

Reutilización de residuos finos de granito con granalla en el Hormigón de Muy Alto Rendimiento

Íñigo López Boadella ^{1 b}, Fernando López Gayarre ^{1 * a}, Jesús Suárez González ^{1 a},
Carlos López-Colina Pérez ^{1 a}, Miguel Ángel Serrano López ^{1 a}

^a Prof. Dr. Departamento de construcción e Ingeniería de Fabricación. Universidad de Oviedo

^b Dr. Departamento de construcción e Ingeniería de Fabricación. Universidad de Oviedo

RESUMEN

En este trabajo se ha analizado la posibilidad de reutilizar residuos resultantes del corte del granito como parte de la estructura granular de un hormigón de muy alto rendimiento con fibra corta de acero (HMARF). Sustituyen parcial o totalmente al cuarzo micronizado utilizado habitualmente en la dosificación de estos hormigones. Los niveles de sustitución fueron el 35%, el 50%, el 70% y el 100%. Se observa una reducción en la trabajabilidad, un incremento en la densidad y en la resistencia a compresión y un ligero descenso en la resistencia a flexión. Es viable la utilización de este tipo de residuos como alternativa al cuarzo micronizado.

ABSTRACT

In this work the possibility of reuse of granite cutting waste as part of the granular skeleton of a very high performance concrete with short steel fiber (UHPFC) has been analyzed. They replace, partially or totally, the micronized quartz commonly used in the dosage of this type of concrete. The substitution levels were 35%, 50%, 70% and 100%. There is a reduction in the workability, an increase in the density and in the compressive strength and a slight decrease in the flexural strength. . The use of this type of waste is viable as an alternative to micronized quartz in the dosage of UHPFC.

PALABRAS CLAVE: Hormigón de Muy Alto Rendimiento, residuos de granito, fibras de acero, resistencia a compresión, resistencia a flexotracción.

KEYWORDS: Ultra High Performance Concrete, granite cutting waste, steel fibres, compressive strength, flexural strength

1. Introducción

En 2010, los residuos de construcción y demolición suponían un porcentaje del 34,4% en relación con la totalidad de los residuos generados en la Unión Europea. Se generan alrededor de 860 millones de toneladas de los que, aproximadamente, el 66% eran residuos cerámicos y residuos de hormigón [1] [2]. Aunque son prácticamente inertes, debido a su gran volumen, representan un serio problema medioambiental e incluso, en ocasiones,

dependiendo del país, se acumulan en áreas situadas fuera de vertederos controlados. Con un tratamiento adecuado y fomentado políticas más sostenibles estos residuos pueden ser introducidos de nuevo en el proceso constructivo y reducir así la sobreexplotación de los recursos naturales y el uso de vertederos.

Las industrias del cemento y el hormigón están entre las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero. Entre otras

actuaciones, para mejorar la sostenibilidad en estos sectores productivos, se diseñan hormigones más sostenibles que tratan de reducir la cantidad de cemento y utilizar residuos obtenidos del proceso constructivo o de industrias auxiliares del mismo. En general, estos residuos se utilizan como sustitutos parciales o totales de los áridos naturales en la fabricación de Hormigón de Muy alto Rendimiento (HMAR) [3], [4], [5], [6], [7].

Este trabajo tiene como objetivo introducir los residuos obtenidos en el proceso de corte de los bloques de granito obtenidos en la cantera. Son partículas muy finas que se mezclan con restos de acero generados por las pequeñas bolas de este material que se introducen en los telares de corte para favorecer dicho proceso. Este material sustituye al cuarzo micronizado, partículas inferiores a 40 μm , que se utilizan en el esqueleto granular del HMARF. Se prepararon mezclas con diferentes porcentajes de sustitución (el 35%, el 50%, el 70% y el 100%) de los áridos naturales por residuos del corte de granito con granalla. Las sustituciones se realizaron en volumen. Para evaluar la influencia de estos residuos sobre las propiedades del HMARF se realizaron ensayos

de trabajabilidad, densidad, resistencia a compresión, módulo de elasticidad y resistencia a flexión en cada una de las series de probetas fabricadas.

