

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 764 135**

51 Int. Cl.:

**C04B 28/00** (2006.01)

**C04B 28/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.06.2016 PCT/EP2016/063312**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.12.2016 WO16198608**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.06.2016 E 16732511 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2019 EP 3307692**

54 Título: **Diseños avanzados de mezcla de hormigón reforzado con fibra**

30 Prioridad:

**11.06.2015 WO PCT/EP2015/063045**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**02.06.2020**

73 Titular/es:

**CEMEX RESEARCH GROUP AG (100.0%)  
Römerstrasse 13  
2555 Brügg bei Biel, CH**

72 Inventor/es:

**ZAMPINI, DAVIDE;  
GUERINI, ALEXANDRE;  
VOLPATTI, GIOVANNI y  
ESSER, JEREMY**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 764 135 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Diseños avanzados de mezcla de hormigón reforzado con fibra

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere a formulaciones de hormigón para altas prestaciones mecánicas en diseños estructurales, diseños de mezclas especiales de refuerzo de fibra para limitar o evitar barras de refuerzo de acero o pretensado. Más específicamente, la invención desvela diseños de mezclas de hormigón con alto contenido volumétrico de fibras y que el hormigón contiene diferentes tipos de fibras para formar el denominado sistema de fibra híbrida.

**Antecedentes de la invención**

10 La tecnología convencional de hormigón reforzado con fibra es conocida, se ha descrito en varias normas nacionales e internacionales, por ejemplo, RILEM 162 TDF International), Código Modelo 2010 (Internacional), CNR DT 204 (Italia SS 812310 (Suecia), TR63 (Reino Unido) ACI 318 (US), ACI 360 (US), DBV (Alemania), DAFSTB (Austria). Los diseños de mezclas de hormigón reforzado con fibras que contienen diferentes tipos de fibras se han descrito, por ejemplo, en el documento WO 2011/053103 y más recientemente en los documentos CN102976697 y  
15 KR100940550. Dicho hormigón se usa principalmente para reparaciones de pavimento o cubierta o para minimizar la contracción del hormigón durante el endurecimiento.

En el documento WO 2011/053103, el objetivo principal es proporcionar un hormigón para construir losas grandes, y por lo tanto, una propiedad a lograr es la resistencia a la contracción para evitar la formación de grietas. Por tanto, se usan agentes reductores de la contracción, en concreto, etilenglicol, cal libre o sulfoaluminato de calcio, en  
20 combinación con fibras poliméricas (fibras sintéticas) cuya función principalmente es reducir el agrietamiento debido a la contracción.

De acuerdo con el documento WO 2011/053103, la trabajabilidad de los hormigones se encuentra en las clases F5 a F6, sin embargo, no se desvelan datos sobre la retención de la trabajabilidad (tiempo de apertura) del hormigón final producido. Además, no se desvelan datos ni resultados con respecto a la resistencia a la compresión y a la flexión de los hormigones de acuerdo con la invención.  
25

Entre otros, una desventaja importante de la solicitud de patente WO 2011/053103 es el requisito de preparar una suspensión separada que contenga agua, cemento y todos los reductores de contracción y plastificantes (o mezcla de reductores de agua, en concreto, melamina en polvo o fosfonatos), o cargas. La suspensión se añade al hormigón preparado por separado y se añaden las fibras.

30 Otro inconveniente importante de la invención según el documento WO 2011/053103 es el hecho de que el hormigón puesto finalmente tiene que curarse usando agua después de la colocación.

Un inconveniente adicional de la invención según el documento WO 2011/053103 es que el volumen de pasta es muy bajo para garantizar una contracción limitada y evitar el agrietamiento, lo que reduce el alcance de las propiedades de aplicación y colocación y el nivel de resistencia mecánica que se puede lograr, tanto en términos de  
35 resistencia a la compresión como en términos de resistencia a la flexión o ductilidad. Finalmente, el documento no desvela el contenido de agua/aglutinante total (kg/kg), aparte de 0,42 y 0,46, lo que limita drásticamente el tipo de propiedades que se pueden lograr.

El documento CN 102 976 697 A desvela un hormigón resistente a las grietas de baja contracción utilizado para pavimentar la superficie de puentes, que comprende agua, material cementoso, árido fino, árido grueso, agente endurecedor, agente de curado interno, agente reductor de agua y fibra híbrida.  
40

**Descripción de la invención**

La información relevante relacionada con las normas y las pruebas normativas mencionadas en esta solicitud de patente se describe en las Tablas 1 y 2.

45 Tabla 1: Consistencia del hormigón (asentamiento) con respecto a las normas y ensayos normativos EN (europeo) y FR (francés).

EN 12350-2		NF P 18-305	
Consistencia	asentamiento [mm]	Consistencia	asentamiento [mm]
S1	10 a 40	Rígida	0 a 40

(continuación)

EN 12350-2		NF P 18-305	
Consistencia	asentamiento [mm]	Consistencia	asentamiento [mm]
S2	40 a 90	Plástica	50 a 90
S3	100 a 150	Muy plástica	100 a 150
S4	160 a 210	Fluida	> 160
S5	> 220		

Tabla 2: Consistencia del hormigón (flujo) con respecto a las normas EN 12350-8 (europeas)

EN 206-1	
Categoría	Flujo [mm]
SF1	550-650
SF2	660-750
SF3	760- 850

5 La presente invención proporciona una mezcla de hormigón que comprende arena, áridos finos, aglutinante, fibras y diversos aditivos, que tiene una consistencia de S2 a S5 y SF1 a SF3, una resistencia a la compresión en el rango de 30-80 MPa y una ductilidad representada por los siguientes valores:

$$30 < f_c < 80 \text{ MPa}$$

$$3 < f_{fl} < 12 \text{ MPa}$$

10  $3 < f_{R1} < 12 \text{ MPa}$

$$2,5 < f_{R3} < 15 \text{ MPa}$$

15 en la que la mezcla de hormigón contiene al menos 390 kg/cm<sup>3</sup> de aglutinante, la mezcla de hormigón comprende un volumen de pasta de 300-600 litros, la mezcla de hormigón contiene al menos dos Sistemas de Fibras A y B, el Sistema de Fibras A consiste en fibras metálicas con una dosificación de 25-100 kg/m<sup>3</sup> con respecto a la mezcla de hormigón y con una resistencia mecánica (o resistencia final) de al menos 1200 MPa, una longitud de 35-100 mm, y el Sistema de Fibras B tiene una dosificación del 0,2 %-0,9 % por m<sup>3</sup> de la mezcla de hormigón, en el que el Sistema de Fibras B comprende el 65-90 % en volumen de fibras metálicas que tienen una longitud de 5-35 mm, la mezcla de hormigón contiene un sistema de aditivos general que consiste en al menos 2 sistemas de subaditivos I y II, en el que el primer sistema de aditivos I comprende al menos 2 copolímeros de ácido policarboxílico (PCE), un PCE reductor de agua fuerte y un PCE de retención de la trabajabilidad, en el que el segundo sistema de aditivos II es un estabilizador obtenido de un compuesto seleccionado del grupo que consiste en celulosa modificada, carboximetilcelulosa, hidroxietilcelulosa, hidroxipropilmetilcelulosa, almidón natural, almidón modificado, almidón modificado ramificado, gomas naturales, goma de xantano, sílice fina, sílice coloidal, sílice pirógena y cualquier combinación de las mismas, con la mezcla de hormigón de la invención.

25 El significado de  $f_c$ ,  $f_{fl}$ ,  $f_{R1}$  y  $f_{R3}$  es el siguiente (ver Figura 1):

$f_c$  es la resistencia a la compresión,  $f_{fl}$  es la resistencia a la flexión,  $f_{R1}$  es la resistencia para la apertura de la boca de agrietamiento (CMOD) de 0,5 mm,  $f_{R2}$  es la resistencia para la CMOD de 1,5 mm y  $f_{R3}$  es la resistencia para la CMOD de 2,5 mm.

