



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 225 484**

⑤① Int. Cl.7: **C04B 28/02**, C04B 16/06  
// (C04B 28/02, C04B 14:06  
C04B 14:20, C04B 14:46  
C04B 14:48, C04B 16:06)  
C04B 18:14, C04B 111:28

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑧⑥ Número de solicitud europea: **01907735 .3**

⑧⑥ Fecha de presentación: **08.02.2001**

⑧⑦ Número de publicación de la solicitud: **1263690**

⑧⑦ Fecha de publicación de la solicitud: **11.12.2002**

⑤④ Título: **Composición de hormigón de altas prestaciones resistente al fuego.**

③⑩ Prioridad: **11.02.2000 FR 00 01742**

④⑤ Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.03.2005**

④⑤ Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.03.2005**

⑦③ Titular/es: **RHODIA CHIMIE**  
**26, quai Alphonse le Gallo**  
**92512 Boulogne Billancourt Cédex, FR**  
**BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS y**  
**LAFARGE**

⑦② Inventor/es: **Orange, Gilles;**  
**Prat, Evelyne;**  
**Casanova, André Pascal y**  
**Behloul, Mouloud**

⑦④ Agente: **Curell Suñol, Marcelino**

ES 2 225 484 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**

Composición de hormigón de altas prestaciones resistente al fuego.

5 La presente invención se refiere al campo de los hormigones, más particularmente al campo de los hormigones con fibras. En particular, la presente invención prevé obtener, para un hormigón de altas prestaciones que permite en particular fabricar unos elementos estructurales destinados a la construcción de edificios y de creaciones artísticas, una alta resistencia al fuego asociada a una reología controlable y unas altas prestaciones mecánicas. Asimismo, la invención tiene por objeto un hormigón mejorado y que presente unas propiedades anti-incendio superiores a las propiedades de los elementos de la técnica anterior.

10 Los hormigones dúctiles denominados hormigones de "altas prestaciones" se utilizan en particular para la construcción de elementos de hormigón pretensados o no que requieren unas propiedades mecánicas superiores, en particular una alta resistencia a la compresión. Estos hormigones presentan una alta resistencia a la flexión, típicamente de por lo menos 20MPa, y una resistencia a la compresión a los 28 días de por lo menos 120 MPa, un módulo de elasticidad a los 28 días superior a 45 GPa, proporcionándose estos valores para un hormigón almacenado y mantenido a una temperatura de 20°C.

15 Para mejorar las características mecánicas de estos hormigones, se han postulado varias soluciones.

20 Así, el documento WO 95/01316 propone la incorporación de fibras metálicas en una cantidad controlada y con unas dimensiones seleccionadas de entre unas proporciones determinadas con respecto a las dimensiones de los elementos granulados que constituyen la matriz del hormigón.

25 El documento WO 99/28267 tiene también por objeto unos hormigones de altas prestaciones que contienen fibras metálicas. Para mejorar la resistencia mecánica de los hormigones, en particular su comportamiento tanto con respecto a la aparición de microfisuras como a la propagación de macrofisuras, este documento propone la incorporación en la matriz cementítica de unos elementos que mejoran la tenacidad, seleccionados de entre los elementos aciculares o laminares que presentan un tamaño medio de 1 mm como máximo.

30 Los elementos aciculares mencionados son unas fibras minerales tales como la wollastonita, la bauxita, la mulita, el titanato de potasio, el carburo de silicio, el carbonato de calcio y la hidroxiapatita, o unas fibras orgánicas derivadas de la celulosa, pudiendo presentar eventualmente estas fibras un revestimiento de superficie de un compuesto orgánico polimérico.

35 El documento WO 99/58468 tiene por objeto unos hormigones de altas prestaciones que contienen fibras orgánicas tales como fibras de refuerzo con el fin de mejorar la ductilidad de estos hormigones. En esta solicitud, se contemplan también unos hormigones de altas prestaciones en los que se sustituye una parte de las fibras orgánicas por unas fibras metálicas. Se describe también que las fibras orgánicas modifican el comportamiento del hormigón ante el fuego.

40 Los hormigones de altas prestaciones descritos anteriormente, debido a sus propiedades mecánicas muestran sin embargo una resistencia insuficiente al fuego, que se traduce en un desconchado de las estructuras expuestas al fuego y que puede originar incluso la explosión de estas estructuras debido a la presión del vapor de agua fijada físicamente y químicamente por los constituyentes de la matriz, bajo la acción del calor.

45 La patente US 5 749 961 propone mejorar la propiedad de resistencia al fuego de composiciones para hormigones de altas prestaciones sin fibras que presentan unas resistencias a la compresión de entre 90 y 105 MPa mediante la adición en estas composiciones de una combinación de sílice precipitada y de fibras capaces de formar por disolución, ablandamiento, descomposición, encogimiento o fusión, una red de poros capilares de un diámetro de por lo menos 10  $\mu\text{m}$  y de una longitud de por lo menos 5 mm. Sin embargo, uno de los medios mencionados en esta patente y ampliamente practicado en los hormigones refractarios que consiste en la introducción de fibras orgánicas en el hormigón, disminuye de forma importante por una parte, las resistencias mecánicas del hormigón endurecido, puesto que las fibras introducen un volumen de elasticidad menor que el de la matriz. Por otra parte, las propiedades reológicas del hormigón en estado fresco se encuentran seriamente reducidas por la presencia de las fibras orgánicas en la composición, y se caracterizan por un esparcido insuficiente.

50 Por consiguiente, resulta difícil concebir la aplicación de tales soluciones a hormigones dúctiles de altas prestaciones tales como los descritos en las solicitudes de patente WO 99/28267 y WO 99/58468, que postulan ya unos volúmenes de fibras del orden de 2%.

55 Es importante poder disponer de composiciones para hormigones de altas prestaciones que presenten una reología comprendida entre un comportamiento plástico y un comportamiento fluido. Tales hormigones presentan convencionalmente un valor de esparcido de por lo menos 150 mm, siendo el valor de esparcido medido por la técnica de la mesa de sacudidas, técnica normalizada utilizada en general para los morteros.

60 Sin embargo, hasta ahora, tales composiciones de hormigón adolecen del inconveniente de presentar una resistencia mediocre al fuego.

## ES 2 225 484 T3

Hasta el presente, los intentos para mejorar las propiedades mecánicas de hormigones de altas prestaciones han mostrado unos efectos nefastos sobre la resistencia al fuego. A la inversa, las soluciones propuestas para mejorar la resistencia al fuego de los hormigones tienen el efecto en general de disminuir las propiedades mecánicas y/o reológicas de estos hormigones en estado no endurecido.