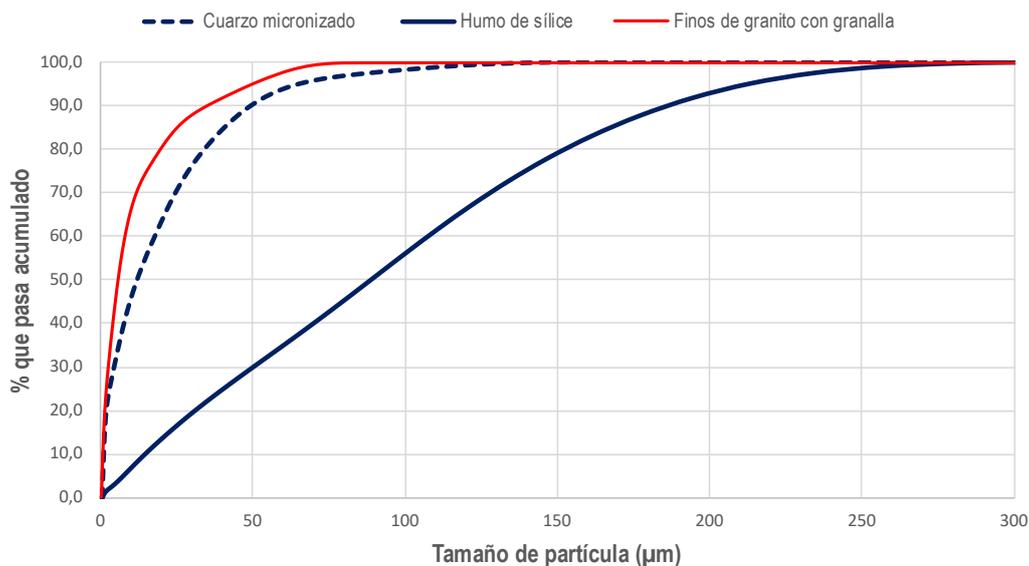
2. Materiales

2.1 Cemento.

Se utilizó cemento CEM I 42.5 R/SR. Presentaba una resistencia a compresión a dos días de 42.5 MPa u de 62.5 a 28 días.

2.2 Áridos.

Se utilizaron dos fracciones de arena sílice procedente de una cantera situada en Salas (Asturias): una fracción gruesa de 0.5/1.6 mm y una fracción fina de 0/0.5 mm. Además, el esqueleto granular del hormigón se completaba con humo de sílice densificado y cuarzo micronizado. Los finos de granito con granalla (FGG), encargados de sustituir a los finos de sílice, completan las diferentes tipologías utilizadas. Las curvas granulométricas de los áridos se pueden observar en la **figura 1** y sus principales propiedades en la **tabla 1**.