30 La mezcla de hormigón de la invención sirve para losas, suelos o construcciones estructurales con alta ductilidad y retención de la trabajabilidad.

35 La presente invención propone una solución para superar los diversos inconvenientes del documento WO 2011/053103. Los diseños de mezcla de hormigón según la presente invención no se limitan a la mejora de la resistencia a la contracción utilizando reductores de contracción y fibras sintéticas para este objetivo único, y verdaderas propiedades estructurales que se utilizarán en ingeniería estructural para cubiertas, puentes, pilares, etc. Además, los diseños de mezcla de hormigón fresco de fibra reforzada de acuerdo con la invención están diseñados para cumplir con los requisitos de producción industrial, se producen en plantas de mezcla de hormigón convencionales, se pueden transportar a gran distancia ya que tienen una alta retención de la trabajabilidad y no necesitan técnicas especiales de curado una vez colocados.

- Además, la presente invención permite proporcionar un hormigón que presenta un comportamiento de ductilidad real en fracturas (o endurecimiento por tensión) como se puede mostrar en el Figura 1, desde el punto de agrietamiento de la matriz, exhibiendo un refuerzo suave posterior al pico sin una reducción abrupta de la resistencia mecánica. Idealmente, el comportamiento de fractura en flexión no debe mostrar ninguna primera evidencia de agrietamiento, por lo que la pendiente de la curva de tensión/CMOD siempre es positiva.
- Otra realización es la mezcla de hormigón de la invención, que comprende además áridos gruesos.
- Otra realización es la mezcla de hormigón de la invención, en la que la dosificación del sistema de aditivos I es del 0,5-5 % en peso con respecto al contenido de aglutinante y la dosificación del sistema de aditivos II es del 0,1-2 % en peso con respecto al aglutinante. Esta mezcla de hormigón sirve para losas o suelos delgados muy dúctiles con una consistencia de S5-SF3.
- Otra realización es la mezcla de hormigón de la invención, en la que la dosificación del sistema de aditivos I es del 0,1-1 % en peso con respecto al contenido de aglutinante y la dosificación del sistema de aditivos II es del 0,1-0,5 % en peso con respecto al aglutinante. Esta mezcla de hormigón sirve para losas o suelos muy dúctiles con una consistencia de S2-S4.
- Otra realización es la mezcla de hormigón de la invención, en la que la mezcla de hormigón comprende un sistema de aditivos III, en el que se obtiene el tercer sistema de aditivos III de un compuesto seleccionado del grupo que consiste en microfibras de celulosa, ceras sintéticas, ceras naturales, polímeros superabsorbentes, polímeros reticulados de almidón, polímeros reticulados de acrilato, hexilenglicol (2-metil-2,4-pentanodiol) y cualquier combinación de los mismos y la dosificación del sistema de aditivos III es del 0,3-6 por ciento en peso con respecto al aglutinante.
- Otra realización es la mezcla de hormigón de la invención, en la que el Sistema de Fibras C, que comprende fibras sintéticas, se añade a la mezcla de hormigón.
- Otra realización es la mezcla de hormigón de la invención, en la que la dosificación del Sistema de Fibras C es del 0,02 % al 2 % en volumen con respecto al hormigón.
- Otra realización es la mezcla de hormigón de la invención, en la que una parte de la arena o los áridos finos o los áridos gruesos se sustituyen por áridos livianos seleccionados del grupo que consiste en vidrio expandido, arcilla expandida, piedra pómez y esquisto expandido.
- Otra realización es la mezcla de hormigón de la invención, en la que la tasa de sustitución para todos los áridos (arena o/y áridos finos y/o gruesos) es de al menos el 30 % en volumen.
- La invención se refiere a diseños especiales de mezcla de hormigón para lograr cualquier clase deseada de resistencia a la compresión, al tiempo que proporciona una alta ductilidad y las etapas frescas y endurecidas.
- La ductilidad en las etapas endurecidas (28 días) se mide usando una medición del esfuerzo de flexión-deformación de acuerdo con la Norma EN 14651 (aumento de carga necesario para abrir aún más el tamaño de la boca de la muesca usando un CMOD (Dispositivo de apertura de boca de agrietamiento)).
- La Tabla 3 indica las resistencias y los valores de ductilidad expresados por la resistencia en varios CMOD con respecto a la Norma EN 14651.

Tabla 3: Diversos requisitos para las resistencias mecánicas en hormigón reforzado con fibra.

Aplicación para hormigón reforzado con fibra	Requisitos para las resistencias			
	fc [MPa]	ffi [MPa]	fR1 [MPa]	fR3 [MPa]
Losa industrial sobre rasante	30-60	3-8	2-10	2-10
ICF	40-100	4-10	5-13	3-25
Rehabilitación estructural/diseño sísmico para edificios antiguos/fortalecimiento de estructuras antiguas	80-200	8-15	10-30	15-60
Industria de prefabricados – segmentos de puente	60-200	5-15	7-35	15-50
Industria de prefabricados – segmentos de revestimiento de túneles	30-100	3-8	2-12	2-20
Industria de prefabricados – nueva jersey	30-50	3-5	2-8	2-8

(continuación)

Aplicación para hormigón reforzado con fibra	Requisitos para las resistencias			
	fc [MPa]	ffi [MPa]	fR1 [MPa]	fR3 [MPa]
Industria de prefabricados – tuberías	40-80	3-7	4-10	4-10
Industria de prefabricados – hormigón refractario	40-100	4-9	8-30	5-15
Columnas	30-200	3-10	3-10	5-40

- 5 Los diseños de mezcla de hormigón de acuerdo con la invención contienen al menos 2 Sistemas de Fibras A y Sistema de Fibras B que en combinación proporcionan las propiedades mecánicas específicas. El Sistema de Fibras A contiene solo fibras metálicas como se describe en la Tabla 4:

Tabla 4: Características del Sistema de Fibras A (alta resistencia, estructural)

Geometría	Alambre de extremo enganchado, lámina o alambre de hendidura recta, lámina o alambre de hendidura deformada, lámina o alambre de hendidura de extremo aplanado, viruta mecanizada, extracto fundido
Módulo E [GPa]	150-250
Límite elástico YS [MPa]	1000-4000
Resistencia máxima [MPa]	1200-5000
longitud [mm]	35-100
Geometría	Alambre de extremo enganchado, lámina o alambre de hendidura recta, lámina o alambre de hendidura deformada, lámina o alambre de hendidura de extremo aplanado, viruta mecanizada, extracto fundido
longitud/diámetro	30-120
revestimiento	sin recubrimiento ni zinc
densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	6800-8000

El Sistema de Fibras A se puede preparar con diferentes tipos de fibras metálicas correspondientes a las características indicadas en la Tabla 4.

- 10 El Sistema de Fibras B contiene fibras de alta resistencia que son más cortas que el sistema de fibras de fibras A y se describe en la tabla 5.

Tabla 5: Características del Sistema de Fibras B para fibras de tipo mono o multi-filamentos (alta resistencia, estructural)

	Vidrio	Aramida	Carbono	Basalto	Acero
Módulo E [GPa]	40-100	40-200	100-400	50-500	150-220
Resistencia máxima (US) [MPa] en tensión	900 – 1800	3500 – 4500	1000-7000	2000-6000	1300-5000
Límite elástico YS [MPa] en tensión	na	3000-4000	na	na	1200-4000
longitud [mm]	5-60	5-60	0,1-30	5-100	5-35
longitud/diámetro	10-300	30-150	10-1000	10-10000	30-120
revestimiento	sin recubrimiento o zinc				
densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	2000-4000	1200-1600	800-2500	1500-4000	6800-8000

- 15 El Sistema de Fibras B puede estar hecho de fibras de acero, fibras de vidrio, poliaramida, fibras de carbono y/o fibras de basalto o cualquier combinación de las mismas.

La geometría de la fibra no metálica normalmente es recta, mientras que las fibras metálicas en el sistema B pueden

## ES 2 764 135 T3

ser alambre de extremo enganchado, lámina o alambre de hendidura recta, lámina o alambre de hendidura deformada, lámina o alambre de hendidura de extremo aplanado, viruta mecanizada, extracto fundido o rectos, etc. Las fibras metálicas pueden estar hechas de metal amorfo.

