

# Aplicaciones del filler de recuperación de plantas asfálticas en caliente

## *Applications of recovery filler from hot mix asphalt plants*

Belén González-Fonteboa<sup>\*,a</sup>, Sindy Seara-Paz<sup>b</sup>, Fernando Martínez-Abella<sup>c</sup>, Adonay Pinto-Pérez<sup>d</sup>, Pablo García-Carrillo<sup>e</sup>, Francisco Javier Prego-Martínez<sup>f</sup>, Jose Millán-Pérez<sup>g</sup>, Rodrigo Díaz-Méndez<sup>h</sup>

<sup>a</sup> Associate Prof. Dr. Civil Engineering School. Universidade da Coruña. [belen.gonzalez.fonteboa@udc.es](mailto:belen.gonzalez.fonteboa@udc.es)

<sup>b</sup> Associate Prof. Dr. Civil Engineering School. Universidade da Coruña. [gumersinda.spaz@udc.es](mailto:gumersinda.spaz@udc.es)

<sup>c</sup> Chair Prof. Dr. Civil Engineering School. Universidade da Coruña. [fernando.martinez.abella@udc.es](mailto:fernando.martinez.abella@udc.es)

<sup>d</sup> PhD. Student. Universidade da Coruña. [adonay.pinto.perez@gmail.com](mailto:adonay.pinto.perez@gmail.com)

<sup>e</sup> Dr. Arquitecto. Prefhorvisa Outeiro, SL. [pgarcia@prefhorvisa.com](mailto:pgarcia@prefhorvisa.com)

<sup>f</sup> Dr. Ingeniero de Caminos. Extraco, SA. [i-d-i@extraco.es](mailto:i-d-i@extraco.es)

<sup>g</sup> Licenciado en Ciencia Químicas. Galaicontrol, SL. [jmillan@galaicontrol.com](mailto:jmillan@galaicontrol.com)

<sup>h</sup> Renga Enerxía, S. [rdiaz@renowattio.es](mailto:rdiaz@renowattio.es)

## RESUMEN

Este proyecto se centra en el diseño y evaluación de grouts de relleno de bloques de hormigón, elaborados con filler de recuperación de planta asfáltica y árido reciclado. Se emplearon dos tipos de bloque de hormigón: bloque convencional y bloque realizado con ceniza de fondo de carbón. Los resultados muestran como la incorporación tanto del filler como del árido reciclado generan un descenso de trabajabilidad y resistencias mecánicas en los grouts. Se observó, en el comportamiento conjunto, que la combinación de bloque con ceniza relleno del grout con mayor cantidad de residuos obtenía los resultados de resistencias más altos, por la compatibilidad de deformación entre ambos materiales.

## ABSTRACT

This project focuses on the design and evaluation of masonry grout, made with recovery filler and recycled aggregates. Two types of concrete block were used: conventional ones and blocks made with bottom coal ash. The results show how the incorporation of both the filler and the recycled aggregate generates a decrease in workability and mechanical resistance in the grouts. It was observed, that the combination of block made with ash filled with the grout with the highest amount of waste obtained the best results, due to the compatibility of deformation between both materials.

**PALABRAS CLAVE:** Filler de recuperación, Árido reciclado., bloques de hormigón, grout.

**KEYWORDS:** Recovery filler, recycled aggregate, concrete block, grout.

## 1. Introducción

La industria del hormigón, como uno de los principales responsables de la contaminación del sector de la construcción, ha estudiado en los

últimos años cómo poder mejorar la situación con diferentes propuestas. Una de las direcciones seguidas, es el empleo de residuos de

este u otros sectores en la elaboración de las mezclas de base cemento, bien sea para la sustitución del propio cemento, o para la sustitución de los áridos, tanto en facción fina como gruesa. La sustitución de la fracción fina cuenta con numerosas alternativas provenientes de residuos de éste y otros sectores. Estos residuos pueden ser de origen orgánico, como cenizas provenientes de cáscaras de arroz, hoja de bambú o ceniza de mazorca de maíz [1] o de origen inorgánico, como cenizas volantes, cenizas de fondo de carbón o filler de recuperación.