Por consiguiente, no existe una solución satisfactoria para el problema de la resistencia al fuego de los hormigones de altas prestaciones que contienen unas fibras compatibles con las propiedades deseadas para estos hormigones, a saber una resistencia elevada a la tracción/flexión, una resistencia elevada a la compresión y una reología del hormigón en estado no endurecido que pueden estar comprendidas entre un comportamiento plástico y un comportamiento fluido.

El objeto de la presente invención es un hormigón de altas prestaciones que contiene unas fibras metálicas de refuerzo, que posee unas propiedades por lo menos equivalentes a las de los hormigones similares de la técnica anterior, presentando una reología del hormigón en estado no endurecido comprendida entre un comportamiento plástico y un comportamiento fluido, y una buena resistencia al fuego.

Este objeto se alcanza gracias a la presente invención que consiste en la utilización de fibras orgánicas que presentan una temperatura de fusión inferior a 300°C, una longitud media  $l$  superior a 1 mm, y un diámetro  $\varnothing$  de como máximo 200  $\mu\text{m}$ , en un hormigón de altas prestaciones con el objeto de mejorar la resistencia al fuego del hormigón, siendo la cantidad de fibras orgánicas tal que su volumen se encuentra comprendido entre 0,1 y 3% del volumen del hormigón después de fraguado y presentando el hormigón una resistencia característica a la compresión a los 28 días de por lo menos 120 MPa, una resistencia característica a la flexión de por lo menos 20 MPa, y un valor de esparcido en estado no endurecido de por lo menos 150 mm, proporcionándose estos valores para un hormigón almacenado y mantenido a 20°C, estando dicho hormigón constituido por una matriz cementítica endurecida en la que están dispersadas unas fibras metálicas, que provienen de la mezcla con agua de una composición que comprende además de las fibras:

- (a) cemento;
  - (b) unos elementos granulares que presentan un tamaño de grano  $D_{90}$  de 10 mm como máximo;
  - (c) unos elementos de reacción puzolánica que presentan un tamaño de partículas elementales comprendido entre 0,1 y 100  $\mu\text{m}$ ;
  - (d) por lo menos un agente dispersante;
- y que cumple las siguientes condiciones:
- (1) el porcentaje en peso del agua con respecto al peso acumulado del cemento (a) y de los elementos (c) está comprendido entre 8 y 24%;
  - (2) las fibras metálicas presentan una longitud media  $l_1$  de por lo menos 2 mm, y una relación  $l_1/\varnothing_1$  de por lo menos 20, siendo  $\varnothing_1$  el diámetro de las fibras;
  - (3) la proporción  $V_1/V$ , entre el volumen  $V_1$  de las fibras metálicas y el volumen  $V$  de las fibras orgánicas es superior a 1, y la proporción  $l_1/l$ , entre la longitud de las fibras metálicas y la longitud de las fibras orgánicas es superior a 1;
  - (4) la proporción  $R$  entre la longitud media  $l_1$  de las fibras metálicas y el tamaño  $D_{90}$  de los elementos granulares es por lo menos 3, preferentemente por lo menos 5;
  - (5) la cantidad de fibras metálicas es tal que su volumen es inferior a 4% del volumen del hormigón después del fraguado.

La invención tiene también por objeto un hormigón de altas prestaciones resistente al fuego y que presenta una resistencia característica a la compresión a los 28 días de por lo menos 120 MPa, una resistencia característica a la flexión de por lo menos 20 MPa y un valor de esparcido en estado no endurecido de por lo menos 150 mm, proporcionándose estos valores para un hormigón almacenado y mantenido a una temperatura de 20°C; estando dicho hormigón constituido por una matriz cementítica endurecida en la que están dispersadas unas fibras metálicas, que provienen de la mezcla con agua de una composición que comprende, además de las fibras:

- (a) cemento;
- (b) unos elementos granulares que presentan un tamaño de grano  $D_{90}$  de 10 mm como máximo;
- (d) unos elementos de reacción puzolánica que presentan un tamaño de partículas elementales comprendido entre 0,1 y 100  $\mu\text{m}$ ;
- (e) por lo menos un agente dispersante;

## ES 2 225 484 T3

y que cumple las siguientes condiciones:

- (1) el porcentaje en peso del agua con respecto al peso acumulado del cemento (a) y de los elementos (c) está comprendido entre 8 y 24%;
- (2) las fibras metálicas presentan una longitud media  $l_1$  de por lo menos 2 mm, y una relación  $l_1/\varnothing_1$  de por lo menos 20, siendo  $\varnothing_1$  el diámetro de las fibras;
- (3) las fibras orgánicas presentan una temperatura de fusión inferior a 200°C, una longitud media  $l$  superior a 1 mm y un diámetro  $\varnothing$  de 200  $\mu\text{m}$  como máximo;
- (4) la proporción  $V_1/V$ , entre el volumen  $V_1$  de las fibras metálicas y el volumen  $V$  de las fibras orgánicas es superior a 1, y la proporción  $l_1/l$ , entre la longitud de las fibras metálicas y la longitud de las fibras orgánicas es superior a 1;
- (5) la proporción  $R$  entre la longitud media  $l_1$  de las fibras metálicas y el tamaño  $D_{90}$  de los elementos granulares es por lo menos 3, preferentemente por lo menos 5;
- (6) la cantidad de fibras metálicas es tal que su volumen es inferior a 4% del volumen del hormigón después del fraguado;
- (7) la cantidad de fibras orgánicas es tal que su volumen se encuentra comprendido entre 0,1 y 3% del volumen del hormigón después del fraguado.

Así, gracias a una concepción novedosa de la matriz cementítica y de su relación con las fibras de refuerzo, esta solución resuelve el problema planteado gracias a este compromiso entre propiedades mecánicas/reológicas/de comportamiento ante el fuego.

Por “matriz cementítica”, se designa la composición cementítica endurecida sin fibras metálicas.

$D_{90}$  significa que el 90% en peso de los elementos granulares presentan un tamaño de grano inferior o igual a 10 mm, siendo el tamaño de los granos medido por los tamaños de las mallas de los tamices cuyo cernido constituye el 90% del peso total de los granos.

$D_{75}$  significa que el 75% en peso de los elementos granulares presentan un tamaño de grano inferior o igual a 10 mm, siendo el tamaño de los granos medido por los tamaños de las mallas de los tamices cuyo cernido constituye el 75% del peso total de los granos.