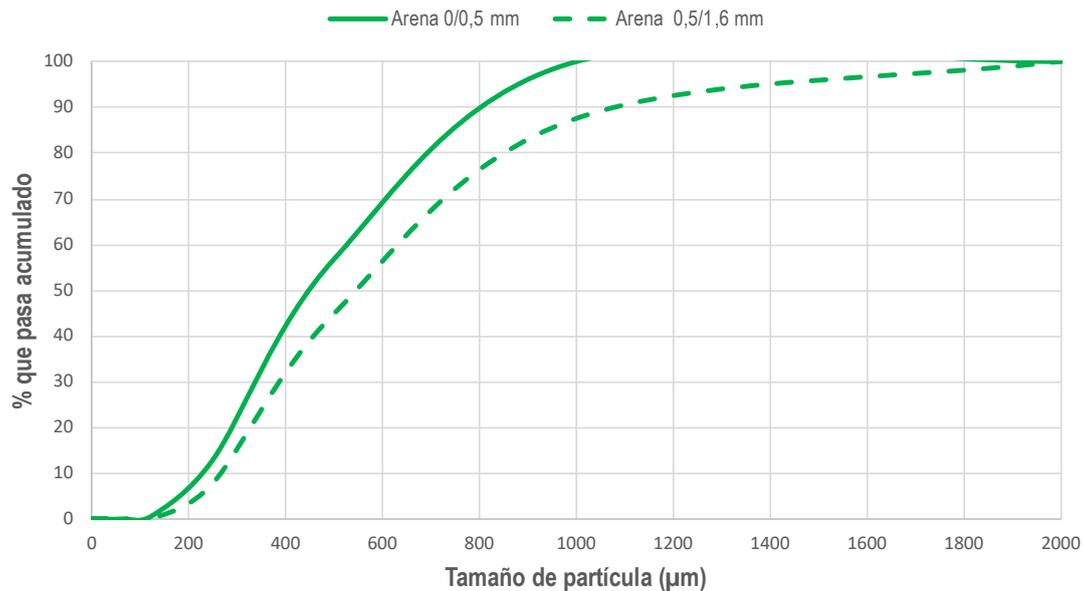


Figura 1. Curvas granulométricas

Tabla 1. Propiedades de los materiales

Propiedad	Humo de sílice	Cuarzo micronizado	Finos granito	Arena 0/0.5 mm	Arena 0.5/1.6 mm
Densidad (kg/m ³)	2300	2609	2860	2616	2616
Absorción a 24 h (%)	-	-	-	0.28	0.53
Equivalent de arena)	-	-	-	97	97
Humedad (%)	< 3.00	< 0.20	0.00	0.00	0.00

2.3 Aditivos.

Para obtener un óptima trabajabilidad se utilizaron dos tipos de aditivos superplastificantes: Sika Viscocrete-225 (polvo) y Basf Master Ease 5025 (líquido).

2.4 Fibras.

Las fibras de acero utilizadas tenían un diámetro de 0.2 mm y una longitud de 13 mm (figura 2). Su resistencia a tracción era de 3000 MPa.



3. Programa experimental

Se fabricaron 5 amasadas de HMARF. Una amasada corresponde al hormigón de control y las otras cuatro incorporan el 35%, el 50%, el 70% y el 100% de residuos procedentes del corte de granito con granalla sustituyendo al cuarzo micronizado. Las sustituciones se realizaron en volumen. En la **tabla 2** se observan las distintas dosificaciones utilizadas en cada una de las amasadas.

En cada una de las amasadas se fabricaron tres probetas cúbicas de 10×10×10 cm, tres probetas cilíndricas de 15×30 cm y tres probetas prismáticas de 10×10×40 cm, de acuerdo a la norma UNE-EN 12390-1 [8]. Todas las probetas se curaron hasta los 28 días a una temperatura de 20° C y un 95% de humedad

relativa según se especifica en la norma UNE-EN 12390-2 [9].

La trabajabilidad del hormigón fresco se realizó utilizando un molde troncocónico con una altura de 200 mm, con un diámetro superior de 130 mm y un diámetro inferior de 200 mm. Estos

valores son ligeramente superiores a los establecidos en la norma NF P18-470 [10].

Una vez finalizado del periodo de curado se realizaron ensayos de densidad [11], resistencia a compresión [12], módulo de elasticidad [13] y resistencia a flexión [10].

Tabla 2. Dosificaciones

Material	Control	35% FGG	50% FGG	70% FGG	100% FGG
Cemento	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Arena 0/0,5	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378
Arena 0,5/1,6	0,706	0,706	0,706	0,706	0,706
Cuarzo micronizado	0,281	0,183	0,140	0,084	-
Humo de sílice	0,219	0,219	0,219	0,219	0,219
Finos de granito	-	0,107	0,153	0,216	0,308
Agua	0,214	0,214	0,214	0,214	0,214
Superplastificante	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125
Fibras de acero	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200

4. Análisis de resultados

En la **figura 3**, se aprecia un descenso de la trabajabilidad del HMARF respecto al hormigón de referencia, aunque la cantidad de aditivo se incrementó notablemente. Puede ser debido a que la presencia de un floculante en este tipo de residuo produce un aumento en la demanda de agua por parte de las partículas de FGG y, por tanto, la cantidad de agua efectiva en la mezcla es menor.

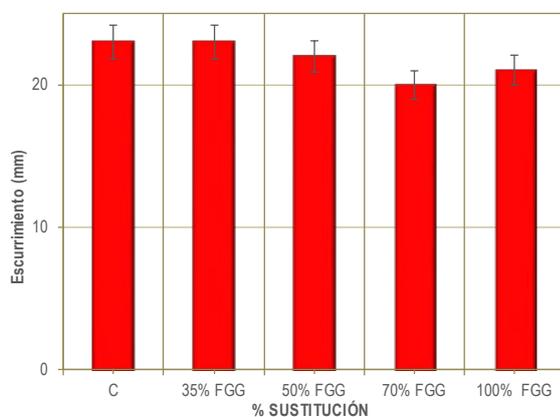


Figura 3. Trabajabilidad del HMARF

Otro factor que puede influir en esta pérdida de consistencia es un ligero aumento en la cantidad de finos de los residuos de granito con granalla respecto al cuarzo micronizado, como se puede ver en las curvas granulométricas. También puede influir la presencia de pequeñas partículas de acero de este tipo de residuo [14].

