

CONTART 2016. La Convención de la Edificación
20 - 22 de abril de 2016; Granada (Spain): Colegio Oficial de Aparejadores y
Arquitectos Técnicos de Granada. Consejo General de la Arquitectura Técnica
de España, p.521-531

LOS ÁRIDOS RECICLADOS EN LA INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL EHE-08

MARTÍN MORALES, MARÍA¹; CUENCA MOYANO, GLORIA MARÍA¹; SÁNCHEZ
ROLDÁN, ZORAIDA¹; VALVERDE PALACIOS, IGNACIO¹;
VALVERDE ESPINOSA, IGNACIO¹

*1: Departamento de Construcciones Arquitectónicas
Universidad de Granada
e-mail: mariam@ugr.es web: <http://www.ugr.es>*

Palabras clave: sostenibilidad; normativa; hormigón; áridos reciclados.

RESUMEN

La valorización de los residuos de construcción y demolición que se generan en los procesos constructivos y la consecuente utilización de los productos que de ellos se obtienen, se presentan como una oportunidad para que el sector de la construcción contribuya a la sostenibilidad medioambiental. La mayoría de los residuos de construcción y demolición, por su carácter inerte, ofrecen como posibilidades de valorización su uso en forma de áridos reciclados por lo que resulta fundamental que cumplan las especificaciones descritas en la normativa, concretamente las establecidas en la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08, en el caso de su empleo para la elaboración de hormigón. Del estudio realizado sobre las características granulométricas, físico-mecánicas y químicas de 3 áridos reciclados procedentes de residuos de hormigón producidos en diferentes plantas de valorización de la provincia de Granada, se ha concluido que es viable su utilización en la elaboración de hormigón, siendo los mayores condicionantes para su empleo el mortero adherido, la absorción de agua y la presencia de sulfatos.

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

RCD: Residuos de construcción y demolición
AR: Árido reciclado

AN: Árido natural
AGR: Árido grueso reciclado
AFR: Árido fino reciclado
AGN: Árido grueso natural
HR: Hormigón reciclado

1. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción es uno de los mayores colaboradores en la degradación medioambiental, cuyos efectos negativos se hacen patentes tanto en la explotación de recursos como en la generación de residuos y emisiones. En este sentido, desde los años 70 a raíz de la Directiva 75/442/CEE [1] es corriente prioritaria en la Unión Europea la elaboración y puesta en marcha de medidas concretas para el control y tratamiento de los residuos generados en los Estados Miembros, basándose en la aplicación del principio de jerarquía, cuyos 5 niveles y por orden de preferencia son: prevención, reciclado, reutilización, valorización y eliminación. En el territorio español, su gestión debe estar enmarcada en los principios básicos establecidos tanto en la Ley 22/2011, de residuos y suelos contaminados [2] que transpone a la Directiva Comunitaria 98/2008/CE sobre residuos [3], como en el Real Decreto 105/2008 por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición [4].

Los datos estadísticos más recientes [5] indican que de los 3 billones de toneladas de residuos producidos en la Europa de los 27, el 68% correspondió a minerales RCD, por lo que los procesos de valorización de RCD que se generan en los procesos constructivos y la consecuente utilización de los productos que de ellos se obtienen, se presentan como una oportunidad para que el sector de la construcción contribuya a la sostenibilidad.

La mayoría de los RCD ofrecen como posibilidades de valorización su uso como AR, ya que al estar compuestos fundamentalmente de hormigón, mortero, piedra natural y material cerámico, pueden ser utilizados en sustitución de los áridos naturales (AN) [6]. La presencia de impurezas y contaminantes, así como su mayor absorción de agua, hacen que sus características técnicas sean inferiores a las de los correspondientes AN. No obstante, numerosos estudios han puesto de manifiesto la posible aplicación de los AR en diferentes usos, entre los que destacan la construcción de bases y subbases de carreteras, como material drenante, en la fabricación morteros y hormigones tanto estructurales como no estructurales [7-13]. Sin embargo, la normativa técnica ha incorporado muy recientemente las directrices para la utilización de AR en sus diferentes aplicaciones.

