

Diseño de un hormigón con áridos ligeros reciclados. Análisis de su resistencia a compresión frente a la densidad

(Recibido: 06/05/2016; Aceptado: 03/06/2016)

Sánchez, E. ¹; Parra, C. ¹; Miñano, I ¹; Benito, F.J. ¹; Hidalgo, P. ²

¹Departamento de arquitectura y Tecnología de la Edificación / Universidad Politécnica de Cartagena,

²Departamento de calidad y medio ambiente/ Cementos La Cruz, S.L.,
Paseo Alfonso XIII, 30203 Cartagena, España.

Teléfono: 606147517

Email: esangrk@hotmail.com

Resumen. *Hormigones ligeros son aquellos que tienen una densidad por debajo de los 2000 Kg/m³, y pueden llegar a tener, con resistencias superiores a los 20 MPa, densidades por debajo de los 1500 Kg/m³, esto supone reducciones 40% en la densidad. En la actualidad hay diferentes técnicas para conseguir dicha reducción, (áridos ligeros, curado en autoclave, agentes inclusores de aire, etc.) El método más común es el uso de áridos ligeros, en la actualidad existe una amplia variedad pero no todos consiguen resistencias suficientes para dotar al hormigón de un uso estructural. El objeto del proyecto es, con materiales reciclados, conseguir hormigón estructural ligero, los materiales utilizados fueron; corcho y plásticos reciclados.*

Palabras clave. *áridos reciclados; hormigones ligeros; sostenibilidad.*

Abstract. *Lightweight concretes are those who have a density below 2000 Kg/m³. At present there are lightweight concretes below 1500 Kg/m³ with compressive strengths higher than 20 MPa which means a 40% density reduction in relation with conventional concretes. Currently there are different techniques to achieve such reduction (lightweight aggregates, aerated autoclaved concrete, air entraining agents, etc.) The most common method for reducing the density is the use of lightweight aggregates. At present there is a wide variety of such aggregates, but not all are capable to get concrete with enough strength for being structural. The materials used at the experiment were: cork and recycled plastics.*

Keywords. *lightweight concrete; recycled aggregates; sustainability.*

1. Introducción

El hormigón es el material de construcción más utilizado en la tierra, actualmente alrededor de 10km³/año, Gartner and Macphee [1], mientras que la cantidad ladrillos es alrededor de 2 km³/año, madera unos 1.3 km³/año y acero 0.1 km³/año, Gartner [2]. El 80% de las emisiones de CO₂ a la atmosfera en la producción de hormigón lo causa la fabricación de cemento y la industria cementera emite cerca de dos mil millones de toneladas de CO₂ lo que supone entre un 6 y un 7% del total de emisiones mundiales, Shi, et al. [3].

En este contexto resulta de máxima importancia la reducción en el uso del cemento y doblemente interesante si la reducción es a costa del uso de materiales de desecho como son los ya utilizados, humo de sílice y cenizas volantes o los objeto de estudio en el presente trabajo nano-sílice y lodos de papel calcinados.

Otro campo de estudio para la reducción del uso del cemento es la utilización de hormigón ligero.

Hormigones ligeros son aquellos que tienen densidad por debajo de los 2000 kg/m³. Esta densidad se consigue sustituyendo áridos convencionales por ligeros. Los hormigones ligeros nacieron simultáneamente a los hormigones tradicionales. En

la antigua Roma se utilizó y en la actualidad aún se mantienen en pie algunas construcciones como el Puerto de Cosa en Roma o el Panteón de Roma (273 a.C y 27 a.C, respectivamente).

Los avances de últimos años han desarrollado hormigones ligeros estructurales, (HLE), con resistencias análogas a las de los hormigones tradicionales vibrados (HTV) y densidad un 40% menor, esto los hace muy indicados para zonas con riesgo sísmico, rehabilitaciones y edificios de gran altura. Además el HLE supone una mejora medioambiental debido a que:

- muchos de los áridos ligeros se obtienen por el reciclaje de subproductos de la industria por lo que suponen una solución ecológica para determinados desechos.
- la menor densidad del HLE hace que las estructuras, al reducir su peso propio, sean más livianas, y por lo tanto se reduzcan el uso de cemento, los gastos de transporte durante la construcción y menos refuerzos de acero.

Para la redacción del trabajo se han analizado artículos científicos de los últimos diez años, publicados en revistas de alto impacto.

De los cuatro componentes del hormigón, la principal diferencia entre HLE y HTV son los áridos, de los que hay una amplia variedad.

