

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 895 754**

21 Número de solicitud: 202030878

51 Int. Cl.:

C04B 28/08 (2006.01)

C04B 7/19 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

20.08.2020

43 Fecha de publicación de la solicitud:

22.02.2022

Fecha de concesión:

17.06.2022

45 Fecha de publicación de la concesión:

24.06.2022

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE BURGOS (80.0%)
C/ Hospital del Rey s/n
09001 BURGOS (Burgos) ES y
UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO / EUSKAL
HERRIKO UNIBERTSITATEA (20.0%)**

72 Inventor/es:

**ORTEGA LÓPEZ, Vanesa;
SKAF REVENGA, Marta;
MANSO VILLALAÍN, Juan Manuel;
REVILLA CUESTA, Víctor y
SANTAMARÍA LEÓN, Amaia**

74 Agente/Representante:

CAPITAN GARCÍA, Nuria

54 Título: **HORMIGÓN SIDERÚRGICO DE CONSISTENCIA SECA Y SU PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN**

57 Resumen:

Hormigón siderúrgico de consistencia seca que comprende cemento Portland como primer conglomerante, áridos, agua y aditivos, fibras metálicas y/o plásticas, escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante y escoria blanca de horno de cuchara como tercer conglomerante, los áridos comprenden escoria de horno de arco eléctrico, siendo la totalidad de la fracción gruesa, la totalidad de la fracción media 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 un primer mezclado y reposo, un segundo mezclado, tras los cuales se añade el resto de agua y los aditivos, un tercer mezclado y un segundo reposo.

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).

ES 2 895 754 B2

DESCRIPCIÓN

HORMIGÓN SIDERÚRGICO DE CONSISTENCIA SECA 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 con consistencia seca, también denominados
10 hormigones secos, y con componentes recuperados, provenientes de otros procesos o sustancias, como deshechos de la industria del acero, haciéndolos sostenibles.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15 El hormigón seco compactado con rodillo es un hormigón que presenta una trabajabilidad en estado fresco muy reducida, de modo que de la única forma que puede ponerse en obra es mediante el empleo de rodillos compactadores, como los habitualmente utilizados en carreteras para el extendido de las capas de base y subbase. Esta reducida trabajabilidad hace que presente unas resistencias iniciales
20 muy elevadas y que sea capaz de soportar cargas inmediatamente después de su compactación, no siendo necesario esperar un tiempo de fraguado, como sí sucede en otros hormigones como el hormigón vibrado o el hormigón autocompactante. Esta reducida trabajabilidad hace que el consumo de energía y combustible durante su puesta en obra sea muy alto, por lo que es un material de gran utilidad, pero
25 tradicionalmente muy agresivo con el medio ambiente.

La escoria de horno de arco eléctrico es uno de los residuos que se producen en la industria siderúrgica. Dicha escoria se obtiene durante el proceso de fabricación del acero en horno eléctrico a partir de la chatarra. Se caracteriza por presentar un color
30 negro oscuro, una gran densidad y dureza superficial y una porosidad y absorción de agua superior a la del árido natural calizo o silíceo. Al someter a este residuo a un proceso de machaqueo, se obtiene un árido artificial que presenta generalmente un tamaño comprendido entre 0,1 y 30 mm y que es de especial utilidad para la elaboración de hormigones de alta resistencia. Su gran densidad y dureza, así como

su óptima adherencia a una matriz cementicia, esto último debido especialmente a su elevada microporosidad, permite obtener un hormigón con una elevada inercia y densidad que es capaz de soportar cargas muy elevadas. Si, además, este hormigón se elabora con un contenido de agua muy reducido, proporcionándole de este modo una baja trabajabilidad, la resistencia del hormigón será incluso mayor. Con este residuo es posible obtener hormigones de mayor resistencia que con el árido natural calizo o silíceo.