El objetivo del presente trabajo es presentar el encuadre normativo que la Instrucción de Hormigón estructural EHE-08 [14] hace de los AR, incorporándolos por primera vez en su objeto de estudio, tanto en su Artículo 28, áridos, como en los Anejos 15 y 18 sobre las recomendaciones para su utilización en hormigones estructurales y no estructurales, respectivamente. Así mismo, y con el propósito de conocer su grado de cumplimiento se propone el estudio de los AR que se producen actualmente en 3 plantas de valorización de la provincia de Granada.

2. REQUISITOS DE LOS AR SEGÚN LA INSTRUCCIÓN EHE-08

El Anejo 15 de la EHE-08 [14] define el hormigón reciclado (HR) como el hormigón fabricado con árido grueso reciclado (AGR) procedente del machaqueo de residuos de hormigón, limitando su contenido al 20% del peso total del árido grueso con el fin de que no se vean apenas afectadas las propiedades finales del HR con respecto a las de un hormigón convencional. Además, el AGR puede emplearse en la fabricación de hormigón en masa (HRM) y hormigón armado (HRA) de resistencia característica no superior a 40N/mm^2 , prohibiéndose su uso para hormigones pretensados.

La utilización porcentajes de reemplazo superiores, siempre será para la elaboración de hormigón para uso no estructural (Anejo 18) tales como hormigones de limpieza y hormigones no estructurales, pues está demostrado un aumento de la retracción y la fluencia del hormigón reciclado.

En cualquier caso, la combinación de AGN y AGR debe además satisfacer las especificaciones del Artículo 28, áridos, de la Instrucción, empleándose los métodos de ensayo contemplados en el mismo, aunque en algunos casos pueden ser necesarias modificaciones, como en el caso del contenido en cloruros que se especificará a continuación. Además, los AGR se obtendrán de hormigones sanos o de hormigones de alta resistencia, comprobándose siempre el cumplimiento de sus especificaciones, y vendrán acompañados de su correspondiente documento de identificación de los escombros de origen en el que se incluirán los aspectos en cuanto a naturaleza del material, procedencia, planta productora del árido y empresa transportista del escombro o presencia de impurezas (cerámico, madera, asfalto).

En todo caso los AGR procedentes de hormigones de distintas calidades se almacenarán separados para permitir una mayor uniformidad en las propiedades finales de los HR elaborados con sus mezclas.

Los AGR se designarán según el formato recogido en el Artículo 28 de la Instrucción (d/D-IL-N), atendiendo a sus tamaños mínimo (d) y máximo (D); su forma de presentación (IL) como áridos rodados triturados (T); y su naturaleza (N), indicando la denominación R de reciclado.

2.1 REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS

Los requisitos granulométricos que se establecen para este tipo de áridos son, además de los recogidos en el articulado en cuanto a las condiciones relativas a la cantidad e índice de lajas en el árido, la del tamaño mínimo permitido del AGR y los contenidos en arena y en desclasificados inferiores. La Tabla 1 resume dichos requisitos.

Tabla 1. Requisitos granulométricos de los AGR

| Requisito | Artículo 28 | Anejo 15 |
|---|-------------|----------|
| Tamaño mínimo d (mm) | – | 4 |
| Contenido en finos (%) | 1.5 | – |
| Desclasificados inferiores (máx) (%) | – | 10 |
| Contenido en partículas q.p. #4mm (máx) (%) | – | 5 |
| Índice de lajas (máx) | 35 | – |

2.2 REQUISITOS FÍSICO-MECÁNICOS

La tabla 2 resume los requisitos físico-mecánicos que se exigen al AGR, que son los establecidos en el articulado con las siguientes consideraciones en cuanto a la absorción de agua, que se presenta como uno de los requisitos más limitantes de los AR.