- 5 Las fibras en el Sistema A se utilizan para unir macrofisuras y proporcionar ductilidad mediante extracción, mientras que las fibras de tipo B tienen principalmente la función de unir microfisuras y retrasar la propagación de las microfisuras con dispersión de energía en la extracción y más microfisuras.

Preferiblemente, las fibras en el sistema A están enganchadas, con un límite elástico superior a 1000 MPa, preferiblemente superior a 1200 MPa e incluso más preferiblemente superior a 1400 MPa.

- 10 La relación de longitud dividida por el diámetro (mm/mm) se sitúa habitualmente entre 40 y 100, preferiblemente entre 45 y 95.

Preferiblemente, las fibras de acero en el sistema B están enganchadas o rectas con un límite elástico superior a 1200 MPa, preferiblemente superior a 1300 MPa e incluso más preferiblemente superior a 1500 MPa.

La relación de longitud dividida por el diámetro (mm/mm) se sitúa habitualmente entre 50 y 95, preferiblemente entre 55 y 90.

- 15 Preferiblemente, el Sistema de Fibras B puede contener fibras no metálicas como fibras de vidrio, con una resistencia final mínima de 900 MPa, más preferiblemente superior a 1300 MPa e incluso más preferiblemente superior a 1500 MPa, y una longitud mínima de 5 mm. El Sistema de Fibras B también puede contener fibras de basalto, preferiblemente con una resistencia mínima de 2500 MPa y una longitud mínima de 5 mm. Las fibras de vidrio y basalto utilizadas son rectas y multifilamento.

- 20 En otra realización preferida, el Sistema de Fibras B contiene al menos 2 tipos de fibras, siendo una de ellas fibras de acero de alto rendimiento. Preferiblemente, el contenido de fibras de acero de alto rendimiento en el sistema de fibra B se sitúa entre el 65 % y el 90 % en volumen, mientras que las fibras restantes en el sistema de fibra B pueden ser vidrio o basalto o cualquier mezcla de los mismos.

- 25 Alternativamente, se puede añadir un tercer Sistema C de fibras sintéticas a la mezcla de hormigón de acuerdo con la invención, por ejemplo fibras acrílicas, fibras de polietileno, fibras de polipropileno, fibras de poliéster para mejorar propiedades como la resistencia al fuego o la contracción intrínseca. Alternativamente, pueden usarse fibras de celulosa en el Sistema de Fibras C.

Tabla 6 Características del Sistema de Fibras C

	Acrílico	Nailon	Poliéster	Polietileno	Polipropileno
Módulo E [GPa]	5-30	1-10	5-40	1-15	1-15
Resistencia máxima (US) [MPa]	150-1400	100-2000	500-1500	100-600	100-1100
longitud [mm]	1-100	1-100	1-100	1-100	1-100
longitud/diámetro	30-150	30-150	30-150	30-150	30-150
agrupación	suelta	suelta	suelta	suelta	suelta
revestimiento	sin revestimiento	sin revestimiento	sin revestimiento	sin revestimiento	sin revestimiento
densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1000-1400	1000-1400	1200-1500	800-1200	800-1200

- 30 El hormigón está diseñado para permitir alcanzar los rendimientos específicos en términos de resistencia, ductilidad, módulo de elasticidad, colocación y propiedades reológicas, retención de la trabajabilidad, etc.

Las propiedades específicas no solo se logran seleccionando el diseño de mezcla de fibras apropiado. La formulación de hormigón también juega un papel importante y es una parte integral de la invención. La ductilidad y las propiedades mecánicas requeridas se obtienen por un efecto combinado de la matriz de hormigón y el diseño especial del diseño de mezcla de fibras híbridas.

- 35

Habitualmente, el hormigón de acuerdo con la invención contiene los siguientes ingredientes por metro cúbico de hormigón producido (Tabla 7).

Tabla 7: Ingredientes de la matriz de hormigón sin sistemas de aditivos

	Unidad	Valor
Aglutinante total	kg/m <sup>3</sup>	280-1000
Cemento (cualquier tipo)	% de masa del aglutinante total	40-100
Ceniza voladora	% de masa del aglutinante total	0-50
Sílice pirógena	% de masa del aglutinante total	0-40
GGBS	% de masa del aglutinante total	0-40
Otros materiales puzolánicos	% de masa del aglutinante total	0-40
Cargas (piedra caliza, ...)	% de masa del aglutinante total	0-40
Polvo desviado	% de masa del aglutinante total	0-40
Áridos totales + arena	kg/m <sup>3</sup>	1000-2000
Arena – 0/4 mm	% en volumen de áridos totales	20-100
Áridos – 4/8 mm o equivalente	% en volumen de áridos totales	0-80
Áridos > 7-8 mm, menos de 20 mm	% en volumen de áridos totales	0-50
Agua/aglutinante total en peso	kg/kg	0,1-0,8
Aire	% en volumen de hormigón	0,1-20
Volumen de pasta	litros	min 250
Volumen de fibras Sistema A	% en volumen de hormigón	0,03 a 4
Volumen de fibras Sistema B		0,03 a 3
Volumen de fibras Sistema C		0 a 2
Sistemas de aditivos PCE	% de peso de contenido sólido seco del aglutinante total	0,1 a 5
Sistema de aditivos de curado interno	% de peso de contenido sólido seco del aglutinante total	0 a 3

El cemento es habitualmente CEM I, II y III, la ceniza volante es una ceniza volante convencional, la arena es arena redonda o triturada, habitualmente de 0-4 mm y los áridos finos o gruesos son redondos o triturados.

- 5 Todos los ingredientes del hormigón final se mezclan usando mezcladores de hormigón industriales convencionales. El tiempo de mezcla es convencional durante aproximadamente 30 segundos a algunos minutos.

Se prepararon muestras de hormigón de dimensiones 700 mm x 150 mm x 150 mm, se desmoldaron a las 24 horas y se curaron durante 28 días a una temperatura constante de 22 °C y humedad del aire (humedad relativa del 95 %) antes de las pruebas mecánicas.

- 10 La máquina de prueba era una Universal Testing Machine (UTM), se utilizó un Zwick Roell Z250 para realizar las pruebas de fractura por flexión.  
De acuerdo con la invención, la mezcla de hormigón tiene los siguientes valores de propiedades mecánicas:

$$30 < f_c < 80 \text{ MPa}$$

$$3 < f_{fl} < 12 \text{ MPa}$$

- 15  $3 < f_{R1} < 12 \text{ MPa}$

$$2,5 < f_{R3} < 15 \text{ MPa}$$

- 20 con consistencias de S2 a SF3, la mezcla de hormigón de la invención contiene preferiblemente un peso total de aglutinante que se encuentra entre 370 y 800 kg por m<sup>3</sup> de hormigón, una relación de agua a aglutinante total ubicada entre 0,2 y 0,6, más preferiblemente entre 0,3 y 0,55, un volumen total de pasta que se encuentra entre 300 y 600 litros, un contenido de peso total de arena + áridos finos + áridos gruesos de 1000-1900 kg por m<sup>3</sup> de hormigón, y la cantidad de arena representa el 30-60 % de la masa total de la arena + áridos finos + gruesos.

## ES 2 764 135 T3

Preferiblemente, la mezcla de hormigón de la invención contiene:

- Sistema de Fibras A del 0,3 al 1,2 % en volumen de hormigón
- Sistema de Fibras B del 0,1 al 1,2 % en volumen de hormigón

5 Opcionalmente se puede usar un tercer Sistema de Fibras C, mientras que el volumen de fibras en el Sistema de Fibras C varía del 0 al 1,2 % en volumen de hormigón.

