

TÍTULO: EL ÁRIDO CALIZO COMO ÁRIDO PARA HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES (HAC)

ÁREA TEMÁTICA DEL CONGRESO: ÁREA C.

AUTORES: JESÚS GIGANTO GUTIÉRREZ. Ingeniero Aeronáutico. Director División de áridos. Morteros y Áridos Especiales, S.A. MARESA. 91 571 65 11. jgiganto@grupomaresa.com.

ALFONSO J. MORANO RODRÍGUEZ. Dr. Ingeniero de Minas. Profesor Titular de Universidad. E.T.S. Ingenieros de Minas. Universidad Politécnica Madrid. Miembro de Grupo de Investigación de la UPM de Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria (SCI) <http://www.gisci.es/>. 91 336 41 78. alfonsoj.morano@upm.es.

RESUMEN: Siempre que se pretende investigar en el mundo del hormigón no se utiliza el árido calizo para realizar los ensayos, se utilizan áridos silíceos como patrón, y los resultados obtenidos se extrapola a los áridos calizos. Esto se ha demostrado no correcto ya que no es extrapolable los resultados en muchos casos, y este artículo es un ejemplo, y normalmente el comportamiento del árido calizo es más favorable. Los ensayos realizados con árido grueso, árido fino y finos calizos han demostrado unos óptimos resultados para hormigones autocompactantes (HAC). Los finos calizos obtienen un óptimo resultado en la plasticidad y estabilidad del hormigón, con la ayuda del aditivo de policarboxilato y el modulador de viscosidad, se consiguen todas las clases de hormigones autocompactantes para rampas, para muros y hasta para suelos (forjados-soleras), los áridos gruesos obtienen una óptima adherencia con el cemento y los áridos finos rellenan los huecos que no han ocupado los finos. Consiguiéndose resistencias mecánicas hasta los 65 MPa a los 28 días y manteniendo las características de los hormigones autocompactantes. Por tanto se concluye que el árido calizo es un excelente árido para la obtención de hormigones autocompactantes, pero es necesaria

una cuidada distribución granulométrica, una adecuada dosificación y un enérgico amasado para conseguir la homogeneidad del hormigón.

TEXTO:

1-. INTRODUCCIÓN. Con este escrito se pretende demostrar que los áridos calizos tienen cualidades suficientes para la fabricación de un hormigón adecuado, en particular para hormigones autocompactantes que son el último avance en la tecnología de hormigones. Los hormigones autocompactantes también llamados autocompactables y en inglés “self-compacting concrete” tienen la habilidad en estado fresco de deformarse por su peso propio, llenando todas las partes del encofrado sin necesidad de compactación interna ni externa. La mezcla debe ser capaz de sortear obstáculos sin que exista segregación de sus materiales componentes. Por tanto se obtiene un hormigón muy compacto y por tanto muy durable y además con un acabado superficial excelente. Gracias a esta propiedad se puede prescindir de operarios a pie de obra, siendo necesaria sola una única persona, en contrapartida los encofrados deben permitir el hormigonado de abajo arriba y el hormigón autocompactante es un poco más caro que el tradicional.

2-. ANTECEDENTES. A principios de 1983, en Japón, se plantea la posibilidad del desarrollo de estos hormigones como consecuencia de la necesidad de la obtención de estructuras durables (sin defectos de compactación), la reducción gradual de operarios capacitados en la industria de la construcción en este país también influyó considerablemente para que por primera vez en 1988 en la Universidad de Tokio, con el grupo de trabajo encabezado por el Profesor Okamura obtuviera un hormigón autocompactante o HAC. A mediados de los 90 se expande su desarrollo a países europeos, especialmente Suecia y Francia. A fines de los 90 se inician estudios y se aplican en los Estados Unidos.

En la Fig. 1 podemos comparar las proporciones de un hormigón autocompactante de uno convencional.

