

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 891 677**

21 Número de solicitud: 202030746

51 Int. Cl.:

C04B 18/14 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

17.07.2020

43 Fecha de publicación de la solicitud:

28.01.2022

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

27.04.2022

Fecha de concesión:

17.06.2022

45 Fecha de publicación de la concesión:

24.06.2022

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE BURGOS (100.0%)
C/ Hospital del Rey s/n
09001 Burgos (Burgos) ES**

72 Inventor/es:

**ORTEGA-LÓPEZ, Vanesa;
DE LA FUENTE ALONSO, José Antonio;
SKAF REVENGA, Marta;
MANSO VILLALAIN, Juan Manuel y
REVILLA-CUESTA, Victor**

54 Título: **Hormigón autocompactante con árido reciclado de hormigón y su procedimiento de elaboración**

57 Resumen:

Hormigón autocompactante con árido reciclado de hormigón que comprende cemento Portland como primer conglomerante y escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante, áridos, agua y aditivos, los áridos comprenden árido reciclado de hormigón, siendo la totalidad de la fracción gruesa y la totalidad de la fracción polvo del hormigón de dicho árido reciclado de hormigón, pudiendo tener además fracción fina del citado árido. El procedimiento de elaboración consta de tres etapas de adición de componentes y mezclado, cada una con su correspondiente reposo.

ES 2 891 677 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015. Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

DESCRIPCIÓN

HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON ÁRIDO RECICLADO DE HORMIGÓN Y SU PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN

5

CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION

La presente invención se engloba en el campo de los materiales de construcción, en concreto de los hormigones del tipo autocompactante con árido reciclado de
10 hormigón.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

El hormigón autocompactante es un tipo de hormigón con una alta trabajabilidad en
15 estado fresco, lo cual significa que puede ser puesto en obra sin ningún tipo de vibrado, proporcionando de esta forma una mayor seguridad para el operario y un menor consumo de energía. No obstante, para ello es necesario que la autocompactabilidad del hormigón se conserve de forma óptima a lo largo del tiempo.

20 El árido reciclado de hormigón es un residuo de la industria de los prefabricados de hormigón. Muchos elementos prefabricados, como vigas o columnas, son frecuentemente desechados debido a defectos geométricos y/o estéticos. El machaqueo o trituración de estos elementos permite obtener un árido artificial formado por hormigón machacado que tradicionalmente es depositado en vertederos.

25 Este material se caracteriza por presentar una absorción de agua muy elevada, pudiendo llegar a ser diez veces superior a la del árido calizo tradicional, lo que dificulta el desarrollo de hormigones de alta trabajabilidad con este material y dificulta la conservación temporal de la autocompactabilidad a lo largo del tiempo, debido a la rápida absorción del agua añadida al hormigón durante su fabricación por parte del
30 árido reciclado de hormigón.

Por otra parte, la escoria siderúrgica granulada molida es un subproducto de la industria siderúrgica obtenido mediante el enfriamiento brusco del residuo de los altos hornos, conocido como escoria, seguido de un machaqueo hasta alcanzar un tamaño

de grano del orden de micras. Este material se caracteriza por presentar propiedades puzolánicas y conglomerantes, siendo capaz de endurecer al ser mezclado con agua y proporcionar resistencia.