La escoria siderúrgica granulada molida, al igual que la escoria anterior mencionada, también procede de la industria siderúrgica, pero su origen es completamente distinto. La escoria siderúrgica granulada molida se obtiene sumergiendo la escoria de alto horno en agua de modo que se produzca su enfriamiento de forma brusca, seguido de un proceso de molido. La escoria siderúrgica granulada molida se caracteriza por presentar un tamaño micrométrico, y propiedades conglomerantes, es decir, es capaz de endurecer y adquirir resistencia al ser mezclada con agua. De acuerdo con todo esto, es un producto de gran valor, ya que puede utilizarse como sustituto del clínker de cemento, contribuyéndose de esta forma a la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera (de media, por cada tonelada de clínker producido se emiten 0,9 toneladas de CO₂ a la atmósfera).

La escoria blanca de horno de cuchara es un residuo generado durante el proceso de afino del acero (metalurgia secundaria), el cual se realiza en un horno eléctrico de cuchara. Se trata de un residuo pulverulento. La escoria blanca de horno de cuchara no solo presenta propiedades conglomerantes, sino que también presenta características expansivas (cal y magnesia libre), de modo que, en presencia de agua, calor y con el paso del tiempo puede aumentar de forma notable su volumen. Estas características expansivas hacen que sea muy útil para reducir la retracción del hormigón y la fisuración asociada a este fenómeno, que es uno de los principales aspectos que deben evitarse tanto en pavimentos (para garantizar una conducción cómoda y segura) y en presas (para evitar posibles fugas de agua y el colapso de toda la estructura), campos de aplicación del hormigón seco compactado con rodillo.

El hormigón elaborado con fibras se ha desarrollado fundamentalmente en años recientes. Su empleo se vincula fundamentalmente con la fisuración del hormigón, ya

que su adición origina un efecto de cosido de las fisuras, que hace que este fenómeno se vea reducido. Además, permiten reducir la retracción, pues actúan como elementos rígidos en el interior de la masa de hormigón aumentando su estabilidad dimensional. Son válidas tanto las fibras metálicas, de acero, como las
 5 fibras sintéticas, generalmente plásticas, como de polietileno o polipropileno. El empleo de fibras en el hormigón reduce la trabajabilidad de éste, lo cual dificulta la obtención de un hormigón seco compactado con rodillo que sea lo suficientemente trabajable para su óptima puesta en obra (la trabajabilidad del hormigón seco compactado con rodillo debe ser baja, pero no nula, ya que si no su puesta en obra
 10 no es posible).

El estado de la técnica existente describe la composición y procedimiento de elaboración del hormigón seco compactado con rodillo con árido natural en todas las fracciones (ACI-309.5R-06, 2006. *Compaction of Roller-Compacted Concrete*; ACI-
 15 327R-14, 2014. *Guide to Roller-Compacted Concrete Pavements*). Los requisitos que el hormigón seco compactado con rodillo debe cumplir se encuentran recogidas, 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).

20

Los hormigones más similares a los planteados en esta invención son hormigones vibrados elaborados con escoria de horno de arco eléctrico y fibras que emplearon cemento Portland ordinario como conglomerante. Por tanto, en éstos no se utilizó ni la escoria siderúrgica granulada molida ni la escoria blanca de horno de cuchara
 25 (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).

En relación con el hormigón seco compactado con rodillo elaborado con escoria de
 30 horno de arco eléctrico, únicamente existe dos estudios que abordan este material (Lam, M.N.T., Jaritngam, S., Le, D.H., 2017. *Roller-compacted concrete pavement made of Electric Arc Furnace slag aggregate: Mix design and mechanical properties*. Constr. Build. Mater. 154, 482-495. DOI: 10.1016/j.conbuildmat. 2017.07.240); Lam, M.N.T., Le, D.H., Jaritngam, S., 2018. *Compressive strength and durability properties*

of roller-compacted concrete pavement containing electric arc furnace slag aggregate and fly ash. Constr. Build. Mater. 191, 912-922. DOI:

10.1016/j.conbuildmat.2018.10.080). Estos estudios abordan sólo el empleo de la escoria de horno de arco eléctrico únicamente en la fracción gruesa. No existe ningún
 5 estudio en el que la totalidad de las fracciones gruesa, media y fina sean escoria de horno de arco eléctrico.