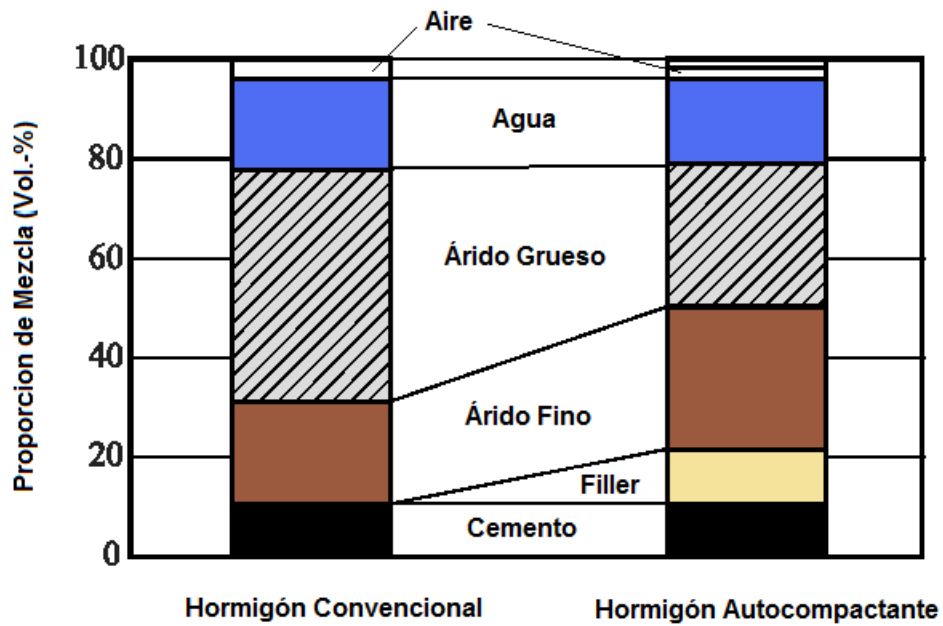


Figura. 1.- Comparación entre una mezcla de hormigón convencional y autocompactante. (Holschemacher y Klug, 2002).

El hormigón autocompactante (HAC) es el material de mayor proyección en la industria de la construcción de la última década, aunque ahora está paralizada por la crisis que padecemos.

3.- OBJETIVO. El objetivo es obtener hormigones autocompactantes (HAC) de diferentes resistencias características con áridos calizos machacados, y comprobar la idoneidad de los mismos. En la Fig. 2 se puede observar cómo se elabora un prefabricado de hormigón con hormigón autocompactante.



Figura. 2.- Vertido de hormigón autocompactante en elementos prefabricados (EFNARC, 2006).

4.- DESARROLLO. Los materiales usados son:

- Cemento CEM I 52,5 R de la fábrica de Villaluenga de la Sagra de Lafarge
- Cemento CEM II/A-M (P-V) 42,5 R de la fábrica de Villaluenga de la Sagra de Lafarge
- Aditivo Sika ViscoCrete-70 de policarboxilato modificado en base acuosa con modulador de viscosidad
- Árido calizo de 0/4, 4/20 y filler o finos (fig. 3) de MARESA obtenidos por machaqueo en la cantera de Morata de Tajuña (Madrid)
- Adición estabilizante.



Figura. 3.- a) Fino Calizo. b) Fotografía con microscopio electrónico de partículas de filler calizo.

Se han estudiado varias dosificaciones que se han ejecutado, utilizando la norma de hormigones autocompactantes UNE-EN_12350-8 para el ensayo de escurrimiento, la del hormigón endurecido UNE-EN 12390-2 de fabricación de probetas de hormigón pero sin compactar para hormigones autocompactantes (Fig. 4) y la UNE-EN 12390-3 de determinación de resistencia a compresión de probetas. Se han desarrollado varios hormigones autocompactantes de distintas resistencia características, realizando al menos dos amasadas por dosificación.

Se empezó con un hormigón típico descrito en la bibliografía pero usando los materiales indicados hormigón H-1 (tabla 1).



Figura. 4.- Moldes cilíndricos de 15 cm x 30 cm de probetas de hormigón.

Se pueden observar en la tabla 1 una relación de dosificaciones más importantes. No se han incluido en esta comunicación todos los datos producidos, por motivos de extensión y de claridad, pero si se han tenido en cuenta para obtener las conclusiones finales.

	H-1	H-2	H-3	H-4	H-5
Cemento	380,00	250,00	255,00	270,00	360,00
Árido 0/4	891,55	963,73	767,39	834,81	776,33
Árido 4/20	851,65	894,34	716,74	792,97	681,86
Finos	70,00	100,00	370,0	175	175,00
Agua	220,00	223,00	255,00	210,00	250,00
Aditivo	9,00	13,65	11,88	6,68	6,42
Otros	---	---	---	28,00	---

Tabla. 1.- Dosificación de hormigones.

En los hormigones H-1 y H-5 se ha utilizado cemento de tipo I (sombreado azul) y en el resto, el cemento utilizado es el de tipo II (sombreado naranja).

En “Otros” corresponde con la adición estabilizante indicada al principio del párrafo.

5-. RESULTADOS. Se pueden ver en la tabla 2 siguiente, como ya se ha indicado, corresponden a las dosificaciones de la tabla 1.

	H-1	H-2	H-3	H-4	H-5
T₅₀₀ (s)	4	7	---	3	5
Fluidez (mm)	655	530	---	700	680
Resistencia a 7 días (MPa)	49,7	11,2	12,6	19,0	25,9
Resistencia a 28 días (MPa)	65,0	21,0	13,5	26,3	34,1
Resultado	Autocompactante	Segrega	No autocompactante	Autocompactante	Autocompactante

Tabla. 2.- Datos de los ensayos de hormigones.