Más preferiblemente, la mezcla de hormigón de la invención tiene las siguientes características:

$$30 < f_c < 80 \text{ MPa}$$

$$3,5 < f_{fl} < 11 \text{ MPa}$$

$$3,5 < f_{R1} < 11 \text{ MPa}$$

10  $3,4 < f_{R3} < 13 \text{ MPa}$

- Sistema de Fibras A del 0,3 al 1 % en volumen de hormigón 0,3-1
- Sistema de Fibras B del 0,2 al 0,9 % en volumen de hormigón 0,2-0,9

La mezcla de hormigón de la invención comprende opcionalmente:

- Sistema de Fibras C del 0 al 0,08 % en volumen de hormigón.

15 Las fibras en el Sistema B contienen el 100 % en volumen de fibras metálicas o el 100 % de fibras no metálicas, o una mezcla de fibras estructurales metálicas y ninguna metálica. Preferiblemente, las fibras no metálicas son fibras de vidrio o fibras de basalto o cualquier mezcla de las mismas.

20 Según otra realización de la invención, la mezcla de hormigón de la invención contiene el Sistema de Fibras C, un Sistema de Fibras A que consta de al menos 2 tipos diferentes de fibras metálicas y un Sistema de Fibras B que contiene cualquier mezcla o combinación de fibras de alta resistencia metálicas, orgánicas, a base de vidrio, a base de carbono o a base de basalto.

Los 3 sistemas de aditivos I, II y III utilizados de acuerdo con la invención se caracterizan a continuación:

### Sistema de aditivos I: Superplastificante

25 Este sistema de aditivos es una combinación de al menos dos éteres de policarboxilato, con una estructura principal homopolimérica o copolimérica, basada en unidades constitutivas repetitivas acrílicas, metacrílicas, maleicas o alílicas:

30 - Un PCE reductor de agua fuerte de peso molecular que varía de 20000 a 100000 g/mol, con una densidad de injerto que varía del 10 al 35 %, cadenas laterales etéreas que varían de 750 a 5000 g/mol, opcionalmente reticulado con puentes etéreos y alquílicos de una longitud de hasta 14 OE (unidades de óxido de etileno), OP (unidades de óxido de propileno), unidades de carbono, que opcionalmente contiene funciones heteroatómicas, como derivados orgánicos de sulfonato o fosfonato.

35 - Un PCE de retención de la trabajabilidad, de peso molecular que varía de 20000 a 100000 g/mol, con una densidad de injerto que varía del 10 al 60 %, cadenas laterales etéreas que varían de 750 a 5000 g/mol, opcionalmente reticuladas con puentes etéreos y alquílicos de una longitud de hasta 14 OE, OP, unidades de carbono, que opcionalmente contienen funciones heteroatómicas, como derivados orgánicos de sulfonato o fosfonato, que opcionalmente tienen grupos protectores sobre residuos acrílicos, a base de alcoholes lineales y ramificados, alquil metoxi, etoxi, grupos lineales con extremos propoxi o cadenas etéreas de hasta 5000 g/mol.

40 La dosificación del Sistema de aditivos I generalmente varía del 0,05-5 % de contenido sólido basado en el peso del aglutinante total (cemento total + cenizas volantes totales o escoria + sílice pirógena total) dependiendo de las propiedades de colocación del hormigón objetivo.

La relación en peso (contenido sólido seco) del PCE reductor de agua fuerte y el PCE de retención de la trabajabilidad generalmente se encuentra entre 20:80 y 60:40 dependiendo de la aplicación objetivo.

### Sistema de aditivos II: Estabilización

El estabilizador es un sólido, una solución de agua, emulsión o dispersión de compuestos como:

- Celulosa modificada, tal como carboximetilcelulosa, hidroxietilcelulosa, hidroxipropilmetilcelulosa.
- Almidón natural y modificado, preferiblemente ramificado.
- Gomas naturales como la goma xantana.
- 5 – Sílice fina, tal como sílice coloidal, cualquier combinación de las mismas.

La dosificación del sistema de aditivos B se sitúa habitualmente entre el 0,05-2,5 % de contenido sólido basado en el peso del aglutinante (cemento total + cenizas volantes totales o escoria + sílice pirógena total), dependiendo del riesgo de segregación relacionado con las fibras y la retención de la trabajabilidad dirigido

10 Sistema de aditivos III: Curado interno

El agente de curado interno: un sólido, pasta, una solución de agua, emulsión o dispersión de compuestos como:

- Microfibras de celulosa
- Ceras sintéticas o naturales
- Polímeros superabsorbentes, como almidón modificado o polímeros reticulados de acrilato.
- 15 – Hexilenglicol (2-metil-2,4-pentanodiol)

Sin embargo, la dosificación total del sistema de aditivos I y el sistema II no puede exceder el valor del 5 % en peso del aglutinante total.

La dosificación típica del sistema de aditivos III varía del 0,05 al 6 % de contenido sólido basado en el peso del aglutinante dependiendo de las condiciones (tamaño, temperatura, humedad relativa del aire, etc.).

20 Alternativamente, la mezcla de hormigón de la invención puede tener una sustitución parcial o total de la arena y los áridos con arena y áridos livianos (esquisto expandido, arcilla expandida, vidrio o piedra pómez expandido, puzolanas naturales, etc.). Esto permite obtener hormigones reforzados con fibras estructurales livianas con densidades inferiores a 1800 kg/m<sup>3</sup>, preferiblemente inferiores a 1600 kg/m<sup>3</sup> o incluso más preferiblemente inferiores a 1400 kg/m<sup>3</sup>.

25 La mezcla de hormigón de la invención puede contener aceleradores de desarrollo de resistencia, para alcanzar una resistencia de 4-6 MPa después de un par de horas. Esto es importante para el tratamiento posterior de las losas (por ejemplo, el acabado de helicópteros) que se puede hacer un par de horas después del moldeo de la losa, ahorrando así tiempo y mejorando la eficiencia.

30 La mezcla de hormigón de la invención también puede incluir un agente retardante, por ejemplo, y estructuras modificadas con azúcar, vinazas, melazas o agentes quelantes, etc.

La mezcla de hormigón de la invención puede usar un transportador de aire (como tensioactivos, jabones o compuestos hidrófobos) para asegurar un volumen de aire atrapado del 2 % al 15 % en volumen del hormigón final para resistencia a la congelación-descongelación o resistencia al fuego dependiendo de la aplicación.

35 El sistema de aditivos general, que consta de los 3 sistemas de aditivos I, II y III, no solo permite obtener una trabajabilidad controlada en varias clases (S1 a SF3), sino que también permite dispersar perfectamente la gran cantidad de fibras en los Sistemas de Fibras A y B (y opcionalmente en el Sistema de Fibras C) que proporciona una muy buena estabilidad de las fibras en la matriz de hormigón, evitando la segregación de las fibras o el sangrado de las fibras no metálicas gracias a las condiciones de mezcla optimizadas. Esto explica por qué la mezcla de hormigón de la invención se puede producir usando técnicas convencionales de mezcla de hormigón.

40 Hay muchas ventajas asociadas con los hormigones de acuerdo con la invención como se verá a partir de los ejemplos a continuación.

45 La primera ventaja es que la combinación de los diseños de mezclas de hormigón, los diseños de mezclas de fibras (Sistemas de Fibras A, B y opcionalmente C) y los sistemas de aditivos (I, II y III) permiten superar todos los problemas de la técnica anterior y proporcionar una amplia gama de consistencias, que puede ser gestionada y controlada por los 3 sistemas de aditivos I, II y III.

Además, la invención proporciona mezclas de hormigón que tienen un alto volumen de pasta que puede lograr una reducción muy alta de la contracción y permite moldear losas muy grandes de hasta 3000 m<sup>2</sup> sin la aparición de grietas debido a la elevada ductilidad y resistencia sin tener que usar fibras sintéticas que debilitan la resistencia de

la matriz y limitan las aplicaciones. El uso combinado del sistema de fibras de alta resistencia B y los sistemas de aditivos proporciona una combinación óptima de reducción de la contracción y prestaciones mecánicas (resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y ductilidad).