- 5 En el estado de la técnica existente está descrita la composición y recomendaciones de comportamiento en estado fresco de hormigones autocompactantes elaborados con áridos naturales en todas las fracciones (EFNARC, 2002. *Specification Guidelines for Self-compacting Concrete, European Federation of National Associations Representing producers and applicators of specialist building products for Concrete* (EFNARC)). Por otro lado, existen varios estudios de hormigones autocompactantes elaborados con árido reciclado de hormigón empleado únicamente en la fracción gruesa (Grdic, Z.J., Toplicic-Curcic, G.A., Despotovic, I.M., Ristic, N.S., 2010. *Properties of self-compacting concrete prepared with coarse recycled concrete aggregate. Construction and Building Materials*. 24 (7), 1129-1133. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2009.12.029; Tang, W.C., Ryan, P.C., Cui, H.Z., Liao, W., 2016. *Properties of Self-Compacting Concrete with Recycled Coarse Aggregate. Advances in Materials Science and Engineering*. 2016, 2761294. DOI: 10.1155/2016/2761294) y muy escasos estudios que lo emplean en pequeñas proporciones de la fracción fina (Santos, S.A., da Silva, P.R., de Brito, J., 2017. *Mechanical performance evaluation of self-compacting concrete with fine and coarse recycled aggregates from the precast industry. Materials*. 10 (8), 904. DOI: 10.3390/ma10080904). En ningún caso, se ha estudiado el uso de árido reciclado de hormigón en la fracción polvo ("filler" según su denominación común) para el hormigón autocompactante y, menos aún, la utilización integral de árido reciclado de hormigón en las tres fracciones (grueso/fina/polvo) en sustituciones totales de la fracción gruesa y polvo, opcionalmente en la fracción fina.

- Por otro lado, la escoria de alto horno ha sido habitualmente empleada en la fabricación de hormigones en sustitución del árido (González-Ortega, M.A., Cavalaro, S.H.P., Rodríguez de Sensale, G., Aguado, A., 2019. *Durability of concrete with electric arc furnace slag aggregate. Construction and Building Materials*. 217, 543-556. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.05.082). Existen estudios en los cuales el árido natural se ha sustituido por escoria de alto horno, en fracciones gruesa, media y fina (Roslan, N.H., Ismail, M., Khalid, N.H.A., Muhammad, B., 2020. *Properties of concrete*

containing electric arc furnace steel slag and steel sludge. Journal of Building Engineering 28, 101060. DOI: 10.1016/j.jobee.2019.101060). Con este residuo se han elaborado hormigones vibrados reforzados con fibras válidos para pavimentos (Lee, J.H., Sohn, Y.S., Lee, S.H., 2012. *Fire resistance of hybrid fibre-reinforced, ultra-high-strength concrete columns with compressive strength from 120 to 200MPa*. Magazine of Concrete Research. 64 (6), 539-550. DOI: 10.1680/mac.11.00034; Papachristoforou, M., Papayianni, I., 2018. *Radiation shielding and mechanical properties of steel fiber reinforced concrete (SFRC) produced with EAF slag aggregates*. Radiation Physics and Chemistry. 149, 26-32. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2018.03.010) y hormigón autocompactante, combinado en este caso con la adición de grandes cantidades de arena natural caliza (Sosa, I., Thomas, C., Polanco, J.A., Setién, J., Tamayo, P., 2020. *High performance self-compacting concrete with electric arc furnace slag aggregate and cupola slag powder*. Applied Sciences (Switzerland). 10 (3), 773. DOI: 10.3390/app10030773).

15

La escoria siderúrgica granulada molida es un residuo diferente del anterior (CEDEX, 2013. *Catálogo de residuos utilizables en construcción. CEntro De estudios y EXperimentación en obras publicas* (CEDEX)), pues presenta propiedades conglomerantes (endurecimiento tras la mezcla con agua) y ha sido utilizada para la fabricación de cementos (Sanjuán, M.A., Argiz, C., 2014. *Los cementos de escorias de horno alto en España. Cemento Hormigón*. 964, 10-22). Hay escasos estudios que emplean la combinación de escoria siderúrgica granulada molida y árido reciclado para la fabricación de hormigón vibrado (Majhi, R.K., Nayak, A.N., 2019. *Bond, durability and microstructural characteristics of ground granulated blast furnace slag based recycled aggregate concrete*. Construction and Building Materials. 212 578-595. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.04.017; Xie, J., Wang, J., Zhang, B., Fang, C., Li, L., 2019. *Physicochemical properties of alkali activated GGBS and fly ash geopolymeric recycled concrete*. Construction and Building Materials. 204, 384-398. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.01.191), pero en ningún caso para la fabricación de hormigones autocompactantes, y menos aún, con elevados porcentajes de sustitución del conglomerante.