Las resistencias mecánicas tan reducidas obtenidas por la muestra H-3 son debidas a que el sistema de compactación es el del hormigón autocompactante y por tanto no se compacto en tres capas con varilla de picado. Al no ser el H-3 autocompactante se mostraron muchos poros y huecos que disminuyeron la resistencia a compresión. El resto resultados de resistencia mecánicas a compresión corresponde a la cantidad de cemento, la relación a/c y la distribución del árido que hace que sea más compacto el hormigón. En el H-2 se puso la cantidad mínima de cemento que marca la EHE-08 y es claramente insuficiente para autocompactantes. Pero un pequeño incremento en la cantidad de cemento CEM II/A-M (P-V) 42,5 R con el estabilizador, hormigón H-4, hace que cumpla para un HA-25. En la fig. 5 se puede observar el hormigón autocompactante H-4 que aunque tiene gran cantidad de agua se observa claramente que no ha segregado



Figura. 5.- Detalle del frente de avance de un hormigón autocompactante.

El hormigón H-5 fabricado con cemento CEM I 52,5 R, no presenta problemas de autocompactación, ni de resistencias. En la fig. 6 de la derecha se puede ver la forma de rotura del H-5, claramente de doble cono que indica (obviando factores externos) una probeta bien fabricada y homogénea.



Figura. 6.- Rotura a compresión de probetas de hormigón.

Además se puede observar en la fig. 7 como el árido calizo grueso es partido y no rodeado, obteniéndose una rotura eficiente. Y también se puede observar como el árido calizo fino y los finos rellenan toda la masa obteniendo un hormigón compacto, poco poroso y por tanto durable.



Figura. 7.- Rotura eficiente de probeta de hormigón.

6-. CONCLUSIONES. Observando los resultados y la dificultad para su realización se puede concluir:

- El cemento tipo II utilizado no es apropiado para la realización de hormigones autocompactantes, aunque con la adición del estabilizante se obtiene un muy buen hormigón autocompactante pero con pérdidas de resistencias mecánicas, esto justifica que el H-4 tenga una mayor cantidad de cemento.
- El cemento tipo I es adecuado para la obtención de hormigón autocompactantes.
- El aditivo superplastificante de tecnología éter policarboxílico con modulador de viscosidad se considera muy adecuado para este tipo de hormigones.
- Con los áridos calizos se pueden obtener hormigones autocompactantes de todo tipo de resistencias características, aunque sea mucho más fácil cuando el contenido de cemento supera los 300 kg/m^3 .
- Para el árido grueso recomendaría un 4/16 respecto el 4/20, para mejorar la compacidad.
- Los áridos calizos machacados utilizados han demostrado su buen comportamiento, en especial el árido fino y los finos que han fluidificado la mezcla de forma idónea, y solo requiriendo de un 2% a un 5% más de agua.

7-. BIBLIOGRAFÍA. Se expone la bibliografía consultada:

- EHE-08 (2008). Instrucción del Hormigón Estructural. Ministerio de Fomento.
- Grupo de Proyecto Europeo (GPE) del Hormigón Autocompactable (2005). The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. Specification, Production and Use. BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO.

- Grupo de Proyecto Europeo (GPE) del Hormigón Autocompactable (2006). Directrices Europeas para el Hormigón Autocompactable. Especificaciones, Producción y Uso. ANDECE, ANFAH, ANEFHOP, IECA.
- Okamura, H. and Ozawa, K. (1996). “Self-Compactable High-Performance Concrete in Japan”. ACI special publication SP159-02, pp. 31-44.
- Okamura, H. (1997). “Self Compacting High-Performance Concrete”. Concrete International, 19 (7), pp. 50-54.
- Okamura, H. and Ouchi, M. (1999). “Self-Compacting Concrete Development, Present and Future”. Proceedings of the First International RILEM Symposium, pp. 3-14.
- Okamura, H., Ozawa, K. and Ouchi, M. (2000). “Self compacting concrete”. Structural Concrete, 1, pp. 3-17.
- Okamura, H., Maekawa, K. and Mishima, T. (2005). “Performance based design for self compacting structural high-strength concrete”. ACI special publication SP228-02, pp. 13-33.
- UNE-EN_12350-8 (2011). Ensayos de hormigón fresco. Parte 8: Hormigón autocompactante. Ensayo del escurrimiento.
- UNE-EN 12390-2 (2009). Ensayos de hormigón endurecido. Parte 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia. Asociación Española de Normalización y Certificación.
- UNE-EN 12390-3 (2009). Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas. Asociación Española de Normalización y Certificación.

- Vilanova Fernández, A. (2009) “Influencia de la dosificación y empleo de diferentes tipos de cementos y adiciones en las propiedades mecánicas del hormigón autocompactante”. Tesis doctoral. UPM.

AGRADECIMIENTOS: Quiero agradecer a D. Juan José Mohedas de Lafarge España y en particular a la fábrica de Villaluenga de la Sagra de Toledo y a D. Juan Domínguez de SIKA, S. A. U. por su ayuda y suministro de material.