



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 367 944**

51 Int. Cl.:

C04B 28/04 (2006.01)

C04B 14/12 (2006.01)

C04B 14/16 (2006.01)

C04B 18/08 (2006.01)

C04B 28/02 (2006.01)

C04B 14/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08867183 .9**

96 Fecha de presentación : **10.10.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2203400**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **07.07.2010**

54

Título: **Formulación, utilización y procedimiento de obtención de un hormigón ligero estructural.**

30

Prioridad: **12.10.2007 FR 07 07164**
30.06.2008 FR 08 03655

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
11.11.2011

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
11.11.2011

73

Titular/es: **LAFARGE**
61, rue des Belles Feuilles
75116 Paris, FR

72

Inventor/es: **Meille, Sylvain;**
Bonnet, Emmanuel;
Chanvillard, Gilles y
Schwartzentruber, Arnaud

74

Agente: **De Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 367 944 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

Formulación, utilización y procedimiento de obtención de un hormigón ligero estructural

5 El ámbito de la invención es el de los hormigones ligeros estructurales de baja conductividad térmica. Dichos hormigones se pueden destina a la realización de estructuras coladas en sitio, de estructuras prefabricadas o de elementos de estructura prefabricados para edificios y estructuras de ingeniería civil.

10 El hormigón estructural consta de agregados o áridos (es decir, arenas, gravillas, gravas, piedras partidas) que se unen entre sí por un aglutinante hidráulico. Un aglutinante hidráulico comprende cemento y eventualmente adiciones. Cuando el aglutinante hidráulico se mete en presencia de agua, se hidrata y fragua. Se añaden adyuvantes eventualmente para mejorar las características del aglutinante hidráulico. Las proporciones relativas de los cuatro constituyentes fundamentales de un hormigón corriente son las siguientes:

	Agua	Aire	Cemento	Agregados
Volumen	14%-22%	1%-6%	7%-14%	60%-78%
Peso	5%-9%	N/A	9%-18%	63%-85%

Las resistencias mecánicas en compresión obtenidas clásicamente en probetas cilíndricas 16x32 mm, para hormigón estructural normal son generalmente del orden de 25 a 35 MPa, (hormigón de tipo C25/30 según la norma EN 206-1).

15 Entre los agregados bien conocidos en el ámbito de los materiales de construcción, se encuentran los agregados ligeros, generalmente artificiales y fabricados a partir de materias minerales, que se utilizan, en particular, para la fabricación de hormigones denominados "ligeros". Los agregados ligeros se definen, en particular, por la norma NF EN 13055-1 de diciembre de 2002. Estos agregados ligeros son, por ejemplo, arcillas (arcillas expandidas), esquistos (esquistos expandidos) o silicatos (vermiculita o perlita).

20 Entre los agregados bien conocidos en el ámbito de los materiales de construcción, se encuentran también los agregados tratados, de tal manera a disminuir su capacidad de absorción de agua, por diferentes tipos de materiales y mediante distintos procedimientos. Se encuentran por otra parte agregados parcial o totalmente presaturados en agua, por una inmersión realizada al menos 24 horas antes de la utilización de dichos agregados saturados.

25 Los agregados se caracterizan no sólo por los materiales que los constituyen sino también por su porosidad, es decir, el volumen de vacío por unidad de volumen aparente (o Volumen de vacío/Volumen total). La porosidad es una función de la masa volumétrica real Δ y de la masa volumétrica del sólido que constituye el agregado γ_0 según la fórmula $p\% = 100 (1 - \Delta/\gamma_0)$.

30 El contenido en agua de los hormigones estructurales utilizados para la industria se sitúa generalmente en un intervalo de 5 a 9% en peso. El hormigón comprende distintas categorías de agua. En primer lugar, el agua eficaz es el agua situada entre los granos del esqueleto sólido formado por los agregados, el cemento y las adiciones. El agua eficaz representa, por lo tanto, el agua implicada en la hidratación. Por otra parte, el hormigón comprende agua retenida por la porosidad de los agregados. Est2 agua no se tiene en cuenta en el agua eficaz. Se supone prisionera y que no participa en la hidratación del cemento. El agua total representa la totalidad del agua presente en la mezcla (en el momento del amasado).

35 La conductividad térmica (también denominada lambda (λ)) es un tamaño físico que caracteriza el comportamiento de los materiales durante la transferencia de calor por conducción. La conductividad térmica representa la cantidad de calor transferida por unidad de superficie y por una unidad de tiempo bajo un gradiente de temperatura. En el sistema internacional de unidades, la conductividad térmica está expresada en vatios por metro kelvin, ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$). Los hormigones clásicos tienen una conductividad térmica a 23°C y 50% de humedad relativa entre 1,3 y 2,1. Los hormigones ligeros estructurales tradicionales poseen conductividades térmicas generalmente superiores a 0,8 W/m.K a 23°C y 50% de humedad relativa.

40 Disminuir la conductividad térmica de los hormigones ligeros estructurales es altamente deseable puesto que permite un ahorro de energía de calefacción en los edificios de viviendas o de oficinas. Además, esta disminución permite reducir los puentes térmicos, especialmente en las construcciones de edificios de varios pisos y que tienen un aislamiento térmico por el interior, en particular, los puentes térmicos de las plantas intermedias. Sin embargo, una disminución de la conductividad térmica de los hormigones habitualmente es obtenida por una disminución de la densidad de los hormigones. Ahora bien, esta disminución tiene como efecto una pérdida de resistencia de los hormigones, lo que los vuelve impropios para cumplir su función de estructura.

