

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 891 675**

21 Número de solicitud: 202030748

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 concesión:

**08.06.2022**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**15.06.2022**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**ORTEGA-LÓPEZ, Vanesa;  
FIOL OLIVÁN, Francisco;  
SKAF REVENGA, Marta;  
MANSO VILLALAIN, Juan Manuel y  
REVILLA-CUESTA, Víctor**

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

57 Resumen:

Hormigón autocompactante con árido reciclado de hormigón y de baja retracción que comprende cemento Portland como primer conglomerante, escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante, escoria blanca de horno de cuchara como tercer 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 2 891 675 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 DE BAJA RETRACCIÓN 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 de 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 La escoria blanca de horno de cuchara es un residuo producido durante el proceso de afino del acero (metalurgia secundaria), proceso que se lleva a cabo en el horno eléctrico de cuchara. Además de presentar propiedades conglomerantes, se caracteriza también por presentar características expansivas (cal y magnesia libre), de modo que en presencia de agua, calor y con el paso del tiempo puede aumentar
- 10 de forma notable su volumen. Por ello, su empleo en cantidades controladas en una mezcla de hormigón permite compensar la retracción del hormigón que tiene lugar durante su curado. La gran cantidad de agua empleada durante la fabricación del hormigón autocompactante da lugar a hormigones muy sensibles a la retracción, por lo que la incorporación de escoria blanca de horno de cuchara en la composición de
- 15 la mezcla de hormigón hace que sea de gran utilidad para evitar este fenómeno de retracción.

En el estado de la técnica existente está descrita la composición y recomendaciones de comportamiento en estado fresco de hormigones autocompactantes elaborados

20 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

25 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

30 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  
5 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  
10 Engineering 28, 101060. DOI: 10.1016/j.job.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;  
15 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.,  
20 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).

La escoria siderúrgica granulada molida es un residuo diferente del anterior (CEDEX, 2013. *Catálogo de residuos utilizables en construcción*. CEntro de Estudios y  
30 *EXperimentación en obras públicas* (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.

La escoria blanca de horno de cuchara, siempre empleada en baja proporción (5 %-10 % del contenido total de conglomerante) para controlar óptimamente sus propiedades expansivas, ha sido empleada fundamentalmente en la estabilización de suelos y en morteros (Santamaria, A., Faleschini, F., Giacomello, G., Brunelli, K., San José, J.T., Pellegrino, C., Pasetto, M., 2018. *Dimensional stability of electric arc furnace slag in civil engineering applications. Journal of Cleaner Production*. 205, 599-609. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.09.122; Rodríguez, A., Santamaría-Vicario, I., Calderón, V., Junco, C., García-Cuadrado, J., 2019. *Study of the expansion of cement mortars manufactured with Ladle Furnace Slag LFS. Materiales de Construcción*. 69 (334), e183. DOI: 10.3989/mc.2019.06018). Existen pocos estudios que hayan empleado la escoria blanca de horno de cuchara para la elaboración de hormigón (Parron-Rubio, M.E., Perez-Garcia, F., Gonzalez-Herrera, A., Oliveira, M.J., Rubio-Cintas, M.D., 2019. *Slag substitution as a cementing material in concrete: Mechanical, physical and environmental properties. Materials*. 12 (18), 2845. DOI: 10.3390/ma12182845). Los estudios son incluso más escasos cuando se trata de hormigón autocompactante (Sideris, K.K., Tassos, C., Chatzopoulos, A., Manita, P., 2018. *Mechanical characteristics and durability of selfcompacting concretes produced with ladle furnace slag. Construction and Building Materials*. 170, 660-667. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.091). La combinación de árido reciclado de hormigón y de escoria blanca de horno de cuchara para la producción de hormigón autocompactante no ha sido estudiada nunca. Esto hace que el uso simultáneo de los tres residuos indicados, árido reciclado de hormigón, escoria siderúrgica granulada molida y escoria blanca de horno de cuchara tampoco haya sido estudiada

nunca en hormigón autocompactante. Por último, aunque existen algunos pocos estudios que han evaluado el efecto de la escoria blanca de horno de cuchara en el hormigón (Santamaria, A., Faleschini, F., Giacomello, G., Brunelli, K., San José, J.T., Pellegrino, C., Pasetto, M., 2018. *Dimensional stability of electric arc furnace slag in civil engineering applications. Journal of Cleaner Production.* 205, 599-609. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.09.122), no existen estudios que hayan evaluado la capacidad de la escoria blanca de horno de cuchara para reducir la retracción del hormigón autocompactante elaborado con árido reciclado de hormigón y escoria siderúrgica granulada molida.

