIc, Qb y Qc, que se establecen en 30 mm para la profundidad máxima y 20 mm para la profundidad media.

Está previsto que el futuro Código Estructural, que sustituirá próximamente a la actual Instrucción EHE-08, mantenga dentro de la estrategia establecida en el Código para asegurar la durabilidad de estructuras de hormigón el requisito de comprobación de la

penetración de agua bajo presión en términos similares a los actuales.

A pesar de la relativa sencillez del método, se han planteado dudas sobre el mismo desde las primeras veces que ha sido utilizado debido a la alta variabilidad del ensayo [11], y a la influencia de distintos factores en los resultados. En este sentido, parece claro que el tratamiento previo puede tener una influencia importante en la profundidad de los frentes de penetración para un mismo tipo de hormigón, ya que además del mecanismo de transporte de agua por permeabilidad en un medio poroso debido a la diferencia de presiones, el secado previo que establece la EHE-08 puede introducir un nuevo mecanismo de transporte como es la capilaridad, que debería conducir a una mayor penetración del agua y puede contribuir a la variabilidad. Otra de las dificultades señaladas desde que se emplea el método es la dificultad para visualizar correctamente el frente de penetración, especialmente en probetas curadas por inmersión total en agua, razón por la que se cree que se introdujo el tratamiento previo con objeto de asegurar la correcta visualización del frente una vez se divide la probeta en dos mitades.

Este trabajo pretende evaluar la influencia de tres factores, la naturaleza del árido, la relación agua/cemento y el tratamiento previo (curado en balsa o secado en estufa conforme al procedimiento de la EHE-08), en los resultados obtenidos sobre hormigones fabricados con áridos de naturaleza granítica, caliza y sílicea, materiales habituales para la fabricación de hormigones en amplias zonas de la Península Ibérica. Este interés se debe a las dificultades puestas de manifiesto por fabricantes de hormigón preparado para el cumplimiento del requisito establecido en la actual Instrucción.

2. Metodología

2.1 Materiales

Para la fabricación de los hormigones objeto de este estudio se empleó un cemento del tipo III/A 42,5 N/SR conforme a la norma UNE-EN 197-1, de la empresa Cementos Tudela Veguín, S.A.

Los áridos empleados eran de naturaleza granítica, caliza y sílicea, suministrado el primero por la empresa General de Hormigones, S.A., y los dos últimos por Hanson Hispania. S.A. La Tabla 1 recoge las principales características físicas de los áridos, densidad y absorción de agua, determinadas conforme a la norma UNE-EN 1097-6.

Tabla 1. Propiedades físicas de los áridos empleados. Densidad y absorción de agua conforme a UNE-EN 1097-6.

Naturaleza	Fracción	Densidad (g/cm ³)	Absorción de agua (%)
Granítica	0/4	2,65	0,09
	6/12	2,56	1,16
	12/20	2,58	1,20
Caliza	0/4	2,69	0,43
	6/11	2,69	0,38
	11/22	2,69	0,38
Sílicea	0/6	2,66	0,30
	6/20	2,64	0,57

Con objeto de alcanzar una consistencia dentro del mismo rango (entre 5 y 10 cm, lo que corresponde al intervalo definido para una consistencia blanda en la EHE-08, incluyendo las tolerancias) para cada una de las amasadas fabricadas, se empleó el aditivo polifuncional ME 3850, proporcionado por la casa BASF.

2.2 Diseño experimental

Para la realización de este trabajo se ha llevado a cabo un diseño experimental con tres factores (árido, relación agua/cemento y tratamiento

previo al ensayo), con tres repeticiones por combinación de factores, lo que resulta en un total de $N = 36$ resultados de ensayo.