Por “fibras orgánicas” se entiende cualquier fibra polimérica que responde a las condiciones mencionadas anteriormente.

Dentro del marco de la invención, se entiende también por “diámetro de las fibras”, el diámetro equivalente cuando las fibras son de sección transversal.

Por “resistencia a la flexión”, se entiende la resistencia a la flexión en 4 puntos medida en unas muestras con unas dimensiones de 7x7x28 cm.

Ventajosamente, las fibras orgánicas presentan una longitud  $l$  superior a 1,5 mm e igual a 12 mm como máximo.

La proporción  $l/\varnothing$  se encuentra comprendida ventajosamente entre 20 y 500.

Según una forma de realización de la invención, el diámetro de las fibras orgánicas se encuentra comprendido entre 2 y 100  $\mu\text{m}$ , preferentemente inferior a 80  $\mu\text{m}$ .

Preferentemente, la proporción  $V_1/V$  es por lo menos 2.

Según una variante, la cantidad de fibras orgánicas preferentemente es tal que su volumen sea inferior al 2% del volumen del hormigón después del fraguado, preferentemente inferior al 1%.

Las fibras orgánicas pueden consistir en cualquier homopolímero o copolímero que presente una temperatura de fusión de 300°C como máximo, preferentemente una temperatura de fusión de 275°C como máximo. Según una forma de realización preferida, la temperatura de fusión de las fibras es inferior o igual a 200°C.

Se pueden citar en particular las fibras orgánicas que consisten en un homopolímero o copolímero seleccionados de entre la poliácridamida, la poliétersulfona, el cloruro de polivinilo, el polietileno, el polipropileno, el poliestireno, la poliamida y el alcohol polivinílico, solos o en mezcla. Según una forma de realización particular, las fibras orgánicas son unas fibras de polipropileno con una longitud de 6 mm y un diámetro de 18  $\mu\text{m}$ .

## ES 2 225 484 T3

Con respecto a las fibras metálicas, puede tratarse de fibras metálicas seleccionadas de entre las fibras de acero, tales como las fibras de acero de alta resistencia mecánica, las fibras de acero amorfos, o incluso las fibras de acero inoxidable. Eventualmente, las fibras de acero pueden estar revestidas con un metal no ferroso, tal como el cobre, el zinc, el níquel (o sus aleaciones).

5

La longitud media de las fibras metálicas se encuentra preferentemente comprendida entre 5 y 30 mm. La proporción  $l_1/\varnothing_1$  es preferentemente de 200 como máximo.

10

Se pueden utilizar fibras metálicas de geometría variable. Pueden presentar una forma dentada, ondulada o de gancho en los extremos. También resulta posible variar la rugosidad de las fibras y/o utilizar unas fibras de sección transversal variable. Las fibras pueden obtenerse a partir de cualquier técnica adecuada, incluyendo la torsión o el cableado de varios hilos metálicos formando un trenzado.

15

La cantidad de fibras metálicas es tal que su volumen es preferentemente inferior a 3,5% del volumen del hormigón después del fraguado.

20

Ventajosamente, la tensión de adherencia media de las fibras metálicas en la matriz cementítica endurecida debe ser de por lo menos 10 MPa, preferentemente por lo menos 15 MPa. Dicha tensión se determina por una prueba de extracción de una monofibra integrada en un bloque de hormigón.

25

Se ha observado que los hormigones según la presente invención que presentan además dicha fuerza adherencia de las fibras y una tenacidad de matriz elevada (preferentemente por lo menos 15 J/m<sup>2</sup>) generan mejores prestaciones mecánicas, por sinergia entre estas dos propiedades.

El nivel de la adherencia fibra/matriz puede ser controlado por varios medios que se pueden utilizar individual o simultáneamente.

30

Según una primera forma de realización, la adherencia de las fibras en la matriz cementítica puede obtenerse mediante el tratamiento de la superficie de las fibras. Este tratamiento de las fibras puede efectuarse a través de por lo menos uno de los procedimientos siguientes:

- ataque químico de las fibras;
- depósito de un compuesto mineral sobre las fibras, en particular mediante el depósito de un fosfato metálico.

35

El ataque químico puede realizarse, por ejemplo, poniendo las fibras en contacto con un ácido, y a continuación por neutralización.

40

En general, el depósito de fosfato metálico se obtiene mediante un procedimiento de fosfatación, que consiste en la introducción de fibras metálicas previamente decapadas en una solución acuosa que comprende un fosfato metálico, preferentemente fosfato de manganeso o de zinc, y después en la filtración de la solución para recuperar las fibras. A continuación, las fibras son enjuagadas, neutralizadas y después enjuagadas de nuevo. A diferencia del procedimiento de fosfatación habitual, las fibras obtenidas no deben ser sometidas a un acabado de tipo grasa. Sin embargo, pueden ser eventualmente impregnadas con un aditivo ya sea para proporcionar una protección anticorrosión, o bien para facilitar su utilización con el medio cementítico. El tratamiento de fosfatación puede obtenerse también mediante el revestimiento o la pulverización de la solución de fosfato metálico sobre las fibras.

45

Se puede utilizar cualquier tipo de procedimiento de fosfatación; se puede hacer referencia a este respecto a los tratamientos descritos en el artículo de G. Lorin "La phosphatation des métaux", 1973.

50

Según un segundo procedimiento, la tensión de adherencia de las fibras en la matriz cementítica puede lograrse mediante la introducción en la composición de por lo menos uno de los compuestos siguientes: los compuestos de sílice que comprenden mayoritariamente sílice, carbonato de calcio precipitado, alcohol polivinílico en solución acuosa, un látex o una mezcla de dichos compuestos.

55

Por compuesto de sílice que comprende mayoritariamente sílice, se entiende en este caso los productos de síntesis seleccionados de entre las sílices de precipitación, los soles de sílice, las sílices pirogénicas (del tipo Aerosil), los aluminosilicatos, por ejemplo el Tixosil 28 comercializado por Rhône-Poulenc, o los productos de tipo arcilla (naturales o derivados): por ejemplo las esmectitas, los silicatos de magnesio, las sepiolitas y las montmorillonitas.

60

Se utiliza preferentemente por lo menos una sílice de precipitación.