45 Se propusieron distintas formulaciones de hormigones que presentan una conductividad térmica disminuida. Sin embargo, dichas formulaciones no permiten obtener valores de resistencia a la compresión suficientes. Así, la patente de EE.UU. n° 3.814.614 describe la utilización de partículas de vidrio expandido para la obtención de un

50

5 hormigón ligero denominado “estructural”. Los hormigones descritos en este documento no presentan, sin embargo, valores de resistencia a la compresión satisfactorios. Así mismo, la solicitud de patente inglesa nº 1.165.005 describe la utilización de cenizas pulverizadas en formulaciones de hormigones ligeros estructurales. Allí también si la conductividad térmica es efectivamente disminuida, la resistencia a la compresión de dichos hormigones es también muy disminuida y no es satisfactoria. Finalmente, la utilización de agregados de arcillas o esquistos expandido(s) para la fabricación de hormigones ligeros no estructurales se conoce, véase, por ejemplo, las solicitudes de patentes publicadas, de Bélgica nº 843.768 y francesa nº 2.625.131. Los documentos de patentes de EE.UU. nº 2007/0125275, 4.077.809, 2002/117086 y de Japón nº 06122569 describen formulaciones de hormigones ligeros.

10 Uno de los objetivos de la invención es proponer una formulación de hormigones ligeros que permiten combinar resistencia a la compresión suficiente para un hormigón de estructura y baja conductividad térmica.

Un modo de realización de la invención es un hormigón ligero estructural que comprende al menos:

- un aglutinante hidráulico;
- agua eficaz;
- 15 - un superplastificante; y
- agregados;

presentando dicho hormigón una densidad en estado fresco que varía entre 1,40 a un valor de D_{max} calculado según la fórmula (I):

$$D_{max} = 1,58 + (a \times MA) \quad \text{Fórmula (I)}$$

20 en la cual a representa un coeficiente cuyo valor es igual a 1, ventajosamente igual a 0,9, preferentemente igual a 0,8.

MA representa el porcentaje en peso de materias amorfas contenidas en 1 m³ de hormigón fresco;

presentando dicho hormigón una densidad en estado fresco máxima D_{max} inferior o igual a 1,85, ventajosamente inferior o igual a 1,8, preferentemente inferior o igual a 1,7;

25 presentando dicho hormigón una relación E_{eficaz}/L que varía de 0,19 a 0,46,

dónde E_{eficaz} representa la cantidad de agua eficaz en kilogramo por metro cúbico de hormigón fresco.

L representa la cantidad de cemento y de adiciones en kilogramos por metro cúbico de hormigón fresco;

comprendiendo dicho hormigón una cantidad de agua eficaz que varía de 100 a 230 litros por metro cúbico de hormigón fresco;

30 comprendiendo dicho hormigón una cantidad de clinker Portland superior o igual a 150 kilogramos por metro cúbico de hormigón fresco;

comprendiendo dicho hormigón una cantidad (clinker Portland + eventualmente cenizas volantes + eventualmente escoria + eventualmente humo de sílice + eventualmente esquistos calcinados + eventualmente arcillas calcinadas) superior o igual a 300 kilogramos por metro cúbico de hormigón fresco;

35 y presentando dicho hormigón un volumen de pasta superior o igual a 300 l/m³ de hormigón fresco.

La cantidad de coadyuvante se puede ajustar de tal manera a obtener una extensión de la hora de la entrega del hormigón.

Los agregados según la invención pueden tener un tamaño inferior o igual a 31,5 mm.

40 Se entiende por “materias amorfas” según la invención las sustancias minerales no cristalizadas, es decir, que no poseen estructura atómica ordenada.

Se entiende por “volumen de pasta” según la invención el volumen del cemento, de las adiciones, del agua eficaz, de aire, de los adyuvantes y de los agregados de tamaño estrictamente inferior a 63 µm.

45 El hormigón ligero estructural según la invención puede ser un hormigón prefabricado en obra, un hormigón listo para su empleo o un hormigón fabricado en una fábrica de producción de elementos prefabricados. Preferentemente, el hormigón según la invención es un hormigón listo para su empleo. Se entiende por “hormigón listo para empleo” según la invención un hormigón que presenta un tiempo abierto de trabajabilidad suficiente para

permitir el transporte del hormigón hasta la obra donde será colado. En la entrega, el hormigón debe tener una clase de consistencia al menos S3 según la norma EN 206-1. Preferentemente, el tiempo abierto de trabajabilidad de los hormigones listos para su empleo puede ser de al menos 2 horas.

5 En el caso en que el hormigón es un hormigón listo para su empleo, es necesario:

- ajustar la dosificación de superplastificante de tal manera a obtener una extensión inicial del hormigón fresco superior o igual a 550 mm (medida realizada según el documento "Hormigones autocompactantes - recomendaciones provisionales" difundido por la Asociación Francesa de ingeniería civil en julio de 2002, Anexo 1); y

- 10 - utilizar agregados secos o presaturados en agua que presenta una cantidad de agua absorbible inferior o igual a 10% con respecto al peso total de agregados secos (en el caso de los agregados presaturados en agua, la cantidad de agua absorbible considerada será la cantidad de agua absorbible antes de la presaturación menos la cantidad de agua utilizada para la presaturación). De manera equivalente, al utilizar otras unidades, la cantidad de agua absorbible de los agregados utilizados en las formulaciones de hormigón listo para su empleo según la presente invención debe ser inferior o igual a 80 litros por metro cúbico de hormigón fresco.

Según una alternativa, el hormigón según la invención puede comprender:

- de 0,5 a 20% en volumen de aire.