En relación con el proceso de fabricación del hormigón autocompactante elaborado con árido reciclado de hormigón, se conoce la existencia de procedimientos basados

en la realización del amasado en dos etapas con (González-Taboada, I., González-Fontebo, B., Eiras-López, J., Rojo-López, G., 2017. *Tools for the study of self-compacting recycled concrete fresh behaviour: Workability and rheology. Journal of Cleaner Production.* 156 1-18. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.04.045) o sin (Güneyisi, E., Gesoğlu, M., Algin, Z., Yazici, H., 2014. *Effect of surface treatment methods on the properties of self-compacting concrete with recycled aggregates. Construction and Building Materials.* 64 172-183. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.090) presaturación del árido. La presaturación del árido desde el punto de vista industrial no es viable debido al gran tiempo requerido durante la fabricación del material.

10

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención queda establecida y caracterizada en las reivindicaciones independientes, mientras que las reivindicaciones dependientes describen otras características de la misma.

15

El objeto de la invención es un hormigón de alta autocompactabilidad con árido reciclado de hormigón y su procedimiento de elaboración. El problema técnico a resolver es constituir los componentes del hormigón y establecer las etapas de elaboración de manera que se consiga un hormigón válido para su utilización en elementos estructurales según la normativa de aplicación, con un procedimiento de elaboración que permita su puesta en obra de una manera económica y sostenible, es decir, con un bajo consumo de energía.

20

A la vista de lo anteriormente enunciado, la presente invención se refiere a un hormigón autocompactante con árido reciclado de hormigón que comprende cemento Portland como primer conglomerante, áridos, agua y aditivos, como es conocido en el estado de la técnica. Caracteriza al hormigón el que comprende escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante, los áridos comprenden árido reciclado de hormigón, siendo la totalidad de la fracción gruesa y la totalidad de la fracción polvo del hormigón de dicho árido reciclado de hormigón. Es decir, la totalidad de la fracción gruesa y la de fracción polvo es árido reciclado de hormigón, no hay fracción gruesa o polvo de otro tipo de árido.

30

Una ventaja del hormigón es que se maximiza la sostenibilidad del hormigón autocompactante tanto en lo referente a los áridos empleados como al conglomerante hidráulico, alcanzándose un contenido de material reciclado que puede ser hasta la mitad en volumen del total de la mezcla de hormigón.

5

Otras ventajas del hormigón es que se reduce el vertido de residuos, al utilizar una relativamente alta cantidad de árido reciclado, y el consumo de clínker, al añadir escoria siderúrgica granulada molida.

10 Otra ventaja del hormigón es su aplicabilidad real en obra gracias a las excelentes propiedades físicas y mecánicas del hormigón resultante.

Asimismo, la invención se refiere a un procedimiento de elaboración del hormigón autocompactante citado, que se caracteriza por que comprende las siguientes etapas en secuencia: adición del 45 % en volumen del agua y de la totalidad de las fracciones gruesa y polvo de árido reciclado de hormigón; mezclado; reposo; adición del 45 % en volumen del agua, del cemento Portland como primer conglomerante y de la escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante; mezclado; reposo; adición del 10 % en volumen del agua y de los aditivos; mezclado; reposo.

20

El procedimiento propuesto consta de tres etapas principales, consideradas como tales las de adición de componentes con su correspondiente mezclado, planteando el descanso de la mezcla tras cada una de ellas para maximizar la absorción de agua por parte del árido reciclado de hormigón durante el amasado.

25

Una ventaja del procedimiento es la no necesidad de presaturación, eliminándose el tiempo requerido para presaturar el árido reciclado de hormigón.

Otra ventaja del procedimiento es que se minimiza la absorción de agua por parte del árido reciclado de hormigón tras el procedimiento descrito, lo que permite transportarlo desde la central de hormigonado al lugar de la puesta en obra sin perder sus propiedades, conservando de manera óptima su autocompactabilidad.