Para la relación agua/cemento (a/c) se han elegido dos niveles, $a/c = 0,5$ y $a/c = 0,7$. El nivel $a/c = 0,5$ correspondería a un hormigón que cumple con el requerimiento de contenido de agua máxima permitida para una clase de exposición del tipo IIIa (la más desfavorable desde el punto de vista de relación a/c , al ser la más alta de la permitida entre todos los ambientes estipulados en la Instrucción que requieren de la comprobación de la profundidad de penetración) y que por tanto es de suponer arrojará resultados dentro de los límites de la EHE-08 para ambos casos, puesto que la hipótesis es que el secado es más desfavorable y por tanto arroja mayores valores de profundidad de penetración; el segundo nivel elegido, $a/c = 0,7$, correspondería a un hormigón que no cumple con los requisitos, y por tanto en teoría

debería arrojar resultados fuera de los límites establecidos por la Instrucción, al menos para el tratamiento que establece de secado previo durante 72 horas.

Se fabricaron por tanto dos tipos de hormigón por cada árido, con el mismo contenido de cemento III/A 42,5 N/SR de 300 kg/m^3 , y dos relaciones a/c distintas. La elección del contenido de cemento se hizo para ser coherentes con el requisito de contenido mínimo exigido en la EHE-08 al ambiente IIIa, que como se ha mencionado previamente es a priori el más limitante desde el punto de vista de la durabilidad. Para mantener los contenidos de cemento en cada una de las fórmulas, con objeto de aislar este factor, se ajustó el volumen de los áridos para que mantuvieran las mismas proporciones entre sí en volumen. Las seis dosificaciones nominales empleadas se recogen en la Tabla 2.

Tabla 2. Dosificaciones nominales empleadas.

Material	$a/c = 0,5$	$a/c = 0,7$	$a/c = 0,5$	$a/c = 0,7$	$a/c = 0,5$	$a/c = 0,7$
	kg/m ³					
CEM III/A 42,5 N/SRC	300	300	300	300	300	300
Agua	150	210	150	210	150	210
Arena 0/4 Granítica (49%)	930	854	--	--	--	--
Árido 6/12 Granítico (15%)	280	257	--	--	--	--
Árido 12/20 Granítico (36%)	680	624	--	--	--	--
Arena 0/4 Caliza (50%)	--	--	965	887	--	--
Árido 6/11 Calizo (15%)	--	--	290	267	--	--
Árido 11/22 Calizo (35%)	--	--	685	630	--	--
Arena 0/6 Sílicea (51%)	--	--	--	--	990	911
Árido 11/22 Síliceo (49%)	--	--	--	--	960	884

En cuanto al tratamiento previo al ensayo, se han comparado dos niveles: por un lado, el estrictamente recogido en la norma UNE-EN 12390-8 de conservación de las probetas en agua a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta el momento del ensayo; y por otro, el secado previo al ensayo durante tres días en estufa a $50 \pm 5^\circ\text{C}$.

Para cumplir con el número de ensayos previstos en el diseño experimental, se realizaron un total de 18 amasadas con los componentes descritos previamente, 3 por cada una de las mezclas de la Tabla 2. Para cada amasada se fabricaron 6 probetas cilíndricas de dimensiones $\text{Ø}15 \times 30$ cm y 2 probetas cilíndricas de dimensiones $\text{Ø}10 \times 20$ cm, conforme a la

norma UNE-EN 12390-2. Todas las probetas se conservaron durante al menos 28 días sumergidas en balsa de agua a $20\pm 2^\circ\text{C}$. Transcurrido el periodo de curado, tres probetas por cada amasada se sometieron directamente al ensayo de penetración de agua bajo presión conforme a la norma UNE-EN 12390-8; otras tres probetas $\text{Ø}15\times 30$ cm se sometieron al

secado estipulado en la EHE-08 (72 horas en estufa a $50\pm 5^\circ\text{C}$). Las dos probetas $\text{Ø}10\times 20$ cm se ensayaron a compresión de acuerdo a la norma UNE-EN 12390-3, a los 28 días de edad. Para cada ensayo, por tanto, se determinaron la penetración máxima y media de agua bajo presión como la media de tres probetas.

