

HAC2018 | V Congreso Iberoamericano de Hormigón Autocompactante y Hormigones Especiales

Valencia, 5 y 6 de Marzo de 2018

Influencia de la fracción fina mixta y de hormigón en las prestaciones mecánicas de los hormigones reciclados

C. Medina ^(1*), P. Plaza ⁽¹⁾, P. Velardo ⁽¹⁾, A. Matías ⁽¹⁾, M.I. Sánchez de Rojas ⁽²⁾
y I.F. Sáez del Bosque ^(1**)

⁽¹⁾ Department of Construction, School of Engineering, University of Extremadura, UEX-CSIC Partnering Unit, 10071 - Cáceres, Spain

⁽²⁾ Department Cements and Materials Recycling, “Eduardo Torroja” Institute for Construction Science, National Research Council (CSIC), 28033 - Madrid, Spain

Corresponding author: *cmedinam@unex.es/ **isa.f.saez@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/HAC2018.2018.6447>

RESUMEN

La utilización de áridos reciclados en el ámbito de la ingeniería civil ha incrementado en los últimos años, representando en 2014 un 8% de la producción total de áridos a nivel europeo.

La actual Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE-08) permite la incorporación parcial (< 20% peso) de áridos reciclados gruesos de hormigón como sustitutos de los áridos convencionales. El presente trabajo de investigación persigue analizar el efecto de utilizar simultáneamente la incorporación parcial (50%) de arena reciclada (hormigón o mixta) con árido grueso reciclado de hormigón (50%) en las prestaciones finales de los hormigones reciclados con fines estructurales. Para alcanzar este ítem, se caracterizó primeramente los áridos empleados, para posteriormente proceder al diseño y fabricación de las mezclas objeto de estudio. A continuación, se llevó a cabo la caracterización física (densidad y consistencia) y mecánicas (compresión, tracción y flexión) de los nuevos hormigones. Resultado de este estudio se observa que la incorporación de la fracción fina y gruesa reciclada no afecta nocivamente en las prestaciones finales de los mismos pudiendo ser empleados en el sector de la construcción y contribuyendo al actual modelo de economía circular.

PALABRAS CLAVE: prestaciones mecánicas, áridos reciclados, hormigones.

1.- INTRODUCCIÓN

Actualmente las políticas de Desarrollo Sostenible, junto con el acuerdo de París en materia de lucha contra el cambio climático ponen de manifiesto la necesidad de combinar crecimiento económico con sostenibilidad y la protección de medio ambiente; fomentando el paso de una economía lineal “tomar – fabricar – consumir – eliminar” hacia una economía circular en la que el valor de los recursos se mantenga el mayor tiempo posible y se reduzcan los residuos generados “cero residuos” al final de la vida útil de las estructuras.

En este contexto socio-económico los residuos procedentes de la actividad de la construcción y demolición (RCD) tienen especial relevancia ya que su producción anual alcanza una cifra de 500 millones de toneladas en la Unión Europea (UE), representando un 30-35% del volumen total de residuos generados en el 2014 [1].

Las tasas de valorización de estos residuos es muy heterogénea en los estados miembros de la UE, situándose la tasa media de valorización europea en un 46%. Dentro de este escenario se encuentran aquellos países con una larga tradición de reciclaje de los RCD como Bélgica u Holanda con tasas superiores al 90%, otros donde el reciclaje se está desarrollando cada vez más, como Inglaterra o Francia y finalmente, aquellos, que reciclan una cantidad reducida, como España (< 17%) y Portugal (\approx 5%) [2].

La correcta gestión de estos residuos en las plantas de tratamiento de RCD permite obtener como productos finales áridos reciclados que se caracterizan por tener una composición heterogénea debido a la gran variabilidad existente en los RCD que llegan a la planta, estando constituidos mayoritariamente por materiales de naturaleza pétreo (hormigón, áridos no ligados, material cerámico y asfalto) y en una menor proporción por otros materiales no pétreos (metales, partículas flotantes, etc.). Estos productos finales son clasificados en función de su composición en: a) árido reciclado de hormigón procedente del machaqueo de estructuras de hormigón (\geq 95% en peso); y b) árido reciclado mixto que presenta otros componentes en mayor proporción ($>$ 5% en peso), tales como material cerámico, materiales bituminosos, yeso, partículas flotantes y metales.

