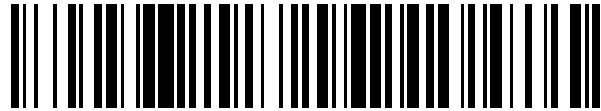


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 468 223**

51 Int. Cl.:

C04B 28/02 (2006.01)

C04B 28/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.05.2006 E 06755266 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.03.2014 EP 1888480**

54 Título: **Hormigón de alto rendimiento con un desarrollo de resistencia rápido que carece de materiales añadidos con actividad hidráulica latente**

30 Prioridad:

19.05.2005 IT MI20050913

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

16.06.2014

73 Titular/es:

**ITALCEMENTI S.P.A. (100.0%)
VIA G. CAMOZZI, 124
24121 BERGAMO, IT**

72 Inventor/es:

CANGIANO, STEFANO

74 Agente/Representante:

RUO, Alessandro

ES 2 468 223 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

Hormigón de alto rendimiento con un desarrollo de resistencia rápido que carece de materiales añadidos con actividad hidráulica latente.

5

Campo de la invención

[0001] La presente invención se refiere a la preparación de hormigón de alto rendimiento que se puede obtener sin cantidades significativas de materiales añadidos con actividad hidráulica latente, en particular sílice pirógena.

10

Técnica anterior

[0002] Antes de describir con detalle la presente invención sería apropiado definir el significado de algunos términos y referirse al estado de la técnica reunida por medio de la lectura técnica y la bibliografía de patentes en la materia.

15

[0003] Actualmente, la expresión "alto rendimiento" se refiere a un intervalo bastante grande de características que se pueden usar de las mezclas de cemento y en particular a los rendimientos reológico y mecánico.

20

[0004] Con respecto al rendimiento reológico, generalmente se requiere que un hormigón de alto rendimiento tenga un comportamiento tixotrópico o, preferentemente, auto-compactante.

25

[0005] Con respecto al rendimiento mecánico, la expresión "alto rendimiento" se refiere a resistencia frente a un intervalo grande de tensión mecánica. De acuerdo con las recomendaciones de Italian Ministry of Public Works los hormigones se pueden clasificar como hormigón de alto rendimiento (HPC) si se caracteriza por medio de una proporción de agua/cemento < 0,45 y una resistencia cúbica característica a los 28 días de entre 25 MPa y 75 MPa, o como hormigón de alta resistencia (AR) si se caracteriza por medio de una proporción de agua/cemento < 0,35 y una resistencia cúbica característica de entre 75 MPa y 115 MPa. En la presente invención, la expresión "alto rendimiento" incluye hormigón HPC y hormigón AR.

30

[0006] Como se sabe bien, con el fin de obtener hormigón de alto rendimiento, es necesario adoptar una proporción reducida de agua/aglutinante (por aglutinante los inventores entienden cemento Portland y cualquier otro material apropiado) y una dosificación de aglutinante generalmente más elevada que la que se requiere para un hormigón con resistencia normal.

35

[0007] Las actuales normas europeas para hormigón (EN 206-1) permiten la adición al hormigón de materiales finamente subdivididos con el fin de obtener o mejorar algunas propiedades. La norma EN 206-1 tiene en cuenta dos tipos de adiciones:

40

- Las adiciones que son casi inertes (tipo I), entre las cuales es posible mencionar caliza;
- Las adiciones con actividad puzolánica o actividad hidráulica latente (tipo II) son las cenizas volantes conforme a la norma EN 450 y sílice pirógena conforme a la norma EN 13263.

45

[0008] Se sabe bien que el hormigón de alto rendimiento se puede producir partiendo de una gran variedad de sistemas de cemento tales como:

50

- cemento Portland puro;
- cemento Portland y cenizas volantes;
- cemento Portland y sílice pirógena;
- cemento Portland, escorias y sílice pirógena;

55

[0009] De acuerdo con los datos que se encuentran en la bibliografía, casi todos los hormigones de alto rendimiento contienen sílice pirógena.

60

[0010] Existen numerosos estudios sobre los efectos de la sílice pirógena sobre las reacciones de hidratación de los sistemas de cemento. Se sabe bien que la acción de la sílice pirógena se manifiesta por sí misma como adición puzolánica y como carga. La acción de la sílice pirógena como material de relleno granular entre las partículas de cemento se explica por medio de sus dimensiones extremadamente reducidas (entre 30 y 100 veces más pequeña que la del cemento Portland).