La comunidad científica mantiene abiertas dos líneas principales de investigación sobre HLE:

- El reciclaje de subproductos de la industria para su uso como árido ligero; por ejemplo, poliuretano expandido proveniente de demoliciones, cáscaras de palma de aceite, lodos de depuradoras para base de áridos expandidos...etc. Teo, et al. [4], Shafigh, et al. [5] Mounanga, et al. [6]
- La mejora de las prestaciones del HLE; conseguir más altas resistencias a la compresión o mayor protección frente a los ataques que reducen la durabilidad del hormigón. Yang and Ashour [7], Hossain, et al. [8], Lo, et al. [9].

En base a estos datos, se han seleccionado como materiales para su posible uso como áridos, el plástico reciclado y el corcho y con ellos se han diseñado dosificaciones buscando un hormigón ligero con posible uso estructural.

2. Componentes

El reciclaje de subproductos industriales genera multitud de áridos pero en la mejora de las prestaciones se suelen utilizar sólo tres tipos; la pumita o piedra pómez, la arcilla expandida y los áridos de cenizas volantes. En las figura 1 y 2 se presentan los áridos utilizados en los artículos seleccionados para este estudio.

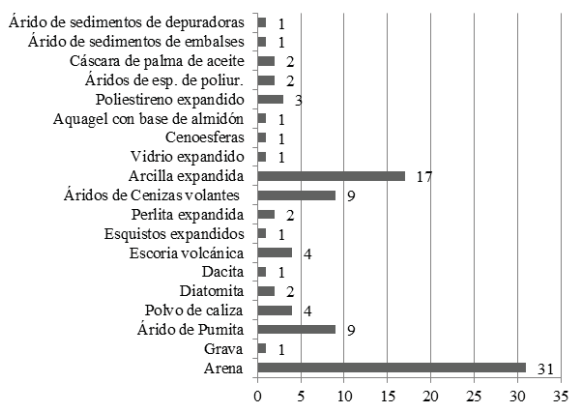


Figura 1. Frecuencia de uso de los áridos utilizados en los artículos seleccionados.

Dentro de los conglomerantes (cemento y adiciones) no existen grandes diferencias con los HTV, acaso el uso de algún árido ligero que molido muy fino reacciona y tiene propiedades puzolánicas, como por ejemplo la pumita. Respecto a los aditivos reseñar que los más característicos de los HLE son los agentes inclusores de aire y los superplastificantes:

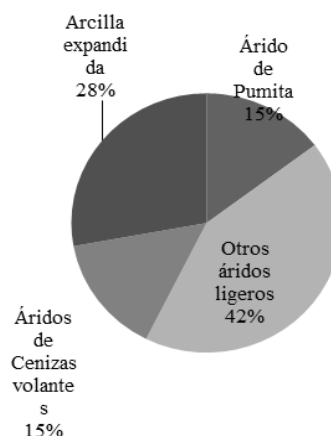


Figura 2. Porcentaje de uso de áridos ligeros.

- Los agentes inclusores de aire, al facilitar la creación de burbujas en la mezcla, reducen la densidad, por lo que son, junto con el uso de áridos ligeros, otra de las técnicas para reducir la densidad.
- El uso de los superplastificantes es muy común debido a que la alta porosidad de los áridos reduce la trabajabilidad y un aumento en la proporción de agua reduciría la resistencia, ya de por sí, más baja que la de los HTV. Por esta razón, de los HLE que contienen aditivos (un 60% de las mezclas), 3 de cada 4 utilizan este tipo de aditivo.

En el 62% de las mezclas no se utilizó ningún tipo de aditivo, siendo la resistencia media a compresión de las mezclas con aditivos ligeramente superior a la de las que no los utilizaron (31MPa frente 25MPa).

Para los ensayos en Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), se tomaron dos tipos de áridos, el corcho reciclado, del que si bien, no se esperan altas resistencias por su uso, sí que reduce notablemente la densidad y dos tipos de plástico obtenido del reciclaje de invernaderos, uno Polipropileno (PP), reforzado con un 40% carbonato cálcico moldeado por inyección y un índice de fluidez MFR (230°C, 2.16 kg) de 3-6 g/10 min y otro Polietileno de Baja densidad (PEBD) sin reforzar, moldeado por extrusión simple en forma de granzas, con un Índice de fluidez MFI (190°C, 2.16 Kg) de 0.2 - 0.7 cm³/10 min. Además, para mejorar su resistencia, se utilizó aditivo Superplastificante de alta actividad.

El cemento que se utilizó es CEM I 52,5 R, agua del suministro público, la arena 0/4 AF-T-0/4-C y el árido grueso; gravín AG-T-6/12-C, ambos áridos de canteras locales.