En este proyecto se plantea el análisis de comportamiento de grout de relleno de bloque de hormigón utilizando filler de recuperación en sustitución del filler calizo comercial, y árido reciclado en sustitución de la arena convencional.

El filler de recuperación es un residuo que se genera en las plantas de fabricación de mezclas asfálticas en caliente, durante el proceso de secado de los áridos. El polvo producido durante este proceso, es separado a través de filtros del aire y llevado hasta silos para su almacenamiento. Parte de este filler es introducido de nuevo en el proceso productivo de las mezclas asfálticas, pero en un pequeño porcentaje, entre el 3 y el 4 % [2]. El resto es acumulado en vertederos con el consiguiente coste medioambiental en la zona de vertido y coste económico para la empresa productora.

Según la Asociación española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (ASEFMA), en 2018 se produjeron aproximadamente 16 millones de toneladas de mezclas asfálticas en caliente [3]. Por cada tonelada de mezcla fabricada, se estima que se generan 40 kg de filler de recuperación [2], acumulándose, por tanto, solo en España, 644 000 toneladas anuales. La utilización por tanto de este residuo como posible materia prima en la elaboración de mezclas de base cemento, supone un mejor aprovechamiento de recursos, disminuyendo

además el consumo energético y la cantidad de vertido realizado al medioambiente [4].

El árido reciclado se obtiene de residuos del propio sector de la construcción, que, tras un proceso de selección y tratamiento, puede ser empleado en la elaboración de hormigón estructural. Se trata de un residuo ampliamente analizado como componente de mezclas de base cemento, contando con un anejo propio en la EHE-08, en el que se limita su uso a un porcentaje de sustitución inferior al 20% y siempre sustituyendo a la facción gruesa de los áridos [5].

## 2. Material y métodos

### 2.1 Materiales empleados en la elaboración de los grouts

Para la elaboración de los distintos grouts se empleó un cemento CEM II A-V 42.5R, una arena granítica 0/2, filler calizo comercial y, por último, aditivo superplastificante.

En cuanto a los materiales reciclados, se emplearon filler de recuperación de planta asfáltica y árido reciclado.

#### 2.1.1. Filler de recuperación

El filler de recuperación ha sido proporcionado por la empresa Extraco y de su análisis físico químico, se puede comprobar las diferencias que presenta en comparación con el filler calizo comercial. En primer lugar, el análisis granulométrico muestra como el filler de recuperación presenta un mayor tamaño de partícula pasando por el tamiz de 0.125 mm solo el 89%, frente al 99.8% del filler comercial y pasando el 70% de las partículas por el tamiz de 0.036 mm frente al 99.6% del filler calizo (**Figura 1**).

Además, estas partículas no son solo de mayor tamaño si no que presentan mayor angulosidad y por lo tanto, mayor superficie específica. Esta magnitud fue calculada mediante la técnica de la adsorción del nitrógeno,

obteniéndose una superficie BET en el filler de recuperación de  $3.7 \text{ m}^2/\text{g}$  frente a los  $1.5 \text{ m}^2/\text{g}$  del calizo. Esto nos indica que las mezclas que contengan este residuo, tendrán una mayor absorción y por lo tanto una menor cantidad de agua libre, disminuyendo así su trabajabilidad.

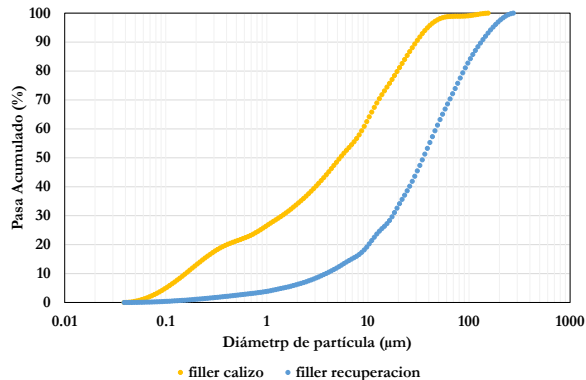


Figura 1. Granulometría de los fillers empleados.

La densidad de ambos fillers fue calculada de acuerdo a la normativa UNE-EN 1097-7:2009 [6], y los resultados muestran un ligero aumento de la misma para el de recuperación, obteniéndose  $2.8 \text{ g}/\text{cm}^3$  frente a los  $2.6 \text{ g}/\text{cm}^3$  del filler calizo. Estos resultados coinciden con los obtenidos por otros investigadores [1, 6].