En la **figura 4** se puede ver cómo la densidad del HMAR endurecido aumenta a medida que se incrementa la cantidad de FGG, como sustitutos del cuarzo micronizado. La mayor variación se produce para una sustitución del 100%. Aunque esta variación es inferior al 4%, el incremento puede ser debido a la presencia de las partículas metálicas presentes en mayor medida con el incremento del porcentaje de sustitución.

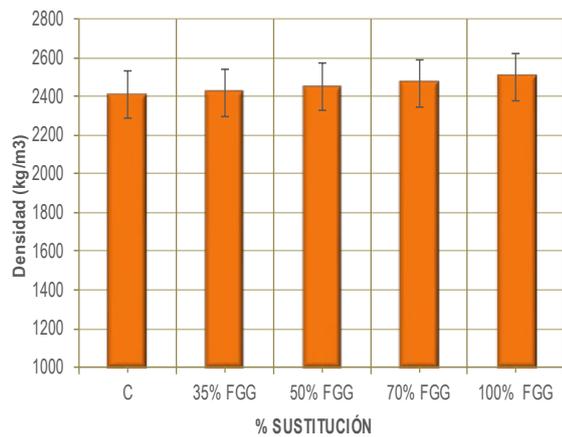


Figura 4. Densidad del HMARF

En la **figura 5** se aprecia la influencia que tiene la utilización de FGG, como sustitutos de la, sobre la resistencia a compresión del HMARF. Se observa un incremento de la resistencia a compresión para todos los niveles de sustitución. Oscila entre el 8,5% para el 35% de sustitución y el 14% para 70% de FGG. Este incremento de la resistencia a compresión del HMARF puede ser debido al aumento de la compacidad del hormigón que, como se acaba de ver, se traduce en una mayor densidad. Las variaciones entre los diferentes porcentajes son pequeñas lo que unido a la variabilidad de los resultados obtenidos impide establecer influencia alguna del porcentaje de sustitución.