Otras ventajas del procedimiento es su puesta en obra con un mínimo consumo de

energía y tiempo debido a un proceso de amasado en tres etapas de adición y mezclado principales que proporciona al hormigón una alta autocompactabilidad. Al no haber vibrado se reduce el consumo de combustible y las consiguientes emisiones de CO₂, con la consiguiente reducción de huella de carbono y preservación del medio natural, haciendo frente al cambio climático y contribuyendo a una economía circular. Esto a su vez permite aumentar en mayor medida la sostenibilidad del hormigón. Supone, además del citado ahorro de energía, una notable ventaja económica y de rendimiento para la empresa, pues permite ahorrar costes y hacer que la puesta en obra sea más rápida.

10

EXPOSICIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La invención es un hormigón autocompactante con árido reciclado de hormigón que comprende cemento Portland como primer conglomerante, escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante, áridos, agua y aditivos. Los áridos comprenden árido reciclado de hormigón, siendo la totalidad de la fracción gruesa y la totalidad de la fracción polvo del hormigón de dicho árido reciclado de hormigón.

Opcionalmente comprende fracción fina de árido reciclado de hormigón y/o fracción fina de arena silíceo. Es decir, puede aparecer fracción fina sólo de árido reciclado de hormigón sin fracción fina de arena silíceo, convivir las fracciones finas de ambos áridos, o sólo aparecer la fracción fina de arena silíceo sin fracción fina de árido reciclado de hormigón, como se aprecia en las mezclas ejemplo de la tabla 2 más abajo.

25

Una dosificación que se muestra como ventajosa es que el cemento Portland como primer conglomerante está entre un 40 %-60 % en volumen del total de conglomerantes, la escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante está entre un 40 %-60 % en volumen del total de conglomerantes. Es decir, un conglomerante se complementa con el otro para llegar a la totalidad de conglomerantes en el hormigón. En concreto, un valor preferido en esos rangos es que el primer conglomerante es el 50 % en volumen del total de conglomerantes, la escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante es el 50 % en volumen del total de conglomerantes.

Otra opción ventajosa en la dosificación de las fracciones es que la fracción polvo es entre el 10 % y el 15 % del volumen total de hormigón, la fracción gruesa es entre el 10 % y el 15 % del volumen total de hormigón; la fracción fina es entre el 30 % y el 35 % del volumen total de hormigón.

Un detalle del hormigón es que la fracción polvo son partículas de tamaño menor o igual que 0,5 mm, la fracción fina son partículas de tamaño mayor que 0,5 mm y menor o igual que 4 mm, la fracción gruesa son partículas de tamaño mayor que 4 mm y menor o igual que 12 mm.

Otro detalle del hormigón es que la escoria siderúrgica granulada molida son partículas de tamaño hasta 0,01 mm.

La invención es también el procedimiento de elaboración de hormigón autocompactante según se describe en su manera más general, con las fracciones gruesa y polvo, comprende las siguientes etapas en secuencia:

- adición del 45 % en volumen del agua y de la totalidad de las fracciones gruesa y polvo de árido reciclado de hormigón;
- mezclado;
- reposo;
- adición del 45 % en volumen del agua, del cemento Portland como primer conglomerante y de la escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante;
- mezclado;
- reposo;
- adición del 10 % en volumen del agua con aditivos disueltos, como pueden ser un regulador de fraguado y un plastificante;
- mezclado;
- reposo.

Cuando el hormigón incluye la fracción fina, se adiciona en la etapa de la primera adición, junto con las fracciones gruesa y polvo.

Una opción ventajosa sobre los tiempos de mezclado y reposo es que cada etapa de mezclado tiene una duración entre 2 minutos y 5 minutos, cada etapa de reposo tiene una duración entre 2 minutos y 5 minutos. En concreto, que cada etapa de mezclado tiene una duración de 3 minutos, cada etapa de reposo tiene una duración de 2 minutos.