20 Un aglutinante hidráulico según la invención comprende cemento Portland y eventualmente adiciones. El cemento Portland según la invención es tal como se define en la norma Europea EN 197-1. Comprende principalmente clinker Portland. Se entiende por el término "clinker Portland" según la presente invención un material hidráulico constituido por al menos dos tercios en peso de silicato de calcio ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ y $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), estando la parte restante constituida de fase que contienen aluminio y hierro, así como otros componentes. La relación en masa $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2)$ no debe ser inferior a 2,0. El contenido en óxido de magnesio (MgO) no debe superar el 5,0% en peso.

25 Las adiciones son generalmente materiales pulverulentos utilizables en sustitución parcial del cemento. Las adiciones según la invención pueden ser polvos calcáreos, silíceos o silicocalcáreos, cenizas volantes, escorias, humos de sílice, esquistos calcinados, arcillas calcinadas (entre las cuales los metacaolin), puzolanas o sus mezclas. Las adiciones son tales como se definen en la norma Europea EN 206 párrafo 3.1.23.

30 Los polvos calcáreos, silíceos o silicocalcáreos según la invención son agregados finos, caracterizados por un tamaño de partículas que varía en general de 0,1 a 125 μm .

Se entiende por el término "ceniza volante" según la presente invención un material obtenido por precipitación electrostática o mecánica de partículas pulverulentas contenidas en los humos de las calderas alimentadas de carbón pulverizado (véase norma EN 197-1 párrafo 5.2.4). Las cenizas volantes según la invención pueden ser de naturaleza silíceas o cálcicas.

35 Entiende por el término "escoria" según la presente invención una escoria elegida entre las escorias granuladas de altos hornos según la norma EN 197-1 párrafo 5.2.2.

Se entiende por el término "humo de sílice" según la presente invención un material obtenido por reducción de cuarzo de gran pureza por carbón en hornos de arcos eléctricos utilizados para la producción de silicio y de aleaciones de ferrosilicio (véase norma EN 197-1 párrafo 5.2.7). Los humos de sílice están formados por partículas esféricas que comprenden al menos 85% en peso de sílice amorfo.

40 Se entiende por el término "esquisto calcinado" según la presente invención un material producido en un horno especial a una temperatura de aproximadamente 800°C que comprende principalmente silicato bicálcico y aluminato monocálcico. (véase norma EN 197-1 párrafo 5.2.5)

45 Se entiende por el término "arcillas calcinadas" según la presente invención arcillas que se sometieron a un tratamiento térmico.

Se entiende por el término "arcillas" según la presente invención los filosilicatos, principalmente de estructura en hojas, o incluso fibrosa (por ejemplo los silicatos de aluminio y/o de magnesio), que, caracterizados por difracción por rayos X por ejemplo, poseen un parámetro de malla atómico de los planos cristalográficos [001] ($d_{(001)}$) que varía de 7 a 15 Angstromes. Las arcillas según la invención se pueden elegir entre la caolinita ($d_{(001)} = 7$ Angstromes), los smectites (término genérico utilizado para designar las arcillas expansivas, de los cuales la montmorilonita), la illita, la mica ($d_{(001)} = 10$ Angstromes), las cloritas ($d_{(001)} = 14$ Angstromes), o sus mezclas.

50 Se entiende por el término "puzolanas" según la presente invención los materiales silíceos y/o silico-aluminosos que comprenden esencialmente SiO_2 reactivo y Al_2O_3 . Entre las puzolanas, se pueden citar las puzolanas naturales, que

son en general materiales de origen volcánico o rocas sedimentarias, y las puzolanas calcinadas, que son materiales de origen volcánico, arcillas, esquistos o rocas sedimentarias activadas térmicamente. (véase norma EN 197-1 párrafo 5.2.3) las puzolanas según la invención se pueden elegir entre las piedras pómez, la toba, las escorias o sus mezclas.

5 Según una variante, el hormigón según la invención comprende al menos un agregado tratado. Preferentemente, todos los agregados son agregados tratados. Se entiende por "agregados tratados" según la invención agregados que fueron el objeto de una mezcla o de una aspersión con un material que les confiere una propiedad particular. Por ejemplo, el tratamiento puede hacer que los agregados sean más hidrófobos o disminuir su capacidad de absorción en agua. Un agregado tratado según la invención puede ser:

- 10
- impregnado con una resina pura (a base de alcano, de asfalto, de acetato de vinil polietileno, de silano, de siloxano o también de epoxi); o
 - impregnado por inmersión o pulverización de una emulsión de las resinas citadas más arriba;
 - o impregnado con una solución que se gelifica con el tiempo, como, por ejemplo, un gel inorgánico (silicato de sodio, hidróxido de aluminio, hidróxido de hierro, hidróxido de magnesio, o gel de carbonato de calcio), un gel orgánico (acetato de celulosa, nitrocelulosa o alcohol + oleato de sodio), o también un gel orgánico natural (polisacárido, incluidos el dextrano o el agar-agar, caseína o aceites gelificados).
- 15

Según una variante, el hormigón según la invención comprende bolas de poliestireno. Dichas bolas de poliestireno se pueden utilizar en sustitución parcial o total del aire, y/o en sustitución parcial de los agregados.

20 Según una variante, el hormigón según la invención comprende un aglutinante hidráulico elegido entre un cemento de tipo:

- CEM III, CEM IV o CEM V, o
- CEM I o CEM II, en mezcla con adiciones.

25 Preferentemente, las adiciones pueden ser de tipo escoria y/o cenizas volantes y/o humos de sílice. Según una variante, el hormigón según la invención comprende un cemento de tipo CEM I o CEM II, en mezcla con adiciones de tipo escoria y/o cenizas volantes y/o humos de sílice.

Según una variante, el hormigón según la invención comprende agregados elegido entre las gravillas, las arenas o sus mezclas. Preferentemente, el hormigón según la invención comprende una relación volumétrica arena/gravilla que varía de 3/7 a 7/3.