65

[0011] Como contrapunto a las ventajas de usar dicho material adicional, se debe apuntar que parece que la adición de sílice pirógena, en algunos casos, provoca un aumento de la contracción en la fase plástica y puede proporcionar un fenómeno apreciable de micro-fisuras/SP 186-39 página 671 (E&FN SPON - Modern Concrete Technology 5-4 página 191 Ed. 1998) y (S. Rols y col. "Influence of Ultra Fine Particle Type on Properties of Very - High strength Concrete ACI SP 186 página 671-685 - Proceedings of Second CANMET/ACI International Conference, RS, Brasil, 1999). También existen indicaciones de una disminución de resistencia inesperada con el tiempo que puede generar un deterioro del material. Finalmente, se debe apuntar que el uso de sílice pirógena es particularmente costoso.

[0012] Con respecto a la carga de caliza, se ha considerado inerte durante mucho tiempo. Aunque no se puede considerar como un material de adición puzolánico, muchos estudios han mostrado que tiene una reactividad significativa a medio y largo plazo. S. Sprung, E. Siebel "... Zement Kalk Gibs 1991, N.1, página 1-11 establece la hipótesis de que, además de su papel principal como carga de matriz, la carga de caliza podría generar una determinada reacción química con aluminatos para dar lugar a la formación de aluminatos de calcio. Ramachandran y col. (Ramachandran y col. en "Durability of Buildings Materials", 4 1986) han observado que la adición de CaCO_3 a C_3S (silicato de tricalcio) acelera la hidratación. Además, han descubierto que la hidratación de cemento se acelera por medio del efecto de carga de la caliza. En la mezcla de cemento, CaCO_3 produciría un aluminato de calcio que se incorporaría a las fases C_3S y C_3A (tricalcio aluminoso) durante la hidratación. S.P. JIANG y col. ("Effect of fillers (Fine particles) on the Kinetics of Cement Hydration 3rd Beijing International Symposium on Cement and Concrete, 1993, 3) han mostrado además que la formación de aluminato de calcio es beneficiosa ya que aumenta la resistencia y acelera el proceso de hidratación. De acuerdo con Jiang y col., (S.P. Jiang y col. 9^o International Congress of Chem. Nueva Delhi, 1992) la carga de caliza actúa sobre los parámetros cinéticos de hidratación del cemento. De acuerdo con dichos autores, la aceleración de la hidratación se puede atribuir, en lugar de lo que se ha descrito anteriormente, a un efecto de multiplicación de los contactos entre partículas y a la naturaleza de dichos contactos sobre la superficie de la carga de caliza.

[0013] Con respecto al elevado rendimiento, desde el punto de vista reológico, se sabe bien que el hormigón auto-compactante está ganando importancia.

[0014] El hormigón auto-compactante (SCC) es un hormigón especial capaz de fluir, por la única razón de su propio peso, en los encofrados y de fluir alrededor de los obstáculos, tal como las varillas de refuerzo, sin detenerse y dar lugar a la separación de sus constituyentes. Se pueden conservar sus características reológicas hasta que comienza el proceso de fraguado y endurecimiento.

[0015] De acuerdo con AFGC (Association Francaise of Genie Civil) el hormigón auto-compactante debe cumplir los siguientes requisitos cuando se encuentra fresco:

- a) Los valores de expansión de los Flujos de Asentamiento (cono de asentamiento) generalmente deben encontrarse en un campo entre 60 y 75 cm (sin segregación visible al final del ensayo - es decir sin que exista aureola de lavado de cal alrededor del perímetro externo y sin concentración en el centro);
- b) la proporción de relleno del equipamiento denominado L-Box debe ser mayor de un 80 %;
- c) el hormigón no debe mostrar segregación y debe presentar un sangrado limitado. Se ha presentado una solicitud de patente (MI2001A002480) con respecto al hormigón que tiene una resistencia mecánica de 28 días más elevada o igual que 110 MPa, que comprende cemento conforme a la norma Europea 197-1, áridos de caliza y aditivos, caracterizado por el hecho de que cualesquiera adiciones con actividad hidráulica latente son menores de un 5 % con respecto al peso del cemento.