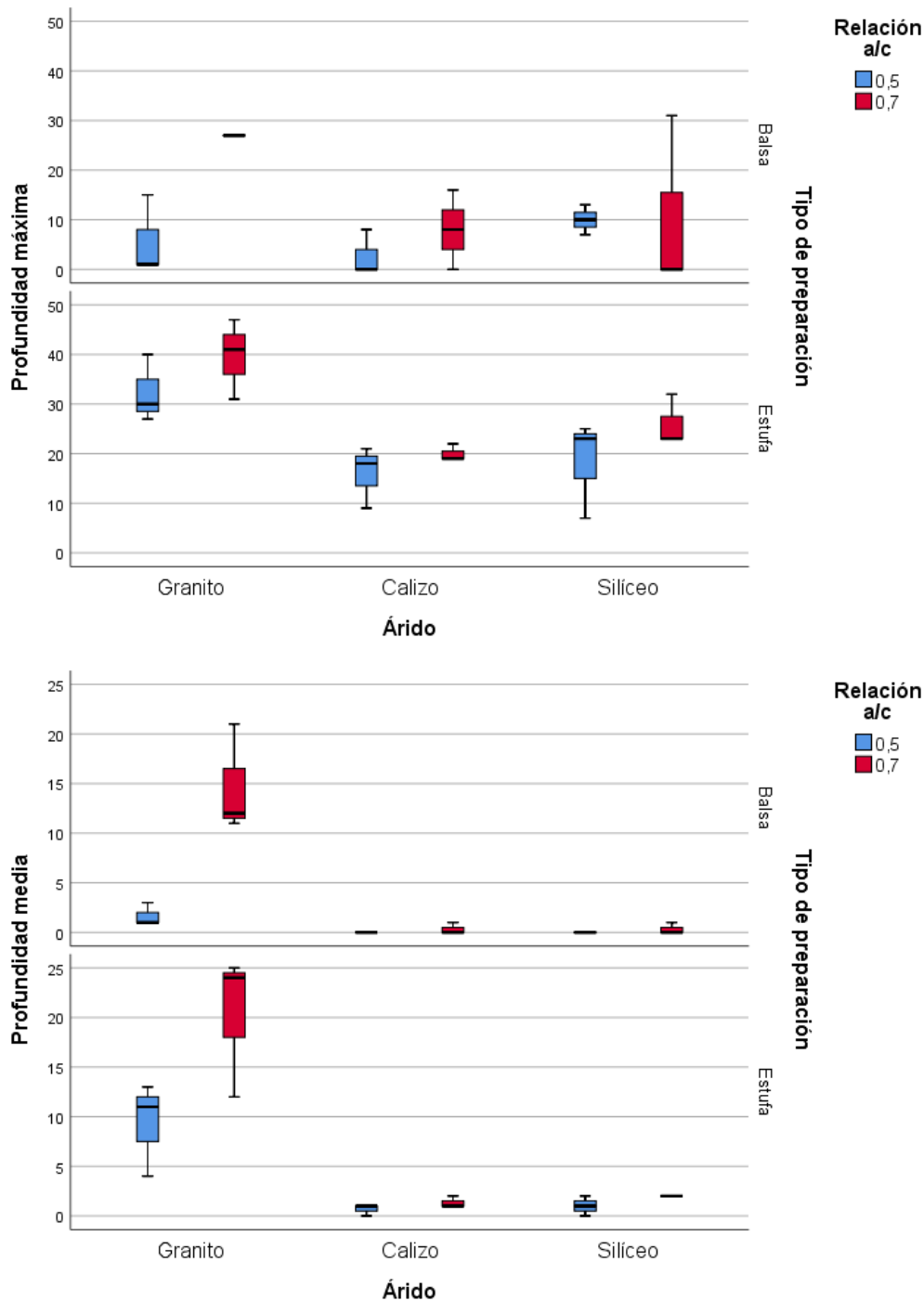


Figura 1. Diagramas de caja y bigotes de los resultados de profundidad máxima (arriba) y media (abajo) de penetración de agua (IBM® SPSS® Statistics v.25).

