

UTILIZACIÓN DEL HORMIGÓN CON ÁRIDO RECICLADO EN LA CIUDAD DE BARCELONA

Etxeberria Larrañaga, Miren¹

¹Departament d'Enginyeria de la Construcció; e-mail: miren.etxeberrria@upc.edu

Palabras clave: áridos reciclados mixtos, residuos de construcción y demolición, hormigón.

Resumen:

Debido a la necesidad de introducir áridos reciclados en el mercado y concretamente en Barcelona, se realizó un exhaustivo trabajo experimental en el laboratorio de Materiales de Construcción donde se determinaron las propiedades físico- químico mecánico de los áridos reciclados producidos de las dos plantas más importantes pertenecientes a Gestora de Runes de Catalunya s.a. (GRC) y se analizó el comportamiento de hormigones fabricados con áridos gruesos reciclados. A partir de los resultados experimentales, Vías y Construcciones S.A. y Lafarge ejecutaron como pruebas piloto la construcción de dos aceras de hormigón reciclado (HR) de adecuadas propiedades en MercaBarna

1.- ANTECEDENTES

La necesidad de la utilización de árido reciclado (AR) producido por las plantas de reciclaje gestionadas por GRC (1,5Mtn en 2009) en las nuevas construcciones, ha llevado a desarrollar un convenio entre GRC y el Ayuntamiento de Barcelona, mediante el cual se permite la utilización de AR para la producción de hormigones en masa de pocas exigencias estructurales. El interés demostrado por Vías y Construcciones S.A. con la colaboración de Lafarge en el análisis de la aplicabilidad de los AR procedentes de las plantas de reciclaje cercanas al área metropolitana en la fabricación de hormigones, hizo llevar a cabo dos pruebas piloto en Merca Barna a inicios del 2011. Previamente se realizó un estudio experimental en el laboratorio de Materiales de Construcción del departamento Ingeniería de la Construcción de la UPC para comprobar el comportamiento de este tipo de hormigones reciclados.

2.- PLANTAS DE RECICLAJE DE RCD

Se analizó el sistema de producción de las plantas pertenecientes a GRC cercanas a la área metropolitana de Barcelona, su alta actividad y por tanto mayor interés. Las plantas elegidas fueron las de Les Franqueses del Vallés y la del Puerto de Barcelona.

Siguiendo un criterio basado en el nivel tecnológico [1], la planta de tratamiento de Les Franqueses se clasifica como planta de un nivel tres, es decir, una planta fija y estacionaria con un nivel tecnológico avanzado. La planta de Les Franqueses además de contar con una línea de tratamiento completa cuenta con elementos de eliminación de impurezas adicionales. De acuerdo a los datos de GRC de 2009, la planta de Les Franqueses trató 112.000tn de RCD.

La planta de tratamiento del Puerto de Barcelona se sitúa en un nivel tecnológico inferior (nivel 2), de un nivel intermedio. Se trata de una planta de maquinaria móvil establecida en un emplazamiento fijo. Presentan una capacidad de tratamiento inferior a las de nivel 3 y una línea de producción básica. Contrariamente a lo anunciado, la planta de Port de Barcelona trató, en 2009, 1.020.000tn. Un valor muy superior debido a la posibilidad de utilizar múltiples líneas de producción. Considerando el nivel de aceptación del RCD que entra en las plantas, estas se clasifican dentro de la categoría 2 [1]. Categoría debida a que las plantas permiten la entrada de residuos con un contenido de impurezas superior al 10% pero nunca estas impurezas presentan un contenido de materia orgánica mayoritario.

Fueron analizadas 5 fracciones procedentes de Les Franqueses y una fracción del Puerto de Barcelona.

3.- PROPIEDADES DE LOS ÁRIDOS RECICLADOS

En total, se analizaron 3 muestras de AR grueso (2 de Les Franqueses y 1 del Puerto), una muestra de AR fino y 2 muestras de todo-uno, estas de Les Franqueses.

Las propiedades geométricas y fisicoquímicas estudiadas fueron: clasificación de componentes, granulometría, contenido de finos y de arena, índice de lajas, densidad, absorción de agua, coeficiente de Los Ángeles y contenido de sulfatos.

El AR presenta una gran heterogeneidad (29% de cerámicos, 60% de hormigón y áridos, 9% asfalto, 2% impurezas) en sus propiedades debido principalmente a la calidad de RCD original y por lo tanto denominados árido reciclado mixto. Los resultados experimentales se compararon con los límites establecidos por algunas normas internacionales (UK, Brasil, Alemania, Bélgica, RILEM, Japón, España, Australia y Hong Kong) que en su mayoría sólo permiten el uso de AR grueso por su menor riesgo de impurezas y con resultados de otros autores en experiencias anteriores.

