

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 891 699**

21 Número de solicitud: 202030750

51 Int. Cl.:

C04B 28/08 (2006.01)

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:

01.06.2022

45 Fecha de publicación de la concesión:

08.06.2022

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**ORTEGA-LÓPEZ, Vanesa;
SERRANO LÓPEZ, Roberto;
SKAF REVENGA, Marta;
MANSO VILLALAÍN, Juan Manuel y
REVILLA-CUESTA, Víctor**

54 Título: **Hormigón autocompactante siderúrgico de alta resistencia y su procedimiento de elaboración**

57 Resumen:

Hormigón autocompactante siderúrgico de alta resistencia que comprende cemento Portland como primer conglomerante, áridos, agua y aditivos, fibras metálicas y/o plásticas, escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante, los áridos comprenden escoria de horno de arco eléctrico, siendo la totalidad de la fracción gruesa y la totalidad de la fracción fina del hormigón de dicha escoria de horno de arco eléctrico. El procedimiento de elaboración adiciona la casi totalidad del agua, todos los áridos y conglomerantes en una primera etapa, con mezclado y reposo, tras los cuales se añade el resto de agua y los aditivos, con mezclado y reposo.

ES 2 891 699 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 SIDERÚRGICO DE ALTA RESISTENCIA 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 escoria siderúrgica y de alta resistencia, es decir, adecuados para elementos estructurales sometidos a cargas muy elevadas.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15 El hormigón autocompactante es un tipo de hormigón con una alta trabajabilidad en 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

La escoria de horno de arco eléctrico es un residuo procedente del proceso de fabricación del acero en horno eléctrico a partir de la chatarra. Se trata de un residuo con un color negro oscuro, de gran densidad y dureza superficial, una porosidad y una absorción de agua superior a la del árido natural calizo o silíceo. Tras su machaqueo, la escoria de horno eléctrico presenta tamaños de partícula adecuados para su uso. Sus características hacen que sea ideal para elaborar hormigón de alta resistencia, debido a su elevada densidad y resistencia y a su óptima adherencia a la pasta de cemento, y fundamentalmente a su microporosidad, proporcionando un hormigón con gran peso e inercia capaz de resistir cargas muy elevadas. Un correcto diseño de la mezcla permite incluso obtener hormigones más resistentes que los obtenidos mediante el empleo de árido calizo o silíceo extraído de canteras o graveras.

30

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. Estos aspectos hacen que sea un producto que puede emplearse como sustituto del clínker de cemento, de modo que se reduzca la elevada emisión de CO₂ a la atmósfera que se produce durante la fabricación del clínker (aproximadamente la fabricación de una tonelada de clínker origina la emisión de 0,9 toneladas de CO₂ a la atmósfera).

10

La adición de fibras es una técnica desarrollada en los últimos años. La presencia de fibras en el hormigón es beneficiosa porque permite “coser” las fisuras que se originan en el mismo, aumentando la resistencia tanto antes como después de la fisuración. Tanto las fibras metálicas, de acero, como las fibras plásticas, generalmente de polietileno o polipropileno, han mostrado su validez. Su longitud suele ser de hasta 50 mm, presentando un diámetro entre 0,2 mm y 1 mm. Sin embargo, las fibras reducen la trabajabilidad del hormigón, dificultando la obtención de hormigones de alta trabajabilidad (como el hormigón autocompactante) cuando son añadidas.

20

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)). Los requisitos que el hormigón autocompactante debe cumplir se encuentran recogidos, entre otras, en la Instrucción Española de Hormigón Estructural EHE-08 (EHE-08, 2010. *Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08*. Ministerio de Fomento, Gobierno de España).