3. Resultados y discusión

La Tabla 3 muestra los resultados de resistencia a la compresión a la edad de 28 días obtenidos sobre las dos probetas cilíndricas de control de Ø10x20 cm, para cada una de las 6 amasadas realizadas por tipo de árido. Los resultados son coherentes con lo esperable, es decir, un descenso apreciable de la resistencia a la compresión al aumentar la relación agua/cemento de 0,5 a 0,7 (34%, 43% y 37% de caída para áridos graníticos, calizos y silíceos respectivamente).

Tabla 3. Resistencia a la compresión a 28 días para cada una de las amasadas realizadas conforme a UNE-EN 12390-3.

Relación agua/cemento	Granito	Calizo	Silíceo
0,5	46,4	48,5	43,0 (*)
	46,9	55,5	40,7
	42,3	48,9	36,9
Media	45,2	51,0	40,2
Desviación	2,5	3,9	3,1
0,7	26,9	31,3	26,9
	33,8	27,9	29,5
	28,7	28,7	19,0
Media	29,8	29,3	25,1
Desviación	3,6	1,8	5,5

(*) Resultado de una única probeta por descarte debido a rotura defectuosa

La Figura 1 muestra los diagramas de caja y bigotes de los resultados obtenidos para la penetración máxima y media. Llama la atención que la penetración de agua, obtenida como la media de tres probetas para cada una de las combinaciones de factores, está en todos los casos por debajo de los límites establecidos en la EHE-08 para hormigones de elementos en masa o armados. Este hecho, que sería de esperar en

hormigones con relación $a/c = 0,5$, es sin embargo contradictorio con lo esperable para hormigones con relación $a/c = 0,7$, ya que la comprobación de la profundidad de penetración busca precisamente la detección de hormigones que incumplan con los límites de composición establecidos en la EHE-08. Otra observación que se desprende de la Figura 1 son los bajísimos valores de penetración media obtenidos en los hormigones fabricados con áridos calizos y silíceos, tanto para relaciones $a/c = 0,5$ como $a/c = 0,7$. Tal como apuntaba la literatura [11], se observa una gran dispersión de los resultados, en lo que se refiere principalmente a la profundidad máxima de penetración. Esta elevada dispersión está muy influenciada por la presencia de resultados atípicos en probetas individuales que, si bien pueden detectarse mediante cualquier análisis estadístico de valores aberrantes, se decidió mantener en el cálculo de los resultados, ya que no se encontró ninguna razón de tipo experimental más allá de la propia variabilidad del ensayo como para considerar su descarte. En general, el tratamiento previo de secado en estufa incrementa la dispersión frente a las probetas que se conservaban únicamente en balsa hasta el momento del ensayo, si bien es cierto que el tratamiento por secado arroja valores por encima a cuando las probetas se han curado únicamente en balsa.

Las Tablas 4 y 5 muestran el análisis de varianza factorial (ANOVA) realizado sobre los resultados obtenidos. Se deduce que los tres factores del análisis, árido, relación agua/cemento y preparación previa, son estadísticamente significativos, puesto que los tres factores presentan valores p inferiores a 0,05 (columna "Sig.") para ambas medidas, penetración máxima y penetración media. Esto implica que la influencia por separado de los tres factores es apreciable desde el punto de vista estadístico, lo que significa que cambios en la

relación agua/cemento influyen en los resultados, independientemente del tipo de árido y del tratamiento. La Figura 2 representa los

valores medios obtenidos para cada factor, independientemente del resto.

Tabla 4. Tabla ANOVA para los resultados obtenidos de profundidad de penetración máxima de agua bajo presión (obtenidos mediante IBM® SPSS® Statistics v.25).