Las mezclas se realizaron en amasadora de carga vertical de 50 litros de capacidad.

2.2. Dosificaciones.

Sobre la dosificación, se debe comentar que en general no se suelen emplear métodos que dosifiquen el árido en peso sino que debe ser en volumen, ya que de no ser así, al ser más ligeros, el hormigón

contendría una excesiva proporción de áridos. A la hora de dar la información sobre la dosificación, sí que se deben aportar los datos de los componentes en peso, sin olvidar la densidad de los componentes. Los áridos ligeros son porosos y absorben más agua que los tradicionales. Así, es aconsejable realizar un pre-humedecido para que el todo el agua de la mezcla se use en la hidratación del cemento. Fomento [10].

Cuando no se utilicen adiciones y se busquen HLE con altas resistencias, se tiene que usar una alta proporción de cemento. Esto puede suponer que el calor de hidratación provoque microfisuras en la estructura del hormigón y se reduzca notablemente su durabilidad, Jones and McCarthy [11]. Unas condiciones de curado propicias permiten mejorar la durabilidad y alcanzar resistencias superiores. Lo, et al. [12].

Para las mezclas UPCT se partió del estado del arte y las características de los materiales seleccionados, en base a sucesivos ensayos se ajustó la proporción de los materiales para conseguir la máxima resistencia con la menor densidad. (Figura 3)



Figura 3. Probetas dispuestas para su rotura.

Tras el mezclado las probetas fueron curadas en inmersión y pulidas para su rotura según normas UNE-EN 12390-2. 2009. y UNE-EN 12390-3. 2009.

3. Resistencia a compresión

La relación resistencia a compresión-densidad del HLE, aporta la información que mejor identifica a un HLE. (figura 4).

La nube de puntos presenta una elevada dispersión pero existe una clara tendencia que muestra la relación entre densidad y resistencia. Se pueden diferenciar dos zonas; la de los HLE (por encima de los 15MPa), que raramente tienen densidad inferior a los 1500 kg/m³, y los de resistencia menor (inferior a los 15MPa), con densidades muy bajas. Los primeros, con densidad más alta, suelen utilizar áridos ligeros comunes (pumita, arcilla expandida y áridos de cenizas volantes), que están más desarrollados técnicamente, y cuyo fin suele ser, como ya se ha comentado, estructural.

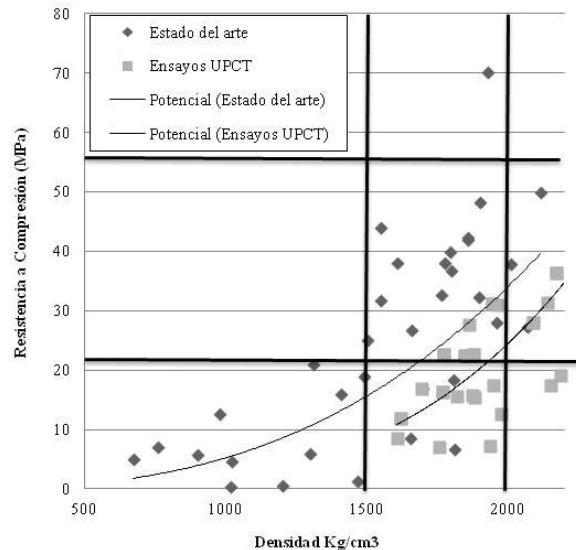


Figura 4. Relación Densidad / Resistencia a compresión de mezclas analizadas.

Los de densidades más bajas suelen contener áridos más experimentales, generalmente provenientes del reciclaje que suponen una solución a determinados materiales que de otra forma constituirían un problema medioambiental (espuma de poliuretano, áridos expandidos de residuos de depuradoras, cáscara de palma para aceite, etc.). Estos HL se utilizan como cerramiento debido a su buen comportamiento como aislante térmico y su buen comportamiento ante el fuego.

Las mezclas producidas en UPCT se agrupan en torno a densidades de 1900 kg/m³ (figura 3, tabla 1) y resistencias de 20 MPa, la clave radica en ajustar lo suficiente las proporciones para conseguir elevar la resistencia de 22 MPa sin subir la densidad de 1900 kg/m³. La relación agua aglomerante utilizada fue del 0,3.

Tabla 1. Compresión y densidad ensayos UPCT.