10

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-Fonteboa, 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.

20

### **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

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

30 El objeto de la invención es un hormigón autocompactante con árido reciclado de hormigón y de baja retracción 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.

A la vista de lo anteriormente enunciado, la presente invención se refiere a un hormigón autocompactante con árido reciclado de hormigón y de baja retracción que  
5 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 y escoria blanca de horno de cuchara como tercer conglomerante, los áridos comprenden árido reciclado de hormigón, siendo la totalidad de la fracción gruesa y  
10 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.

Una ventaja del hormigón es que se consigue una buena estabilidad dimensional,  
15 pues el hormigón autocompactante es habitualmente muy sensible a fenómenos como la retracción. Esto es posible gracias a las propiedades expansivas de la escoria blanca de horno de cuchara, consiguiéndose una baja retracción. De esta forma, se amplía el campo de aplicación del hormigón autocompactante a estructuras hiperestáticas, al conseguir reducir la fisuración por retracción.

20

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.

25

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

30 Otra ventaja del hormigón es su aplicabilidad real en obra gracias a las excelentes propiedades físicas y mecánicas del hormigón resultante. Como que es de aplicación en estructuras en las cuales el peso de los elementos deba ser muy reducido, pues la alta resistencia a compresión y baja densidad de este hormigón hace que se pueda considerar hormigón ligero, de acuerdo con las especificaciones de la EHE-08

(resistencia a compresión superior a 25 MPa y densidad inferior a 2 Mg/m<sup>3</sup>). Así como que es óptimo en estructuras con movimientos altamente restringidos (estructuras con hiperestaticidad, como por ejemplo biapoyadas con movimiento horizontal impedido o biempotradas), pues permite reducir la fisuración por retracción  
5 (acortamiento experimentado por el hormigón a lo largo de su vida útil) gracias a las propiedades expansivas de la escoria blanca de horno de cuchara.

Asimismo, la invención se refiere a un procedimiento de elaboración del hormigón autocompactante citado, que se caracteriza por que comprende las siguientes etapas  
10 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.

15

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.

20

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  
25 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  
30 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 CO<sub>2</sub>, 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.

5

#### **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

Se complementa la presente memoria descriptiva, con un juego de figuras, ilustrativas del ejemplo preferente, y nunca limitativas de la invención.

10

La figura 1 representa la evolución temporal de la retracción a largo plazo de las diferentes mezclas del ejemplo de realización.

#### **EXPOSICIÓN DETALLADA DE LA INVENCION**

15

La invención es un hormigón autocompactante con árido reciclado y de baja retracción que comprende cemento Portland como primer conglomerante, escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante y escoria blanca de horno de cuchara como tercer 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.

20

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.

25

Una dosificación que se muestra como ventajosa es que el cemento Portland como primer conglomerante está entre un 40 %-50 % en volumen del total de conglomerantes, la escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante está entre un 40 %-50 % en volumen del total de conglomerantes y la escoria blanca de horno de cuchara está entre un 2% y un 10 % en volumen del total de conglomerantes. Es decir, los conglomerantes se complementan entre sí para

30

llegar a la totalidad de conglomerantes en el hormigón. En concreto, un valor preferido en esos rangos es que el primer conglomerante es el 45 % en volumen del total de conglomerantes, la escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante es el 45 % en volumen del total de conglomerantes y la escoria blanca de horno de cuchara es el 10 % 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 12 mm.

Otro detalle del hormigón es que la escoria siderúrgica granulada molida son partículas de tamaño hasta 0,01 mm y la escoria blanca de horno de cuchara son partículas de tamaño hasta 0,1 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, de la escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante y de la escoria blanca de horno de cuchara como tercer 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.

- 5 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

15

Se plantean tres mezclas, con un contenido de árido reciclado de hormigón del 100 % en las tres fracciones -gruesa, fina y polvo-, además de un 50 % de escoria siderúrgica granulada molida en relación con el conglomerante total añadido y contenidos del 0 % (mezcla L0, la cual no forma parte de la invención, pero se proporciona con fines comparativos con las otras mezclas), 5 % (mezcla L5) y 10 % (mezcla L10) de escoria blanca de horno de cuchara como conglomerante hidráulico.