65

Por sílice de precipitación se entiende una sílice obtenida mediante la precipitación a partir de la reacción de un silicato de metal alcalino con un ácido, en general inorgánico, con un pH adecuado del medio de precipitación, en particular un pH básico, neutro o ligeramente ácido; el modo de preparación de la sílice puede ser cualquiera (adición de ácido a un pie de cuba de silicato, adición simultánea total o parcial de ácido o de silicato a un pie de cuba de solución de silicato o de agua, etc.) y se elige en función del tipo de sílice que se desea obtener; después de la etapa de precipitación, se procede generalmente a una etapa de separación de la sílice del medio de reacción según cualquier

## ES 2 225 484 T3

medio conocido, por ejemplo, un filtro prensa o un filtro bajo vacío; se recoge así una torta de filtrado, que se lava en caso necesario; esta torta puede, eventualmente después de desagregación, ser secada por cualquier medio conocido, en particular por atomización, y después eventualmente molida y/o aglomerada.

5 En general, la cantidad de sílice de precipitación introducida se encuentra comprendida entre 0,1% y 5% en peso, expresado en seco, con respecto al peso total del hormigón. Por encima de 5%, se observan habitualmente problemas de reología durante la preparación del mortero.

10 Preferentemente, la sílice de precipitación se introduce en la composición en forma de una suspensión acuosa. Puede tratarse en particular de una suspensión acuosa de sílice que presenta:

- un contenido de materia seca comprendido entre 10 y 40% en peso;
- una viscosidad inferior a  $4 \times 10^{-2}$  Pa.s para una cizalladura de  $50 \text{ s}^{-1}$ ;
- 15 - una cantidad de sílice contenida en el sobrenadante de dicha suspensión a 7.500 revoluciones por minuto durante 30 minutos, de más del 50% del peso de la sílice contenida en la suspensión.

20 Esta suspensión está descrita más particularmente en la solicitud de patente WO-A-96/01787. La suspensión de sílice Rhoimat CS 60 SL comercializada por Rhône-Poulenc es en particular adecuada para este tipo de hormigón.

El cemento (a) del hormigón según la invención consiste ventajosamente en un cemento Portland, tal como los cementos Portland CPA PMES, HP, HPR, CEM I PMES, 52,5 ó 52,5R o bien HTS (alto contenido de sílice).

25 Los elementos granulares (b) son esencialmente unas arenas o unas mezclas de arenas finas tamizadas o molidas, que pueden comprender ventajosamente unas arenas silíceas, en particular harina de cuarzo.

El tamaño de grano  $D_{75}$  de estos elementos es preferentemente de 6 mm como máximo.

30 Estos elementos granulares están generalmente presentes a razón de 20 a 60% en peso de la matriz cementítica, preferentemente entre 25 y 50% en peso de dicha matriz.

35 Los elementos finos de reacción puzolánica (c) presentan un tamaño de partículas elementales preferentemente de por lo menos  $0,1 \mu\text{m}$  y como máximo  $20 \mu\text{m}$ , preferentemente como máximo  $5 \mu\text{m}$ . Pueden seleccionarse de entre los compuestos de sílice, las cenizas volantes, las escorias de altos hornos, y los derivados de arcilla tales como el caolín. La sílice puede ser un humo de sílice que proviene de la industria del circonio mejor que un vapor de sílice que proviene de la industria del silicio.

40 Dentro del marco de la invención, los hormigones descritos anteriormente contienen eventualmente unos elementos de refuerzo. Estos elementos de refuerzo son añadidos a la composición que forma la matriz con el objeto de incrementar su tenacidad.

45 La tenacidad se expresa o bien en términos de tensión (factor de intensidad de tensión:  $K_c$ ) o bien en términos de energía (régimen crítico de energía:  $G_c$ ), empleando el formalismo de la Mecánica lineal de la fractura. Preferentemente, la tenacidad de la matriz cementítica es de por lo menos  $15 \text{ J/m}^2$ , ventajosamente de por lo menos  $20 \text{ J/m}^2$ . El método para medir la tenacidad ha sido descrito en la solicitud de patente PCT WO 99/28267.

50 La tenacidad de la matriz cementítica se obtiene ventajosamente mediante la adición a la composición cementítica de elementos de refuerzo de un tamaño medio de 1 mm como máximo, preferentemente  $500 \mu\text{m}$  como máximo, presentándose en forma acicular o en forma de plaquetas. Están generalmente presentes en una proporción volumétrica inferior al 35%, en particular comprendidos entre el 5 y el 25% del volumen acumulado de los elementos granulares (b) y de los elementos de reacción puzolánica (c).

55 Por "tamaño" de los elementos de refuerzo se entiende el tamaño de su dimensión mayor (en particular la longitud en el caso de las formas aciculares).

Puede tratarse de productos naturales o de síntesis.

60 Los elementos de refuerzo de forma acicular se seleccionan ventajosamente de entre fibras inferiores a 1 mm de longitud, por ejemplo, las fibras de wollastonita, las fibras bauxita, las fibras de mulita, las fibras de titanato de potasio, las fibras de carburo de silicio, las fibras de celulosa o de derivados de celulosa, tales como el acetato de celulosa, las fibras de carbono, las fibras de carbonato de calcio, las fibras de hidroxiapatita y otros fosfatos de calcio, o los productos derivados obtenidos mediante la trituración de dichas fibras y las mezclas de dichas fibras.

65 Preferentemente, se utilizan unos elementos de refuerzo cuya acicularidad, expresada por la relación longitud/diámetro, es de 3 como mínimo, y preferentemente de 5 como mínimo.

Las fibras de wollastonita han dado buenos resultados. Los elementos de refuerzo en forma de láminas pueden

## ES 2 225 484 T3

seleccionarse de entre las láminas de mica, las láminas de talco, las láminas de silicato mixto (arcillas), las láminas de vermiculita, las láminas de alúmina, y aluminatos o silicatos mixtos así como las mezclas de dichas láminas.

Las láminas de mica han proporcionado buenos resultados.

Es posible utilizar combinaciones de estas diferentes formas o naturalezas de elementos de refuerzo en la composición del hormigón según la invención. Estos elementos de refuerzo pueden presentar un revestimiento orgánico. Este tipo de tratamiento es particularmente recomendado para los elementos de refuerzo que son productos naturales. Tales elementos de refuerzo se describen con detalle en las solicitudes de patente WO 99/28267 y EP-A-372 804.

La relación ponderal agua/cemento, tradicional en la técnica del hormigón, puede variar cuando se utilizan sustitutos del cemento, que son en particular los elementos de reacción puzolánica. Para las necesidades de la presente invención, se ha definido por tanto la relación ponderal entre la cantidad de agua (E) y el peso acumulado del cemento y de los elementos de reacción puzolánica. Esta proporción así definida, está comprendida entre el 8 y el 24% aproximadamente, preferentemente entre el 13 y el 20% aproximadamente. Sin embargo, en la descripción de los ejemplos, se ha utilizado la proporción E/C entre el agua y el cemento.