Los áridos reciclados procedente del machaqueo de hormigón han centrado el interés de innumerables investigaciones, observándose de forma general que la incorporación de este árido reciclado en pequeño porcentaje (\leq 30%) como sustituto parcial del árido grueso natural no provoca una merma de las prestaciones finales de los hormigones reciclados. Para porcentajes superiores, se registra una pérdida prestacional debido a las propiedades intrínsecas de estas nuevas materias primas [3, 4]. Estas experiencias previas han permitido que esta tipología de residuos se encuentren actualmente recogidos en diferentes normativas o recomendaciones de ámbito internacional [5, 6].

A nivel nacional, la actual Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE-08) [7] recoge en su anejo 15 “*Recomendaciones para la utilización de hormigones reciclados*” los siguientes aspectos: i) viabilidad de incorporar un porcentaje igual e inferior al 20% en peso de árido grueso reciclado de machaqueo de hormigón en el diseño de elementos de hormigón con fines estructurales como sustituto de los áridos naturales; ii) los áridos reciclados de hormigón deben de cumplir los requisitos exigidos en el artículo 28 de la EHE-08 para los áridos naturales; iii) excluye el empleo de áridos gruesos reciclados mixtos; y iii) no permite el uso de áridos finos reciclados independientemente de su composición.

Sin embargo, el hecho de que en esta normativa no se recoja la posibilidad de utilizar simultáneamente la fracción gruesa y fina de los residuos de la construcción y demolición, con independencia de su naturaleza, supone un auténtico reto a la comunidad científico –

técnica en aras de cumplir los objetivos marcados en las políticas europeas, nacionales y regionales de gestión de residuos.

Finalmente, indicar que el objetivo del presente trabajo de investigación es estudiar el efecto simultáneo que tiene la incorporación parcial (50%) de arena reciclada (hormigón o mixta) con árido grueso reciclado de hormigón (50%) en las propiedades en estado fresco (trabajabilidad y densidad) y endurecido (resistencia a compresión, tracción y flexión) de los nuevos hormigones diseñados.

2.- MATERIALES Y METODOLOGÍA

2.1.- Materiales

El árido natural es una grauvaca machacada que se presenta en dos fracciones granulométricas grava (GN) y arena (AN), presentando todas ellas un tamaño máximo de 20 mm y 4 mm respectivamente. En cuanto a su morfología, todas ellas se caracterizan por presentar una forma irregular y aristas marcadas (figura 1a y 1c).



Figura 1. Áridos: a) Grava natural; b) Grava reciclada; c) Arena natural; d) Arena reciclada de hormigón; y e) Arena reciclada mixta

Los tres áridos reciclados empleados en el presente trabajo proceden de una planta de gestión de RCD de la Comunidad de Extremadura, siendo divididos en función de su granulometría en: i) grava reciclada de hormigón (GH) con un tamaño máximo de 20 mm; ii) arena reciclada de hormigón (AH) y arena reciclada mixta (AM) con un tamaño máximo de 4 mm. Respecto al aspecto de estos materiales reciclados, indicar que se observa mayoritariamente restos de hormigón y árido desligado en el árido GH y AH; mientras que la AM tiene una composición heterogénea (cerámicos, hormigón, áridos desligado, madera,

etc.). En cuanto a su morfología, todos ellos presentan como denominador común una morfología variable en función del tipo de material (figura 1b, 1d y 1e).

El cemento utilizado es un cemento Portland 42.5 R sin adiciones (CEM I 42.5 R) que cumple con los requisitos físicos, químicos y mecánicos establecidos en la norma europea EN 197-1 [8].

Finalmente, el superplastificante utilizado para la fabricación de los hormigones fue un policarboxilato modificado en base acuosa (BRYTEN NF) suministrado por FUCHS Lubricantes.