El asfalto fue la impureza que presentó mayores porcentajes en las muestras analizadas y por encima de los máximos permitidos por la norma española. Todas las muestras contenían un porcentaje de yeso inferior al recomendado aunque el contenido de sulfatos solubles de la grava de Les Franqueses se situó justo por encima del límite. En consecuencia se puede recomendar la aplicación de un control más exhaustivo del RCD que entra en la planta para minimizar la llegada de estos a la línea de producción.

Todas las muestras analizadas presentaron unas curvas granulométricas adecuadas a la norma según su tipología. Las muestras de grava no cumplieron la limitación de contenido de finos de la EHE pero todas cumplieron con las normas internacionales menos restrictivas en este aspecto. El contenido de arena fue adecuado en Les Franqueses y aceptable en el Puerto.

Con respecto al índice de lajas, todas las fracciones cumplían con solvencia el límite establecido por la EHE ya que estas plantas utilizan los equipos de trituración óptimos para la obtención de partículas con formas adecuadas.

Los valores de absorción obtenidos en áridos gruesos resultaron críticos al ser verificados siguiendo la norma española. En cambio, las principales normativas internacionales proponen valores de absorción alcanzados por estos AR. Además, los coeficientes de Los Ángeles de las muestras analizadas se establecieron, en todos los casos, por debajo del límite actual fijado en la EHE.

Por último se puede afirmar que los AR gruesos seleccionados para la fabricación de hormigón presentan unas características adecuadas de los parámetros estudiados.

4.- PRODUCCIÓN DEL HORMIGÓN

Para el análisis de la influencia del árido reciclado mixto en el comportamiento del hormigón, se fabricaron hormigones con 25%, 50% y 100% de árido grueso reciclado en sustitución al árido grueso natural. En todos hormigones se utilizó, la arena caliza y la misma cantidad de cemento con una relación agua-cemento efectiva de 0.60 y superplastificante para conseguir una trabajabilidad adecuada. Para la fabricación de hormigones se utilizaron tres tipos de cemento: CEM I 52.5 R, CEM I 42.5 SR y CEM II A-L 42.5 R para analizar la influencia en la durabilidad respecto a ataque a sulfatos.

Las fracciones de los AR mixtos gruesos utilizados de la planta del Puerto de Barcelona (4/20) y de Les Franqueses (4/16) obtuvieron una densidad y absorción de 2.07 kg/dm³ y 9.79%, y 2.10 kg/dm³ y 8.88%, respectivamente.

La metodología de dosificación seleccionada fue por compacidad máxima. Se analizó la resistencia a compresión (a 7, 28 y 56 días), tracción indirecta, flexo-tracción, módulo de

elasticidad, densidad y coeficiente de succión a 28 días. Se analizó la expansión por ataque de sulfatos de cada uno de los hormigones.

5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

Los resultados obtenidos tanto en estado fresco como endurecido de los hormigones fabricados fueron los siguientes:

5.1.- Hormigón fresco

A medida que aumenta el porcentaje de árido reciclado en el hormigón, se dificulta el control de la trabajabilidad del mismo, siendo difícil a porcentajes superiores al 50%. Se recomienda que los AR se utilicen con alta cantidad de humedad, además de añadir, durante la fabricación, el agua que el AR será capaz de absorber en 10-30 minutos.

La consistencia de todos los hormigones fabricados con aditivos fue aceptable. La gran mayoría de los hormigones fabricados presentaron consistencias blandas- fluidas en el instante de la fabricación pero a unos 20-30 minutos la consistencia pasó a ser plástica.

Los hormigones con áridos del Puerto de Barcelona fueron los menos trabajables, y por consiguiente a los que más aditivo se les tuvo que añadir. Esto fue debido a la cantidad de áridos cerámicos con diámetro nominal de 20 mm (superior a la grava de la planta de les Franqueses aunque con una composición similar).

5.2.- Hormigón endurecido

Respecto a la densidad del hormigón fabricado con AR, se puede decir que cuanto mayor porcentaje de AR se utilizó y menor su densidad, menor fue también la densidad del hormigón reciclado [2].

Debido a un tamaño menor y forma más adecuada del árido procedente de la planta de Les Franqueses, los hormigones fabricados con estos AR obtuvieron mejores propiedades que los hormigones del Puerto de Barcelona. Aunque todos los hormigones fabricados, tanto con el 50% como con el 100% del árido de la planta de Puerto obtuvieron resistencias a 28 días superiores a 17.5 MPa, por convenio estimada por el Ayuntamiento de Barcelona para esta aplicación. A 56 días, los hormigones con 100% con áridos de la planta del Puerto fabricados con CEM 42.5 y CEM I 52.5R obtuvieron 25 MPa y 34 MPa, respectivamente.

Los hormigones fabricados con áridos de Les Franqueses fueron los que obtuvieron las mejores resistencias a tracción, probablemente debido a una muy buena interfase entre la pasta y el árido.