Tabla 2. Requisitos físico-mecánicos de los AGR

| Requisito | Artículo 28 | Anejo 15 |
|---|-------------|-------------------------|
| Resistencia a la fragmentación (máx) | 40 | 40 |
| Absorción de agua (máx) (%) | 5 | 7 (AGR+AGN) Y 4.5 (AGN) |
| Absorción de agua del AGR en 10 min (máx) (%) | - | 5.5 |
| Pérdida de peso 5 ciclos en sulfato magnésico (máx) (%) | 18 | - |

En el HR con un contenido de AGR no superior al 20% debe producirse simultáneamente que el coeficiente de absorción de agua del AGR no sea superior al 7% y en el AGN no superior al 4,5%. Así mismo, en HR con más del 20% de árido reciclado la combinación de AGN y AGR debe cumplir la especificación que establece la Instrucción, presentando un coeficiente de absorción no superior al 5%.

Además, se contempla el ensayo de absorción de agua a los 10 minutos de los AGR para reemplazos no superiores al 20% como control rápido en planta. En este sentido, en consonancia con los estudios que recomiendan la saturación o presaturación del AGR antes de su utilización para evitar la absorción del agua de amasado por parte de los AR, en el Anejo 18 de la Instrucción se aconseja la saturación de los mismos cuando se vayan a emplear en la fabricación de HR en más de un 20% de sustitución.

2.3 REQUISITOS QUÍMICOS

EL Anejo 15 mantiene las especificaciones del articulado en cuanto a la determinación del material de bajo peso específico, sulfatos, cloruros y materia orgánica. Respecto del contenido en cloruros se recomienda específicamente determinar el contenido en cloruros totales en vez del contenido en cloruros solubles en agua, aplicando el mismo límite que establece la Instrucción, debido a la posibilidad de que haya algunos cloruros combinados que en ciertas circunstancias puedan ser reactivos y atacar las armaduras (Tabla 3).

En lo que respecta al ensayo de la determinación del contenido en materia orgánica se recomienda realizar un lavado previo de la muestra y desecado ya que la tierra que pueda acompañar a los AR puede enturbiar la solución y variar su densidad.

Tabla 3. Requisitos químicos de los AGR

| Requisito | Artículo 28 | Anejo 15 |
|--|-------------|----------|
| Material de bajo peso específico (máx) (%) | 1 | - |
| Compuestos totales de azufre (máx) (%) | 1 | - |
| Sulfatos solubles en ácidos (máx) (%) | 0.8 | - |

| Requisito | Artículo 28 | Anejo 15 |
|-------------------------------------|-------------|----------|
| Cloruros totales (máx) (%) | 0.05 | - |
| Cloruros solubles en agua (máx) (%) | - | 0.05 |

El control del contenido en impurezas de los AGR según la Tabla 4 resulta preceptivo por la incorporación de impurezas y contaminantes que influyen negativamente en las propiedades resistentes del hormigón, tales como plástico, madera, teso, ladrillo, vidrio, materia orgánica, aluminio, asfalto, ..., incluso pudiendo provocar otras reacciones peligrosas como la reacción álcali-árido (vidrio), ataque por sulfatos (yeso), desconchados superficiales (madera o papel), elevada retracción (tierras arcillosas) o mal comportamiento hielo deshielo (algunos cerámicos).

Tabla 4. Contenido en impurezas en el AGR

| Impureza | Máximo contenido (%) del peso total de la muestra |
|--|---|
| Material cerámico | 5 |
| Partículas ligeras | 1 |
| Asfalto | 1 |
| Otros (vidrio, plásticos, metales,...) | 1 |

En este sentido, los AR procedentes de la mezcla de hormigones de distinto origen debe considerarse potencialmente reactivos sin necesidad de realización de ensayos. En caso de proceder de un único hormigón de origen controlado se realizarán las comprobaciones indicadas en el articulado, en cuanto a su estudio petrográfico, para conocer la posible reactividad que puedan presentar; y en caso de resultado positivo se realizará el ensayo acelerado en probetas de mortero descrito en la UNE 146508 EX para determinar la posible reacción álcali-silíce o álcali-silicato, o el análisis químico de la UNE 146507-2 EX para la álcali-carbonato.