2.2.- Caracterización de los áridos y del hormigón

La caracterización de los áridos gruesos (GN y GH) y finos (AN, AH y AM) ha consistido en determinar sus propiedades físicas (densidad [9], absorción de agua [9] e índice de lajas [10]) y mecánicas (coeficiente de los Ángeles [11]), siguiendo la metodología descrita en la normativa correspondiente (tabla 1).

Tabla 1. Caracterización de los áridos y del hormigón

<i>Material</i>	<i>Propiedad</i>	<i>Normativa</i>
Áridos	Densidad y absorción de agua	UNE EN 1097 – 6
	Índice de Lajas	UNE EN 933 – 3
	Coeficiente de los Ángeles	UNE EN 1097 – 2
Hormigón	Consistencia	UNE EN 12350 – 2
	Densidad en estado fresco	UNE EN 12350 – 6
	Resistencia a compresión	UNE EN 12390 – 3
	Resistencia a tracción indirecta	UNE EN 12390 – 6
	Resistencia a flexión	UNE EN 12390 – 5

Respecto a la caracterización de los hormigones, ha consistido en analizar sus propiedades físicas (densidad [13] y consistencia [12]) y mecánicas (compresión [14], tracción [15] y flexión [16]) en estado fresco y endurecido, respectivamente. El estudio de estas propiedades se llevó a cabo siguiendo la metodología recogida en la normativa correspondiente (tabla 1).

2.3.- Diseño de los hormigones

Las mezclas estudiadas en el presente trabajo han sido: un hormigón convencional (HP), un hormigón reciclado con un 50% de grava de hormigón (H50-GH+AN) y dos hormigones reciclados con un 50% de grava de hormigón y 50% de arena reciclada (hormigón o mixta), identificados como H50 – GH+AH y H50 – GH+AM, respectivamente.

El diseño de las mismas ha sido llevado a cabo por el DOE British Method [17], adoptando como datos de partida: i) las propiedades de los áridos; ii) resistencia característica de 30 MPa; y iii) relación agua/cemento (a/c) de 0,45.

La Tabla 2 muestra el resultado obtenido en el proceso de diseño y cálculo de la dosificación.

Tabla 2. Dosificación de los hormigones

Componente (kg/m ³)	TIPO DE HORMIGÓN			
	HP	H50 - GH+AN	H50 - GH+AH	H50 - GH+AM
Cemento	400.00	400.00	400.00	400.00
AN	732.36	716.94	354.62	353.65
AH	0.00	0.00	343.61	0.00
AM	0.00	0.00	0.00	339.52
GN	1149.65	562.72	556.67	555.16
GH		551.52	545.59	544.11
Agua	193.03	203.86	214.55	217.60
Superplastificante	6.20	6.20	6.20	6.20
(a/c) _{efectiva}	0.45	0.45	0.45	0.45

Nota. – AN: arena natural; AH: arena reciclada de hormigón; AM: arena reciclada mixta; GN: grava natural; y GH: grava de hormigón

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.- Caracterización de los áridos reciclados

La tabla 3 muestra los valores de las propiedades físicas y mecánicas de los áridos empleados posteriormente en la fabricación de los hormigones.

Tabla 3. Propiedades físicas y mecánicas de los áridos

Áridos	Densidad (Mg/m ³)	Absorción agua (% peso)	Índice de Lajas (% peso)	Coefficiente Los Ángeles (% peso)
GN	2.74	0.83	24.79	18
GH	2.43	5.78	18.47	27
AN	2.76	1.18	-	-
AH	2.60	4.42	-	-
AM	2.48	5.39	-	-

Nota. – AN: arena natural; AH: arena reciclada de hormigón; AM: arena reciclada mixta; GN: grava natural; y GH: grava de hormigón