Todos los hormigones estudiados padecieron un descenso del módulo elástico al aumentar el % de sustitución por AR, siendo el menor descenso el producido por los hormigones fabricados con áridos de Les Franqueses.

Respecto a la resistencia a flexo-tracción se detectó que ninguno de los hormigones estudiados alcanzaba los valores de la resistencia a flexo-tracción obtenidos por el hormigón convencional (HC). Sin embargo, todos los hormigones fabricados con 50% de AR de las dos plantas estudiadas consiguieron la mínima resistencia a flexo-tracción requerida para pavimentos portuarios (4MPa).

Respecto la capacidad y absorción capilar, se detectó que el hormigón fabricado con el árido del Puerto tenía el peor comportamiento. Los hormigones fabricados con menos del 50% de AR obtuvieron un coeficiente de succión similar al HC.

El hormigón con 100% de árido procedente de la planta del Puerto y fabricados con CEM I 52.5R o CEM II A-L 42.5 sufrieron la mayor expansión, siendo estas inferiores al 0.1% y por lo tanto muy por debajo de expansiones con riesgo de rotura [3].

6. PRUEBA PILOTO: CONSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN RECICLADO EN MERCA BARNA

Se llevaron a cabo dos pruebas pilotos de construcción de aceras de hormigón reciclado en Merca Barna. Las dos pruebas pilotos fueron llevadas a cabo por Vías y Construcciones S.A. en el periodo de noviembre 2010 y febrero del 2011 con la colaboración de Lafarge. De la misma forma, los AR utilizados en la fabricación de los hormigones fueron suministrados por GRC procedentes de la planta de reciclaje del Puerto de Barcelona.

Se determinaron las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los AR utilizados. se definió una dosificación para garantizar como mínimo la resistencia a compresión de 20 MPa. A la hora de la ejecución en obra se determinó la consistencia del hormigón fresco y se fabricación probetas para examinar las propiedades físico-químicas del hormigón endurecido.

Los ensayos de hormigón endurecido llevados a cabo fueron la resistencia a compresión a 7, 28 y 56 días, tracción indirecta, flexo-tracción y módulo de elasticidad a 28 días. Además del análisis de expansión por ataque por sulfatos.

6.1 Materiales utilizados

En las dos pruebas piloto se utilizó cemento CEM II A-V 42,5 R fabricado por Lafarge Montcada. En las dos pruebas piloto se utilizó arena 0/4 mm procedente de la cantera del Garraf y gravilla 11/22 de la cantera de Cervelló.

Los AR utilizados en las dos pruebas piloto procedían de la planta de reciclaje del Puerto de Barcelona con una fracción de 8/16mm. Se determinaron las mismas propiedades que en la fase experimental con resultados similares a los obtenidos en los ensayos de laboratorio. Se destaca una presencia ligeramente elevada de asfalto y un nivel bajo del resto de impurezas.

6.2 Dosificación y fabricación del hormigón

Las dos pruebas piloto se realizaron con la misma dosificación: 260 kg/m³ cemento, 50% de AR en sustitución al árido natural y una relación agua-cemento total de 0,75 (la utilización de AR para la fabricación de hormigones requirió una mayor cantidad de agua debido a su capacidad de absorción). Además, se utilizaron dos aditivos para conseguir una dosificación adecuada.

En todas las series realizadas la consistencia obtenida fue similar aproximadamente de 9 cm y el aire ocluido presente en el hormigón fresco de 2.6%.

6.3 Resultados y discusión de las propiedades del hormigón

La densidad del hormigón de la prueba piloto 1 fue de 2.25 kg/dm³. De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede afirmar que las propiedades obtenidas fueron más que adecuadas para la aplicación definida ya que obtuvieron resistencias a compresión a 28 días cercanos a 30MPa y de 34 MPa a 90 días. Por este motivo, se recomienda la reducción de la cantidad de cemento para este tipo de aplicaciones para optimizar los recursos.

Por otra parte cabe destacar que el orden de magnitud de los resultados obtenidos se asemejó al de los resultados obtenidos en la fase experimental. Finalmente, se puede también incidir en el hecho de que los resultados a flexo-tracción superan, del mismo modo que los hormigones al 50% fabricados en el laboratorio, los 4MPa requeridos para pavimentos portuarios. Todos los hormigones sufrieron una expansión menor al 0.02% a 6 meses de edad.

[1] Vegas, I.; Lisbona, A. et al.: "Characterization of mixed recycled aggregates for use in non-structural concrete: influence of the treatment process". International Rilem. Sao Paulo, Brasil. December, 2010.

[2]De Brito J.; Pereira A.S. and Correia J.R.: "Mechanical behaviour of non-structural concrete made with recycled ceramic aggregates" Cement and concrete composites 27 (2005) 429-433.

[3] Athan, H.N and Dikme, D.: "Use of mineral admixtures for enhanced resistance against sulfate attack" Construction and Building Materials 25 (2011) 3450-3457.