Por último, para conocer la composición mineralógica, se ha empleado la técnica de la difracción de rayos X sobre muestras pulverizadas hasta un tamaño de grano inferior a  $50 \text{ µm}$  y los resultados muestran que en el filler comercial, el componente principal encontrado es la caliza mientras que en el filler de recuperación, predomina el cuarzo y la moscovita. Paralelamente, se empleó también la técnica de fluorescencia de rayos X para conocer el contenido en óxidos presentes en la muestra de estudio, y sus resultados corroboran lo obtenido por difracción, mostrando como principales óxidos, en el filler calizo, el de cal, y en el de recuperación, el de silicio y aluminio.

### 2.1.2. Árido reciclado

El árido reciclado empleado presenta un tamaño de partículas de 0/16 mm. Puesto que esta granulometría es muy superior a la de la arena convencional que va a sustituir, se decide separar la fracción inferior a 4 mm y trabajar con una

arena 0/4 para conseguir así un árido de similares granulometrías (Figura 2).

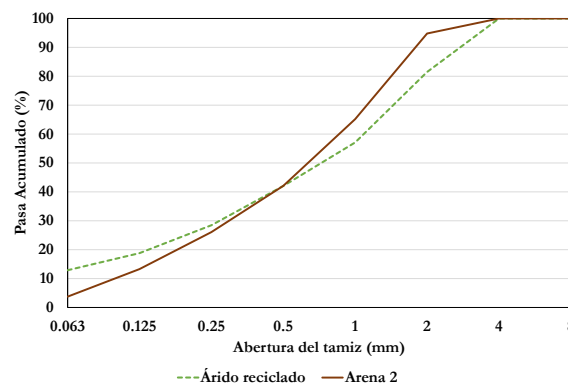


Figura 2. Granulometría de la arena convencional y del árido reciclado.

## 2.2 Bloques de hormigón

Se emplearon dos tipos de bloques de hormigón en los ensayos: uno convencional y otro realizado sustituyendo la arena por cenizas de fondo de carbón.

Ambos bloques cuentan con las mismas dimensiones, 400 mm de longitud x 200 mm de anchura x 200 mm de altura, dos alveolos pasantes y paredes de espesor superior a 30 mm, y ambos han sido suministrados por la empresa Prefhorvisa.

La incorporación de las cenizas de fondo en los bloques lleva a que éstos presenten una menor densidad y menores resistencias a compresión, pasando de los 6 MPa del bloque convencional a los 4.7 MPa de los bloques con ceniza

## 2.3 Dosificaciones

Con el fin de conocer el efecto que la incorporación de estos residuos ejercía sobre los grouts, se realizó una primera serie incluyendo filler de recuperación en sustitución en volumen del filler calizo en los siguientes porcentajes 0%, 25%, 50%, 75% y 100%. La segunda serie empleó los mismos porcentajes de sustitución de filler, pero contaba además con una sustitución del 20% de la arena natural por la arena reciclada, también en volumen. Se obtienen por tanto 10 dosificaciones de grout distintas.

Todas las dosificaciones se realizaron con una relación agua/cemento de 0.61 así como la misma cantidad de aditivo superplastificante, 0.5% sobre la masa de cemento (**Tabla 1**).

La nomenclatura empleada representa el porcentaje de filler de recuperación seguidos de

las letras FR y la presencia o no de árido reciclado, expresado por 20AR o 00AR respectivamente.