30

En relación con el hormigón autocompactante elaborado con escoria de horno de arco eléctrico, existen escasos estudios en los que se ha elaborado hormigón autocompactante con escoria de horno eléctrico en la fracción gruesa (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. Appl. Sci.* 10 (3), 773. DOI: 10.3390/app10030773) y son aún más escasos los que lo incorporan en la fracción fina (Manjunath, R., Narasimhan, M.C., Umesh, K.M., Shivam, K., Bala Bharathi, U.K., 2019. *Studies on development of high performance, self-compacting alkali activated slag concrete mixes using industrial wastes. Constr. Build. Mater.* 198, 133-147. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.242). El uso simultáneo de escoria de horno eléctrico en las fracciones gruesa y fina sin combinación con ningún tipo de árido natural es altamente novedoso.
- 10 La escoria siderúrgica granulada molida se ha utilizado tradicionalmente para la estabilización de suelos (Du, Y.J., Wu, J., Bo, Y.L., Jiang, N.J., 2020. *Effects of acid rain on physical, mechanical and chemical properties of GGBS–MgO-solidified/stabilized Pb-contaminated clayey soil. Acta Geotechnica.* 15 (4), 923-932. DOI: 10.1007/s11440-019-00793-y; Wu, H.L., Jin, F., Bo, Y.L., Du, Y.J., Zheng, J.X.,
- 15 2018. *Leaching and microstructural properties of lead contaminated kaolin stabilized by GGBS-MgO in semi-dynamic leaching tests. Constr. Build. Mater.* 172, 626-634. DOI: 10.1016/j.conbuildmat. 2018.03.164) o la fabricación de bases y subbases de carreteras (Abdollahnejad, Z., Luukkonen, T., Mastali, M., Giosue, C., Favoni, O., Ruello, M.L., Kinnunen, P., Illikainen, M., 2020. *Microstructural Analysis and Strength*
- 20 *Development of One-Part Alkali-Activated Slag/Ceramic Binders Under Different Curing Regimes. Waste Biomass Valoris.* 11 (6), 3081-3096. DOI: 10.1007/s12649-019-00626-9). El empleo de este residuo para la elaboración de hormigones es muy poco habitual (Bondar, D., Basheer, M., Nanukuttan, S., 2019. *Suitability of alkali activated slag/fly ash (AA-GGBS/FA) concretes for chloride environments: Characterisation based on mix design and compliance testing. Constr. Build. Mater.*
- 25 216, 612-621. DOI: 10.1016/j.conbuildmat. 2019.05.043; Yang, K.H., Hwang, Y.H., Lee, Y., Mun, J.H., 2019. *Feasibility test and evaluation models to develop sustainable insulation concrete using foam and bottom ash aggregates. Constr. Build. Mater.* 225, 620-632. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.130), más aún cuando se
- 30 trata de un hormigón autocompactante (Reddy, A.S., Kumar, P.R., Raj, P.A., 2020. *Development of Sustainable Performance Index (SPI) for Self-Compacting Concretes. J. Build. Eng.* 27, 100974. DOI: 10.1016/j.job.2019.100974). No se conoce ningún estudio en el cual la escoria de horno eléctrico se haya combinado con la escoria siderúrgica granulada molida para producir hormigón autocompactante.

En relación con la adición de fibras al hormigón, existen varios estudios que muestran el comportamiento de hormigones tradicionales vibrados con fibras metálicas y/o plásticas elaborados con árido natural (Akçay, B., Ozsar, D.S., 2019. *Do polymer*
5 *fibres affect the distribution of steel fibres in hybrid fibre reinforced concretes?* *Constr. Build. Mater.* 228, 116732. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116732; Chen, X., Wan, D.W., Jin, L.Z., Qian, K., Fu, F., 2019. *Experimental studies and microstructure analysis for ultra high-performance reactive powder concrete.* *Constr. Build. Mater.* 229, 116924. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116924). Existen estudios de
10 hormigón siderúrgico vibrado fabricado con escoria de horno de arco eléctrico y fibras (Fuente-Alonso, J.A., Ortega-López, V., Skaf, M., Aragón, Á., San-José, J.T., 2017. *Performance of fiber-reinforced EAF slag concrete for use in pavements.* *Constr. Build. Mater.* 149, 629-638. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.174.). Los estudios que abordan el empleo de fibras en hormigones autocompactantes son bastante
15 menos numerosos (Altalabani, D., Bzeni, D.K.H., Linsel, S., 2020. *Mechanical properties and load deflection relationship of polypropylene fiber reinforced self-compacting lightweight concrete.* *Constr. Build. Mater.* 252, 119084. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119084; Ghorbani, S., Sharifi, S., Rokhsarpour, H., Shoja, S., Gholizadeh, M., Rahmatabad, M.A.D., de Brito, J., 2020. *Effect of*
20 *magnetized mixing water on the fresh and hardened state properties of steel fibre reinforced self-compacting concrete.* *Constr. Build. Mater.* 248, 118660. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118660). No se conoce ningún estudio en el que se haya desarrollado un hormigón autocompactante elaborado simultáneamente con escoria de horno eléctrico y fibras metálicas y/o plásticas.