El campo de aplicación de la escoria siderúrgica granulada molida ha sido tradicionalmente la estabilización de suelos (Du, Y.J., Wu, J., Bo, Y.L., Jiang, N.J.,
 10 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., 2018. *Leaching and microstructural properties of lead contaminated kaolin stabilized by GGBS-MgO in semi-dynamic leaching tests.* Constr. Build. Mater. 172,
 15 626-634. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.164) o la elaboración de bases y subbases de carreteras en terraplén (Abdollahnejad, Z., Luukkonen, T., Mastali, M., Giosue, C., Favoni, O., Ruello, M.L., Kinnunen, P., Illikainen, M., 2020. *Microstructural Analysis and Strength Development of One-Part Alkali-Activated Slag/Ceramic Binders Under Different Curing Regimes.* Waste and Biomass Valoris. 11 (6), 3081-
 20 3096. DOI: 10.1007/s12649-019-00626-9). Este residuo no se ha utilizado tradicionalmente para la elaboración de hormigón (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. 216, 612-621. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.
 25 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), y su empleo para la fabricación de hormigón seco compactado con rodillo es aún más escasa (Aghaeipour, A., Madhkan, M.,
 30 2017. *Effect of ground granulated blast furnace slag (GGBFS) on RCCP durability.* Constr. Build. Mater. 141, 533-541. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.03.019). No existe ningún estudio en el que se haya elaborado hormigón seco compactado con rodillo mediante el empleo simultáneamente de escoria de horno de arco eléctrico y escoria siderúrgica granulada molida.

La escoria blanca se ha utilizado en unos pocos estudios para el desarrollo de hormigón autocompactante (Sideris, K.K., Tassos, C., Chatzopoulos, A., Manita, P., 2018. *Mechanical characteristics and durability of self compacting concretes produced with ladle furnace slag*. Constr. Build. Mater. 170, 660-667. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.091), cuyo campo de aplicación es completamente distinto al del hormigón seco compactado con rodillo. Es reseñable, por tanto, que no existe ningún estudio en bases de datos científicas en las cuales esta escoria se haya utilizado para la elaboración de hormigón compactado con rodillo, independientemente del tipo de árido utilizado.

10

Por último, existen estudios que evalúan el comportamiento del hormigón seco compactado con rodillo elaborado con árido natural calizo o silíceo en todas las fracciones y fibras metálicas o sintéticas (Rooholamini, H., Hassani, A., Aliha, M.R.M., 2018. *Evaluating the effect of macro-synthetic fibre on the mechanical properties of roller-compacted concrete pavement using response surface methodology*. Constr. Build. Mater. 159, 517-529. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.11.002; Sukontasukkul, P., Chaisakulkiet, U., Jamsawang, P., Horpibulsuk, S., Jaturapitakkul, C., Chindaprasirt, P., 2019. *Case investigation on application of steel fibers in roller compacted concrete pavement in Thailand*. Case Stud. Constr. Mater. 11, e00271.

20

DOI: 10.1016/j.cscm.2019.e00271). No existe ningún estudio en el que se combine el empleo de escoria de horno de arco eléctrico y fibras para la producción de hormigón seco compactado con rodillo. Todo lo comentado lleva a la conclusión de que no existe ningún estudio en el que se combinen los siguientes cuatro elementos para la producción de hormigón seco compactado con rodillo: escoria de horno de arco eléctrico, escoria siderúrgica granulada molida, escoria blanca de horno de

25

cuchara y fibras metálicas y/o sintéticas.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

30

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

El objeto de la invención es un hormigón siderúrgico de consistencia seca 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, de alta resistencia y bajas retracción y fisuración.

5

A la vista de lo anteriormente enunciado, la presente invención se refiere a un hormigón siderúrgico de consistencia seca 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 plásticas,
10 escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante y escoria blanca de horno de cuchara como tercer conglomerante, los áridos comprenden escoria de horno de arco eléctrico, siendo la totalidad de la fracción gruesa, la totalidad de la fracción media 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, de la fracción
15 media y de la fracción fina es de escoria de horno de arco eléctrico, no hay fracciones gruesa, media o fina de otro tipo de árido, es decir, no se incorpora ningún árido natural, ya sea silíceo o calizo, a las fracciones gruesa, media o fina de árido.