Respecto a la densidad, con los áridos reciclados se tiene una menor densidad que con los áridos naturales, independientemente de la fracción granulométrica de la que se trate. El descenso de esta propiedad se sitúa en 11%, 6% y 10% respecto a los áridos naturales para la grava de hormigón, arena de hormigón y arena mixta; respectivamente. Este resultado

está directamente relacionado con la presencia de mortero adherido en los áridos reciclados de hormigón (GH y AH), así como de cerámicos en la arena reciclada mixta [18, 19]. En cuanto a la absorción de agua, se aprecia que la GH, AH y AM tienen un coeficiente de absorción de agua a las 24 horas aproximadamente 7, 4 y 5 veces superior a los áridos naturales (GH y AH). Los valores obtenidos se encuentran por encima del límite máximo de un 5% en peso exigido por la EHE-08 para los áridos naturales destinados a la fabricación de hormigones estructurales. No obstante, indicar que la EHE-08 [7] en su anejo 15 establece la salvedad que cuando son utilizados áridos reciclados con un mayor coeficiente de absorción éstos podrán ser empleados siempre y cuando la combinación árido natural/ árido reciclado tenga un coeficiente de absorción no superior al valor indicado anteriormente.

Adicionalmente, la tabla 3 muestra el índice de lajas, poniéndose de relieve que la grava de hormigón tiene una forma menos lajosa que la grava natural machacada debido a que existen partículas que presentan una forma más redondeadas, tales como los áridos desligados y productos de hormigón. En cuanto al valor de este índice, señalar que ambos casos se encuentran por debajo del límite (< 35 % en peso) establecido por la EHE-08 [7] para áridos destinados a la fabricación de hormigones.

Finalmente, indicar que la grava de hormigón tiene un coeficiente de los Ángeles 1,5 veces superior al árido natural, debido principalmente a la presencia de mortero adherido en este árido reciclado. En cuanto al valor obtenido se encuentra por debajo del valor máximo (≤ 40 % peso) exigido para áridos destinados en la fabricación de hormigones estructurales.

3.2.- Caracterización de los hormigones

3.2.1.- Propiedades en estado fresco

La figura 2 muestra los resultados obtenidos de la consistencia en el cono de Abrams y densidad de los hormigones en estado fresco.

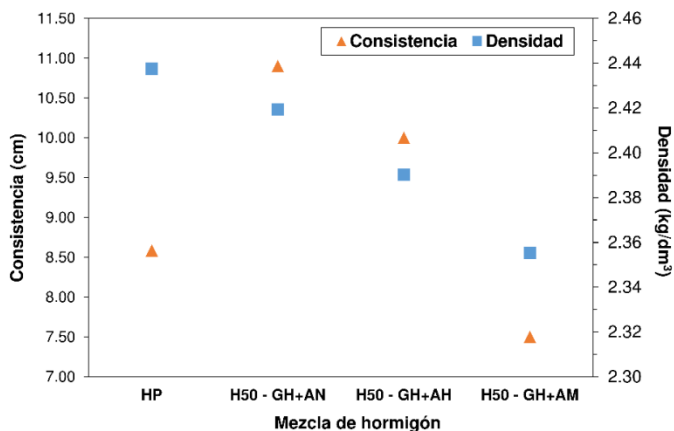


Figura 2. Propiedades en estado fresco de los hormigones

Respecto a la consistencia, se observa que la incorporación de árido reciclado no influye negativamente en la docilidad de la mezcla, mostrando el HP y el H50 – GH+AM una consistencia blanda (6 – 9 cm) y los hormigones H50 – GH+AN y H50 – GH+AH una consistencia fluida (10 – 15 cm). Adicionalmente, también se pone de manifiesto que la incorporación del árido fino reciclado produce una pequeña pérdida de la consistencia respecto a la incorporación individual de grava de hormigón (H50 – GH+AN), sin comprometer en ningún momento la trabajabilidad de los mismos.

En cuanto a la densidad del hormigón fresco, la figura 2 muestra una disminución de esta propiedad con la incorporación de árido reciclado. Este descenso se sitúa aproximadamente para el hormigón H50 – GH+AN, H50 – GH+AH y H50 – GH+AM en un 1%, 2% y 3% respecto al HP, respectivamente. Estos resultados observados están estrechamente relacionados con la menor densidad que tienen los áridos reciclados (ver tabla 3) respecto a los áridos naturales.