25

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

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

El objeto de la invención es un hormigón autocompactante siderúrgico de alta resistencia 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.

5

A la vista de lo anteriormente enunciado, la presente invención se refiere a un hormigón autocompactante siderúrgico de alta resistencia 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 fibras metálicas y/o
10 plásticas, escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante, los áridos comprenden escoria de horno de arco eléctrico, siendo la totalidad de la fracción gruesa y la totalidad de la fracción fina del hormigón de dicha escoria de horno de arco eléctrico. Es decir, la totalidad de la fracción gruesa y la de fracción
15 fina es de escoria de horno de arco eléctrico, no hay fracción gruesa o fina de otro tipo de árido, es decir, no se incorpora ningún árido natural, ya sea silíceo o calizo, a las fracciones gruesa y fina de árido.

Una ventaja del hormigón es que se maximiza la sostenibilidad del hormigón autocompactante tanto en lo referente a los áridos empleados como al
20 conglomerante hidráulico.

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

25

Otra ventaja del hormigón es su aplicabilidad real en obra gracias a su buena trabajabilidad, pues es fácilmente bombeable, debido a su autocompactabilidad, lo que además permite el hormigonado sencillo en zonas de difícil acceso.

30 Otra ventaja es que, debido a la inclusión de fibras metálicas y/o plásticas y a su buena interacción con la escoria de horno de arco eléctrico y con la matriz cementicia, la cual incorpora escoria siderúrgica granulada molida, proporciona una elevada resistencia a la fisuración, incluso dicha resistencia con anterioridad y posterioridad a la citada fisuración, lo que permite su aplicación en elementos

estructurales (por ejemplo vigas, columnas, forjados o muros) sometidos a cargas muy elevadas, tanto en aplicaciones de hormigón armado como pretensado, tanto in situ como prefabricado, así como una mayor seguridad tras un posible fallo o rotura, pues permite disponer de un mayor tiempo para la evacuación del edificio o

5 estructura.

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 95 % en volumen del agua y la totalidad de áridos, entre los

10 que se encuentran escoria de horno de arco eléctrico, y conglomerantes, siendo cemento Portland un primer conglomerante y escoria siderúrgica granulada molida un segundo conglomerante; mezclado; reposo; adición del 5 % en volumen del agua y los aditivos; mezclado; y reposo.

15 Unas ventajas del procedimiento es su puesta en obra con un mínimo consumo de energía y tiempo debido a un proceso con pocas etapas, con lo que es relativamente rápido. 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

20 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.

25 **EXPOSICIÓN DETALLADA DE LA INVENCION**

La invención es un hormigón autocompactante siderúrgico de alta resistencia que comprende cemento Portland como primer conglomerante, áridos, agua y aditivos, fibras metálicas (éstas, por ejemplo, de acero) y/o plásticas (éstas, por ejemplo,

30 polietileno o polipropileno), escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante, los áridos comprenden escoria de horno de arco eléctrico, siendo la totalidad de la fracción gruesa y la totalidad de la fracción fina del hormigón de dicha escoria de horno de arco eléctrico.

Opcionalmente comprende fracción polvo de escoria de horno de arco eléctrico.

Una dosificación que se muestra como ventajosa es que el cemento Portland como primer conglomerante está entre un 60 %-70 % en volumen del total de
5 conglomerantes, la escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante está entre un 30 %-40 % 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. La suma de ambos conglomerantes, primero y segundo, puede llegar a suponer entre el 10 % y el 10,5 % del volumen total de
10 hormigón.