**Tabla 1. Dosificación de los grout (kg/m<sup>3</sup>)**

| Grout     | Cemento | Agua   | Arena  | Ár. Recicl. | Filler | F.Rec  | Aditivo |
|-----------|---------|--------|--------|-------------|--------|--------|---------|
| 00FR00AR  | 574.99  | 351.58 | 904.56 | 0.00        | 323.89 | 0.00   | 2.71    |
| 25FR00AR  | 574.99  | 351.58 | 904.56 | 0.00        | 242.92 | 79.75  | 2.71    |
| 50FR00AR  | 574.99  | 351.58 | 904.56 | 0.00        | 161.95 | 159.49 | 2.71    |
| 75FR00AR  | 574.99  | 351.58 | 904.56 | 0.00        | 80.97  | 239.24 | 2.71    |
| 100FR00AR | 574.99  | 351.58 | 904.56 | 0.00        | 0.00   | 318.98 | 2.71    |
| 00FR20AR  | 574.99  | 351.58 | 742.47 | 158.96      | 300.73 | 0.00   | 2.71    |
| 25FR20AR  | 574.99  | 351.58 | 742.47 | 158.96      | 225.55 | 74.04  | 2.71    |
| 50FR20AR  | 574.99  | 351.58 | 742.47 | 158.96      | 150.36 | 148.09 | 2.71    |
| 75FR20AR  | 574.99  | 351.58 | 742.47 | 158.96      | 75.18  | 222.13 | 2.71    |
| 100FR20AR | 574.99  | 351.58 | 742.47 | 158.96      | 0.00   | 296.17 | 2.71    |

## 2.4 Programa experimental

Para la caracterización de las distintas dosificaciones de grout en estado fresco se emplearon los ensayos *minislump* [8] y el ensayo *mini funnel* [8], versión reducida del ensayo normativo *V-funnel* descrito en la norma UNE-EN 12350-9:2011 [9].

Para la caracterización en estado endurecido se realizaron probetas cúbicas de 10 cm de lado para poder obtener las resistencias a compresión a 3, 7 y 28 días siguiendo la norma UNE-EN 12390-2:2009 [10] así como los valores del módulo elástico secante siguiendo la norma UNE-EN 12390-13 [11].

Por último, con probetas de mismas dimensiones se realizó ensayo de control por desplazamiento para conocer los valores de las deformaciones pico de cada grout, en función de la cantidad de residuos incorporada. Para la medida de las deformaciones se emplearon galgas extensiométricas.

Además de las probetas cúbicas, se realizaron también probetas prismáticas de 28.5

x 2.5 x 2.5 cm para estudiar la retracción por secado de los distintos grouts.

En cuanto al comportamiento de los bloques, se ensayaron a compresión siguiendo las directrices de la norma UNE-EN 772-1:2001+A1:2016 [12], tanto los bloques vacíos como rellenos de grout. Los grouts elegidos como relleno fueron el grout de control 00FR00AR que no cuenta con ningún residuo en su composición, y el grout 100FR20AR en contraposición, siendo ésta la dosificación con mayor cantidad de residuos. Los bloques, se almacenaron en la planta de prefabricado durante dos años y en el laboratorio 30 días antes de proceder al relleno de los mismos.

Para el relleno de los bloques se dispusieron éstos en la cámara climática donde una vez rellenos permanecieron curando 28 días.

Antes de la realización de los ensayos, se colocaron a cada bloque dos galgas extensiométricas para conocer los valores de deformación de los mismos en función de los distintos tipos de relleno empleados.



Figura 3. Proceso de llenado y curado de los bloques de hormigón.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1 Caracterización del grout

##### 3.1.1 Consistencia

Los valores de consistencia se ven afectados negativamente a medida que se incrementa el porcentaje de filler de recuperación, llegando a reducirse en un 60% el valor del escurrimiento si se compara la dosificación con mayor porcentaje de filler de recuperación con la dosificación de control (Figura 4). Estas tendencias coinciden con las observadas por los investigadores Martin *et al.* [7] y Esquinas *et al.* [2,4] en sus respectivos trabajos. Este comportamiento es debido a la mayor superficie específica que presenta el filler de recuperación frente al calizo, lo que incrementa la absorción de agua del mismo, disminuyendo la cantidad de agua libre en la mezcla y por tanto, disminuyendo su trabajabilidad.

En cuanto a la incorporación de árido reciclado, también se aprecia un efecto reductor del escurrimiento, sin embargo la disminución es despreciable en dosificaciones con altos porcentajes de filler de recuperación, donde el descenso de trabajabilidad lo dicta este residuo (Figura 5).