Pruebas de efectos inter-sujetos. Variable dependiente: Profundidad máxima

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.	Potencia observada
Modelo corregido	4141,333 ^a	9	460,148	7,085	,000	1,000
Intersección	11664,000	1	11664,000	179,588	,000	1,000
Árido	1322,000	2	661,000	10,177	,001	,975
Relación a/c	529,000	1	529,000	8,145	,008	,784
Preparación	1965,444	1	1965,444	30,261	,000	1,000
Relación a/c * Preparación	16,000	1	16,000	,246	,624	,077
Árido * Preparación	108,222	2	54,111	,833	,446	,177
Árido * Relación a/c	200,667	2	100,333	1,545	,232	,298
Error	1688,667	26	64,949			
Total	17494,000	36				
Total corregido	5830,000	35				

a. R al cuadrado = ,710 (R al cuadrado ajustada = ,610)

b. Se ha calculado utilizando $\alpha = ,05$

Tabla 5. Tabla ANOVA para los resultados obtenidos de profundidad de penetración media de agua bajo presión (obtenidos mediante IBM® SPSS® Statistics v.25).

Pruebas de efectos inter-sujetos. Variable dependiente: Profundidad media

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.	Potencia observada
Modelo corregido	1507,139 ^a	9	167,460	19,746	,000	1,000
Intersección	667,361	1	667,361	78,691	,000	1,000
Árido	932,056	2	466,028	54,951	,000	1,000
Relación a/c	173,361	1	173,361	20,442	,000	,992
Preparación	78,028	1	78,028	9,201	,005	,831
Relación a/c * Preparación	,250	1	,250	,029	,865	,053
Árido * Preparación	62,722	2	31,361	3,698	,039	,627
Árido * Relación a/c	260,722	2	130,361	15,371	,000	,998
Error	220,500	26	8,481			
Total	2395,000	36				
Total corregido	1727,639	35				

a. R al cuadrado = ,872 (R al cuadrado ajustada = ,828)

b. Se ha calculado utilizando $\alpha = ,05$

Para el tipo de árido, se observa que la diferencia se debe especialmente al empleo de áridos graníticos, ya que los valores de penetración máxima son similares en los hormigones fabricados con áridos silíceos y calizos. El valor de penetración media en estos dos casos es prácticamente despreciable, presentando únicamente el granito un valor considerable.

Se observa un aumento en los valores de penetración tanto máxima como media con un aumento en la relación a/c , lo que confirma la hipótesis por la que se establece este ensayo como instrumento de control de variaciones de la composición del hormigón en cuanto a su contenido en agua establecido en la Instrucción EHE-08; y viceversa: independientemente del árido y de la relación agua/cemento, el secado previo produce variación en los resultados: en este caso, la introducción del secado también aumenta el valor de penetración de agua. También se observa que, independientemente de la relación agua/cemento y el tratamiento, el empleo de distintos tipos de árido también introduce variaciones, aunque en este caso la diferencia fundamental se debe al empleo de áridos graníticos frente a áridos calizos y silíceos. La potencia observada para un nivel de confianza del 95% para los tres factores considerados independientemente es superior a 0,80.

En cuanto a la interacción entre factores, el ANOVA indica que no existiría un efecto combinado entre factores considerados por pares (relación a/c *preparación, árido*preparación o árido*relación a/c) significativo desde el punto de vista estadístico para el caso de la penetración máxima, puesto que los valores de F en todos los casos son pequeños y los valores significativos están por encima de 0,05. Sin embargo, este resultado hay que tomarlo con precaución, puesto que la potencia observada para el término de interacción es baja. Para la profundidad media, sí que existiría interacción al introducir el factor del

árido. De nuevo, esta interpretación debe realizarse con precaución, debido en este caso a la poca apreciación que tiene esta medida para el caso de áridos calizos y silíceos, lo que introduce la significación estadística, pero sin que tenga una aplicación práctica directa.