Prueba	Resistencia Compresión a 7 días (MPa)	Densidad media kg/m ³	% Sustitución por Árido Ligero
15-A2.	28,05	2088	16,25%
15-M5	22,63	1879	34,25%
15-A6	11,9	1618	57,91%
16-A1	31,12	1945	45,50%
16-M2	22,45	1847	45,50%
21-PV	46,92	2226,8	28,00%
21-FE	36,39	2172,1	30,00%
23-A2	22,7	1773	54,00%
23-M3	16,4	1770	56,00%
13-A2	15,7	1819,69	63,41%
13-M4	17,01	1695,5	42,00%
9 i 100	17,5	1946,64	33,33%

9 e 100	7,24	1936,28	33,33%
9 o 100	7,17	1758,48	33,34%
9 i 73	15,44	1880,27	24,33%
9 e 73	8,10	1811,39	24,33%
9 c 73	8,62	1606,31	24,33%
9 c t 73	15,78	1873,96	24,33%
9 i 37	31,35	2140,69	12,35%
9 e 37	19,23	2186,01	12,35%
9 o 37	31,04	1962,89	12,34%
9 o t 37	17,48	2151,01	12,34%

3. Conclusiones

Los ensayos realizados llevan a pensar en la posible viabilidad de los materiales seleccionados para la producción de hormigón. La resistencia alcanzada en las pruebas permite la producción de hormigón con la resistencia suficiente para utilizarse en la fabricación de hormigón estructural y la reducción considerable de la densidad lo hace muy prometedor para zonas con alto riesgo sísmico.

Las pruebas llevadas a cabo abren la puerta a estudios en la durabilidad y la microestructura del hormigón que, de ser favorables, permitirían el uso comercial a corto plazo.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean expresar su agradecimiento a Cementos La Cruz, S.L. quienes financian este trabajo. También deseamos agradecer a Antonio Trigueros, Director del Centro Tecnológico de la Construcción de la Región de Murcia (CTCON) y a Carlos Rodríguez, del departamento de materiales de construcción del CTCON.

Referencias

- [3] C. Shi, A. F. Jiménez, and A. Palomo, (2011) "New cements for the 21st century: the pursuit of an alternative to Portland cement," *Cement and Concrete Research*, vol. 41, pp. 750-763.
- [4] D. C. L. Teo, M. A. Mannan, V. J. Kurian, and C. Ganapathy, (2007) "Lightweight concrete made from oil palm shell (OPS): Structural bond and durability properties," *Building and Environment*, vol. 42, pp. 2614-2621, 7/2007.
- [2] E. Gartner, (2011) "Potential improvements in cement sustainability," in *Proc. 31st Cement Concrete Sci. Conf*, 2011, p. 13.
- [1] E. M. Gartner and D. E. Macphee, (2011) "A physico-chemical basis for novel cementitious binders," *Cement and Concrete Research*, vol. 41, pp. 736-749.
- [7] K. H. Yang and A. F. Ashour, (2011) "Aggregate interlock in lightweight concrete continuous deep beams," *Engineering Structures*, vol. 33, pp. 136-145, 1/2011.
- [8] K. M. A. Hossain, S. Ahmed, and M. Lachemi, (2011) "Lightweight concrete incorporating pumice based blended cement and aggregate: Mechanical and durability characteristics," *Construction and Building Materials*, vol. 25, pp. 1186-1195, 3/2011.
- [10] M. d. Fomento, (2009) *Instrucción de hormigón estructural.EHE*: Ministerio de Fomento. Centro de publicaciones.
- [11] M. R. Jones and A. McCarthy, (2006) "Heat of hydration in foamed concrete: Effect of mix constituents and plastic density," *Cement and Concrete Research*, vol. 36, pp. 1032-1041, 6/2006.
- [6] P. Mounanga, W. Gbongbon, P. Poullain, and P. Turcry, (2008) "Proportioning and characterization of lightweight concrete mixtures made with rigid polyurethane foam wastes," *Cement and Concrete Composites*, vol. 30, pp. 806-814, 10/2008.
- [5] P. Shafiq, M. Z. Jumaat, and H. Mahmud, (2011) "Oil palm shell as a lightweight aggregate for production high strength lightweight concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 25, pp. 1848-1853, 4/2011.
- [9] T. Y. Lo, H. Z. Cui, W. C. Tang, and W. M. Leung, (2008) "The effect of aggregate absorption on pore area at interfacial zone of lightweight concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 22, pp. 623-628, 4/2008.
- [12] T. Y. Lo, A. Nadeem, W. C. P. Tang, and P. C. Yu, (2009) "The effect of high temperature curing on the strength and carbonation of pozzolanic structural lightweight concretes," *Construction and Building Materials*, vol. 23, pp. 1306-1310, 3/2009.