3. GRADO DE CUMPLIMIENTO DE LOS AR

La comprobación del grado de cumplimiento de los requisitos granulométricos, físicos, mecánicos y químicos de los AGR procedentes de hormigón se ha realizado con los áridos producidos en tres plantas de valorización de la provincia de Granada: ECOINERTES S.L., INERTES GUHILAR S.L. y Complejo Medioambiental Vélez de Benaudalla del Consorcio de Residuos Sólidos Urbanos RESUR GRANADA. La clasificación de los dos primeros según la norma UNE-EN 933-11 se recoge en la Tabla 5, pudiéndose comprobar que mayoritariamente están compuestos de hormigón y su contenido en impurezas está dentro de los parámetros establecidos salvo en lo que respecta al contenido en material cerámico de los AGR de ECOINERTES y en asfalto para los de GUHILAR.

La Tabla 6 resume los resultados de los requisitos granulométricos, físicos, mecánicos y químicos de los AGR.

Tabla 5. Clasificación de los AGR

| Componentes | ECOINERTES | GUHILAR |
|--|------------|---------|
| Hormigón (Rc) | 80.00 | 87.00 |
| Hormigón y áridos no tratados (Rc+Ru) | 88.34 | 95.80 |
| Unidades de albañilería (Rb) | 11.66 | 2.50 |
| Materiales bituminosos (Ra) | 0.00 | 1.60 |
| Partículas ligeras (FL) | 0.00 | 0.00 |
| Otros (vidrio, plásticos, metales,...) (X) | 0.00 | 0.10 |

3.1 REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS

Los requisitos granulométricos que presentan los AGR estudiados cumplen con lo especificado en el Anejo 15 de la Instrucción EHE-08 [14]. Particularmente se alcanza un grado total de cumplimientos en lo referente a tu tamaño mínimo, establecido por la normativa como medida necesaria para garantizar la resistencia del HR, puesto que son áridos que se han procesado en la planta específicamente mediante cribado para obtener el tamaño indicado, lo que da lugar a que el contenido en desclasificados inferiores y contenido en partículas de tamaño inferior a 4mm resulte el mismo valor para cada uno de los AGR. En este sentido, la pérdida de resistencias mecánicas que podría suceder con la incorporación de hasta el 20% de AGR contemplada en la EHE-08 quedaría minimizada con la incorporación de arena natural [15], aunque algunos autores han experimentado que las propiedades del HR no se verían afectadas con una ratio de hasta el 30% de AFR, incluso se propone el uso de AFR de procedencia cerámica que contribuye a aumentar la resistencia de los HR por su atribuida capacidad puzolánica [16].

Tabla 6. Clasificación de los AGR

| Requisito | Norma | ECOINERTES | GUHILAR | RESUR |
|--|---------------|------------|----------|----------|
| Designación | | 4/31.5-T-R | 4/16-T-R | 4/40-T-R |
| Tamaño mínimo d (mm) | | 4 | 4 | 4 |
| Contenido en finos (%) | UNE-EN 933-1 | 0.15 | 0.3 | 0.17 |
| Desclasificados inferiores (máx) (%) | | 2.64 | 3.35 | 4.55 |
| Contenido partículas <4mm (máx) (%) | | | | |
| Resistencia a la fragmentación (máx) | UNE-EN 1097-2 | 29 | 34 | 29 |
| Absorción de agua (máx) (%) | UNE-EN 1097-6 | 5.679 | 2.136 | 8.43 |
| Absorción de agua en 10 min (máx) (%) | | - | 1.935 | - |
| Compuestos totales de azufre (máx) (%) | | 0.66 | 0.63 | 1.52 |
| Sulfatos solubles en ácidos (máx) (%) | UNE-EN 1744-1 | 0.54 | 0.012 | - |
| Cloruros totales (máx) (%) | | 0.014 | - | 0.053 |
| Cloruros solubles en agua (máx) (%) | | 0.007 | 0.014 | |