3.2.2.- Propiedades en estado endurecido

La figura 3 representa la resistencia a compresión, a tracción y a flexión de los hormigones estudiados a 28 días de curado, mostrando claramente que todos los hormigones tienen una resistencia mayor que la resistencia para la cual han sido diseñados (30 MPa).

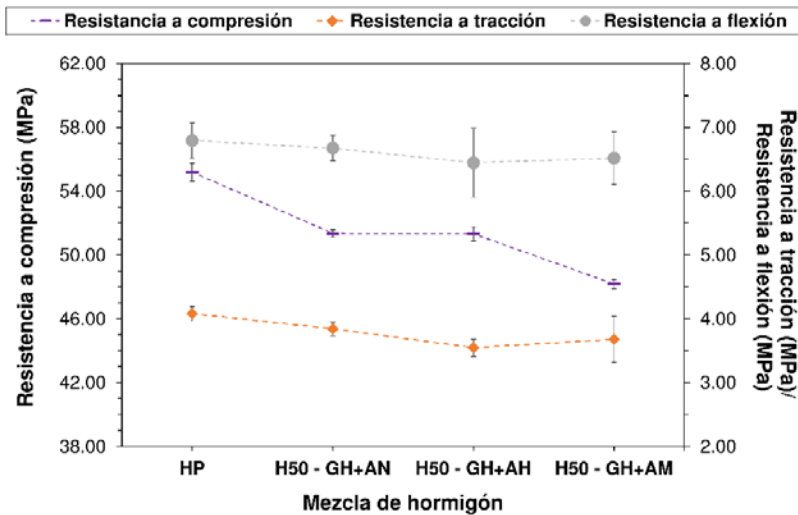


Figura 3. Prestaciones mecánicas de los hormigones

Asimismo, en esta figura se aprecia que la incorporación parcial de un 50% de grava de hormigón (H50 – GH+AN) produce aproximadamente una pérdida inferior al 6% de las prestaciones presentadas en el hormigón de referencia (HP). Respecto a la incorporación de las arenas recicladas, independiente de su origen, se observa nuevamente que las prestaciones analizadas se mantienen prácticamente constantes, registrándose pérdidas inferiores a un 7% de las mostradas por el hormigón H50 – GH+AN. Este comportamiento

observado está relacionado con las micropropiedades de las ITZs del árido reciclado/ pasta, tal y como observaron previamente Sáez del Bosque et al. [20].

4.- CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas a partir de los resultados mostrados en el presente trabajo han sido las siguientes:

- Los áridos reciclados tienen una menor densidad (GH, AH y AM) e índice de lajas (GH) y un mayor coeficiente de los Ángeles (GH) y absorción de agua (GH, AH y AM) que los áridos naturales, debido a las características intrínsecas de los materiales constituyentes (mortero, productos de hormigón principalmente).
- La consistencia de los hormigones reciclados no se ve afectada de manera significativa por la incorporación simultánea de árido grueso y fino reciclado, presentando todos ellos una adecuada docilidad.
- La densidad en estado fresco de los hormigones reciclados es inferior al hormigón convencional, siendo este descenso mayor a medida que aumenta el porcentaje de árido reciclado mixto.
- Las prestaciones mecánicas (compresión, tracción y flexión) de los nuevos hormigones a 28 días presentan un pequeño descenso respecto al hormigón convencional HP. Asimismo, la incorporación simultánea de los áridos reciclado (grava y arena reciclada) no tiene un efecto negativo en las prestaciones finales.
- Los hormigones reciclados que incorporan simultáneamente grava de hormigón y arena reciclada de hormigón o mixta podrían ser empleados en el diseño de hormigones estructurales.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido realizado gracias a la financiación de los proyectos de investigación BIA 2013-48876-C3-1-R, BIA 2013-48876-C3-2-R y BIA2016-76643-C3-1-R concedidos por el Ministerio de Ciencias e Innovación, así como por la ayuda GR-15064 concedida al grupo de investigación MATERIA por parte de la Junta de Extremadura y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional – FEDER.