[0016] Los hormigones de acuerdo con la solicitud de patente italiana MI2001A002480 se caracterizaban por las siguientes características:

- 1) ausencia de cantidades significativas de adiciones de tipo II (por ejemplo sílice pirógena)
- 2) resistencia mecánica de 28 días mayor de 110 MPa y/o un desarrollo de resistencia de compresión mecánica para garantizar los valores que se muestran en la siguiente tabla

TABLA I: requisitos de rendimiento en términos de desarrollo de resistencia mecánica

Expira [días]	1	2	28
Rc [MPa]	≥ 50	≥ 80	≥ 110

- 3) cantidad de cemento entre un 25 % y un 50 % en peso con respecto al peso total de la mezcla sólida.
- 4) áridos de caliza que tienen un D. Max entre 1 y 12 mm.

[0017] Se alcanzaron estas características por medio del uso de la curva granulométrica de la mezcla sólida que es bastante diferente de las conocidas previamente en la técnica.

[0018] Aunque presentan ventajas considerables, se ha demostrado que los hormigones obtenidos de este modo tienen una conveniencia industrial debida a una dosificación de cemento extremadamente elevada que, aparte de ser responsable de los aumentos de temperatura a partir de los cuales puede surgir el auto-tensionado, puede provocarse un fenómeno relevante de contracción autógena y un aumento no deseado de los costes.

[0019] Por tanto, es deseable disponer de un hormigón que mantenga el rendimiento de la patente anteriormente mencionada (MI2001A002480) y mantenga todavía las cantidades de cemento en valores significativamente bajos. Más específicamente, para muchas aplicaciones de producción, sería útil mantener las resistencias de corto a medio plazo (1, 3, 7 días); esto se ve reflejado en una rápida consolidación de la masa, una rápida liberación a partir de los artesanos y un rápido procedimiento de producción; además, no siempre es indispensable mantener los valores de resistencia a 28 días mayores de 110 MPa, ya que este valor es mucho más elevado que los límites medios para

el hormigón AR. Por otra parte, una simple reducción del contenido de cemento (con respecto al agua de la mezcla y/o los áridos presentes) usando los otros parámetros presentados y citados en la solicitud de patente, no proporciona los resultados deseados en términos de reología y, de este modo, no convierte el hormigón en apropiado para uso estructural debido a una plasticidad excesiva. Por tanto, la necesidad de un hormigón que presente una elevada resistencia sigue sin resolverse y no existe una solución evidente, especialmente en el corto y medio plazo, incluso sin adiciones con actividad puzolánica y usando una cantidad moderada de cemento, para evitar los fenómenos no deseados de contracción y reducir el coste total del producto.

Descripción de las figuras

[0020]

En la **Figura 1** se presenta la distribución granulométrica de las fracciones de áridos usadas en la mezcla "LSC" de la invención;

La **Figura 2** presenta la distribución granulométrica acumulada de la mezcla sólida de cemento y áridos, cuya composición se presenta en la tabla 5. También se presentan los límites superior e inferior y se indican en la tabla III. En la misma figura 2 se presentan las curvas de Fuller y Bolomey a modo de comparación. Se puede observar que el perfil de la curva de la invención es diferente del de las curvas tradicionales (Fuller y Bolomey).

En la **Figura 3**, se compara la distribución granulométrica de la mezcla LSC con la distribución granulométrica usada para fabricar la mezcla sólida de acuerdo con una técnica conocida. En particular, la figura también presenta los límites superior e inferior de dicha distribución granulométrica.

En la **Figura 4**, se presentan el aumento de temperatura en condiciones semi adiabáticas del hormigón LSC y del hormigón comparativo de acuerdo con la técnica conocida.

En la **Figura 5** se presenta el ciclo de calentamiento/enfriamiento. El calentamiento se lleva a cabo a 30 °C/hora al tiempo que el enfriamiento se lleva a cabo a 15 °C/hora. Se alcanzan las siguientes temperaturas máximas - 150, 300, 450, 600, 750 °C.

En la **Figura 6** se presenta el patrón de las resistencias con respecto a la compresión de residuo, observado tras el ciclo térmico y referido a la resistencia de ensayo antes de someterlas al ciclo térmico.

En la **Figura 7** se presenta la distribución diferencial porosa observada por medio de la intrusión de Hg.