30 Según una variante, el hormigón según la invención comprende una proporción de aire en volumen que varía de 1% a 16%, preferentemente de 2% a 8% en volumen. Preferentemente, la proporción de aire en volumen es inferior a 5%.

Según una variante, el hormigón según la invención comprende uno superplastificante tal como un policarboxilato polióxido.

35 Preferentemente, el hormigón según la invención comprende agregados ligeros. Según una variante del hormigón según la invención, la totalidad de los agregados son agregados ligeros.

Según otra variante de la invención, el hormigón ligero estructural según la invención comprende agregados no ligeros. Preferentemente, la totalidad de los agregados son agregados no ligeros.

40 Según otra variante, el hormigón según la invención comprende agregados de vidrio expandido. Preferentemente, todos los agregados son agregados de vidrio expandido. Esta solución es ventajosa, en particular, para aumentar la cantidad de materia amorfa en el hormigón según la invención.

Preferentemente, el hormigón según la invención comprende una cantidad de agregados inferior o igual a 700 litros por metro cúbico de hormigón fresco.

45 Para obtener y controlar la proporción de aire deseada es posible añadir a la composición uno o varios adyuvantes de aire ocluido. Estos adyuvantes son de uso corriente en el ámbito de los hormigones y se pueden por ejemplo elegir del grupo de tensioactivos iónicos o no iónicos, por ejemplo, los oleatos, los sulfonatos y los carboxilatos.

El aglutinante hidráulico según la invención comprende cemento y eventualmente adiciones.

El cemento según la invención es preferentemente tal como se define por la norma Europea EN 197.1. Por ello, el cemento según la invención puede ser de tipo CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV o CEM V. Preferentemente, el cemento según la invención es de tipo:

- CEM III, CEM IV o CEM V,
- O CEM I o CEM II, en mezcla con adiciones.

Preferentemente, las adiciones según la invención pueden ser escorias y/o cenizas volantes y/o humos de sílice. Ventajosamente, las adiciones según la invención son escorias.

- 5 La firma solicitante descubrió que la utilización de un cemento de tipo CEM III, CEM IV o CEM V, o de tipos CEM I o CEM II, con adiciones de tipo escoria y/o cenizas volantes y/o humos de sílice permite obtener, de manera sorprendente, un hormigón ligero estructural que comprende menos de 5% en volumen de aire, conservando al mismo tiempo una conductividad térmica inferior a 0,65 W/m.K a 23°C y 50% de humedad relativa (HR). Preferentemente, la utilización de un cemento de tipo CEM III, CEM IV o CEM V, o de tipos CEM I o CEM II, con adiciones de tipo escoria y/o cenizas volantes y/o humos de sílice permite no añadir aire durante la preparación de un hormigón ligero estructural según la invención, conservando al mismo tiempo una conductividad térmica inferior a 0,65 W/m.K a 23°C y 50% de HR (humedad relativa).

Se denomina conductividad térmica según la invención la conductividad térmica a 23°C y un 50% de HR, determinados según el siguiente protocolo:

- 15
- medida de la conductividad térmica seca según el método de la placa caliente guardada (norma ISO 8302), después del secado completo de la muestra, luego
 - conversión del valor obtenido para corresponder en condiciones de humedad relativa de 50% aplicando un coeficiente de 1,083, conforme con la norma NF EN ISO 10456 párrafo 7.3.

- 20 Se pueden añadir adyuvantes para modificar la velocidad de toma o para modificar o controlar algunas propiedades físico-químicas de la composición, como por ejemplos de los plastificantes o agentes impermeabilizantes.

Según un modo de realización preferido de la invención, se utiliza un adyuvante superplastificante de la familia de los policarboxilatos polióxido (PCP). Otros adyuvantes superplastificantes que se pueden utilizar para la puesta en práctica de la invención son, por ejemplo, los sulfonatos de polinaftalenos, los lignosulfonatos, los fosfonatos, los carboxilatos, las resinas melaminas.

- 25 Según un modo de realización preferido, el hormigón ligero estructural posee una conductividad térmica a 23°C y 50% de HR inferiores a 0,65 W/m.K, preferentemente inferior a 0,60 W/m.K, y aún más preferentemente inferior a 0,55 W/m.K.

- 30 Ventajosamente el hormigón según la invención presenta una conductividad térmica a 23°C y 50% de HR inferiores a 0,60 W/m.K para hormigones que pertenecen a una clase de resistencia LC 25/28 (es decir, que tiene una resistencia característica a la compresión a 28 días sobre cilindro de al menos 25 MPa, determinada según la norma EN 206). Según un modo de realización preferido la resistencia característica a la compresión es de al menos 28 MPa, más concretamente de al menos 35 MPa y aún más preferentemente de al menos 45 MPa.

La invención se refiere también a un procedimiento de preparación de un hormigón ligero estructural tal como se describe más arriba, comprendiendo este procedimiento la mezcla de al menos:

- 35
- un aglutinante hidráulico;
 - agua eficaz;
 - superplastificante; y
 - agregados;

presentando dicho hormigón una relación E_{eficaz}/L que varía de 0,19 a 0,46,

- 40 dónde E_{eficaz} representa la cantidad de agua eficaz en kilogramo por metro cúbico de hormigón fresco

L representa la cantidad de cemento y de adiciones en kilogramos por metro cúbico de hormigón fresco;

comprendiendo dicho hormigón una cantidad de agua eficaz que varía de 100 a 230 litros por metro cúbico de hormigón fresco;

- 45 comprendiendo dicho hormigón una cantidad de clinker Portland superior o igual a 150 kilogramos por metro cúbico de hormigón fresco;

comprendiendo dicho hormigón una cantidad (clinker Portland + eventualmente cenizas volantes + eventualmente escoria + eventualmente humo de sílice + eventualmente esquistos calcinados + eventualmente arcillas calcinadas) superior o igual a 300 kilogramos por metro cúbico de hormigón fresco;

y presentando dicho hormigón un volumen de pasta superior o igual a 300 l/m³ de hormigón fresco.