La composición según la invención comprende también por lo menos un agente dispersante (d). Este agente dispersante es generalmente un agente fluidizante. El agente fluidizante puede seleccionarse de entre los lignosulfonatos, la caseína, los polinaftalenos, en particular los polinaftalensulfonatos de metales alcalinos, los derivados de formaldehído, los poliacrilatos de metales alcalinos, los policarboxilatos de metales alcalinos así como los polióxidos de etileno injertados. En general, la composición según la invención comprende entre 0,5 y 2,5 partes en peso de agente fluidizante por 100 partes en peso de cemento.

Se pueden añadir otros aditivos a la composición según la invención, por ejemplo un agente antiespuma. A título de ejemplo, se pueden utilizar los agentes antiespuma a base de polidimetilsiloxanos o de propilenglicol.

Entre los agentes de este tipo, se pueden citar en particular las siliconas en forma de una solución, de un sólido, y preferentemente en forma de una resina, de un aceite o de una emulsión, preferentemente en agua. Particularmente, resultan muy adecuadas las siliconas que comprenden esencialmente M motivos ( $\text{RSiO}_{0,5}$ ) y D motivos ( $\text{R}_2\text{SiO}$ ). En estas fórmulas, los radicales R, idénticos o diferentes, se seleccionan más particularmente de entre el hidrógeno y los radicales alquilo que comprenden de 1 a 8 átomos de carbono, prefiriéndose el radical metilo. El número de motivos está comprendido preferentemente entre 30 y 120.

La cantidad de un agente de este tipo en la composición es generalmente de 5 partes como máximo en peso por 100 partes de cemento.

A menos que se indique lo contrario, los tamaños de las partículas se miden por MET (microscopía electrónica de transmisión) o MEB (microscopía electrónica de barrido).

La matriz puede contener también otros ingredientes a condición que no perjudiquen las prestaciones esperadas del hormigón.

El hormigón puede ser obtenido según cualquier procedimiento conocido por el experto en la materia, en particular mediante la mezcla de los constituyentes sólidos y agua, la conformación (moldeo, colada, inyección, bombeo, extrusión, calandrado), y después endurecimiento.

Por ejemplo, para preparar el hormigón, se mezclan los constituyentes de la matriz cementítica y las fibras metálicas con la cantidad adecuada de agua.

Ventajosamente, se respeta el siguiente orden de mezclado:

- mezclado de los constituyentes pulverulentos de la matriz (por ejemplo durante 2 minutos);
- introducción del agua y una parte, por ejemplo la mitad, de los adyuvantes;
- mezclado (por ejemplo durante 1 minuto);
- introducción de la parte restante de los adyuvantes;
- mezclado (por ejemplo, durante 3 minutos);
- introducción de las fibras;
- mezclado (por ejemplo durante 2 minutos)

Según una variante preferida, las fibras orgánicas son introducidas antes de la adición de agua.

## ES 2 225 484 T3

El hormigón es sometido a continuación a un proceso de maduración entre 20°C y 100°C durante el tiempo necesario para obtener las características mecánicas deseadas.

Una maduración a una temperatura cercana a la temperatura ambiente proporciona buenas propiedades mecánicas, y ello, gracias a la selección de los constituyentes de la matriz cementítica. En este caso, se deja madurar el hormigón, por ejemplo, a una temperatura cercana a los 20°C.

La maduración también puede requerir un tratamiento térmico entre 60 y 100°C a presión normal en el hormigón endurecido.

El hormigón obtenido puede ser sometido en particular a un tratamiento térmico entre 60 y 100°C durante un período de 6 horas a 4 días con una duración óptima del orden de 2 días, y empezando el tratamiento después del final del fraguado de la mezcla o por lo menos un día después del inicio del fraguado. En general, unos tiempos de tratamiento de 6 a 72 horas son suficientes, dentro del intervalo de temperaturas mencionado anteriormente.

El tratamiento térmico se realiza en un ambiente seco o húmedo o según unos ciclos que alternan los dos ambientes, por ejemplo, 24 horas en un ambiente húmedo seguidas por 24 horas en un ambiente seco.

Este tratamiento térmico se utiliza en hormigones que han terminado su fraguado, preferentemente de por lo menos 1 día de edad y aún mejor de aproximadamente 7 días de edad.

La adición de polvo de cuarzo puede resultar útil cuando el hormigón es sometido al tratamiento térmico mencionado anteriormente.

El hormigón puede ser pretensado por medio de hilos adherentes o por cable trenzado adherente o bien postensado por medio de cables monotorones enfundados engrasados o por medio de cable o barra con funda, estando el cable constituido por un ensamblado de hilos o por cables trenzados.

El pretensado, ya sea en forma de pretensión o en forma de postensado, resulta particularmente adecuado para productos de hormigón según la invención.

En efecto, los cables metálicos de pretensado presentan siempre unas resistencias a la tracción muy elevadas, pero mal utilizadas, puesto que la fragilidad de la matriz que los contiene no permite optimizar las dimensiones de los elementos estructurales de hormigón.

Los hormigones obtenidos según la presente invención presentan en general una resistencia a la tracción directa  $R_t$  de por lo menos 8 MPa. Según una forma de realización preferida, los hormigones útiles para la presente invención presentan una resistencia característica a la compresión de por lo menos 150 MPa y una resistencia característica a la flexión en 4 puntos  $R_f$  de por lo menos 25 MPa.

Los hormigones obtenidos según la invención presentan un buen comportamiento ante el fuego tal como se ilustra en los ejemplos siguientes conservando al mismo tiempo unas buenas propiedades físicas tanto en estado no endurecido como en estado endurecido.

A continuación, se proporcionan unos ejemplos de realización de hormigones según la invención, así como unos resultados de comportamiento ante el fuego obtenidos con estos hormigones.