- 5 Una ventaja adicional de la invención es que las propiedades de la pasta de hormigón, como resultado de la combinación del contenido de la pasta y los sistemas de aditivos, permiten utilizar fibras metálicas cortas (menos de 40 mm) y/o altas dosificaciones de fibras metálicas (más de 70 kg/m<sup>3</sup> de hormigón hasta 165 kg/m<sup>3</sup> de hormigón) sin riesgos de segregación o sin afectar la consistencia específica del hormigón final o la retención de la trabajabilidad.

La mezcla de hormigón de la invención no requiere un tiempo especial y acciones de curado poco rentables, debido a la presencia cuando es necesario del sistema de aditivos III, lo que permite el autocurado.

- 10 La mezcla de hormigón de la invención se aplica a una amplia gama de elementos de construcción, como losas de hasta 3000 m<sup>2</sup> sin juntas y sin grietas de contracción, suelos, aplicaciones sísmicas, marco de hormigón aislado para paredes verticales, segmentos de puentes, industria de prefabricados, segmentos de revestimiento de túneles, rehabilitación estructural, etc.

- 15 La reología controlada de la mezcla de hormigón de la invención permite construir losas planas o losas con una pendiente diseñada.

La mezcla de hormigón de la invención tiene aplicaciones en losas delgadas grandes sin costura, suelos y niveles, elementos de puentes, vigas de hormigón, hormigón para resistencia al impacto, aplicaciones sísmicas, etc. La mezcla de hormigón de la invención no requiere ningún proceso de mezcla o secuencia particular y se puede obtener en cualquier planta de hormigón seco o húmedo.

- 20 Una característica adicional de la mezcla de hormigón de la invención es que proporciona consistencia hasta las clases de consistencia de autoubicación y autonivelante SF3 de manera controlada a través de un sofisticado sistema general de mezclas, y no requiere ninguna protección de curado específica (pulverización de agua, recubrimiento de superficie, etc.).

- 25 La mezcla de hormigón de la invención tiene altos tiempos de apertura o retención de la trabajabilidad (período de tiempo desde la mezcla inicial de los ingredientes durante la cual la trabajabilidad expresada por las clases de consistencia del hormigón S1-S5 y SF1-SF3 para hormigones de autoubicación) del hormigón cambia y permanece en la misma clase de consistencia. La combinación del diseño de la mezcla de hormigón, el diseño de la mezcla de fibras y el sistema de aditivos juntos permiten lograr las mejoras y propiedades buscadas.

### Definiciones

- |    |                            |   |
|----|----------------------------|---|
| 30 | Aglutinante hidráulico     | Material con propiedades de cementación que fragua y se endurece debido a la hidratación incluso bajo el agua. Los aglutinantes hidráulicos producen hidratos de silicato de calcio también conocidos como CSH.                                 |
| 35 | Cemento                    | Aglutinante que fragua, se endurece y une materiales. El cemento más común es el cemento Portland ordinario (CPO) y una serie de cementos Portland mezclados con otros materiales cementosos.   |
| 40 | Cemento Portland ordinario | Cemento hidráulico fabricado en molienda de clínker con yeso. El cemento Portland contiene silicato de calcio, aluminato de calcio y fases de ferroaluminato de calcio. Estas fases minerales reaccionan con el agua para producir resistencia. |
| 45 | Adición mineral            | Mezcla de minerales (incluidos los siguientes polvos: sílice pirógena, cenizas volantes, escorias) añadidos al hormigón para mejorar las propiedades frescas, el desarrollo de la resistencia a la compresión y la durabilidad.                 |
| 45 | Sílice pirógena            | Fuente de silicio amorfo obtenido como subproducto de la producción de silicio y aleación de ferrosilicio. También conocido como microsíllice.  |
|    | Aglutinante total          | Es la suma de todos los componentes cementosos (cemento, cenizas volantes, escoria, sílice pirógena, etc.)  |

## ES 2 764 135 T3

	Volumen de pasta	Es el volumen total del cemento, + cenizas volantes + escoria + sílice pirógena + agua + aire arrastrado
5	Fibras	Material utilizado para aumentar el rendimiento estructural del hormigón. Las fibras incluyen: fibras de acero, fibras de vidrio, fibras sintéticas y fibras naturales.
	Silicato de alúmina – subproducto (cenizas volantes – cenizas de fondo)	Componentes aglutinantes reactivos alcalinos que junto con el activador forman la pasta cementosa. Estos son minerales ricos en alúmina y sílice tanto de estructura amorfa como cristalina.
10	Puzolana natural	Material de aluminosilicato de origen volcánico que reacciona con hidróxido de calcio para producir hidratos de silicato de calcio o CSH como se conoce en la hidratación del cemento Portland.
	Carga inerte	Un material que altera las propiedades físicas del hormigón pero que no participa en la reacción de hidratación.
15	Mezcla	Componente químico en un sistema de formulación de mezcla de uno principal.
	Materia prima	Polímero químico.
20	Aditivo	Aditivos químicos utilizados para modificar o mejorar las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido. Estos podrían ser transportadores de aire, reductores de agua, retardadores de fraguado, aceleradores, estabilizadores, superplastificantes y otros.
	Aire arrastrado	Volumen total de aire arrastrado en el hormigón por el transportador de aire.
25	PCE	Los PCE son copolímeros de ácido policarboxílico utilizados como una clase de aditivos para cemento y hormigón, y son polímeros de tipo peine que se basan en: una estructura principal de polímero hecha de acrílico, metacrílico, ácido maleico y monómeros relacionados, que se injerta con la cadena lateral de polioxialquileo, tal como OE y/o OP. El injerto podría ser, pero no se limita a, éster, éter, amida o imida.
30		
	Dispersante inicial	El dispersante inicial es un aditivo químico utilizado en composiciones de cemento hidráulico, como el hormigón de cemento Portland, parte de la familia de plastificantes y superplastificantes, que permite una buena dispersión de partículas de cemento durante la etapa de hidratación inicial.
35		
	Superplastificantes	El superplastificante se refiere a una clase de aditivo químico utilizado en composiciones de cemento hidráulico, como el hormigón de cemento Portland que tiene la capacidad de reducir altamente la demanda de agua mientras se mantiene una buena dispersión de partículas de cemento. En particular, los superplastificantes evitan la agregación de partículas y mejoran las propiedades reológicas y la trabajabilidad del cemento y el hormigón en las diferentes etapas de la reacción de hidratación.
40		
	Hormigón	El hormigón es principalmente una combinación de aglutinante hidráulico, arena, áridos finos y/o gruesos, agua. También se pueden añadir aditivos para proporcionar propiedades específicas como flujo, menor contenido de agua, aceleración...
45		
	Materiales de construcción vertibles	Un material se considera vertible tan pronto como su fluidez (con o sin vibración) permita llenar completamente un encofrado o colocarse en una superficie definida.
50		

	Materiales de construcción	Cualquier material que se pueda usar para construir elementos o estructuras de construcción. Incluye hormigón, mampostería (ladrillos – bloques), piedra, ICF...
5	Aplicaciones estructurales	Un material de construcción se considera estructural tan pronto como la resistencia a la compresión del material sea superior a 25 MPa
	Trabajabilidad	La trabajabilidad de un material se mide con una prueba de asentamiento (tabla 1: asentamiento)
10	Retención de la trabajabilidad	Es la capacidad de una mezcla para mantener su funcionalidad durante el tiempo. El tiempo total requerido depende de la aplicación y el transporte.
	Aditivo de curado interno	Agente aditivo que retiene el agua y libera el agua internamente de forma retardada para compensar el agotamiento del agua debido al secado
15	Desarrollo de resistencia – fraguado/endurecimiento	El tiempo de fraguado comienza cuando el material de construcción cambia de plástico a rígido. En la etapa rígida, el material ya no se puede verter ni mover. Después de esta fase, el desarrollo de la resistencia corresponde al endurecimiento del material.
20	Áridos gruesos	Minerales manufacturados, naturales o reciclados con un tamaño de partícula superior a 6 mm y un tamaño máximo inferior a 32 mm
	Áridos finos	Minerales manufacturados, naturales o reciclados con un tamaño de partícula habitualmente superior a 3 mm y un tamaño máximo inferior a 10 mm
25	Áridos de arena	Minerales manufacturados, naturales o reciclados con un tamaño de partícula inferior a 3 o 4 mm.
	Ductilidad	Es la capacidad del hormigón para deformarse de una manera no elástica, manteniendo las resistencias expresadas por la resistencia residual con un cierto desplazamiento (CMOD) de acuerdo con la Norma EN 14651
30	Límite elástico	Es la resistencia medida en tracción o tensión a partir de la cual la ley constitutiva entre el alargamiento y la tensión aplicada ya no lineal
35	Resistencia a la flexión	Es la resistencia medida en pruebas de flexión de 3 puntos (muestras prismáticas con muescas de 500 mm x 150 mm x 150 mm) de acuerdo con la Norma EN 14651
	Resistencia máxima (US)	Máxima resistencia de las fibras antes de la ruptura.
	w/b	Masa total de agua libre (w) en kg dividida por la masa total de aglutinante en kg