El coeficiente de forma, como medida de la resistencia y la demanda de agua y cemento de los áridos, es un parámetro que no se suele estudiar en las investigaciones

sobre AR pues éstos se producen con los mismos equipos que los naturales, presentando por tanto un coeficiente de forma, índice de lajas y granulometría adecuadas dentro de los husos recomendados para su empleo en hormigón estructural [14].

En el anejo 15 se limita el contenido en desclasificados inferiores de los AGR, cuyo contenido puede ser superior al del AN, debido a que pueden generarse después del tamizado, durante el almacenamiento y transporte, por su mayor friabilidad, además de por el elevado contenido en mortero, que origina unas peores propiedades que afectan negativamente a la calidad del hormigón. Este es el principal motivo por el que se restringe el uso de AR en la fabricación de hormigón estructural, a pesar de que algunos autores contemplan mejoras en la elaboración del hormigón debido a la contribución de estos finos [16].

3.2 REQUISITOS FÍSICO-MECÁNICOS

De todos los requisitos físico-mecánicos que se establecen para los áridos, sólo se manifiesta el cumplimiento en cuanto a la resistencia a la fragmentación de los AGR medida a través del coeficiente de Los Ángeles. No obstante, su valor resulta siempre más alto que en los AGN debido a la presencia del mortero adherido que se desprende durante el ensayo del árido primitivo (Domingo-Cabo, Lázaro et al. 2009) y por tanto lo hará durante el amasado del hormigón provocando un aumento considerable de finos.

La absorción de agua es una de las propiedades físicas que marcan una mayor diferencia de comportamiento entre los AR y los AN. Íntimamente relacionada con la densidad, son el mortero adherido [17], el material cerámico y las impurezas de yeso [18] los que aumentan considerablemente el índice de absorción de estos materiales, interfiriendo negativamente en el comportamiento del hormigón fresco y endurecido [19]. Para paliar este problema, algunos investigadores [20-21] han hecho mucho hincapié en la medición de la absorción, no sólo a las 24h, sino a 10 y 30 minutos [22-24] para observar el comportamiento de los materiales granulares reciclados en contacto con el agua y desarrollar modelos de premojado [25-26] que mejoren las prestaciones finales del hormigón. Se considera que con la técnica de premojar el árido reciclado, antes de su mezcla con el resto de componentes del hormigón, se forma una zona de transición pasta-árido más densa [27-28], ya que por una parte, se crea una reserva de agua interna capaz de reducir la retracción por secado que experimentan los cementos durante su fraguado y endurecimiento; mientras que por la otra, se evita que los áridos reciclados absorban parte del agua de amasado que se añade a la mezcla, que puede disminuir la trabajabilidad necesaria del hormigón [17,29]. Uno de los procedimientos más usados es el que utilizan Etxeberria and Vázquez [30] que preparan el hormigón reciclado incorporando el árido reciclado premojado al 80% de la humedad correspondiente a su absorción de agua. Debieb and Kenai [31] proponen un premojado del AGR manteniéndolo en saturación de agua durante 24h antes de ser usado, es decir más que un premojado, se considera un presaturado en agua. Katz [32] propone la mezcla previa del AR con el total del agua de amasado durante un periodo de 15 minutos, para continuar posteriormente con el procedimiento de dosificación que garantice la mezcla uniforme del hormigón.

En un exhaustivo estudio realizado por los autores de esta comunicación [13] sobre las ventajas potenciales del premojado en las propiedades del hormigón para prefabricados

elaborado con AGR, se ha llegado a la conclusión de que el hecho de premojar el AR antes de su utilización sólo mejora la trabajabilidad del mismo, siempre que se haga por un tiempo de 10 minutos, no mejorando el resto de propiedades físico-mecánicas del hormigón, por lo que de cara a la implementación industrial el uso de plastificantes provocaría el mismo efecto en la trabajabilidad sin necesidad de modificar el proceso productivo.