Ejemplo

Se plantean tres mezclas, con el 100 % de árido reciclado de hormigón en la fracción gruesa y polvo, con contenidos de árido reciclado de hormigón en la fracción fina del 0 % (MIX0), 50 % (MIX50) y 100 % (MIX100). Debe tenerse en cuenta que las posibilidades de fabricación son muy amplias y dependen de aspectos como el lugar de elaboración de hormigón original machacado, las características del árido natural empleado o la proporción de cemento.

15

La composición química de la escoria siderúrgica granulada molida se muestra en la Tabla 1 (expresado en %):

CO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Otros
1,2	43,3	8,9	0,9	34,4	9,1	1,3	0,9

Tabla 1. Composición química escoria siderúrgica granulada molida

20 Su dosificación se muestra en la Tabla 2:

Material/Mix	MIX0	MIX50	MIX100
CEM I 52.5 R	208		
Escoria siderúrgica granulada molida	208		
Árido reciclado de hormigón fracción polvo	305		
Agua	225	280	335
Árido reciclado de hormigón fracción gruesa	405		
Árido reciclado de hormigón fracción fina	0	430	865
Arena silíceo	935	470	0
Regulador de fraguado	2,30		

Plastificante	4,50
---------------	------

Tabla 2. Dosificación de las mezclas (kg/m³)

Las propiedades en estado fresco se muestran en la Tabla 3 según las especificaciones internacionales para la caracterización del hormigón autocompactante (EN 206 y recomendaciones de la EFNARC) (entre paréntesis la clase de escurrimiento –SF–, viscosidad en escurrimiento –VS–, viscosidad en el ensayo de embudo en V –VF–, habilidad de paso –PA– y segregación –SR– correspondientes):

Propiedad	Tiempo desde el amasado (min)	MIX0	MIX50	MIX100
Escurrecimiento (mm)	0	800 (SF3)	820 (SF3)	830 (SF3)
	15	770 (SF3)	780 (SF3)	780 (SF3)
	30	715 (SF2)	700 (SF2)	705 (SF2)
	60	570 (SF1)	560 (SF1)	555 (SF1)
T ₅₀₀ (s)	0	2,4 (VS2)	3 (VS2)	3,6 (VS2)
	15	3,4 (VS2)	4,6 (VS2)	5,8 (VS2)
	30	5,6 (VS2)	6,8 (VS2)	8,4 (VS2)
	60	8,6 (VS2)	11,2 (VS2)	12,8 (VS2)
Tiempo de vaciado del embudo en V (s)	15	10,6 (VF2)	19,2 (VF2)	24,8 (VF2)
Cociente de alturas en la caja en L	15	0,80 (PA1)	0,82 (PA1)	0,86 (PA1)
Resistencia a la segregación (%)	30	1,86 (SR2)	1,67 (SR2)	1,31 (SR2)
Densidad en estado fresco (Mg/m ³)	-	2,22	2,16	1,96

Aire ocluido (%)	-	4,5	5,3	5,9
------------------	---	-----	-----	-----

Tabla 3. Propiedades en estado fresco

Las propiedades en estado endurecido se recogen en la Tabla 4.

	Edad (días)	MIX0	MIX50	MIX100
Resistencia a compresión sobre probeta cúbica (MPa)	1	12,5	9,9	5,2
	7	36,4	32,1	22,3
	28	45,9	39,6	31,8
	90	47,8	43,3	35,5
Resistencia a compresión sobre probeta cilíndrica (MPa)	7	29,5	25,1	16,7
	28	41,8	34,5	27,3
Densidad endurecida (Mg/m ³)	28	2,15	2,08	1,81*
Módulo de elasticidad (GPa)	7	26,6	24,5	13,9
	28	29,3	27,1	16,1
Resistencia a tracción indirecta (MPa)	7	2,7	2,1	1,4
	28	3,2	2,4	1,8
Resistencia a flexión (MPa)	7	4,1	3,8	2,9
	28	4,9	4,5	3,3
Índice de rebote (adimensional)	1	11	10	10
	7	28	26	20
	28	31	28	26
	90	32	30	27
Velocidad de impulso ultrasónico (km/s)	1	2,82	2,77	2,43
	7	3,83	3,75	3,21
	28	4,03	3,93	3,68
	90	4,07	4,01	3,89

* Mezcla válida como hormigón ligero.