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

	CO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Otros
escoria siderúrgica	1,2	43,3	8,9	0,9	34,4	9,1	1,3	0,9
escoria blanca	1,2	17,8	6,5	2,3	56,6	9,7	1,0	4,9

25 Tabla 1. Composición química escoria siderúrgica granulada molida y escoria blanca de horno de cuchara

Su dosificación se muestra en la Tabla 2:

Material/Mix	L0	L5	L10
CEM I 52.5 R	210	190	170
Escoria blanca de horno de cuchara (LFS)	0	20	40
Escoria siderúrgica granulada molida (GGBFS)	210		
Árido reciclado de hormigón fracción polvo	305		
Agua	335		
Árido reciclado de hormigón fracción gruesa	405		
Árido reciclado de hormigón fracción fina	865		
Regulador de fraguado	2,30		
Plastificante	4,50		

Tabla 2. Dosificación de las mezclas (kg/m<sup>3</sup>)

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 del embudo en V -VF-, habilidad de paso –PA- y segregación –SR-correspondientes):

Propiedad	Tiempo desde el amasado (min)	L0	L5	L10
Escurrimento (mm)	0	830 (SF3)	825 (SF3)	810 (SF3)
	15	780 (SF3)	770 (SF3)	755 (SF3)
	30	705 (SF2)	700 (SF2)	675 (SF2)
	60	555 (SF1)	550 (SF1)	550 (SF1)
T <sub>500</sub> (s)	0	3,6 (VS2)	4,0 (VS2)	4,4 (VS2)
	15	5,8 (VS2)	6,0 (VS2)	6,6 (VS2)
	30	8,4 (VS2)	9,0 (VS2)	9,8 (VS2)

	60	12,8 (VS2)	13,8 (VS2)	15,2 (VS2)
Tiempo de vaciado del embudo en V (s)	15	24,8 (VF2)	25,6 (VF2)	26,2 (VF2)
Cociente de alturas en la caja en L	15	0,86 (PA1)	0,85 (PA1)	0,82 (PA1)
Resistencia a la segregación (%)	30	1,31 (SR2)	1,26 (SR2)	1,19 (SR2)
Densidad en estado fresco (Mg/m <sup>3</sup> )	-	1,96	1,97	2,01
Aire ocluido (%)	-	5,9	5,7	5,4

Tabla 3. Propiedades en estado fresco

Las propiedades en estado endurecido se recogen en la Tabla 4. Estas propiedades muestran que todas mezclas pueden ser consideradas hormigón ligero (resistencia a compresión superior a 25 MPa y densidad inferior a 2 Mg/m<sup>3</sup>) y que la adición de diferentes porcentajes de escoria blanca de horno de cuchara permite reducir la retracción (acortamiento) del hormigón a lo largo de su vida útil, consiguiéndose una baja retracción. La Figura 1 representa la evolución temporal de la retracción a largo plazo de las diferentes mezclas.

	Edad (días)	L0	L5	L10
Resistencia a compresión sobre probeta cúbica (MPa)	7	22,3	21,8	20,5
	28	31,8	32,6	34,5
Densidad endurecida (Mg/m <sup>3</sup> )	28	1,81	1,86	1,89
Módulo de elasticidad (GPa)	7	13,9	13,4	13,3
	28	16,1	16,3	16,8
Retracción de secado (mm/m)	2	-	-	-
		0,65	0,51	0,32
Retracción a largo plazo (mm/m)	180	-	-	-
		1,30	1,08	0,83