Una ventaja del hormigón es que se consigue la maximización de la sostenibilidad de
20 un producto tradicionalmente muy perjudicial para el medio ambiente. El hormigón seco compactado con rodillo con el que se fabrican, entre otros elementos, pavimentos y presas, precisa un vibrado muy energético, mediante las tradicionales “apisonadoras”, lo cual supone un gran consumo de energía y combustible. Las características que debe presentar este hormigón hacen que esta trabajabilidad no se
25 pueda modificar, pero sí que es posible aumentar la sostenibilidad desde el punto de vista de su composición mediante la adición de subproductos a la mezcla, como son la escoria de horno de arco eléctrico, la escoria siderúrgica granulada molida y la escoria blanca de horno de cuchara. Así, se contribuye a la reducción del cambio climático, favoreciéndose al mismo tiempo una economía más circular, con la
30 consiguiente reducción de huella de carbono y preservación del medio natural gracias a la disminución del vertido de residuos, del consumo de clínker y de las emisiones de CO₂. Este último aspecto está asociado a la disminución de la producción de clínker de cemento al ser sustituido por conglomerantes alternativos (escoria siderúrgica granulada molida y escoria blanca de horno de cuchara).

Otra ventaja del hormigón es su alta resistencia inicial nada más ser compactado, sin necesidad de fraguado. Su resistencia a largo plazo (el valor normalizado se establece a 28 días) es muy elevada, de modo que sería válido para todas las aplicaciones de ingeniería de la construcción e ingeniería civil donde el empleo de este tipo de hormigón es habitual.

Otra ventaja del hormigón es que se minimiza la retracción (acortamiento) del hormigón y la fisuración asociada a este fenómeno gracias a la escoria blanca de horno de cuchara (con características expansivas) y las fibras. Las aplicaciones donde es de utilidad el hormigón seco compactado con rodillo precisan una fisuración mínima.

Otra ventaja del hormigón derivada de la resistencia mencionada es que es apto para aplicaciones en el ámbito de las infraestructuras, como los pavimentos, y en el ámbito de las grandes estructuras, para la elaboración de presas de cualquier tipo, ya sean de gravedad, de bóveda o de arco.

Asimismo, la invención se refiere a un procedimiento de elaboración de hormigón siderúrgico de consistencia seca como se ha expuesto, que comprende las siguientes etapas en secuencia:

- adición del 90 % 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, escoria siderúrgica granulada molida un segundo conglomerante, y escoria blanca de horno de cuchara un tercer conglomerante;
- primer mezclado;
- primer reposo;
- segundo mezclado
- adición del 10 % en volumen del agua y los aditivos;
- tercer mezclado;
- segundo reposo.

EXPOSICIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La invención es un hormigón siderúrgico de consistencia seca que comprende

cemento Portland como primer conglomerante, áridos, agua y aditivos, fibras metálicas y/o plásticas, escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante y escoria blanca de horno de cuchara como tercer conglomerante, los áridos comprenden escoria de horno de arco eléctrico, siendo la totalidad de la

5 fracción gruesa, la totalidad de la fracción media y la totalidad de la fracción fina del hormigón de dicha escoria de horno de arco eléctrico.

Opcionalmente comprende fracción polvo de una mezcla de arena caliza y silícea.

- 10 Una dosificación que se muestra como ventajosa es que el cemento Portland como primer conglomerante está entre el 40 % y el 55 % en volumen del total de conglomerantes, la escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante está entre el 35 % y el 45 % en volumen del total de conglomerantes, la escoria blanca de horno de cuchara como tercer conglomerante está entre el 10 %
- 15 y el 15 % en volumen del total de conglomerantes. Es decir, los conglomerantes se complementan para llegar a la totalidad de conglomerantes en el hormigón. La suma de conglomerantes, primero, segundo y tercero, puede llegar a suponer entre el 10 % y el 10,5 % del volumen total de hormigón.
- 20 Otra opción ventajosa en la dosificación de las fracciones es que la fracción fina es entre el 15 % y el 20 % del volumen total de hormigón, la fracción media es entre el 20 % y el 25 % del volumen total de hormigón, la fracción gruesa es entre el 10 % y el 15 % del volumen total de hormigón. Adicionalmente, la fracción polvo puede ser entre el 15 % y el 25 % del volumen total de hormigón cuando es arena caliza y entre
- 25 el 10 % y el 20 % del volumen total de hormigón cuando es arena silícea.