### *Preparación de las muestras*

El hormigón de altas prestaciones utilizado en los siguientes ejemplos, se ha obtenido a partir de los siguientes compuestos:

- (i) Cemento Portland: de alto contenido en sílice del tipo HTS, de LAFARGE (FRANCIA);
- (ii) Arena: arena de cuarzo BE31 de SIFRACO (FRANCIA) con un  $D_{75}$  de 350  $\mu\text{m}$ ;
- (iii) Harina de cuarzo: grado C400 con 50% de granos inferiores a 10 micras, de SIFRACO (FRANCIA);
- (iv) Humos de sílice: microsílíce vítrea que proviene de la fabricación del zirconio, del tipo "MST", con una superficie específica "BET" de 12  $\text{m}^2/\text{g}$  de S.E.P.R. (FRANCIA);
- (v) Adyuvante: fluidizante líquido OPTIMA 100 de CHRYSO (FRANCIA);
- (vi) Fibras metálicas: las fibras metálicas son unas fibras de acero con una longitud de 13 mm, un diámetro de 200 micras y una resistencia de fractura en tracción de 2800 MPa, proporcionados por BEKAERT (Bélgica). Las cantidades utilizadas se indican en la tabla siguiente.
- (vii) Fibras orgánicas: las fibras orgánicas son unas fibras de polipropileno o de alcohol polivinílico cuya

## ES 2 225 484 T3

geometría y las cantidades utilizadas se indican en la tabla siguiente.

El hormigón descrito más adelante se obtiene a partir de la mezcla de los constituyentes pulverulentos, la introducción del agua y de una parte del adyuvante, el mezclado, la introducción de la parte restante del adyuvante, el mezclado, la introducción de las fibras metálicas, el mezclado, siendo las fibras orgánicas introducidas en la mezcla antes de la adición del agua. En estos ensayos, se ha utilizado una mezcladora de tipo EIRICH RV02 de alta turbulencia con rotación de la cuba.

Los moldes son llenados con esta composición, y después vibrados utilizando los procedimientos estándares. Las muestras son desmoldadas 48 horas después del vertido. Se someten a continuación a un tratamiento térmico que consiste en almacenarlas en horno a 90°C durante 48 horas al 100% de humedad.

La fórmula del hormigón se proporciona a continuación:

Cemento HTS	Humo de sílice MST	Harina de cuarzo C400	Arena BE31	Fibras de acero	Fibras orgánicas	Fluidizante OPTIMA 100	agua E/C
1	0,325	0,3	1,43	X	Y	0,054	0,22

X y Y son los contenidos de fibras metálicas y orgánicas indicados en la tabla 1.

### Primera serie de pruebas

Los hormigones se analizan según los siguientes métodos de análisis.

- La resistencia a la compresión  $R_c$  es el valor obtenido en compresión directa en una muestra cilíndrica (70 mm de diámetro/140 mm de altura) a 20°C:

$$R_c = 4F/\pi d^2$$

siendo F la fuerza a la fractura en N, y siendo d el diámetro de las muestras.

- La resistencia a la flexión en 4 puntos se mide en una muestra de 70x70x280 mm montada sobre apoyos articulados, según las normas NFP 18-411 y NFP 18-409 y ASTM C 1018 según la fórmula:

$$R_f = 3F_{\max}(l - l')/2dw^2$$

en la que  $F_{\max}$  representa la fuerza máxima en N (fuerza en el pico),  $l = 210$  mm, y  $l' = l/3$  y  $d = w = 70$  mm.

- El valor de esparcido se mide a partir de la técnica de la mesa de sacudidas (20 golpes) según las normas ASTM C320, ISO 2768-1 y EN 459-2.
- El comportamiento ante el fuego se determina midiendo (1) la resistencia característica a la flexión en 4 puntos residual después de templar las muestras de hormigón, en forma de prismas de 70x70x250 mm. Las muestras son aisladas sobre 2 caras y las 2 caras no aisladas son expuestas al fuego en un horno precalentado (entre 400 y 500°C) cuya temperatura se ha elevado a 800°C en 20 minutos, y mantenidas durante 1 hora a una temperatura de 800°C; (2) la resistencia característica a la compresión residual después de templar muestras cúbicas cortadas con 70 mm de arista; (3) se observa también para cada muestra la presencia de descascarillado explosivo.

TABLA 1

TABLA 1

Ejemplo	1	2	3	4	5	6	7
Agua/cemento	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Fibras metálicas (% vol) X	1,8	2	2	2	2	0	0
Fibras orgánicas (% vol) Y	1,4	2	0,7	0,5	1	2,8	4,4
Naturaleza de las fibras orgánicas	PP	PP	APV	PP	PP	APV	APV
Fibras orgánicas							
Longitud (mm)	19	19	6	6	6	12	12
Dimensión transversal ( $\mu\text{m}$ ) o Diámetro( $\mu\text{m}$ )	50X500	50X500	15	20	20	200	200
Esporcado 20 golpes (mm)	160	140	160	200	160	225	190
Resistencia a la compresión antes de la exposición al fuego (MPa)	165	175,5	204,5	181,3	173,3	165,9	148,4
Resistencia a la flexión antes de la exposición al fuego (MPa)	32,5	25,8	30,9	26,9	23,9	15,5	22,5
Resistencia a la flexión residual después de exposición al fuego (MPa)	9,3	11,5	9,4	11,4	8,7	0,2	0,3
Apariencia de las muestras después de la exposición al fuego	Fisuras importantes y desconchados	fisuras	fisuras	fisuras	fisuras	fisuras	fisuras y descascarillado
Resistencia a la compresión después de la exposición al fuego (MPa)	82,3	99,5	106,4	117,4	89,5	34,1	27,9

## ES 2 225 484 T3

En los ejemplos 1 y 2, las fibras de polipropileno (PP) son unas fibras FIBERMESH 6130 cuya temperatura de fusión es de 170°C.

5 En el ejemplo 3, las fibras de alcohol polivinílico (APV) son unas fibras KURARAY RMS 182 cuya temperatura de fusión es de 220°C.

En los ejemplos 4 y 5, las fibras de polipropileno son unas fibras FIBRIN 623 distribuidas en Francia por CHRYSO S.A.

10 En los ejemplos 6 y 7, las fibras son unas fibras KURARAY RF 350.

Los resultados obtenidos muestran que las fibras del ejemplo 1 (polipropileno l = 19 mm) permiten un comportamiento correcto ante el fuego para una dosificación de: 2%. Por el contrario, la reología no resulta satisfactoria (esparcido/20 golpes: 140 mm). Para una dosificación reducida (1,4%), la reología mejora sustancialmente (esparcido: 15 160 mm), pero el comportamiento ante el fuego se vuelve muy limitado: presencia de grandes fisuras y de desconchado.

Con las fibras orgánicas del ejemplo 3 (alcohol polivinílico: l = 6 mm) y para una dosificación de 0,7%, la reología permanece correcta (esparcido: 160 mm) y el comportamiento ante fuego aceptable (ningún desconchado).