Otra opción ventajosa en la dosificación de las fracciones es que la fracción fina es entre el 20 % y el 25 % del volumen total de hormigón, la fracción gruesa es entre el 15 % y el 20 % del volumen total de hormigón. Además, la fracción polvo, cuando
15 esté presente, es entre el 35 % y el 40 % del volumen total de hormigón.

Otra opción ventajosa es que las fibras metálicas y/o plásticas son entre el 0,25 % y el 1,0 % del volumen total del hormigón.

20 Otra opción ventajosa es que el agua es entre el 15 % y el 20 % del volumen total de hormigón, los aditivos comprenden un aditivo plastificante y supone entre el 0,5 % y el 0,8 % del volumen total de hormigón.

Un detalle del hormigón es que la fracción polvo son partículas de tamaño menor o
25 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
30 partículas de tamaño hasta 0,01 mm.

Otro detalle del hormigón es que las fibras metálicas y/o plásticas son partículas de tamaño entre 0,1 mm y 30 mm.

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

- adición del 95 % en volumen del agua y la totalidad de áridos, entre los que se encuentran escoria de horno de arco eléctrico, y conglomerantes, siendo cemento Portland un primer conglomerante y escoria siderúrgica granulada molida un segundo conglomerante;
- mezclado;
- reposo;
- 10 - adición del 5 % en volumen del agua y los aditivos;
- mezclado;
- reposo.

Una opción ventajosa sobre los tiempos de mezclado y reposo es que cada etapa de mezclado tiene una duración entre 1 minuto y 3 minutos, cada etapa de reposo tiene una duración entre 1 minuto y 2 minutos. En concreto, cada etapa de mezclado tiene una duración de 2 minutos, cada etapa de reposo tiene una duración de 1 minuto.

Siguiendo las proporciones mencionadas según el procedimiento citado se pueden obtener diversas mezclas para el hormigón autocompactante objeto de la invención. Según las especificaciones internacionales para la caracterización del hormigón autocompactante (EN 206 y recomendaciones de la EFNARC), estas mezclas presentaron una clase de escurrimiento SF1 (escurrimiento entre 550 mm y 650 mm) o SF2 (escurrimiento entre 650 mm y 750 mm) después del proceso de amasado, una densidad fresca comprendida entre 2,6 y 2,75 Mg/m³, un contenido de aire ocluido entre 1,9 y 2,2 % y una retracción de secado entre 0,9 y 1,1 mm/m. Respecto a las propiedades en estado endurecido, la resistencia a compresión a 28 días se encontró entre 55 y 80 MPa, el módulo de elasticidad a 90 días entre 30 y 45 GPa, la resistencia a flexión a 90 días entre 5 y 8 MPa, la resistencia a tracción indirecta a 90 días entre 4 y 5,5 MPa, la resistencia directa a tracción a 160 días entre 3,5 y 4,5 MPa, el módulo de elasticidad a tracción a 160 días entre 35 y 40 GPa, la altura media de penetración de agua a 90 días entre 10 y 12 mm y la altura de penetración máxima de agua a 90 días entre 15 y 20 mm. Todas estas propiedades fueron acordes, según la normativa vigente, con un hormigón de alta resistencia antes de la

fisuración.

Las propiedades de las mezclas post-fisuración a 160 días fueron las siguientes: de acuerdo con el ensayo de flexión en cuatro puntos, la tenacidad a la fractura estuvo comprendida entre 10 y 25 N·m, la resistencia a primera fisura entre 4 y 8 MPa y la energía de fractura entre 0,7 y 1,2 N/mm; de acuerdo con el ensayo de flexión en tres puntos con probeta entallada, el límite de proporcionalidad estuvo comprendido entre 3,5 y 5,5 MPa, la resistencia residual para una apertura de entalla de 3,5 mm entre 1 y 3 MPa, la energía de fractura entre 0,5 y 2,5 N/mm y la energía de fractura según la apertura de la entalla entre 0,7 y 3 N/mm.