4. Conclusiones

El ensayo de penetración de agua bajo presión realizado sobre hormigones fabricados con áridos graníticos, calizos y silíceos mostró ser sensible a cambios tanto en la relación agua/cemento como al tratamiento por secado previo establecido en la EHE-08. Los resultados obtenidos sobre áridos calizos y silíceos son similares, no así los valores medidos sobre áridos graníticos, que presentan diferencias respecto a los otros dos tipos. Los resultados mostraron una gran dispersión, especialmente en los casos en que las probetas fueron secadas previamente conforme al procedimiento estipulado en la EHE-08. Sorprendentemente, el ensayo no dio como resultado valores de penetración fuera de los límites establecidos en la EHE-08, aun sometiendo a ensayo hormigones con relación agua/cemento superior a los límites máximos de contenido en agua establecidos en la Instrucción, incluso cuando fueron sometidos a secado previo.

La potencia observada en la campaña de ensayos no permite extraer deducciones estadísticamente significativas lo suficientemente concluyentes en lo referente al efecto de las interacciones entre diversos factores. Asimismo, la diferencia de comportamiento observada entre hormigones con distinto tipo de árido (especialmente granito) o la obtención de valores de penetración por debajo de lo esperado en la regulación, hace aconsejable la realización de estudios futuros para completar los resultados, aumentando por ejemplo la potencia de la campaña mediante el incremento del número de muestras, extendiéndola a un mayor número de niveles por

factor o estudiando la influencia de otros factores como el contenido de finos o la posible presencia de aire ocluido, entre otros.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración en este estudio de las empresas Cementos Tudela

Veguín, S.A., General de Hormigones S.A. y Hanson Hispania, S.A., por el suministro de los materiales empleados en este estudio, así como por los consejos prestados por parte de su personal técnico.