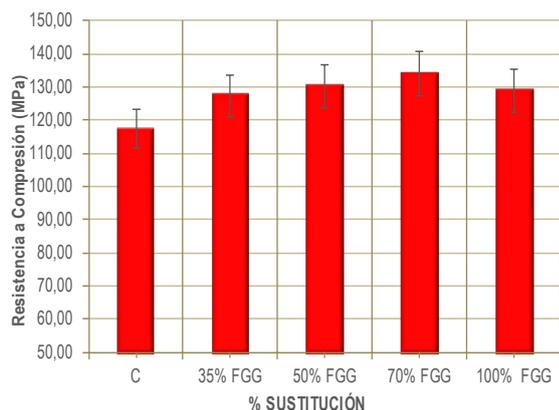


Figura 5. Resistencia a compresión del HMARF

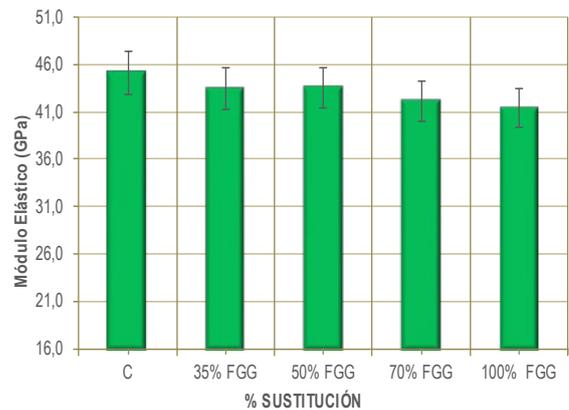


Figura 6. Módulo de elasticidad del HMARF

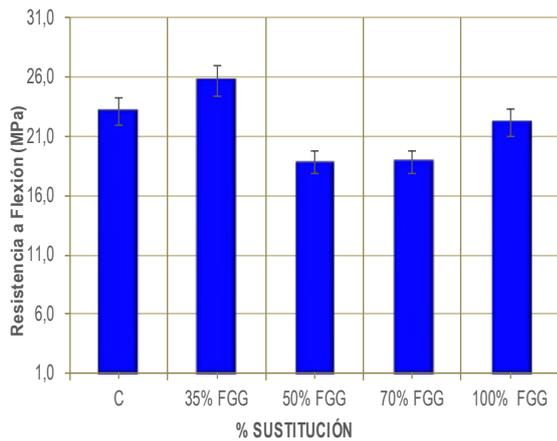


Figura 7. Resistencia a flexión del HMARF

El porcentaje de sustitución es un factor que en porcentajes no muy elevados prácticamente no influye sobre las propiedades del HMARF. Salvo en algunos casos excepcionales, posiblemente sean consecuencia de la variabilidad en los resultados obtenidos y no debido a la influencia de la variable analizada. Solo cuando se alcanzan altos niveles de sustitución puede apreciarse una influencia clara del porcentaje sustituido.

Por lo tanto, según los resultados obtenidos en este trabajo, se puede establecer que los residuos procedentes del corte de los bloques de granito, como sustitutos de los áridos naturales, representan una alternativa viable para la fabricación de un HMARF más sostenible.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer el apoyo para llevar a cabo este estudio a las siguientes empresas: ArcelorMittal, Elkem, Basf, Sika AG y Granitos Cabaleiro S.L. También desean agradecer su apoyo al Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España por su financiación al proyecto de referencia BIA2016-78460-C3-2-R sin el cual no hubiera podido llevarse a cabo el presente estudio.

Referencias

- [1] Eurostat Yearbook, WasteStatistics, Brusseles, 2013.
- [2] Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Catálogo de residuos. Ficha técnica: Residuos de Construcción y Demolición, Madrid, 2010.
- [3] Zegardlo, B.; Szlag, M.; Ogrodnik, P. Ultra-high strength concrete made with recycled aggregate from sanitary ceramic wastes—The method of production and the interfacial transition zone. *Constr. Build. Mater.* 2016, 122, 736–742.
- [4] Gonzalez-Corominas, A.; Etxeberria, M. Properties of high performance concrete made with recycled fine ceramic and coarse mixed aggregates. *Constr. Build. Mater.* 2014, 68, 618–626.
- [5] Al-Jabri, K.S.; Hisada, M.; Al-Saidy, A.H.; Al-Oraimi, S.K. Performance of high strength concrete made with copper slag as a fine aggregate. *Constr. Build. Mater.* 2009, 23, 2132–2140.
- [6] Ambily, P.S.; Umarani, C.; Ravisankar, K.; Prem, P.R.; Bharatkumar, B.H.; Iyer, N.R. Studies on ultra high performance concrete incorporating copper slag as fine aggregate. *Constr. Build. Mater.* 2015, 77, 233–240.
- [7] Zhu, Z.G.; Li, B.X.; Zhou, M.K. The influences of iron ore tailings as fine aggregate on the strength of ultra-high performance concrete. *Adv. Mater. Sci. Eng.* 2015, 2015, 412878.
- [8] UNE-EN 12390-1. Testing Hardened Concrete, Part 1: Shape, Dimensions and other Requirements for Specimens and Moulds, AENOR, Madrid, Spain, 2013.
- [9] UNE-EN 12390-2. Testing Hardened Concrete, Part 2: Making and Curing Specimens for Strength Test; AENOR, Madrid, Spain, 2009.
- [10] NF P18-470. Bétons. Bétons Fibrés à Ultra Hautes Performances. Spécification,

Performance, Production et conformité,
AFNOR, Saint-Denis, France, 2016

- [11] UNE-EN 12390-7. Testing Hardened Concrete, Part 7: Density of Hardened Concrete, AENOR, Madrid, Spain, 2009.
- [12] UNE-EN 12390-3. Testing Hardened Concrete, Part 3: Compressive Strength of Test Specimens. AENOR, Madrid, Spain, 2009.
- [13] UNE-EN 12390-13. Testing Hardened Concrete, Part 13: Determination of Secant Modulus of Elasticity in Compression. AENOR, Madrid, Spain, 2014.
- [14] A. Nazari, S. Riahi, S. Riahi, S. Fatemeh Shamekhi and A. Khademno, Benefits of fe_2o_3 nanoparticles in concrete mixing matrix, Journal of American Science 2010, 6(4), 102-106.