Según otra variante, la invención se refiere también a un procedimiento de preparación de un hormigón ligero estructural tal como se describe más arriba, comprendiendo este procedimiento la mezcla de al menos:

- 5
- un aglutinante hidráulico;
 - agua eficaz;
 - superplastificante; y
 - agregados;

estando dicho hormigón caracterizado porque presenta una densidad en estado fresco que varía de 1,40 a un valor D_{max} calculado según la fórmula (I):

10

$$D_{max}=1,58 + (a \times MA) \qquad \text{Fórmula (I)}$$

en la cual a representa un coeficiente cuyo valor es igual a 1, ventajosamente igual a 0,9, preferentemente igual a 0,8

MA representa el porcentaje en peso de materias amorfas contenidas en 1 m³ de hormigón fresco;

15 presentando dicho hormigón una densidad en estado fresco máxima D_{max} inferior o igual a 1,85, ventajosamente inferior o igual a 1,8, preferentemente inferior o igual a 1,7;

presentando dicho hormigón una relación E_{eficaz}/L que varía de 0,19 a 0,46,

dónde E_{eficaz} representa la cantidad de agua eficaz en kilogramo por metro cúbico de hormigón fresco

L representa la cantidad de cemento y de adiciones en kilogramos por metro cúbico de hormigón fresco;

20 comprendiendo dicho hormigón una cantidad de agua eficaz que varía de 100 a 230 litros por metro cúbico de hormigón fresco;

comprendiendo dicho hormigón una cantidad de clinker Portland superior o igual a 150 kilogramos por metro cúbico de hormigón fresco;

25 comprendiendo dicho hormigón una cantidad (clinker Portland + eventualmente cenizas volantes + eventualmente escoria + eventualmente humo de sílice + eventualmente esquistos calcinados + eventualmente arcillas calcinadas) superior o igual a 300 kilogramos por metro cúbico de hormigón fresco;

y presentando dicho hormigón un volumen de pasta superior o igual a 300 l/m³ de hormigón fresco.

Otro modo de realización de la invención es la utilización de un hormigón ligero estructural tal como se describe más arriba como material de construcción.

30 Un tercer modo de realización de la invención es un objeto en hormigón endurecido obtenido a partir de un hormigón ligero estructural tal como se describe más arriba.

Ejemplos de modos de realización preferidos

Determinación de la cantidad de materias amorfas en el hormigón

Se determina en primer lugar la cantidad de materia amorfa de cada constituyente sólido del hormigón de la manera descrita más abajo.

35 Se realiza una mezcla entre el constituyente que se debe analizar y un compuesto de referencia enteramente cristalizado del que se conoce la composición (por ejemplo rutilo, alúmina o circón). La mezcla comprende en general un 50% en peso del constituyente que se debe analizar y un 50% en peso del compuesto de referencia. La mezcla se debe homogeneizar perfectamente y las proporciones relativas del constituyente que se debe analizar y del compuesto de referencia se deben conocer con precisión.

40 El compuesto de referencia se elegirá en función del constituyente que se debe analizar. Preferentemente, según un primer caso, el componente de referencia es diferente de los cristales que se puede encontrar en el constituyente a analizar. En todos los casos, con el fin de no falsear la medida cuantitativa, se elegirá un compuesto de referencia próximo en término de intensidad de respuesta de los cristales presentes en el constituyente que se debe analizar, como esto es conocido en el ámbito de la difracción por rayos X.

Se realiza una medida cuantitativa de la mezcla, por ejemplo utilizando el método de difracción por rayos X cuantitativa (véase a este respecto la publicación Quantitative X-Ray Diffraction Analysis, L. E. COPELAND and Robert H. BRAGG, Analytical Chemistry).

5 Se obtienen la naturaleza y la cantidad de los cristales presentes en la mezcla. La materia amorfa no difracta los rayos X y no aparece, por lo tanto, en los resultados de la medida cuantitativa. La cantidad de materia amorfa del constituyente que se debe analizar (MA_i) en porcentaje en peso con respecto al peso del constituyente que se debe analizar se puede determinar según la siguiente fórmula (II):

$$MA_i = 100 \times [100 \div (100 - X_0)] \times [1 - (X_0 \div X_m)] \quad \text{Fórmula (II)}$$

10 en la cual X_0 representa el porcentaje en peso del compuesto de referencia en la mezcla (constituyente que se debe analizar + compuesto de referencia);

X_m representa el porcentaje en peso del compuesto de referencia determinado por la medida cuantitativa.

15 Según un segundo caso, el material de referencia es una fase cristalina también presente en el constituyente que se debe analizar, se aplica en primer lugar la medida cuantitativa separadamente del constituyente que se debe analizar y del material de referencia, con el fin de determinar la cantidad de la fase cristalina común en el constituyente que se debe analizar. De esta manera, conociendo la cantidad de la fase cristalina en el constituyente que se debe analizar y la proporción relativa del constituyente que se debe analizar y del material de referencia, se puede determinar X_m . A continuación, se puede aplicar la fórmula (II).

20 Finalmente, para obtener la cantidad de materia amorfa en el hormigón fresco (en porcentaje en peso), se multiplica la cantidad de materia amorfa de cada uno de los constituyentes del hormigón por la cantidad de este constituyente en 1 metro cúbico de hormigón, luego se hace la suma de los distintos valores obtenidos.