Los resultados del ensayo *mini-funnel* muestran una tendencia similar, reduciéndose la fluidez de la mezcla a medida que se incrementa la cantidad de filler de recuperación y árido reciclado. Cabe mencionar que las mezclas con mayor cantidad de residuos no fueron capaces de terminar el ensayo, puesto que su elevada viscosidad impedía el paso por el embudo.

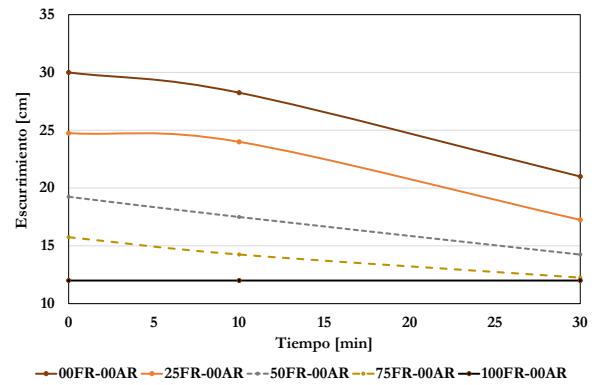


Figura 4. *Minislump* de la serie sin árido reciclado.

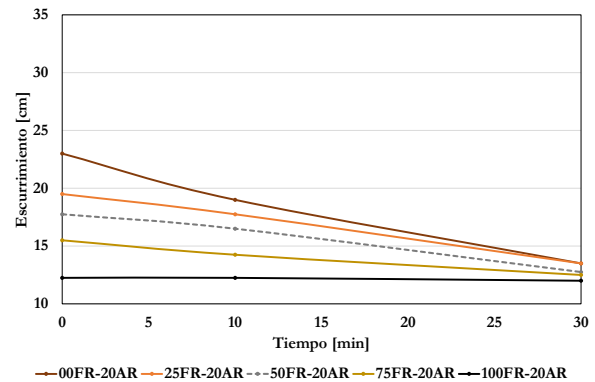


Figura 5. *Minislump* de la serie sin árido reciclado.

##### 3.1.2 Resistencia a compresión y módulo de elasticidad secante

El filler de recuperación también genera un descenso de las resistencias a compresión, aunque es mínimo para porcentajes de sustitución por debajo del 50% (descenso del 6%). En las dosificaciones con una sustitución del 100% del filler, las resistencias descendieron un 16.4%.

La incorporación del 20% de árido reciclado produce el mismo efecto, pero resulta despreciable en comparación con la reducción ejercida por el filler de recuperación. Los valores de los ensayos realizados a distintas edades se presentan en la Tabla 2. Como puede apreciarse, todos los grouts cumplen los requisitos de resistencia mínima a 28 días, fijado en 15 MPa por la normativa europea [13], ya en el tercer día de edad.

**Tabla 2. Resistencia a compresión de los distintos grout (MPa)**

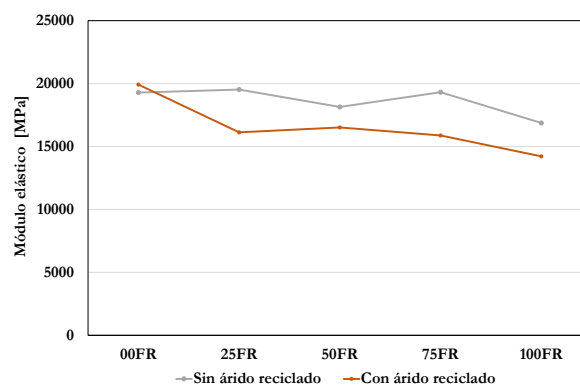
| Grout     | fc 3 días | fc 7 días | fc 28 días |
|-----------|-----------|-----------|------------|
| 00FR00AR  | 27.52     | 31.58     | 42.16      |
| 25FR00AR  | 26.65     | 31.86     | 38.81      |
| 50FR00AR  | 27.29     | 32.72     | 39.78      |
| 75FR00AR  | 25.16     | 27.80     | 35.80      |
| 100FR00AR | 23.66     | 27.74     | 36.22      |
| 00FR20AR  | 27.23     | 31.76     | 39.86      |
| 25FR20AR  | 26.63     | 31.20     | 38.70      |
| 50FR20AR  | 24.81     | 28.78     | 39.08      |
| 75FR20AR  | 23.07     | 27.39     | 35.66      |
| 100FR20AR | 21.88     | 27.38     | 35.67      |

El módulo elástico también se ve afectado negativamente, tanto con la incorporación de filler de recuperación, como con la de árido reciclado (**Figura 6**).