3.3 REQUISITOS QUÍMICOS

El cumplimiento de las especificaciones químicas por parte de los AR, y especialmente en lo relativo a los compuestos de azufre, con valores que exceden ampliamente los límites establecidos, son uno de los puntos débiles en el árido reciclado.

Los compuestos de azufre se consideran perjudiciales para el hormigón porque pueden provocar reacciones expansivas con el cemento, afectando decisivamente a la durabilidad del hormigón. La presencia de estos compuestos en el árido reciclado, en cantidades lo suficientemente peligrosas, es un hecho altamente demostrado, debido fundamentalmente a la contaminación que presentan los AR por el yeso que se utiliza en construcción. En los estudios llevados a cabo por Jiménez et al. [33] se recomienda tamizar los RCD de procedencia mixta antes de su trituración, de manera que se reduzca el contenido en compuestos de azufre. Sin embargo, concluyen que en el caso de los residuos procedentes de hormigón, el precibado previo no tiene ningún efecto en la calidad de los áridos reciclados resultantes. En este sentido, con el fomento de la demolición selectiva y la limpieza manual previa a la trituración, se eliminaría gran parte de estos productos nocivos, mejorando considerablemente la calidad de los materiales granulares reciclados [6]. En todo caso, el lavado del árido reciclado puede resultar interesante para eliminar parte de los productos a base de yeso [34]. No obstante, se suele aconsejar el empleo de cementos resistentes a los mismos, si se quiere conseguir un hormigón, no sólo resistente mecánicamente, sino durable.

Por otra parte, los cloruros contenidos en el AR, en presencia de humedad, pueden llegar hasta la armadura del hormigón y participar en los procesos de corrosión. La EHE-08 en su Anejo 15 recomienda realizar el ensayo de cloruros totales al AR, ya que puede haber ciertos cloruros combinados que en determinadas circunstancias puedan ser reactivos y ataquen a las armaduras. No obstante, la aparición de cloruros en el AR, a diferencia de los sulfatos, no está vinculada al tipo de árido sino a factores como el uso de ciertos aditivos, la exposición a ambientes marinos o a hormigones expuestos a heladas con sales fundentes [35], por lo que algunos autores consideran que un adecuado proceso de inmersión en agua del AR contribuiría también a bajar el nivel de cloruros presentes [36], mejorando considerablemente su calidad.

4. CONCLUSIONES

Del estudio del grado de cumplimiento de los requisitos establecidos en la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08 por parte de los AR que se producen en las 3 plantas de valorización de RCD estudiadas de la provincia de Granada, se puede concluir lo siguiente:

- Los AGR procedente de residuos de hormigón que se producen industrialmente en las plantas de valorización de RCD resultan perfectamente viables para la elaboración de HR para su uso tanto estructural como no estructural.
- El mortero adherido, la absorción de agua y el contenido en sulfatos son los principales problemas a los que se enfrentan los AR de cara a su empleo en la elaboración de hormigón. No obstante, la obtención de los RCD a través de una demolición selectiva y la aplicación de técnicas como el premojado o la utilización de aditivos plastificantes, así como el cribado y lavado de los AR en la planta de valorización contribuyen a mejorar considerablemente la calidad final del producto reciclado.
- Finalmente, la utilización de productos reciclados contribuye notablemente a la mejora el ciclo de vida de los mismos y por tanto a mejorar la sostenibilidad medioambiental del sector de la construcción.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Directiva del Consejo 75/442/CEE, 1975. Directiva del Consejo 75/442/CEE, de 15 de julio de 1975, relativa a los residuos.
- [2] Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. BOE número 181 de 29 de julio de 2011.
- [3] Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.
- [4] Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.
- [5] Eurostat, 2010. Environmental statistics and accounts in Europe. Publications Office of the European Union, 2011 edn. Luxembourg: Eurostat Pocketbooks.
- [6] Tam, V.W.Y. and Le, K.N. (2007). Aggregate testing using 2nd-, 7th- and 10th-order interpolation polynomials. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(1), pp. 39-57. doi:10.1016/j.resconrec.2007.02.001
- [7] Poon, C. and Chan, D. (2007). Effects of contaminants on the properties of concrete paving blocks prepared with recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, 21(1), pp. 164-175. doi:10.1016/j.conbuildmat.2005.06.031
- [8] Sánchez de Juan, M. and Gutiérrez Alaejos, P. (2009). Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, 23(2), pp. 872-877. doi:10.1016/j.conbuildmat.2008.04.012
- [9] Martín-Morales, M., Zamorano, M., Ruiz-Moyano, A. and Valverde-Espinosa, I. (2011). Characterization of recycled aggregates construction and demolition waste for concrete production following the Spanish Structural Concrete Code EHE-08. *Construction and Building Materials*, 25(2), pp. 742-748. doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.07.012
- [10] Martín-Morales, M., Sánchez-Roldán, Z., Zamorano, M. and Valverde-Palacios, I. (2013). Size grading methods to characterize construction and demolition waste for its use in structural concrete. *Materiales de Construcción*, 63 (310), p.p. 235-249. doi: 10.3989/mc.2013.mc.06511
- [11] Martín-Morales, M., Cuenca Moyano, G.M., Zamorano, M. and Valverde-Palacios, I. (2013). Recycled aggregate in road construction following the Spanish General Technical Specifications for Roads and Bridge Works (PG-3): a case study. *Informes de la Construcción*, 65 (529), p.p. 107-119. doi: 10.3989/ic.11.125

- [12] Cuenca-Moyano, G.M., Martín-Morales, M., Valverde-Palacios, I., Valverde-Espinosa, I., Zamorano, M. (2014). Influence of pre-soaked recycled fine aggregate on the properties of masonry mortar. *Construction and Building Materials*, 70, p.p. 71-79. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.07.098
- [13] Sánchez-Roldán, Z., Martín-Morales, M., Valverde-Palacios, I., Valverde-Espinosa, I. (2016). Study of potential advantages of pre-soaking on the properties of pre-cast concrete made with recycled coarse aggregate. *Materiales de Construcción*, 66 (321), e076. doi.org/10.3989/mc.2016.01715
- [14] EHE-08 (2008). Instrucción de hormigón estructural EHE-08. Madrid: Ministerio de Fomento.
- [15] Ajdukiewicz, A. and Kliszczewicz, A. (2002). Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC. *Cement and Concrete Composites*, 24(2), pp. 269-279. doi:10.1016/S0958-9465(01)00012-9
- [16] Khatib, J.M. (2005). Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate. *Cement and Concrete Research*, 35(4), pp. 763-769. doi:10.1016/j.cemconres.2004.06.017
- [17] Domingo-Cabo, A., Lázaro, C., López-Gayarre, F., Serrano-López, M.A., Serna, P. and Castaño-Tabares, J.O. (2009). Creep and shrinkage of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23(7), pp. 2545-2553. doi:10.1016/j.conbuildmat.2009.02.018
- [18] Agrela, F., Sánchez de Juan, M., Ayuso, J., Galdes, V.L. and Jiménez, J.R. (2011). Limiting properties in the characterisation of mixed recycled aggregates for use in the manufacture of concrete. *Construction and Building Materials*, 25(10), pp. 3950-3955. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.04.027
- [19] Martín-Morales, M., Zamorano, M., Valverde-Palacios, I., Cuenca-Moyano, G.M., Sánchez-Roldán, Z. (2013). Chapter 11 – Quality control of recycled aggregates (RAs) from construction and demolition waste (CDW). *Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste*. A volume in Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, p.p. 270–303. doi:10.1533/9780857096906.2.270
- [20] Tam, V.W.Y., Wang, K. and Tam, C.M. (2008). Assessing relationships among properties of demolished concrete, recycled aggregate and recycled aggregate concrete using regression analysis. *Journal of hazardous materials*, 152(2), pp. 703-714. doi:10.1016/j.jhazmat.2007.07.061
- [21] Tam, V.W.Y. and Tam, C.M. (2008). Diversifying two-stage mixing approach (TSMA) for recycled aggregate concrete: TSMA and TSMA_{sc}. *Construction and Building Materials*, 22(10), pp. 2068-2077. doi:10.1016/j.conbuildmat.2007.07.024
- [22] Evangelista, L. and De Brito, J. (2010). Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 32(1), pp. 9-14. doi:10.1016/j.cemconcomp.2009.09.005
- [23] Mas, B., Caldera, A., Del Olmo, T. and Pitarch, F. (2011). Influence of the amount of mixed recycled aggregates on the properties of concrete for non-structural use. *Construction and Building Materials*, 27, pp. 612-622. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.06.073
- [24] Djerbi Tegguer, A. (2012). Determining the water absorption of recycled aggregates utilizing hydrostatic weighing approach. *Construction and Building Materials*, 27 (1), pp. 112-116. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.08.018
- [25] González-Fonteboa, B. and Martínez-Abella, F. (2008). Concretes with aggregates from demolition waste and silica fume. *Materials and mechanical properties*. *Building and Environment*, 43(4), pp. 429-437. doi:10.1016/j.buildenv.2007.01.008
- [26] Tam, V.W.Y., Gao, X.F. and Tam, C.M. (2005). Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. *Cement and Concrete Research*, 35(6), pp. 1195-1203. doi:10.1016/j.cemconres.2004.10.025
- [27] Barra de Oliveira, M. and Vázquez, E. (1996). The influence of retained moisture in aggregates from recycling on the properties of new hardened concrete. *Waste Management*, 16(1–3), pp. 113-117.