El hormigón ligero estructural según la invención se ilustra por los modos de realizaciones preferentes descritos más abajo.

Ejemplos 1 y 2: agregados de esquisto expandido

Ejemplo 1

Componentes	pesos y volúmenes referidos a m ³ de material fresco	% en peso
Cemento Portland Artificial	373 kg	24,5% en peso
Agua total	188 l	12,5%
... (cuya agua eficaz)	103 l	7,5%)
Aire	143 l o sea 14,3% en volumen	
Arena de esquisto expandido	539 kg	35,5%
Gravillas de esquisto expandido	408 kg	27%
Superplastificante	6 l	0,4%
Aire ocluido	3 l	0,2%
Materias amorfas	0	0

25 El cemento utilizado es cemento Portland artificial de masa volumétrica de 3,15. Este cemento es de la clase CEM I 52,5 (Norma EN 197-1) procedente de la fábrica de Havre.

La arena de esquisto expandida posee una masa volumétrica real en estado seco de 1,92 y una absorción de agua de 4,5% en peso.

30 Las gravillas de esquisto expandido tienen una granulometría que va de 4 a 10 mm, una masa volumétrica real de 1,29 y una absorción de agua de 7,2% en peso. Proceden de la sociedad GEM (Mayenne, Francia).

35 El adyuvante superplastificante es de la familia de los policarboxilatos polióxido (PPC), se trata del GLENIUM 27 de la sociedad BASF y el aire ocluido elegido es un sulfonato: el Microair 104 de la sociedad BASF. El relleno calcáreo presenta una densidad de 2,6 y una distribución de granulometría comprendida entre 0 y 100 μm (diámetro mediano 8 μm), y está disponible bajo el nombre de BETOCARB HP-EN (antiguamente denominado BETOCARB P2 de Entrains) por la sociedad OMYA.

La determinación del contenido en aire de los hormigones se realizó según la norma ASTM C173.

El procedimiento de fabricación es el de hormigones ligeros estándares y se puede modificar y/o ajustar si así se desea. El procedimiento utilizado en estos ejemplos es el mismo para los ejemplos 1 a 3.

En estos ejemplos los ingredientes se introducen en un amasador estándar de marca ZYKLOS.

- 5 Se efectúa una etapa preliminar de premojado de los agregados durante lo cual los agregados se mezclan dos minutos con agua de premojado luego se dejan en reposo por un determinado período de tiempo (por ejemplo durante 24 horas). Luego se efectúan las etapas siguientes:
- Amasar de los agregados durante 1 minute
 - Detención del amasado durante 4 minutos
- 10
- Introducción en 30 segundos de las aglutinantes (cemento y relleno) en la amasadora
 - Amasar de nuevo durante 1 minuto
 - Introducción en 30 segundos de agua de mezcla en la amasadora, manteniendo al mismo tiempo el amasado
 - Amasado durante 1 minuto.
- 15 Los cilindros y los cubos se confeccionan en tres capas, y se coloca el material por medio de una barra de picado. Después del relleno de los moldes, las probetas se conservan a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ y a 95% HR. Después del desmoldeo a 24 h se colocan en agua para las probetas de densidad superior a 1 y sobre un estante para las otras. Los cilindros de compresión se rectifican antes del ensayo.
- 20 Las medidas de resistencia a la compresión se efectúan sobre cilindros de 11 cm de diámetro y 22 cm de altura. Se da igualmente una estimación de la resistencia sobre cubo de 15 cm de lado.
- Para obtener la densidad en estado fresco del hormigón, se determina la masa volumétrica del hormigón fresco según la norma EN 12350-6, luego se divide por la masa volumétrica del agua, o sea 1000 kilogramos por metro cúbico.
- 25 El contenido en agua eficaz de un hormigón es la diferencia entre la cantidad de agua total contenida en 1 metro cúbico de hormigón fresco y la cantidad de agua absorbible por los agregados. La cantidad de agua absorbible por los agregados se determina multiplicando el coeficiente de absorción de agua de los agregados por el peso de agregados secos en 1 metro cúbico de hormigón. El coeficiente de absorción de agua de los agregados se obtiene según el método descrito en el Anexo C de la norma en 1097-6 a 24 h. Este método es válido para los agregados cuyo tamaño varía de 4 a 31,5 mm. Para los agregados cuyo tamaño es inferior a 4 mm, es necesario utilizar el método descrito en la norma EN 1067-6 capítulo 9.
- 30

Las otras propiedades del hormigón así obtenido se determinaron utilizando las normas EN 12390-3, EN 206-1, ISO 3806 y NF EN ISO 10456. Estas propiedades características son las siguientes:

Relación E_{eficaz}/L :	0,28
Densidad en estado fresco:	1,48
35 Densidad en estado seco:	1,39
Resistencia en compresión a 28 días sobre cilindro:	35 MPa
Estimación de la resistencia sobre cubo de 15 cm de lado:	40 MPa
Conductividad térmica a 23°C y un 50% de HR:	0,58 W/m.K

Ejemplo 2:

Componentes	Pesos y volúmenes referidos a m^3 de material fresco	% en peso
Peso de cemento Portland	393 kg	25%
Peso de relleno calcárea	126 kg	8%
Agua total	209 l	13%

(... cuya agua eficaz)	152 l	9,5%)
Aire	80 l o sea un 8% en volumen	
Arena de esquisto expandido	546 kg	34,5%
Gravillas de esquisto expandido	298 kg	19%
Superplastificante	5 l	0,3%
Aire ocluido	1 l	0,05%
Materias amorfas	0	0

El cemento, el superplastificante, el aire ocluido y el relleno calcáreo son los mismos que los descritos en el ejemplo 1.