Tabla 4. Propiedades en estado endurecido

10

## REIVINDICACIONES

- 1.-Hormigón autocompactante con árido reciclado de hormigón y de baja retracción que comprende cemento Portland como primer conglomerante, áridos, agua y aditivos, **caracterizado por** que comprende escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante y escoria blanca de horno de cuchara como tercer 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.
- 2.-Hormigón según la reivindicación 1 que comprende fracción fina de árido reciclado de hormigón y/o fracción fina de arena silíceas.
- 3.-Hormigón según la reivindicación 1 en el que el cemento Portland como primer conglomerante está entre un 40 %-50 % en volumen del total de conglomerantes, la escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante está entre un 40 %-50 % en volumen del total de conglomerantes, y la escoria blanca de horno de cuchara está entre un 2% y un 10 % en volumen del total de conglomerantes.
- 4.-Hormigón según la reivindicación 3 en el que el cemento Portland como primer conglomerante es el 45 % en volumen del total de conglomerantes, la escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante es el 45 % en volumen del total de conglomerantes, la escoria blanca de horno de cuchara es el 10 % en volumen del total de conglomerantes.
- 5.-Hormigón según la reivindicación 1 en el 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.
- 6.-Hormigón según la reivindicación 2 en el que la fracción fina es entre el 30 % y el 35 % del volumen total de hormigón.
- 7.-Hormigón según la reivindicación 2 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 son gruesa son partículas de tamaño mayor que 4 mm y menor o igual que 12 mm.

5 8.-Hormigón según la reivindicación 1 en el que la escoria siderúrgica granulada molida son partículas hasta 0,01 mm y la escoria blanca de horno de cuchara son partículas de tamaño hasta 0,1 mm.

10 9.-Procedimiento de elaboración de hormigón autocompactante con árido reciclado de hormigón y de baja retracción según la reivindicación 1, **caracterizado 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;

15 - adición del 45 % en volumen del agua, del cemento Portland como primer conglomerante, de la escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante y de la escoria blanca de horno de cuchara como tercer conglomerante;

- mezclado;

20 - reposo;

- adición del 10 % en volumen del agua con aditivos disueltos;

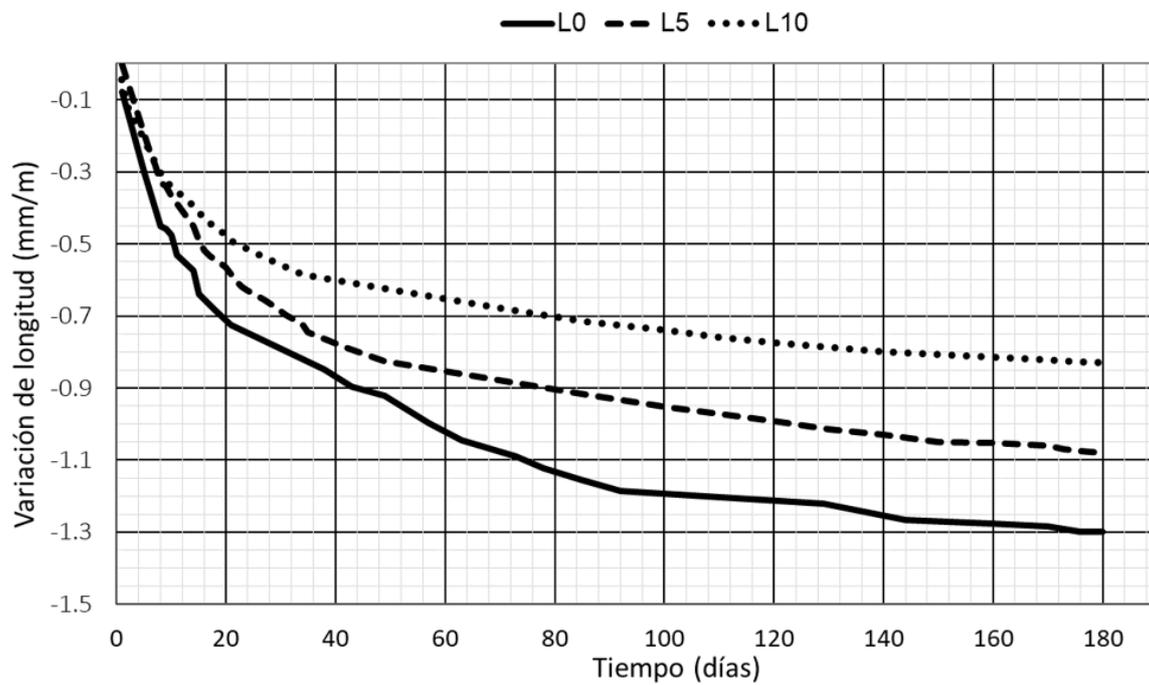
- mezclado;

- reposo.

25 10.-Procedimiento según la reivindicación 9 en el que la fracción fina se adiciona en la etapa de la primera adición, junto con las fracciones gruesa y polvo.

30 11.-Procedimiento según la reivindicación 9 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.

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



**Fig. 1**