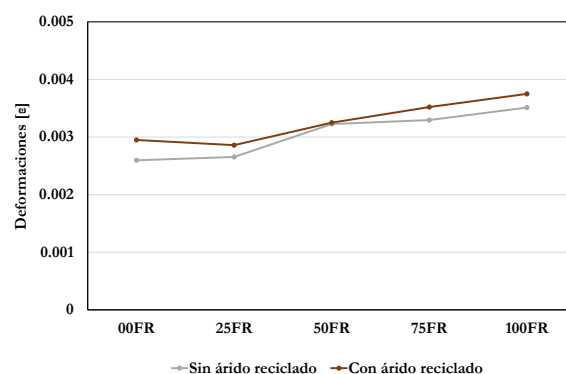
En este caso, los valores del módulo en la serie sin árido reciclado experimentan un descenso del 12% cuando se utiliza el 100% de filler de recuperación, y, en la serie con árido reciclado y mismo porcentaje de filler de recuperación, experimentan un descenso del 27%.

### 3.1.3 Deformaciones de pico

Los resultados del ensayo de rotura a compresión en control por desplazamiento permiten evaluar las diferencias en la deformación de pico experimentadas por los distintos grouts en función de la cantidad de residuos incorporada (**Figura 7**). Tanto la presencia de árido reciclado como de filler de recuperación producen un aumento de las deformaciones, obteniendo una mayor deformación de pico las dosificaciones con mayor contenido de residuos. Estos datos serán necesarios para analizar en la siguiente fase el comportamiento conjunto de los bloques de hormigón con los distintos rellenos.



**Figura 6. Módulo elástico secante**



**Figura 7. Deformación de pico de los grouts.**

### 3.1.4 Retracción

Los resultados muestran que el aumento del contenido de filler de recuperación incrementa la retracción del grout (**Figura 8**). A edades tempranas, las diferencias son poco apreciables, sin embargo, a partir de los 7 días de edad, las mezclas con mayor contenido de filler de recuperación incrementan su retracción a un ritmo mayor que las de control.

Como era de esperar, todas las probetas muestran un comportamiento de retracción en el que las deformaciones tienden a estabilizarse con el tiempo.

La incorporación de árido reciclado en las mezclas mantiene la misma tendencia que el filler de recuperación debido a su mayor contenido de finos, obteniendo por lo general, mayores valores de retracción la serie con árido reciclado, que la serie sin él (**Figura 9**). Cabe destacar que las mezclas con árido reciclado y mayor contenido de filler de recuperación aún a 90 días parecen no haber alcanzado el nivel asintótico,

por lo que será necesario continuar con las mediciones.

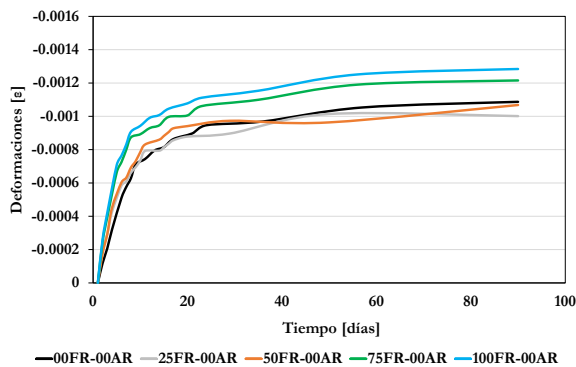


Figura 8. Retracción serie sin árido reciclado

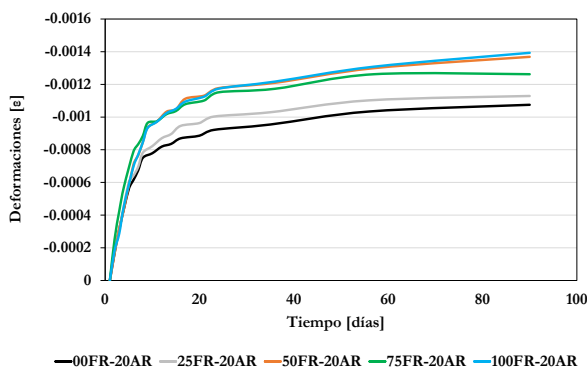


Figura 9. Retracción serie con árido reciclado

### 3.2 Caracterización del conjunto bloque grout

La **Figura 10** muestra los resultados de resistencia a compresión obtenidos sobre los bloques.