Otra opción ventajosa es que las fibras metálicas y/o plásticas son entre el 0,5 % y el 1,0 % del volumen total del hormigón.

- 30 Otra opción ventajosa es que el agua es entre el 5 % y el 15 % del volumen total de hormigón, los aditivos comprenden un aditivo plastificante y supone entre el 0,4 % y el 0,6 % 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 media son partículas de tamaño mayor que 4 mm y menor o igual que 12 mm, la fracción gruesa son partículas de tamaño mayor que 12 mm y menor o igual que 20 mm.

5

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

Otro detalle del hormigón es que la escoria blanca de horno de cuchara son
10 partículas de tamaño hasta 0,1 mm.

Otro detalle del hormigón es que las fibras metálicas y/o plásticas son partículas de longitud entre 10 mm y 50 mm y un diámetro equivalente entre 0,2 mm y 1 mm.

15 La invención es también el procedimiento de elaboración de hormigón siderúrgico de consistencia seca según se ha descrito en su manera más general más arriba, que comprende las siguientes etapas en secuencia:

-adición del 90 % en volumen del agua y la totalidad de áridos, entre los que se encuentran escoria de horno de arco eléctrico, y conglomerantes, siendo cemento

20 Portland un primer conglomerante, escoria siderúrgica granulada molida un segundo conglomerante, y escoria blanca de horno de cuchara un tercer conglomerante;

- primer mezclado;

- primer reposo;

- segundo mezclado;

25 - adición del 10 % en volumen del agua y los aditivos;

- tercer mezclado;

- segundo reposo.

Una opción ventajosa sobre los tiempos de mezclado y reposo es que cada etapa de
30 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 siderúrgico de consistencia seca objeto de la invención. Todas las mezclas obtenidas fueron de consistencia seca, con un asiento en el cono de Abrams inferior a 2 mm, según las especificaciones internacionales para la caracterización del hormigón seco compactado con rodillo (EN 5 206). Esto hizo que fuese necesario realizar el ensayo del consistómetro Vebe, evaluándose el asiento de la mezcla y su densidad tras ser sometida a vibración. Los valores de tiempo de vibrado en el consistómetro Vebe se encontraron entre 6 y 8 s, el asiento entre 4 y 5 cm y la densidad de la masa resultante entre 2,6 y 2,7 Mg/m³. La resistencia a compresión de las mezclas a 1 día (edades tempranas) se encontró 10 entre 40 y 50 MPa, mientras que los valores de resistencia a compresión a 28 días (edad normalizada) se encontraron entre 55 y 60 MPa.

Ejemplo

15 Se plantean como ejemplo dos mezclas, denominadas RCC-E-M (fibras metálicas en un 0,7 % del volumen total de hormigón) y RCC-E-P (fibras plásticas en un 0,7 % del volumen total de hormigón). Estas mezclas sirven solo como ejemplo ilustrativo, dependiendo los resultados de las características particulares de los materiales empleados: características del cemento Portland, de los tres tipos de escorias y de 20 los áridos naturales.

La composición química de la escoria de horno de arco eléctrico (EAFS), de la escoria siderúrgica granulada molida (GGBFS) y de la escoria blanca de horno de cuchara (LFS) se muestra en la Tabla 1 (expresado en %):

25

	CO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Otros
EAFS	0,4	20,3	12,2	22,3	32,9	3,0	0,4	8,5
GGBFS	1,2	43,3	8,9	0,9	34,4	9,1	1,3	0,9
LFS	1,2	17,8	6,5	2,3	56,6	9,7	1,0	4,9

Tabla 1. Composición química escoria de horno de arco eléctrico (EAFS), escoria siderúrgica granulada molida (GGBFS) y escoria blanca de horno de cuchara (LFS)

Las características de las fibras metálicas y plásticas empleadas se recogen en la 30 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)	RCC-E-M	RCC-E-P
Cemento Portland ordinario (CEM I 52.5 R)	140	140
Escoria siderúrgica granulada molida	115	115
Escoria blanca de horno de cuchara	40	40
Agua	115	115
Escoria de horno de arco eléctrico: fracción gruesa	390	390
Escoria de horno de arco eléctrico: fracción media	700	700
Escoria de horno de arco eléctrico: fracción fina	535	535
Arena caliza: fracción polvo	485	485
Arena silícea: fracción polvo	245	245
Aditivo plastificante	5,0	5,0
Fibras (M, metálicas; P, plásticas)	55 (M)	6,5 (P)