40 **Breve descripción de las figuras**

Figura 1. Resultados de la prueba de flexión que muestran la apertura de la boca de agrietamiento (CMOD) frente a la resistencia según la norma EN 14651. Esta figura muestra los valores  $f_{fl}$ ,  $f_{R1}$  y  $f_{R3}$ .

**Ejemplos de la invención**

45 En este caso se presentan varios ejemplos de diseños de mezcla y resultados correspondientes de acuerdo con la invención.

## ES 2 764 135 T3

### Ejemplo 1

Material	Unidad	Cantidad
Contenido de aglutinante total	kg/m <sup>3</sup>	390
CEM II 32,5N A-LL	kg/m <sup>3</sup>	390
w/b eff	-	0,4
Sistema de aditivos I	% de contenido de aglutinante total	0,80 %
Sistema de aditivos II	% de contenido de aglutinante total	0,30 %
Arena 0/4 redonda	kg/m <sup>3</sup>	736
Grava de áridos finos 4/8 redonda	kg/m <sup>3</sup>	461
Grava de áridos gruesos 8/16 redonda	kg/m <sup>3</sup>	646
Fibra tipo A – l/d=65 – l=60mm, US=1350 MPa, YS= 1200 MPa enganchada	% en volumen	1,00 %
Fibra tipo B – acero – l/d=60 – l=16mm, US=2350 MPa, YS= 2100 MPa recta	% en volumen	0,20 %
Aire arrastrado	l/m <sup>3</sup>	25
Volumen de pasta	l/m <sup>3</sup>	308,87
<b>Resultados</b>		
	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Clase de asentamiento	-	S3
Flujo de asentamiento	mm	145
Retención de la trabajabilidad	min	80
fc	MPa	32
ffl	MPa	4,1
fr1	MPa	3,6
fr3	MPa	3,9
Módulo E	GPa	27,9

Este ejemplo con un bajo volumen de pasta permite lograr la clase de asentamiento (o consistencia) SF2. En este ejemplo, solo se utilizan fibras de acero en el sistema de fibra B.

### 5 Ejemplo 2: (no de acuerdo con la invención)

Material	Unidad	Cantidad
Contenido de aglutinante total	kg/m <sup>3</sup>	430
CEM I 42,5 N	kg/m <sup>3</sup>	300
Cenizas volantes	kg/m <sup>3</sup>	130
w/b eff	-	0,55
Sistema de aditivos I	% de contenido de aglutinante total	0,10 %
Sistema de aditivos II	% de contenido de aglutinante total	0,20 %
Arena 0/4 redonda	kg/m <sup>3</sup>	735
Grava de áridos finos 4/8 redonda	kg/m <sup>3</sup>	327
Grava de áridos gruesos 8/11 triturada	kg/m <sup>3</sup>	573
Fibra tipo A – l/d=50 – l=55mm, US=1780 MPa, YS= 1530 MPa enganchada	% en volumen	0,35 %
Fibra tipo B – vidrio – l/d=57 – l=12mm, US=1650 MPa, recta	% en volumen	0,20 %

ES 2 764 135 T3

(continuación)

Material	Unidad	Cantidad
Aire arrastrado	l/m <sup>3</sup>	20
Volumen de pasta	l/m <sup>3</sup>	385,90
<b>Resultados</b>		
	Unidad	Valor
Clase de asentamiento	-	S4
Asentamiento	mm	165
Retención de la trabajabilidad	min	85
fc	MPa	35,2
ffl	MPa	3,9
fr1	MPa	3,3
fr3	MPa	3,6
Módulo E	GPa	27,2

Este otro ejemplo usa solo fibras metálicas en el sistema de fibra B.

Ejemplo 3

Material	Unidad	Cantidad
Contenido de aglutinante total	kg/m <sup>3</sup>	510
CEM II 42,5 R/A-P	kg/m <sup>3</sup>	330
Cenizas volantes	kg/m <sup>3</sup>	130
Sílice pirógena	kg/m <sup>3</sup>	50
w/b eff	-	0,45
Sistema de aditivos I	% de contenido de aglutinante total	1,30 %
Sistema de aditivos II	% de contenido de aglutinante total	1,30 %
Sistema de aditivos III	% de contenido de aglutinante total	2,80 %
Retardante gluconato	% de contenido de aglutinante total	0,20 %
Arena 0/2 redonda	kg/m <sup>3</sup>	311
Arena 0/4 triturada	kg/m <sup>3</sup>	543
Grava de áridos finos 4/7 triturada	kg/m <sup>3</sup>	389
Grava de áridos gruesos 6/12 triturada	kg/m <sup>3</sup>	311
Fibra tipo A – l/d=80 – l=44mm, US=2540 MPa, YS= 2350 MPa, enganchada	% en volumen	0,35 %
Fibra tipo A – l/d=90 – l=50mm, US=3020 MPa, YS=2860 MPa, enganchada	% en volumen	0,25 %
Fibra tipo B – acero – l/d=60 – l=6mm, US=2130 MPa, YS=1810 MPa, recta	% en volumen	0,20 %
Aire arrastrado	l/m <sup>3</sup>	12
Volumen de pasta	l/m <sup>3</sup>	423,16
Clase de asentamiento	-	SF3
Flujo de asentamiento	mm	810
Retención de la trabajabilidad	min	120

ES 2 764 135 T3

(continuación)

<b>Resultados</b>		
	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
fc	MPa	57,9
ffl	MPa	6,8
fr1	MPa	8
fr3	MPa	7,8
Módulo E	GPa	30,7

Este ejemplo muestra una alternativa según las invenciones con 2 tipos diferentes de fibras metálicas utilizadas en el Sistema de Fibras A y solo fibras de acero en el Sistema de Fibras B.

5 Ejemplo 4: (no de acuerdo con la invención)

<b>Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Contenido de aglutinante total	kg/m <sup>3</sup>	520
CEM III/A 42,5N	kg/m <sup>3</sup>	400
Carga de piedra caliza	kg/m <sup>3</sup>	120
w/b eff	-	0,4
Sistema de aditivos I	% de contenido de aglutinante total	0,80 %
Sistema de aditivos II	% de contenido de aglutinante total	0,48 %
Sistema de aditivos III	% de contenido de aglutinante total	5,10 %
Arena 0/4 redonda	kg/m <sup>3</sup>	1021
Grava de áridos finos 4/9 triturada	kg/m <sup>3</sup>	682
Fibra tipo A – l/d=50 – l=50mm, US=1250 MPa, YS=1080 MPa, recta	% en volumen	0,35 %
Fibra tipo B – Basalto – l/d=1100 – l=12mm, US=3500 MPa, recta	% en volumen	0,35 %
Aire arrastrado	l/m <sup>3</sup>	34
Volumen de pasta	l/m <sup>3</sup>	417,59
<b>Resultados</b>		
	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Clase de asentamiento	-	S4
Asentamiento	mm	175
Retención de la trabajabilidad	min	60
fc	MPa	51,2
ffl	MPa	5,7
fr1	MPa	5,1
fr3	MPa	4,7
Módulo E	GPa	34,9

Este ejemplo usa solo fibras minerales (basalto) en el Sistema de Fibras B.