Se comprueba que las resistencias obtenidas por los bloques sin relleno coinciden con las indicadas por el fabricante, dando como resultado 6.26 MPa el bloque convencional y 4.76 MPa el bloque realizado con ceniza de fondo de carbón.

A continuación, se realizaron los ensayos de resistencia a compresión de los bloques rellenos obteniendo resultados entre 12 MPa y 16 MPa, siendo la combinación con mejor resultado la del bloque con ceniza relleno del grout 100FR20AR.

En los bloques convencionales no se aprecian diferencias de comportamiento entre

los rellenos con grout 00FR00AR y con el 100FR20AR.

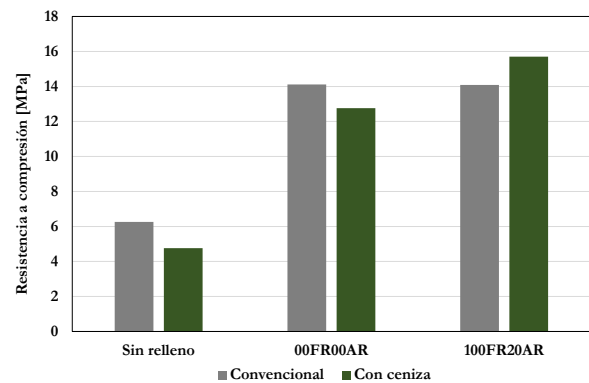


Figura 4. Resistencia a compresión de los bloques de hormigón

El aumento de resistencia experimentado por los bloques rellenos frente a los bloques vacíos confirma lo esperado, según la bibliografía revisada.

Respecto al bloque convencional, el uso de un grout de mayor resistencia (0FR00AR) no se traduce en un mejor comportamiento del conjunto. Este resultado coincide con lo obtenido por Martins *et al.* [14], que afirmaba que el incremento de la resistencia de grout no siempre se traduce en un incremento de resistencia del conjunto. Como se observa en la Figura 10, ambos bloques convencionales presentan resistencias similares con independencia del tipo de relleno empleado.

Si se analizan los bloques con ceniza se observa que el bloque relleno con el grout 100FR20AR presenta una resistencia ligeramente superior a la del que utiliza el relleno convencional. La mejora de comportamiento vista en este estudio radica en la compatibilidad de deformaciones de ambos materiales, tal como apuntan otros autores [15–17].

## 4. Conclusiones

En vista de los resultados obtenidos en la campaña experimental, se establecen las siguientes conclusiones:

- La trabajabilidad de los grout desciende a medida que se incrementa el contenido

de filler de recuperación, aunque estos descensos son poco notables en porcentajes inferiores al 50%. En cuanto a la incorporación de árido reciclado, su efecto en la trabajabilidad es apreciable solo en los casos que cuentan con una sustitución del filler por debajo de ese 50%, valores del 75% y del 100% no presentan diferencias entre la serie sin árido reciclado y la serie con él.

- Las resistencias a compresión y los módulos elásticos también se ven afectadas negativamente a medida que se incrementa el porcentaje de filler de recuperación, sin embargo, todos los grout aquí ensayados cumplen el mínimo fijado por la normativa española de 15 MPa ya a los 3 días de edad.
- Los grout elaborados con mayor cantidad de filler de recuperación, presentan mayores niveles de retracción. Estos niveles se incrementan aún más si las mezclas contienen además árido reciclado.
- En cuanto a la función de estos grout como relleno de bloque, depende del tipo de bloque empleado. Tanto en el caso de los bloques convencionales como los de ceniza, se experimenta un aumento de su resistencia a compresión en más de un 100%, sin embargo, debido a la compatibilidad de deformación de ambos materiales, la solución que mejores resultados obtuvo fue la del bloque con ceniza relleno del grout con mayor cantidad de residuos

En definitiva, la solución constructiva de bloque de ceniza de fondo de carbón con FR y árido reciclado presenta un comportamiento adecuado cuyo uso supondría, además, avanzar en la línea de la economía circular en el sector de la construcción.