20 Los mejores resultados se obtienen con las fibras de los ejemplos 4 y 5 (polipropileno: 6 mm de longitud). Para una dosificación reducida (0,5%), la reología es excelente (esparcido: 200 mm) y el comportamiento ante el fuego es bueno. Los valores de comportamiento mecánico (compresión, flexión) son elevados.

25 Con los hormigones de los ejemplos 6 y 7 que contienen solamente fibras orgánicas, se obtiene un buen valor de esparcido de hormigón, pero aunque estos hormigones no explotan durante la exposición al fuego, presentan unas propiedades mecánicas muy deterioradas después de la exposición al fuego.

### *Segunda serie de pruebas*

30 • El hormigón preparado según el ejemplo 4 se vierte en elementos no cargados. Estos elementos son los siguientes:

- 35 - losetas de 400x300x25 mm<sup>3</sup> de dimensión;
- columnas de 300x300x700 mm<sup>3</sup> de dimensión o de 200x200x900 mm<sup>3</sup> de dimensión, y
- vigas en "I" de 2100x1500x240 mm<sup>3</sup> de dimensión, con un alma de 50 mm de espesor.

40 Algunos de los elementos son sometidos a un tratamiento térmico idéntico al de la primera serie de pruebas (48 horas a 90°C y 100% de humedad). El conjunto de elementos tratados o no tratados, son expuestos a continuación al fuego según la norma EN 1365-2 del 18/2/99 durante 2 horas (es decir, una temperatura de fuego de aproximadamente 1050°C).

45 Los resultados de las pruebas son los siguientes:

- 50 - las losetas, con o sin tratamiento térmico, calentadas solamente sobre la cara inferior y cargadas transversalmente con 42 daN en el medio de su longitud no han sufrido ningún deterioro;
  - las columnas, calentadas uniformemente, no han mostrado ningún descascarillado después de la prueba al fuego;
  - 55 - la viga, sometida a un tratamiento térmico, es calentada uniformemente, y no ha mostrado ningún descascarillado después de la prueba.
- El hormigón del ejemplo 4 también se ha vertido en columna con una sección de 20x20 cm y 90 cm de altura.

60 Después del tratamiento térmico (48 horas a 90°C y 100% de humedad), dos columnas han sido sometidas a una carga de compresión de 2000 kN de intensidad (es decir, 43,6% de lo que habría resistido el elemento), con una excentricidad de 14 mm.

65 Estas muestras han sido expuestas al fuego según la norma EN 1365-2 del 18/2/99. Una de las columnas ha sido capaz de resistir la carga durante 89 minutos y la otra durante 82 minutos (lo que representa una temperatura de fuego de aproximadamente 1000°C). Han mostrado un descascarillado menor antes de la fractura.

# ES 2 225 484 T3

## REIVINDICACIONES

5 1. Utilización de fibras orgánicas que presentan una temperatura de fusión inferior a 300°C, una longitud media  $l$  superior a 1 mm y un diámetro  $\varnothing$ ; de 200  $\mu\text{m}$  como máximo, en un hormigón de altas prestaciones para mejorar la resistencia al fuego del hormigón, siendo la cantidad de fibras orgánicas tal que su volumen se encuentra comprendido entre el 0,1 y el 3% del volumen del hormigón después del fraguado y presentando el hormigón una resistencia característica a la compresión a los 28 días de por lo menos 120 MPa, una resistencia característica a la flexión de por lo menos 20 MPa y un valor de esparcido en estado no endurecido de por lo menos 150 mm, siendo estos valores proporcionados para un hormigón almacenado y mantenido a 20°C, estando dicho hormigón constituido por una matriz cementílica endurecida en la que están dispersadas unas fibras metálicas, que provienen de la mezcla con agua de una composición que comprende, además de las fibras:

- 15 (a) cemento;
- (b) unos elementos granulares que presentan un tamaño de grano  $D_{90}$  de 10  $\mu\text{m}$  como máximo;
- (c) unos elementos de reacción puzolánica que presentan un tamaño de partículas elementales comprendido entre 0,1 y 100  $\mu\text{m}$ ;
- 20 (d) por lo menos un agente dispersante;
- y que cumple las siguientes condiciones:
- 25 (1) el porcentaje en peso del agua con respecto al peso acumulado del cemento (a) y de los elementos (c) está comprendido entre 8 y 24%;
- (2) las fibras metálicas presentan una longitud media  $l_1$  de por lo menos 2 mm, y una relación  $l_1/\varnothing_1$  de por lo menos 20, siendo  $\varnothing_1$  el diámetro de las fibras;
- 30 (3) la proporción  $V_1/V$ , entre el volumen  $V_1$  de las fibras metálicas y el volumen  $V$  de las fibras orgánicas es superior a 1, y la proporción  $l_1/l$ , entre la longitud de las fibras metálicas y la longitud de las fibras orgánicas es superior a 1;
- 35 (4) la proporción  $R$  entre la longitud media  $l_1$  de las fibras metálicas y el tamaño  $D_{90}$  de los elementos granulares es por lo menos 3, preferentemente por lo menos 5;
- (5) la cantidad de fibras metálicas es tal que su volumen es inferior a 4% del volumen del hormigón después del fraguado.

40 2. Utilización según la reivindicación 1, **caracterizada** porque el hormigón comprende además unos elementos de refuerzo capaces de mejorar la tenacidad de la matriz, seleccionados de entre unos elementos aciculares o laminares que presentan un tamaño medio de 1 mm como máximo, y que están presentes en una proporción en volumen inferior al 35% del volumen acumulado de los elementos granulares (b) y de los elementos de reacción puzolánica (c).

45 3. Utilización según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizada** porque la relación  $l/\varnothing$  de las fibras orgánicas está comprendida entre 20 y 500.

50 4. Utilización según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizada** porque las fibras orgánicas presentan una longitud  $l$  superior a 1,5 mm y como máximo igual a 12 mm.

55 5. Utilización según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque las fibras orgánicas presentan un diámetro inferior a 80  $\mu\text{m}$ .

60 6. Utilización según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque la relación  $V_1/V$  entre las fibras metálicas y las fibras orgánicas es de por lo menos 2.

65 7. Utilización según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque la cantidad de fibras orgánicas es tal que su volumen es inferior al 2% del volumen del hormigón después del fraguado.

8. Utilización según la reivindicación 7, **caracterizada** porque la cantidad de fibras orgánicas es tal que su volumen es inferior al 1% del volumen del hormigón después de fraguado.

9. Utilización según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque las fibras orgánicas consisten en un homopolímero o copolímero seleccionados de entre los grupos de las poliacrilamidas, poliétersulfonas, cloruro de polivinilo, polietileno, polipropileno, poliestireno, poliamida y alcohol polivinílico, solos o en mezcla.