La arena de esquisto expandida posee una masa volumétrica real en estado seco de 1,92, y una absorción de agua de 4,5% en peso.

- 5 Las gravillas de esquisto expandido tienen una granulometría que va de 4 a 10 mm, una masa volumétrica real de 1,29 y una absorción de agua de 7,2% en peso. La arena y las gravillas proceden de la sociedad GEM (Mayenne, Francia).

Propiedades del hormigón así obtenido:

	Relación E_{eficaz}/L ;	0,29
10	Densidad en estado fresco:	1,58
	Densidad en estado seco:	1,41
	Resistencia mecánica en compresión a 28 días sobre cilindro:	40 MPa
	Estimación de la resistencia sobre cubo de 15 cm de lado:	45 MPa
	Conductividad térmica a 23°C y 50% de HR:	0,61 W/m.K

- 15 Ejemplo 3: Segunda clase de agregados: arcilla expandida

Componentes	Pesos y volúmenes referidos a m ³ de material fresco	% en peso
Peso de cemento Pórtland	433 kg	27,5%
Peso de relleno calcáreo	150 kg	9,5%
Agua total	275 l	17,5%
(... cuya agua eficaz)	119 l	7,5%)
Aire	90 l o sea un 9% en volumen	
Arena de arcilla expandida	307 kg	19,5%
Gravillas de arcilla expandida	394 kg	25%
Superplastificante	4 l kg	0,25%
Aire ocluido	0,8 l kg	0,05%
Materias amorfas	0	0

El cemento Portland, el relleno, el superplastificante y el aire ocluido son los mismos que los utilizados en el ejemplo 1.

La arena de arcilla expandida posee una masa volumétrica real en estado seco de 1,15, y una absorción de agua de 28% en peso.

Las gravillas de arcilla expandida tienen una granulometría que va de 4 a 8 mm, una masa volumétrica real de 1,28 y una absorción de agua de 18% en peso. La arena y las gravillas proceden de la sociedad Argex (Bélgica).

Propiedades del hormigón así obtenido:

- | | | |
|---|--|------------|
| | Relación E_{eficaz}/L : | 0,20 |
| 5 | Densidad en estado fresco: | 1,41 |
| | Densidad en estado seco: | 1,26 |
| | Resistencia mecánica en compresión a 28 días sobre cilindro: | 29 MPa |
| | Estimación de la resistencia sobre cubo de 15 cm de lado: | 33 MPa |
| | Conductividad térmica a 23°C y 50% de HR: | 0,52 W/m.K |
- 10 Las formulaciones de hormigones ligeros estructurales según la invención combinan una fuerte resistencia a la compresión a una conductividad térmica disminuida con respecto a las de los hormigones habitualmente disponibles en el ámbito. Además, estas formulaciones son simples y fáciles a llevar a la práctica. Finalmente, los materiales utilizados son de un coste relativamente bajo y fácilmente disponibles. Esto hace que estas formulaciones sean especialmente útiles en la industria.

15 Ejemplo 4: Segunda clase de agregados: arcilla expandida - impacto de la naturaleza de las adiciones utilizadas

La sustitución volumétrica del relleno calcáreo mencionado anteriormente por ceniza volante o de la escoria de altos hornos permite disminuir considerablemente la conductividad térmica sin penalizar las resistencias mecánicas.

El ejemplo con la escoria pone de manifiesto que con este tipo de adición, es posible formular un hormigón sin aire ocluido.

Componentes	Pesos y volúmenes referidos a m ³ de material fresco		
	Relleno calcáreo	Cenizas volantes	Escoria
Tipo de adición			
Peso de cemento Portland	408 kg	408 kg	408 kg
Peso de relleno calcárea	172 kg		
Peso de cenizas volantes		152 kg	
Peso de escoria			195 kg
Agua total	266 l	266 l	266 l
(... cuya agua eficaz)	133 l	133 l	133 l
Aire	25 l o sea 2,5% en volumen	25 l o sea 2,5% en volumen	25 l o sea 2,5% en volumen
Arena de arcilla expandida	306 kg	306 kg	306 kg
Gravillas de arcilla expandida	344 kg	344 kg	344 kg
Superplastificante	4,06 kg	3,92 kg	4,22 kg
Plastificante	1,33 kg	1,29 kg	1,39 kg
Materias amorfas	0	103 kg	185 kg

- 20 El cemento Portland, el relleno calcáreo, el superplastificante son los mismos que los presentados en el ejemplo 1. La arena y las gravillas de arcillas expandidas son idénticas a las presentadas en el ejemplo 3. El coadyuvante plastificante es familia de los lignosulfonatos, se trata del POZZOLITH 391 N de la sociedad BASF.

La ceniza volante utilizada es una ceniza de tipo V (EN 197-1) distribuida por la sociedad Surchistes y procede de la central térmica de Carling. La densidad de esta ceniza es de 2,36, la superficie específica Blaine es de 3520 cm²/g.

- 25 La escoria utilizada en este ejemplo es la escoria producida por la Sociedad Mittal-Arcelor en Fos Sur Mer. La densidad de esta escoria es de 2,95, la superficie específica Blaine es de 3258 cm²/g.

El porcentaje en peso de materias amorfas es respectivamente de 67,8% en las cenizas volantes y de 94,9% en la escoria.

Propiedades de los hormigones así obtenidos:

Tipo de adición	Relleno calcáreo	Cenizas volantes	Escoria
Relación E_{eficaz}/L :	0,23	0,24	0,22
Densidad en estado fresco:	1,65	1,63	1,67
Densidad en estado seco:	1,47	1,46	1,48
Resistencia mecánica en compresión a 28 días sobre cilindro:	41,8	44	40,8
Estimación de la resistencia sobre cubo de 15 cm de lado:	46,8	49,2	45,7
Conductividad térmica a 23°C y 50% de HR:	0,697	0,635	0,598

5 La utilización de escoria o cenizas volantes en lugar del relleno calcáreo permite disminuir la conductividad térmica para resistencias mecánicas equivalentes.