Ejemplo 5:

<b>Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Contenido de aglutinante total	kg/m <sup>3</sup>	650
CEM I 42,5 R	kg/m <sup>3</sup>	400
Sílice pirógena	kg/m <sup>3</sup>	70
GGBS	kg/m <sup>3</sup>	180

ES 2 764 135 T3

(continuación)

Material	Unidad	Cantidad
w/b eff	-	0,38
Sistema de aditivos I	% de contenido de aglutinante total	3,70 %
Sistema de aditivos II	% de contenido de aglutinante total	1,80 %
Sistema de aditivos III	% de contenido de aglutinante total	0,70 %
Arena 0/1 redonda	kg/m <sup>3</sup>	308
Arena 0/4 triturada	kg/m <sup>3</sup>	228
Grava de áridos finos 2/6 redonda	kg/m <sup>3</sup>	403
Grava de áridos gruesos 4/13 redonda	kg/m <sup>3</sup>	403
Fibra tipo A – l/d=92 – l=60mm, US=2470 MPa, YS=2250 MPa, enganchada	% en volumen	0,70 %
Fibra tipo B – Acero – l/d=60 – l=30mm, US=2850 MPa, YS= 2650 enganchada	% en volumen	0,25 %
Fibra tipo B – Aramida – l/d=100 – l=18mm, US=4500 MPa, recta	% en volumen	0,10 %
Aire arrastrado	l/m <sup>3</sup>	17
Volumen de pasta	l/m <sup>3</sup>	484,66
<b>Resultados</b>		
	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Clase de asentamiento	-	SF1
Asentamiento	mm	600
Retención de la trabajabilidad	min	120
fc	MPa	78
ffl	MPa	11,4
fr1	MPa	11,6
fr3	MPa	14,3
Módulo E	GPa	41,2

Ejemplo de hormigón de muy alta ductilidad, con 2 tipos de fibras de alta resistencia en el Sistema de Fibras B (acero y aramida).

5 Ejemplo 6

Material	Unidad	Cantidad
Contenido de aglutinante total	kg/m <sup>3</sup>	500
CEM II/A-T 42,5N	kg/m <sup>3</sup>	300
Cenizas volantes	kg/m <sup>3</sup>	200
w/b eff	-	0,49
Sistema de aditivos I	% de contenido de aglutinante total	0,90 %
Sistema de aditivos II	% de contenido de aglutinante total	0,20 %
Sistema de aditivos III	% de contenido de aglutinante total	2,50 %
Acelerador – formiato de calcio	% de contenido de aglutinante total	2,00 %
Arena 0/4 redonda	kg/m <sup>3</sup>	703

ES 2 764 135 T3

(continuación)

Material	Unidad	Cantidad
Grava fina y gruesa 4/12 redonda		861
Fibra tipo A – l/d=50 – l=50mm, US=1220 MPa, YS= 1070 MPa, enganchada	% en volumen	0,50 %
Fibra tipo B – Acero – l/d=80 – l=30mm, US=3020 MPa, YS 2810=MPa, enganchada	% en volumen	0,25 %
Fibra tipo B – Vidrio – l/d=80 – l=30mm, US=3020 MPa,	% en volumen	0,10 %
Aire arrastrado	l/m <sup>3</sup>	24
Volumen de pasta	l/m <sup>3</sup>	447,57143
<b>Resultados</b>		
	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Clase de asentamiento	-	S5
Flujo de asentamiento	mm	220
Retención de la trabajabilidad	min	45
fc	MPa	46
ffl	MPa	4,9
fr1	MPa	5,4
fr3	MPa	5,7
Módulo E	GPa	28,5

Ejemplo de acuerdo con la invención donde el Sistema de Fibras B contiene fibras metálicas y de vidrio de alta resistencia y un acelerador de resistencia que utiliza formiato de calcio en el sistema de aditivos.

5 Ejemplo 7

Material	Unidad	Cantidad
Contenido de aglutinante total	kg/m <sup>3</sup>	430
CEM II 32,5 B-LL	kg/m <sup>3</sup>	280
Cenizas volantes	kg/m <sup>3</sup>	150
w/b eff	-	0,58
Sistema de aditivos I	% de contenido de aglutinante total	1,70 %
Sistema de aditivos II	% de contenido de aglutinante total	0,60 %
Arena 0/3 redonda	kg/m <sup>3</sup>	725
Grava de áridos finos 3/10 redonda	kg/m <sup>3</sup>	403
Grava de áridos gruesos 10/20 redonda	kg/m <sup>3</sup>	484
Fibra tipo A – l/d=65 – l=55mm, US=1570 MPa, YS= 1380 MPa, enganchada	% en volumen	0,30 %
Fibra tipo B – Acero – l/d=55 – l=18mm, US=2360 MPa, YS= 2130 MPa, recta	% en volumen	0,20 %
Fibra tipo C – Polipropileno – l/d=80 – l=50mm, US=750 MPa, recta	% en volumen	0,28 %
Aire arrastrado	l/m <sup>3</sup>	26
Volumen de pasta	l/m <sup>3</sup>	431,23
<b>Resultados</b>		
	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Clase de asentamiento	-	SF2
Asentamiento	mm	710
Retención de la trabajabilidad	min	90

ES 2 764 135 T3

(continuación)

<b>Resultados</b>		
	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
fc	MPa	34,9
ffl	MPa	3,5
fr1	MPa	3,1
fr3	MPa	4,7
Módulo E	GPa	25,7

Este diseño de mezcla de acuerdo con la invención incluye el Sistema de Fibras C con fibras sintéticas de baja resistencia (polipropileno) específicamente diseñadas para aplicaciones de resistencia al fuego.

5 Ejemplo 8

<b>Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Contenido de aglutinante total	kg/m <sup>3</sup>	390
CEM II 32,5 N A-LL	kg/m <sup>3</sup>	390
w/b eff	-	0,4
Sistema de aditivos I	% de contenido de aglutinante total	0,80 %
Sistema de aditivos II	% de contenido de aglutinante total	0,30 %
Arena 0/4 redonda	kg/m <sup>3</sup>	736
Grava 4/8 redonda	kg/m <sup>3</sup>	461
Grava 4/16 redonda	kg/m <sup>3</sup>	646
Fibra tipo A – l/d=85 – l=50mm, YS= 670 MPa, US=755 MPa, recta	% en volumen	0,50 %
Fibra tipo B – Acero – l/d=60 – l=20mm, YS=2740 MPa, US=3020 MPa, enganchada	% en volumen	0,25 %
Fibra tipo B – Vidrio – l/d=57 – l=12mm, US=2750 MPa, recta	% en volumen	0,05 %
Aire arrastrado	l/m <sup>3</sup>	32
Volumen de pasta	l/m <sup>3</sup>	311,81
Clase de asentamiento	-	S3
Asentamiento	mm	120
Retención de la trabajabilidad	min	80
fc	MPa	31,2
ffl	MPa	3,5
fr1	MPa	2,1
fr3	MPa	1,4
Módulo E	GPa	26,7

Este ejemplo muestra que los requisitos de ductilidad y resistencia mecánica no se alcanzan ya que las fibras en el Sistema de Fibras A tienen una resistencia (YS y US) que no coinciden con la invención.