Ejemplo

Se plantean como ejemplo tres mezclas, denominadas T (fibras metálicas en un 0,25 % del volumen de hormigón), M (fibras metálicas en 0,5 % del volumen de hormigón) y P (fibras plásticas en un contenido del 0,5 % del volumen de hormigón).

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

Las características de las fibras metálicas y plásticas empleadas se recogen en la Tabla 2:

Característica	Fibras metálicas	Fibras plásticas
Material	Acero	Poliolefina/Polipropileno
Longitud (mm)	35	35
Diámetro equivalente (mm)	0,55	0,93
Relación de aspecto (longitud/diámetro)	64	38
Resistencia a tracción (MPa)	> 1200	> 400

Densidad (kg/m ³)	7900	910
Módulo de Young (GPa)	210	6

Tabla 2. Características de las fibras empleadas

La dosificación de las mezclas se muestra en Tabla 3:

Componentes (kg/m ³)	T	M	P
Cemento Portland ordinario (CEM I 52.5 R)	215	215	215
Escoria siderúrgica granulada molida	115	115	115
Agua	170	180	185
Escoria de horno de arco eléctrico: Fracción gruesa	750	750	750
Escoria de horno de arco eléctrico: Fracción fina	550	550	550
Arena caliza: Fracción polvo	950	950	950
Aditivo plastificante	5,5	5,5	5,5
Fibras (M, metálicas; P, plásticas)	20 (M)	40 (M)	4,5 (P)

Tabla 3. Dosificación de las mezclas (kg/m³)

5

Las propiedades en estado fresco se muestran en la Tabla 4 (entre paréntesis la clase de escurrimiento):

Propiedad	T	M	P
Escurrimiento (mm)	720 (SF2)	650 (SF1)	620 (SF1)
Densidad fresca (Mg/m ³)	2,71	2,67	2,60
Aire ocluido (%)	2,2	2,0	1,9
Retracción de secado (mm/m)	1,1	0,9	1,0

Tabla 4. Propiedades en estado fresco

10 Las propiedades en estado endurecido que describen el comportamiento pre-fisuración se describen en la Tabla 5 (entre paréntesis la desviación estándar):

Propiedad	Edad de ensayo	T	M	P
-----------	----------------	---	---	---

Densidad endurecida (Mg/m ³)	90 días	2,63 (0,3)	2,57 (0,3)	2,54 (0,2)
Resistencia a compresión (MPa)	7 días	47,1 (1,5)	38,2 (0,4)	33,3 (0,1)
	28 días	59,7 (5,7)	53,1 (1,5)	46,1 (1,0)
	90 días	75,3 (4,1)	63,6 (3,6)	56,8 (5,3)
	180 días	76,1 (3,5)	65,2 (3,5)	59,1 (3,2)
	360 días	77,9 (0,2)	68,8 (5,3)	60,5 (2,7)
Módulo de elasticidad (GPa)	90 días	40,1 (0,7)	34,7 (1,5)	31,6 (0,9)
Coefficiente de Poisson (ν)	90 días	0,23 (0,1)	0,22 (0,1)	0,22 (0,1)
Resistencia a flexión (MPa)	90 días	7,93 (2,3)	5,97 (1,1)	5,04 (0,3)
Resistencia a tracción indirecta (MPa)	90 días	5,11 (0,4)	4,84 (0,6)	4,35 (0,4)
Resistencia a tracción directa (MPa)	160 días	4,25 (0,2)	3,77 (0,4)	3,66 (0,4)
Módulo de elasticidad a tracción (GPa)	160 días	38,5 (1,0)	37,9 (2,8)	35,5 (0,3)
Altura máxima de penetración de agua (mm)	90 días	16 (6,1)	19 (5,4)	20 (4,7)
Altura media de penetración de agua (mm)	90 días	10 (4,5)	12 (4,8)	12 (5,1)

Tabla 5. Propiedades en estado endurecido pre-fisuración

Las propiedades en estado endurecido de las diferentes mezclas post-fisuración se recogen en la Tabla 6 (entre paréntesis la desviación estándar).