10 Además, para una cantidad de aire tan baja como 2,5% en volumen, las formulaciones que comprenden escoria o cenizas volantes permiten obtener un coeficiente de conductividad térmica inferior a 0,65, mientras que la formulación que comprende el relleno calcáreo no lo permite. La utilización de escoria o cenizas volantes en lugar del relleno calcáreo permite, por la tanto, disminuir la cantidad de aire manteniendo al mismo tiempo un coeficiente de conductividad térmica bajo.

15 La asociación del cemento Portland con las adiciones a base de escoria o cenizas se puede sustituir por cementos compuestos por las escorias y/o las cenizas volantes de tipo CEM II/A, CEM II/B, CEM III/A, CEM III/B, CEM III/C, CEM V/A o CEM V/B.

Está claro que cualquier característica descrita con respecto a cualquier modo de realización se puede utilizar sola, o en combinación con otras características descritas, y se puede también utilizar en combinación con una o varias características de cualquier otro de los modos de realización, o cualquier combinación de cualquier otro de los modos de realización.

REIVINDICACIONES

1.- Hormigón ligero estructural que comprende al menos:

- un aglutinante hidráulico;
- agua eficaz;
- 5 - superplastificante; y
- agregados;

presentando dicho hormigón una densidad en estado fresco que varía de 1,40 a un valor D_{max} calculado según la fórmula (I):

$$D_{max} = 1,58 + (a \times MA) \quad \text{Fórmula (I)}$$

10 en la cuál a representa un coeficiente cuyo valor es igual a 1, ventajosamente igual a 0,9, preferentemente igual a 0,8

MA representa el porcentaje en peso de materias amorfas contenidas en 1 m^3 de hormigón fresco;

presentando dicho hormigón una densidad en estado fresco máxima D_{max} inferior o igual a 1,85, ventajosamente inferior o igual a 1,8, preferentemente inferior o igual a 1,7;

15 presentando dicho hormigón una relación E_{eficaz}/L que varía de 0,19 a 0,46,

dónde E_{eficaz} representa la cantidad de agua eficaz en kilogramo por metro cúbico de hormigón fresco

L representa la cantidad de cemento y de adiciones en kilogramos por metro cúbico de hormigón fresco;

comprendiendo dicho hormigón una cantidad de agua eficaz que varía de 100 a 230 litros por metro cúbico de hormigón fresco;

20 comprendiendo dicho hormigón una cantidad de clinker Portland superior o igual a 150 kilogramos por metro cúbico de hormigón fresco;

comprendiendo dicho hormigón una cantidad de (clinker Portland + eventualmente cenizas volantes + eventualmente escoria + eventualmente humo de sílice + eventualmente esquistos calcinados + eventualmente arcillas calcinadas) superior o igual a 300 kilogramos por metro cúbico de hormigón fresco;

25 presentando dicho hormigón un volumen de pasta superior o igual a 300 l/m^3 de hormigón fresco,

comprendiendo dicho hormigón, además de 1% a 16% en volumen de aire.

2.- Hormigón ligero estructural según la reivindicación 1, caracterizado porque comprende al menos un agregado que forma el objeto de una mezcla o de una aspersión con un material.

30 3.- Hormigón según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque comprende un aglutinante hidráulico elegido entre un cemento de tipo:

- CEM III, CEM IV o CEM V, o
- CEM I o CEM II, en mezcla con adiciones.

4.- Hormigón según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque comprende un cemento de tipo CEM I o CEM II, en mezcla con adiciones de tipo escoria y/o cenizas volantes y/o humos de sílice.

35 5.- Hormigón según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque la proporción de aire en volumen en la mezcla varía de 2% a 8% en volumen.

6.- Hormigón según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque la proporción de aire en volumen es inferior a 5%.

40 7.- Hormigón según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque comprende un superplastificante tal como un policarboxilato polióxido.

8.- Procedimiento de preparación de un hormigón ligero estructural según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, comprendiendo este procedimiento la mezcla de al menos:

- un aglutinante hidráulico;
 - agua eficaz;
 - superplastificante; y
 - agregados;
- 5 presentando dicho hormigón una relación E_{eficaz}/L que varía de 0,19 a 0,46,
dónde E_{eficaz} representa la cantidad de agua eficaz en kilogramo por metro cúbico de hormigón fresco
L representa la cantidad de cemento y de adiciones en kilogramos por metro cúbico de hormigón fresco;
comprendiendo dicho hormigón una cantidad de agua eficaz que varía de 100 a 230 litros por metro cúbico de hormigón fresco;
- 10 comprendiendo dicho hormigón una cantidad de clinker Portland superior o igual a 150 kilogramos por metro cúbico de hormigón fresco;
comprendiendo dicho hormigón una cantidad de (clinker Portland + eventualmente cenizas volantes + eventualmente escorias + eventualmente humo de sílice + eventualmente esquistos calcinados + eventualmente arcillas calcinadas) superior o igual a 300 kilogramos por metro cúbico de hormigón fresco;
- 15 presentando dicho hormigón un volumen de pasta superior o igual a 300 l/m^3 de hormigón fresco,
comprendiendo dicho hormigón, además, de 1 a 16% en volumen de aire.
- 9.- Utilización de un hormigón ligero estructural según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 como material de construcción.
- 10.- Objeto en hormigón endurecido obtenido a partir de un hormigón ligero estructural según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.
- 20