### *Agradecimientos*

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto ALFILLER (financiado con fondos FEDER de la convocatoria CONECTA PEME 2018 de la Axencia Galega de Innovación (GAIN) de la Xunta de Galicia. En este proyecto participa un consorcio de empresas formado por EXTRACO, GALAICONTROL, PREFHORVISA y RENGA

## 5. Bibliografía

- [1] R.N. González-kunz, P. Pineda, A. Bras, L. Morillas, Plant biomass ashes in cement-based building materials . Feasibility as eco-efficient structural mortars and grouts, *Sustain. Cities Soc.* 31 (2017) 151–172. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.03.001>.
- [2] A.R. Esquinas, C. Ramos, J.R. Jiménez, J.M. Fernández, J. de Brito, Mechanical behaviour of self-compacting concrete made with recovery filler from hot-mix asphalt plants, *Constr. Build. Mater.* 131 (2017) 114–128. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.063>.
- [3] ASEFMA, ASEFMA anuncia un incremento del 5,6% en el consumo de betún para mezclas asfálticas en 2018, 15 puntos por debajo de las previsiones, (2019). <http://www.asefma.es/asefma-anuncia-un-incremento-del-56-en-el-consumo-de-betun-para-mezclas-asfalticas-en-2018-15-puntos-por-debajo-de-las-previsiones/>.
- [4] A.R. Esquinas, J.I. Álvarez, J.R. Jiménez, J.M. Fernández, J. de Brito, Durability of self-compacting concrete made with recovery filler from hot-mix asphalt plants, *Constr. Build. Mater.* 161 (2018) 407–419. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.142>.
- [5] C.P. del H. CPH, Instrucción Española del Hormigón Estructural, 2011.
- [6] AENOR, UNE-EN 1097-6:2014 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad de



- partículas y la absorción de agua., 2014.
- [7] J. Martín, J. Rodríguez Montero, F. Moreno, J.L. Piqueras Sala, M.C. Rubio, Feasibility analysis of the reuse of waste filler of bituminous mixtures for the production of self-compacting concrete, *Mater. Des.* 46 (2013) 372–380. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.10.009>.
- [8] H. Okamura, M. Ouchi, Self-Compacting Concrete, 1 (2003) 5–15.
- [9] AENOR, UNE-EN 12350-9:2011 Ensayos de hormigón fresco. Parte 9: Hormigón autocompactante. Ensayo del embudo en V, 2011.
- [10] AENOR, UNE-EN 12390-2:2009 Ensayos de hormigón endurecido. Parte 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia., 2009.
- [11] AENOR, UNE-EN 12390-13:2014 Ensayos de hormigón endurecido. Parte 13: Determinación del módulo secante de elasticidad en compresión, 2014.
- [12] AENOR, UNE-EN 772-1:2011+A1:2016 Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión., 2016.
- [13] AENOR, UNE-EN 1996-1-1:2011+A1:2013 Eurocódigo 6: Proyectos de estructuras de fábrica. Parte 1-1, 2013.
- [14] R.O.G. Martins, R.C.S. Alvarenga, L.G. Pedroti, A.E. Oliveira, B.C. Mendes, R.G. Azevedo, Influence of blocks and grout on compressive strength and stiffness of concrete masonry prisms, *Constr. Build. Mater.* 182 (2018) 233–241. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.091>.
- [15] R.H. Atkinson, G.R. Kingsley, A comparison of the behavior of clay and concrete masonry in compression, 1985.
- [16] J.S. Camacho, B.G. Logullo, G.A. Parsekian, P.R.N. Soudais, The influence of grouting and reinforcement ratio in the concrete block masonry compressive behavior Influência do graute e da taxa de armadura no comportamento à compressão da alvenaria de blocos, 8 (2015) 341–352.
- [17] L. Huang, L. Liao, L. Yan, S.M. Asce, H. Yi, Compressive Strength of Double H Concrete Block Masonry Prisms, (2014) 28–31. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533).