Ensayo	Propiedad	T	M	P
Ensayo de flexión sobre cuatro puntos	Tenacidad a la fractura por flexión (N·m)	8,61	21,38	11,72
	Resistencia a primera fisura (MPa)	7,59 (2,1)	4,89 (1,4)	4,13 (0,5)
	Energía de fractura (N/mm)	0,749	2,153	1,190
Ensayo de flexión sobre tres puntos en probetas entalladas	Límite de proporcionalidad (MPa)	5,20	5,98	3,66
	Resistencia residual	-	-	-

	(MPa):			
	Apertura de entalla: 0.5 mm	5,50	6,52	1,21
	Apertura de entalla: 1.5 mm	4,80	5,70	1,17
	Apertura de entalla: 2.5 mm	3,65	3,96	1,29
	Apertura de entalla: 3.5 mm	3,93	3,01	1,31
	Energía de fractura (N/mm)	1,124	2,235	0,598
	Energía de fractura según la apertura de entalla (N/mm)	1,133	2,637	0,707

Tabla 6. Propiedades en estado endurecido post-fisuración

REIVINDICACIONES

- 1.-Hormigón autocompactante siderúrgico de alta resistencia que comprende cemento Portland como primer conglomerante, áridos, agua y aditivos, **caracterizado**
5 **por** que comprende fibras metálicas y/o plásticas, escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante, los áridos comprenden escoria de horno de arco eléctrico, siendo la totalidad de la fracción gruesa y la totalidad de la fracción fina del hormigón de dicha escoria de horno de arco eléctrico.
- 10 2.-Hormigón según la reivindicación 1 que comprende fracción polvo de escoria de horno de arco eléctrico.
- 3.-Hormigón según la reivindicación 1 en el que el cemento Portland como primer conglomerante está entre un 60 %-70 % en volumen del total de conglomerantes, la
15 escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante está entre un 30 %-40 % en volumen del total de conglomerantes.
- 4.-Hormigón según la reivindicación 3 en el que la suma de ambos conglomerantes, primero y segundo, supone entre el 10 % y el 10,5 % del volumen total de hormigón.
- 20 5.-Hormigón según la reivindicación 1 en el que la fracción fina es entre el 20 % y el 25 % del volumen total de hormigón, la fracción gruesa es entre el 15 % y el 20 % del volumen total de hormigón.
- 25 6.-Hormigón según la reivindicación 2 en el que la fracción polvo es entre el 35 % y el 40 % del volumen total de hormigón.
- 7.-Hormigón según la reivindicación 1 en el que las fibras metálicas y/o plásticas son entre el 0,25 % y el 1,0 % del volumen total del hormigón.
- 30 8.-Hormigón según la reivindicación 1 en el que el agua es entre el 15 % y el 20 % del volumen total de hormigón, los aditivos comprenden un aditivo plastificante y supone entre el 0,5 % y el 0,8 % del volumen total de hormigón.

9.-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 gruesa son partículas de tamaño mayor que 4 mm y menor o igual que 12 mm.

5

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

10 11.-Hormigón según la reivindicación 1 en el que las fibras metálicas y/o plásticas son partículas de tamaño entre 0,1 mm y 30 mm.

12.-Procedimiento de elaboración de hormigón autocompactante siderúrgico de alta resistencia según la reivindicación 1, **caracterizado por** que comprende las siguientes etapas en secuencia:

15 - adición del 95 % en volumen del agua y la totalidad de áridos, entre los que se encuentran escoria de horno de arco eléctrico, y conglomerantes, siendo cemento Portland un primer conglomerante y escoria siderúrgica granulada molida un segundo conglomerante;

- mezclado;

20

- reposo;

- adición del 5 % en volumen del agua y los aditivos;

- mezclado;

- reposo.

25 13.-Procedimiento según la reivindicación 12 en el que cada etapa de mezclado tiene una duración entre 1 minuto y 3 minutos, cada etapa de reposo tiene una duración entre 1 minuto y 2 minutos.

30 14.-Procedimiento según la reivindicación 13 en el que cada etapa de mezclado tiene una duración de 2 minutos, cada etapa de reposo tiene una duración de 1 minuto.