REFERENCIAS

- [1] Aid, G., Svedberg, B., and K. Kreft Burman, 'Market summary and development opportunities', <http://www.optimass.se/wp-content/uploads/2014/01/1-Simm-Center-Cluster-Market-Summary-and-Development-Opportunities-2014-11-18.pdf> [Fecha consulta: 13/07/2017], 2014, p. 18.
- [2] Comisión Europea, 'Service contract on management of construction and demolition waste – SR1', Brussels, 2011.
- [3] Etxeberria, M., Mari, A.R., and Vazquez, E., 'Recycled aggregate concrete as structural material', *Materials and Structures*, **40** (2007) 529-541.

- [4] Limbachiya, M.C., 'Recycled Aggregates: Production, Properties and Value-added Sustainable Applications', *Journal of Wuhan University of Technology-Materials Science Edition*, **25** (2010) 1011-1016.
- [5] Asociación alemana de certificación, 'DIN 4226-1:2000. Concrete Aggregate', Alemania, 2000.
- [6] RILEM, 'Specifications for concrete with recycled aggregates', *Materials and Structures*, **27** (1994) 557-559.
- [7] Comisión Permanente del Hormigón, 'Instrucción Hormigón Estructural. EHE-08', Primera Edición ed., Ministerio de Fomento, Madrid. Centro de Publicaciones, 2008.
- [8] Asociación Española de Normalización, 'UNE-EN 197-1. Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes', AENOR, Madrid, 2011, p. 29.
- [9] Asociación Española de Normalización, 'UNE-EN 1097-6. Ensayos para determinación las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua', AENOR, Madrid, 2014, p. 54.
- [10] Asociación Española de Normalización, 'UNE-EN 933-3. Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 3: Determinación de la forma de las partículas. Índice de lajas', AENOR, Madrid, 2012, p. 14.
- [11] Asociación Española de Normalización, 'UNE-EN 1097-2. Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2: Métodos para la determinación de la resistencia a la fragmentación', AENOR, Madrid, 2010, p. 38.
- [12] Asociación Española de Normalización, 'UNE-EN 12350-2. Ensayo de hormigón fresco. Parte 2: Ensayo de asentamiento', AENOR, Madrid, 2009, p. 11.
- [13] Asociación Española de Normalización, 'UNE-EN 12350-6. Ensayos de hormigón fresco. Parte 6: Determinación de la densidad', AENOR, Madrid, 2009, p. 12.
- [14] Asociación Española de Normalización, 'UNE-EN 12390-3. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas', AENOR, Madrid, 2009, p. 20.
- [15] Asociación Española de Normalización, 'UNE-EN 12390-6. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 6: Resistencia a tracción indirecta de probetas', AENOR, Madrid, 2010, p. 13.
- [16] Asociación Española de Normalización, 'UNE-EN 12390-4. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 4: Resistencia a flexión de probetas', AENOR, Madrid, 2009, p. 12.

[17] Teychenné, D.C., Franklin, R.E., and Erntroy, H.C., 'Design of normal concrete mixes', Second Edition ed., IHS BRE Press, Garston , Watford, 2010.

[18] Medina, C., Zhu, W., Howind, T., Frías, M., and Sánchez de Rojas, M.I., 'Effect of the constituents (asphalt, clay materials, floating particles and fines) of construction and demolition waste on the properties of recycled concretes', *Construction and Building Materials*, **79** (2015) 22-33.

[19] Medina, C., Zhu, W., Howind, T., Sánchez de Rojas, M.I., and Frías, M., 'Influence of mixed recycled aggregate on the physical – mechanical properties of recycled concrete', *Journal of Cleaner Production*, **68** (2014) 216-225.

[20] Sáez del Bosque, I.F., Zhu, W., Howind, T., Matías, A., Sánchez de Rojas, M.I., and Medina, C., 'Properties of interfacial transition zones (ITZs) in concrete containing recycled mixed aggregate', *Cement and Concrete Composites*, **81** (2017) 25-34.