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

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

Propiedad	RCC-E-M	RCC-E-P
Tiempo de vibrado consistómetro Vebe (s)	7,5	6,5
Asiento consistómetro Vebe (cm)	4	4,5
Densidad consistómetro Vebe (Mg/m ³)	2,68	2,63

Tabla 4. Propiedades en estado fresco

Las propiedades en estado endurecido que describen el comportamiento en estado endurecido se describen en la Tabla 5:

Propiedad	Edad de ensayo	RCC-E-M	RCC-E-P
Densidad endurecida (Mg/m^3)	28 días	2,59	2,54
Resistencia a compresión (MPa)	1 día	46,9	41,4
	28 días	59,6	56,9

Tabla 5. Propiedades en estado endurecido

REIVINDICACIONES

- 1.-Hormigón siderúrgico de consistencia seca que comprende cemento Portland como primer conglomerante, áridos, agua y aditivos, **caracterizado por** que
5 comprende fibras metálicas y/o plásticas, escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante y escoria blanca de horno de cuchara como tercer conglomerante, los áridos comprenden escoria de horno de arco eléctrico, siendo la totalidad de la fracción gruesa, la totalidad de la fracción media 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 una mezcla de arena caliza y silícea.
- 3.-Hormigón según la reivindicación 1 en el que el cemento Portland como primer
15 conglomerante está entre el 40 % y el 55 % en volumen del total de conglomerantes, la escoria siderúrgica granulada molida como segundo conglomerante está entre el 35 % y el 45 % en volumen del total de conglomerantes, la escoria blanca de horno de cuchara como tercer conglomerante está entre el 10 % y el 15 % en volumen del total de conglomerantes.
- 20 4.-Hormigón según la reivindicación 3 en el que la suma de los conglomerantes, primero, segundo y tercero, supone entre el 10 % y el 10,5 % del volumen total de hormigón.
- 25 5.-Hormigón según la reivindicación 1 en el que la fracción fina es entre el 15 % y el 20 % del volumen total de hormigón, la fracción media es entre el 20 % y el 25 % del volumen total de hormigón, la fracción gruesa es entre el 10 % y el 15 % del volumen total de hormigón.
- 30 6.-Hormigón según la reivindicación 2 en el que la fracción polvo es entre el 15 % y el 25 % del volumen total de hormigón cuando es arena caliza y entre el 10 % y el 20 % del volumen total de hormigón cuando es arena silícea.
- 7.-Hormigón según la reivindicación 1 en el que las fibras metálicas y/o plásticas son

entre el 0,5 % y el 1,0 % del volumen total del hormigón.

8.-Hormigón según la reivindicación 1 en el que el agua es entre el 5 % y el 15 % del volumen total de hormigón, los aditivos comprenden un aditivo plastificante y supone
5 entre el 0,4 % y el 0,6 % 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 media son partículas de tamaño
10 mayor que 4 mm y menor o igual que 12 mm, la fracción gruesa son partículas de tamaño mayor que 12 mm y menor o igual que 20 mm.

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

15 11.-Hormigón según la reivindicación 1 en el que la escoria blanca de horno de cuchara son partículas de tamaño hasta 0,1 mm.

20 12.-Hormigón según la reivindicación 1 en el que las fibras metálicas y/o plásticas son partículas de longitud entre 10 mm y 50 mm y un diámetro equivalente entre 0,2 mm y 1 mm.

25 13.-Procedimiento de elaboración de hormigón siderúrgico de consistencia seca según la reivindicación 1, **caracterizado por** que comprende las siguientes etapas en secuencia:

- adición del 90 % 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, escoria siderúrgica granulada molida un segundo conglomerante, y escoria blanca de horno de cuchara un tercer
30 conglomerante;
- primer mezclado;
- primer reposo;
- segundo mezclado;
- adición del 10 % en volumen del agua y los aditivos;

- tercer mezclado;
- segundo reposo.

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

15.-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.

10