## ES 2 225 484 T3

10. Utilización según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque las fibras orgánicas son unas fibras de polipropileno.

5 11. Utilización según la reivindicación 10, en la que las fibras de polipropileno presentan una longitud de 6 mm y un diámetro de 18  $\mu\text{m}$ .

12. Utilización según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque las fibras metálicas son unas fibras de acero.

10 13. Utilización según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque las fibras metálicas presentan una longitud comprendida entre 5 y 30 mm.

14. Utilización según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque el tamaño de granos  $D_{75}$  de los elementos granulares (b) es de 6 mm como máximo.

15 15. Utilización según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las fibras orgánicas presentan una temperatura de fusión inferior o igual a 200°C.

16. Hormigón de altas prestaciones resistente al fuego y que presenta una resistencia característica a la compresión a 28 días de por lo menos 120 MPa, una resistencia característica a la flexión de por lo menos 20 MPa, y un valor de esparcido en estado no endurecido de por lo menos 150 mm, proporcionándose estos valores para un hormigón almacenado y mantenido a 20°C; estando dicho hormigón constituido por una matriz cementítica endurecida en la que están dispersadas unas fibras metálicas, que provienen de la mezcla con agua de una composición que comprende además de las fibras:

25 (a) cemento;

(b) unos elementos granulares que presentan un tamaño de grano  $D_{90}$  de 10 mm como máximo;

30 (d) unos elementos de reacción puzolánica que presentan un tamaño de partículas elementales comprendido entre 0,1 y 100  $\mu\text{m}$ ;

(e) por lo menos un agente dispersante;

35 y que cumple las siguientes condiciones:

(1) el porcentaje en peso del agua con respecto al peso acumulado del cemento (a) y de los elementos (c) está comprendido entre 8 y 24%;

40 (2) las fibras metálicas presentan una longitud media  $l_1$  de por lo menos 2 mm, y una relación  $l_1/\varnothing_1$  de por lo menos 20, siendo  $\varnothing_1$  el diámetro de las fibras;

(3) las fibras orgánicas presentan una temperatura de fusión inferior a 200°C, una longitud media  $l$  superior a 1 mm y un diámetro  $\varnothing$  de 200  $\mu\text{m}$  como máximo;

45 (4) la proporción  $V_1/V$ , entre el volumen  $V_1$  de las fibras metálicas y el volumen  $V$  de las fibras orgánicas es superior a 1, y la proporción  $l_1/l$ , entre la longitud de las fibras metálicas y la longitud de las fibras orgánicas es superior a 1;

50 (5) la proporción  $R$  entre la longitud media  $l_1$  de las fibras metálicas y el tamaño  $D_{90}$  de los elementos granulares es por lo menos 3, preferentemente por lo menos 5;

(6) la cantidad de fibras metálicas es tal que su volumen es inferior a 4% del volumen del hormigón después del fraguado;

55 (7) la cantidad de fibras orgánicas es tal que su volumen se encuentra comprendido entre 0,1 y 3% del volumen del hormigón después del fraguado.

17. Hormigón según la reivindicación 16, **caracterizado** porque las fibras orgánicas presentan un diámetro inferior a 80  $\mu\text{m}$ .

18. Hormigón según una de las reivindicaciones 16 a 17, en el que la relación  $l/\varnothing$  de las fibras orgánicas está comprendida entre 20 y 500.

65 19. Hormigón según una de las reivindicaciones 16 a 18, en el que la proporción en volumen  $V_1/V$  entre las fibras metálicas y las fibras orgánicas es de por lo menos 2.

## ES 2 225 484 T3

20. Hormigón según una de las reivindicaciones 16 a 19, en el que las fibras orgánicas presentan una longitud de 12 mm como máximo.

5 21. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 20, en el que la cantidad de fibras orgánicas es tal que su volumen es inferior al 1% del volumen del hormigón después del fraguado.

22. Hormigón según una de las reivindicaciones 16 a 21, **caracterizado** porque las fibras orgánicas son unas fibras de polipropileno que presentan una longitud inferior a 10 mm.

10 23. Hormigón según la reivindicación 22, en el que las fibras de polipropileno presentan una longitud de aproximadamente 6 mm y un diámetro de 18  $\mu\text{m}$ .

15 24. Hormigón según una de las reivindicaciones 16 a 23, **caracterizado** porque las fibras metálicas son unas fibras de acero.

25. Hormigón según una de las reivindicaciones 16 a 24, **caracterizado** porque las fibras metálicas presentan una longitud comprendida entre 5 y 30 mm.

20 26. Hormigón según una de las reivindicaciones 16 a 25, **caracterizado** porque comprende además unos elementos de refuerzo capaces de mejorar la tenacidad de la matriz seleccionados de entre los elementos aciculares o laminares que presentan un tamaño medio de 1 mm como máximo, y que están presentes en una proporción en volumen inferior al 35% del volumen acumulado de los elementos granulares (b) y de los elementos de reacción puzolánica (c).

25 27. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 26, **caracterizado** porque los elementos de refuerzo presentan un tamaño medio de 500  $\mu\text{m}$  como máximo y están presentes en una proporción en volumen comprendida entre el 5% y el 25% del volumen acumulado de los elementos granulares (b) y de los elementos de reacción puzolánica (c).

30 28. Hormigón según una de las reivindicaciones 16 a 27, **caracterizado** porque los elementos de refuerzo son unas fibras de wollastonita.

29. Hormigón según una de las reivindicaciones 16 a 28, **caracterizado** porque los elementos de refuerzo son unas láminas de mica.

35 30. Hormigón según una de las reivindicaciones 16 a 29, **caracterizado** porque el tamaño de granos  $D_{75}$  de los elementos granulares (b) es de 6 mm como máximo.

40 31. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 30, **caracterizado** porque está dimensionado en pre-tensado.

32. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 30, **caracterizado** porque está dimensionado en post-tensado.

45 33. Procedimiento para la preparación de un hormigón definido según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 32, que comprende el mezclado de cemento; de los elementos granulares que presentan un tamaño de grano  $D_{90}$  de 10 mm como máximo; de los elementos de reacción puzolánica que presentan un tamaño de partículas elementales comprendido entre 0,1 y 100  $\mu\text{m}$ ; por lo menos un agente dispersante; y de las fibras orgánicas, con la cantidad adecuada de agua, procedimiento en el que las fibras son introducidas en la mezcla antes de la adición de agua.

50

55

60

65