- [28] Kou, S., Poon, C. and Etxeberria, M. (2011). Influence of recycled aggregates on long term mechanical properties and pore size distribution of concrete. *Cement and Concrete Composites*, 33(2), pp. 286-291. doi:10.1016/j.cemconcomp.2010.10.003
- [29] Corinaldesi, V. (2010). Mechanical and elastic behaviour of concretes made of recycled-concrete coarse aggregates. *Construction and Building Materials*, 24(9), pp. 1616-1620. doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.02.031
- [30] Etxeberria, M. and Vázquez, E. (2010). Alkali silica reaction in concrete induced by mortar adhered to recycled aggregate. *Materiales de Construcción*, (60), pp. 47-58. doi: 10.3989/mc.2010.46508
- [31] Debieb, F. and Kenai, S. (2008). The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete. *Construction and Building Materials*, 22(5), pp. 886-893. doi:10.1016/j.conbuildmat.2006.12.013
- [32] Katz, A. (2003). Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete. *Cement and Concrete Research*, 33(5), pp. 703-711. doi:10.1016/S0008-8846(02)01033-5
- [33] Jiménez, J.R., Agrela, F., Ayuso, J. and López, M. (2011). A comparative study of recycled aggregates from concrete and mixed debris as material for unbound road sub-base. *Materiales de Construcción*, 61(302), pp. 289-302. doi: 10.3989/mc.2010.54009
- [34] Fueyo Casado, L. (2012). Mejoras técnicas en el reciclado de residuos de construcción y demolición (RCD). Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Minas de la Universidad de Madrid.
- [35] Sánchez de Juan, M. and Alaejos Gutiérrez, M.D.P. (2006). Estudio sobre las propiedades del árido reciclado. Utilización en hormigón estructural. Madrid: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.
- [36] Sánchez de Juan, M. and Alaejos Gutiérrez, P. (2005). Aspectos químicos del árido reciclado relacionados con la durabilidad del hormigón. V Congreso Ibérico de Geoquímica. Soria. Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas. 20-23 septiembre, Soria, España.