Ejemplo 9

<b>Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Contenido de aglutinante total	kg/m <sup>3</sup>	390
CEM II 32,5 N A-LL	kg/m <sup>3</sup>	390

(continuación)

Material	Unidad	Cantidad
w/b eff	-	0,4
Sistema de aditivos I	% de contenido de aglutinante total	0,80 %
Sistema de aditivos II	% de contenido de aglutinante total	0,30 %
Arena 0/4 redonda	kg/m <sup>3</sup>	736
Grava 4/8 redonda	kg/m <sup>3</sup>	461
Grava 4/16 redonda	kg/m <sup>3</sup>	646
Fibra tipo A – l/d=85 – l=50mm, YS= 1680 MPa, US=1845 MPa, enganchada	% en volumen	0,40 %
Aire arrastrado	l/m <sup>3</sup>	32
Volumen de pasta	l/m <sup>3</sup>	311,81
Clase de asentamiento	-	S4
Asentamiento	mm	170
Retención de la trabajabilidad	min	80
Fc	MPa	31,2
Ffl	MPa	3,8
fr1	MPa	1,4
fr3	MPa	0,8
Módulo E	GPa	27,3

El ejemplo 9 muestra que un diseño típico de mezcla de hormigón que contiene solo el Sistema de Fibras A (aunque con alta resistencia) es una referencia en el mercado. El ejemplo evidencia la necesidad del Sistema de Fibras B para alcanzar el nivel de ductilidad de acuerdo con la invención.

- 5 Está claro que la invención no se limita a los ejemplos proporcionados y que la selección de los diversos ingredientes depende de la aplicación final, la colocación y las propiedades mecánicas específicas y el costo del diseño de la mezcla.

**REIVINDICACIONES**

1. Una mezcla de hormigón que comprende arena, áridos finos, aglutinante, fibras y diversos aditivos, que tiene una consistencia de S2-S5 y SF1-SF3, en el que S significa el asentamiento del hormigón en mm y SF significa flujo de hormigón en mm, una resistencia a la compresión en el rango de 30-80 MPa y una ductilidad representada por los siguientes valores:
- 5
- $$30 < f_c < 80 \text{ MPa}$$
- $$3 < f_{fl} < 12 \text{ MPa}$$
- $$3 < f_{R1} < 12 \text{ MPa}$$
- $$2,5 < f_{R3} < 15 \text{ MPa},$$
- 10 en la que  $f_c$  es resistencia a la compresión,  $f_{fl}$  es resistencia a la flexión,  $f_{R1}$  es resistencia en la abertura de la boca de agrietamiento de 0,5 mm y  $f_{R3}$  es resistencia en la abertura de la boca de agrietamiento de 2,5 mm,
- en el que la mezcla de hormigón contiene al menos 390 kg/m<sup>3</sup> de aglutinante, la mezcla de hormigón comprende un volumen de pasta de 300-600 litros, la mezcla de hormigón contiene al menos dos Sistemas de Fibras A y B, el Sistema de Fibras A consiste en fibras metálicas con una dosificación de 25-100 kg/m<sup>3</sup> con respecto a la
- 15 la mezcla de hormigón y con una resistencia máxima de al menos 1200 MPa, una longitud de 35-100 mm, el Sistema de Fibras B tiene una dosificación del 0,2 %-0,9 % por m<sup>3</sup> de la mezcla de hormigón, en el que el Sistema de Fibras B comprende el 65-90 % en volumen de fibras metálicas que tienen una longitud de 5-35 mm, la mezcla de hormigón contiene un sistema de aditivos general que consiste en al menos 2 sistemas de subaditivos I y II, en el que el primer sistema de aditivos I comprende al menos 2 copolímeros de ácido
- 20 policarboxílico (PCE), un PCE reductor de agua fuerte y un PCE de retención de la trabajabilidad, en el que el segundo sistema de aditivos II es un estabilizador obtenido de un compuesto seleccionado del grupo que consiste en celulosa modificada, carboximetilcelulosa, hidroxietilcelulosa, hidroxipropilmetilcelulosa, almidón natural, almidón modificado, almidón modificado ramificado, gomas naturales, goma de xantano, sílice fina, sílice coloidal, sílice pirógena y cualquier combinación de los mismos.
- 25 2. Mezcla de hormigón de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además áridos gruesos.
3. Mezcla de hormigón de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, **caracterizada por que** la dosificación del sistema de aditivos I es del 0,5-5 % en peso con respecto al contenido de aglutinante y la dosificación del sistema de aditivos II es del 0,1-2 % en peso con respecto al aglutinante.
- 30 4. Mezcla de hormigón de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada por que** la dosificación del sistema de aditivos I es del 0,1-1 % en peso con respecto al contenido de aglutinante y la dosificación del sistema de aditivos II es del 0,1-0,5 % en peso con respecto al aglutinante.
5. Mezcla de hormigón de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizada por que** la mezcla de hormigón comprende un sistema de aditivos III, en el que el tercer sistema de aditivos III se obtiene de un compuesto seleccionado del grupo que consiste en microfibras de celulosa, ceras sintéticas, ceras naturales, polímeros superabsorbentes, polímeros reticulados con almidón, polímeros reticulados con acrilato, hexilenglicol (2-
- 35 metil-2,4-pentanodiol) y cualquier combinación de los mismos y la dosificación del sistema de aditivos III es del 0,3-6 por ciento en peso con respecto al aglutinante.
6. Mezcla de hormigón de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizada por que** el Sistema de Fibras C, que comprende fibras sintéticas, se añade a la mezcla de hormigón.
- 40 7. Mezcla de hormigón de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizada por que** la dosificación del Sistema de Fibras C es del 0,02 % al 2 % en volumen con respecto al hormigón.
8. Mezcla de hormigón de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizada por que** el Sistema de Fibras B contiene fibras de vidrio.
9. Mezcla de hormigón de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 8, **caracterizada por que** una parte de la arena o los áridos finos o los áridos gruesos se sustituyen por áridos livianos seleccionados del grupo que consiste en vidrio expandido, arcilla expandida, piedra pómez y esquisto expandido.
- 45 10. Mezcla de hormigón de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizada por que** la tasa de sustitución de arena

o/y áridos finos o gruesos es de al menos el 30 % en volumen.

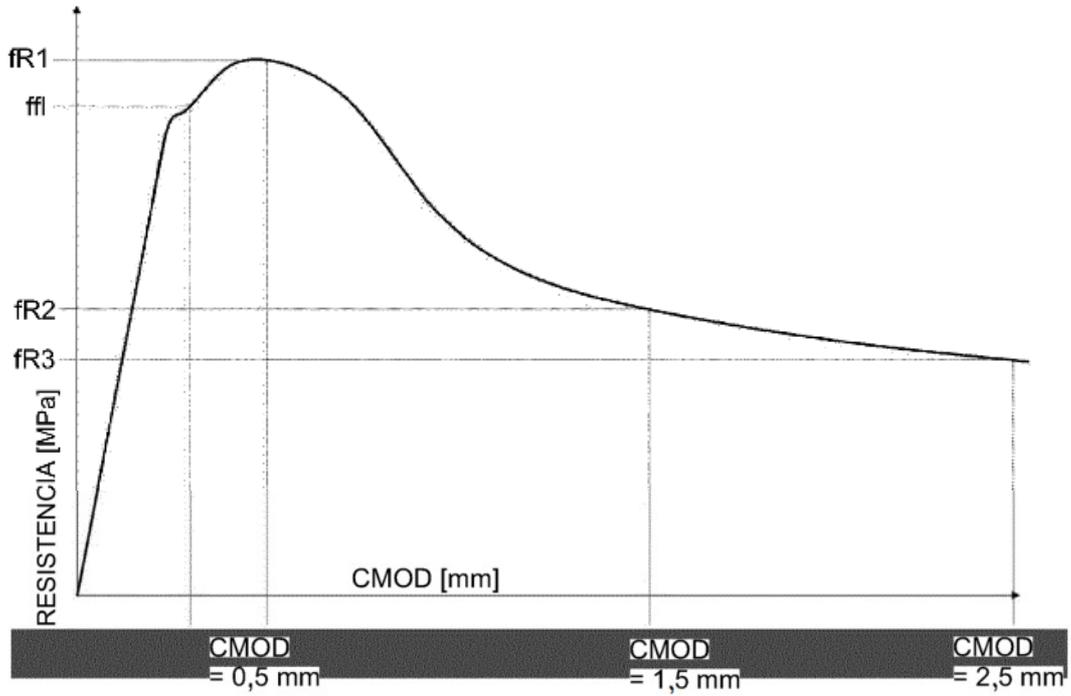


Fig. 1