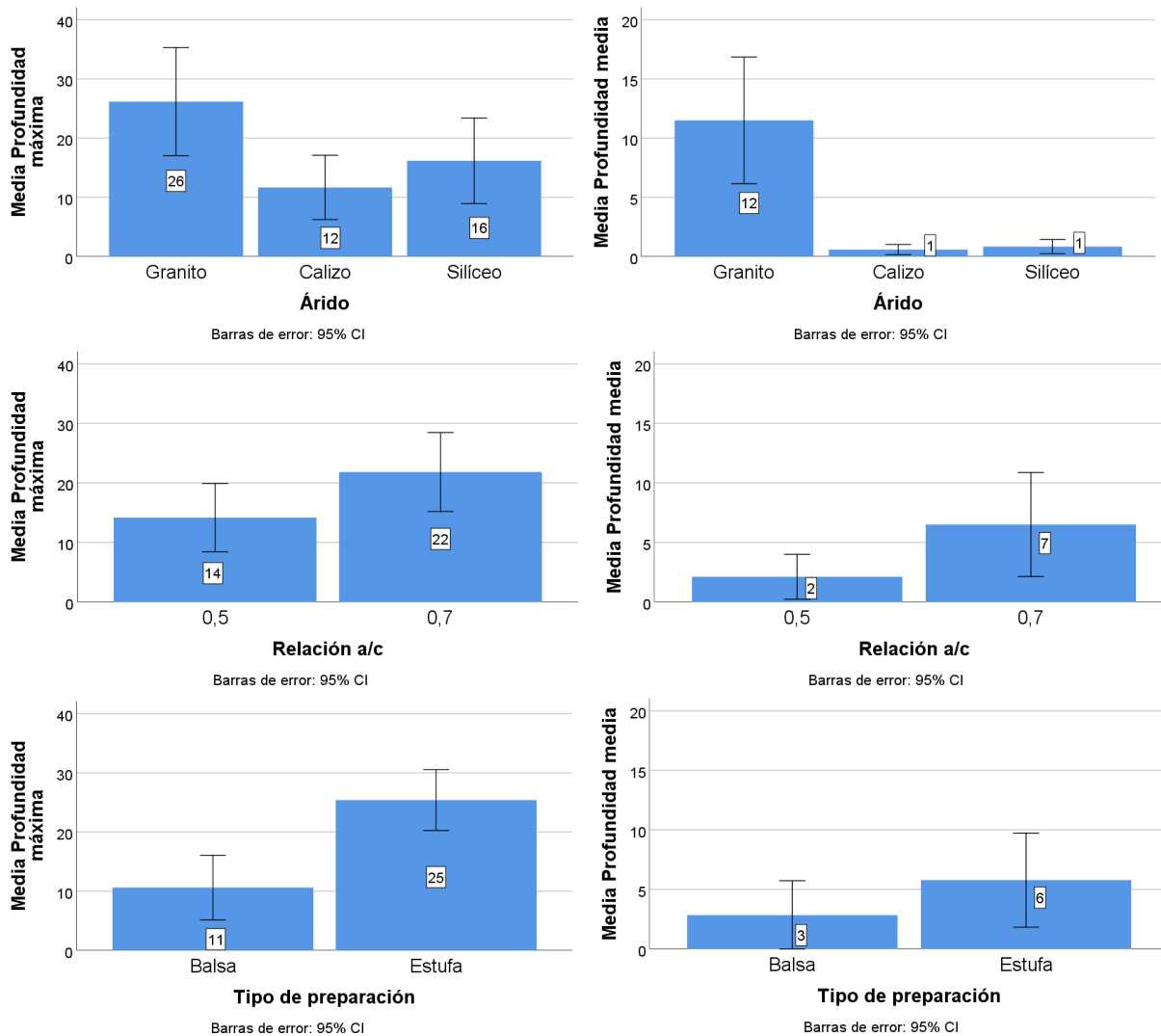


Figura 2. Diagramas de barra de los resultados de profundidad máxima y media de penetración de agua para cada factor, independientemente del resto: tipo de árido (arriba), relación agua/cemento (medio) y preparación previa (abajo) (IBM® SPSS® Statistics v.25).

Referencias

[1] AENOR-CEN (2009). UNE-EN 12390-8:2009 Ensayos de hormigón endurecido. Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión. Normalización Española (UNE).

[2] Soroka, I., et al. (Sept., 1974), Permeability of Lightweight-Aggregate Concrete, En Proceedings, Second International CIB/RILEM Symposium on Moisture Problems in Buildings, (11, pp. 10–12), Bouwcentrum, Rotterdam, Netherlands.

- [3] Diem, P. (1986), Determination of Capillary Absorptiveness of Very Dense Concrete, *Betonwerk und Fertigteil-Technik*, 52(11): 719–724.
- [4] McCurrich, L. H. (1986), Reduction in Permeability and Chloride Diffusion with Superplasticiser, *Concrete, Journal of the Concrete Society*, 9–10.
- [5] Baluch, M. H., et al., (1989) Concrete Deterioration Due to Thermal Incompatibility of its Components, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 1(3):105–119.
- [6] Deutsches Institut Fur Normung (1978), DIN 1048 Test Methods for Concrete, Deutsches Institut Fur Normung (DIN).
- [7] International Standards Organization (1983), ISO/DIS 7031, Concrete Hardened—Determination of the Depth of Penetration of Water Under Pressure, International Standards Organization (ISO).
- [8] AENOR (1990). UNE 83309:1990 EX Ensayos de hormigón. Determinación de la profundidad de penetración de agua bajo presión. Normalización Española (UNE).
- [9] Real Decreto 2661/1998, de 11 de diciembre, por el que se aprueba la «Instrucción de Hormigón Estructural (EHE)», *Boletín Oficial del Estado*, núm. 11, de 13 de enero de 1999, pp. 1525 a 1526.
- [10] Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08), *Boletín Oficial del Estado*, núm. 203, de 22 de agosto de 2008, pp. 35176 a 35178.
- [11] The Concrete Society (1988), Permeability Testing of Site Concrete—A Review of Methods and Experience, *Concrete Society Technical Report No. 31*, p. 95.