5

Tabla 4. Propiedades en estado endurecido

El procedimiento de mezcla planteado, así como los hormigones autocompactantes empleados serían válidos para uso estructural tanto en aplicaciones de hormigón armado como pretensado, tanto in situ como prefabricado. Además, en estructuras complejas en las que se requiera un peso propio de los componentes muy reducido, la mezcla MIX100 presenta grandes posibilidades de aplicación debido a su

consideración de hormigón ligero.

REIVINDICACIONES

1.-Hormigón autocompactante con árido reciclado de hormigón que comprende
5 cemento Portland como primer conglomerante, áridos, agua y aditivos, **caracterizado por** que comprende escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante, los áridos comprenden árido reciclado de hormigón, siendo la totalidad de la fracción gruesa y la totalidad de la fracción polvo del hormigón de dicho árido reciclado de hormigón y en el que cemento Portland como primer
10 conglomerante está entre un 40 %-60 % en volumen del total de conglomerantes, la escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante está entre un 40 %-60 % en volumen del total de conglomerantes.

2.-Hormigón según la reivindicación 1 en el que el cemento Portland como primer
15 conglomerante es el 50 % en volumen del total de conglomerantes, la escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante es el 50 % en volumen del total de conglomerantes.

3.-Hormigón según la reivindicación 1 en el que la fracción polvo es entre el 10 % y el
20 15 % del volumen total de hormigón, la fracción gruesa es entre el 10 % y el 15 % del volumen total de hormigón.

4.-Hormigón según la reivindicación 1 que comprende fracción fina de áridos
25 reciclado de hormigón y/o fracción fina de arena silíceas y en el que la fracción fina es entre el 30 % y el 35 % del volumen total de hormigón.

5.-Hormigón según la reivindicación 4 en el que la fracción polvo son partículas de
tamaño menor o igual que 0,5 mm, la fracción fina son partículas de tamaño mayor que 0,5 mm y menor o igual que 4 mm, la fracción gruesa son partículas de tamaño
30 mayor que 4 mm y menor o igual que 12 mm.

6.-Hormigón según la reivindicación 1 en el que la escoria siderúrgica granulada molida son partículas de tamaño hasta 0,01 mm.

7.-Procedimiento de elaboración de hormigón autocompactante con árido reciclado de hormigón según la reivindicación 1, **caracterizado por** que comprende las siguientes etapas en secuencia:

- 5 - adición del 45 % en volumen del agua y de la totalidad de las fracciones gruesa y polvo de árido reciclado de hormigón;
- mezclado;
- reposo;
- adición del 45 % en volumen del agua, del cemento Portland como primer conglomerante y de la escoria siderúrgica granulada molida como segundo
- 10 conglomerante;
- mezclado;
- reposo;
- adición del 10 % en volumen del agua con aditivos disueltos;
- mezclado;
- 15 - reposo.

8.-Procedimiento según la reivindicación 7 en el que la fracción fina se adiciona en la etapa de la primera adición, junto con las fracciones gruesa y polvo.

20 9.-Procedimiento según la reivindicación 7 en el que cada etapa de mezclado tiene una duración entre 2 minutos y 5 minutos, cada etapa de reposo tiene una duración entre 2 minutos y 5 minutos.

25 10.-Procedimiento según la reivindicación 9 en el que cada etapa de mezclado tiene una duración de 3 minutos, cada etapa de reposo tiene una duración de 2 minutos.