Sumario de la invención

[0021] El objeto de la presente invención es establecer una fórmula para un hormigón con las siguientes características:

- 1) ausencia de cantidades significativas de adiciones de tipo II (por ejemplo sílice pirógena)
- 2) resistencia mecánica a 16 horas mayor de 50 MPa y desarrollo de resistencia mecánica hasta compresión para garantizar los valores presentados en la siguiente tabla

TABLA II: requisitos de rendimiento en términos de desarrollo de las resistencias mecánicas

Expira horas [h] y días [d]	16 h	1 d	2 d	7 d
Rc [MPa]	≥ 50	≥ 60	≥ 70	≥ 80

- 3) cantidad de cemento entre un 15 % y un 22 % en peso con respecto al peso total de la mezcla sólida, y de cualquier modo de manera que la dosificación no sea mayor de 500 kg de cemento por m³ de mezcla.

[0022] Otro objetivo de la presente invención es establecer la fórmula para el hormigón auto-compactante que cumpla las características de los puntos 1), 2) y 3) descritos anteriormente.

[0023] Otro objetivo de la invención es obtener un hormigón reforzado con fibra de endurecimiento rápido sin adiciones significativas de tipo II, por ejemplo sílice pirógena.

[0024] Sorprendentemente, se ha descubierto que es posible alcanzar los objetivos descritos anteriormente por medio del uso de una composición granulométrica óptima de la mezcla sólida de cemento y áridos de caliza. En particular, se ha descubierto que, si se usa dicha composición granulométrica, el porcentaje de paso de la composición (pretendido como porcentaje en peso de las partículas de la mezcla que pasan a través del tamiz, como función de las dimensiones de la malla metálica del tamiz) respeta la curva construida de acuerdo con la siguiente tabla III y es posible obtener un hormigón de alto rendimiento, que tiene una resistencia mecánica que se desarrolla con el tiempo como viene indicado en la Tabla II, sin la adición de cantidades significativas de adiciones de tipo puzolánico, y reduciendo sustancialmente el contenido de cemento con respecto a la técnica conocida.

TABLA III: Distribución granulométrica de la mezcla

Diámetro (mm)	% de Paso (límite inferior)	% de Paso (límite superior)
16,00	100	100
12,50	92	98
10,00	82	94
8,00	78	90
6,30	72	80
4,00	62	70
3,15	58	65
2,00	50	60
1,00	42	50
0,40	35	45
0,20	32	40
0,10	28	36
0,01	12	20
0,005	8	16

Descripción detallada de la invención

5 [0025] El objeto de la invención es por tanto una mezcla de cemento sólido y adiciones de tipo árido, que sustancialmente carece de la adición de materiales de actividad hidráulica latente, por ejemplo sílice pirógena, caracterizada por su distribución granulométrica representada en la tabla III.

10 [0026] Se pueden usar todos los cementos de acuerdo con la norma EN 197-1 para preparar la mezcla sólida de la invención. Generalmente, el contenido de cemento está entre un 15 % y un 22 % en peso, con respecto al cemento y los áridos (excluyendo de los cálculos los posibles aditivos que pudieran estar presentes); preferentemente, está formado entre un 19 y un 21 %, usando el cemento de tipo I CEM 52,5 R.

15 [0027] Preferentemente, los áridos presentan un D. Max comprendido entre 12 y 20 mm, determinado de acuerdo con la norma UNI EN 933-1.

20 [0028] Con la expresión "sustancialmente carente de la adición de materiales de actividad hidráulica latente", se hace referencia a que dichas adiciones, si están presentes, generalmente están en menos de un 5 % en peso y con respecto al cemento y preferentemente menos de un 2 %.

[0029] La mezcla puede incluir aditivos normalmente usados en el hormigón de alta resistencia, tales como por ejemplo aditivos de super-fluidización, en cantidades usadas normalmente, por ejemplo entre un 0,4 % y un 1,5 %, expresado como sustancia seca sobre el cemento.

25 [0030] Cuando se prepara hormigón a partir de las mezclas sólidas anteriormente mencionadas, preferentemente se usa una proporción de agua/cemento comprendida entre 0,30 y 0,34 (preferentemente entre 0,31 y 0,32). Con respecto a la técnica conocida descrita en el documento MI2001A002480, la presente invención ha permitido una reducción drástica de la cantidad de cemento necesaria para preparar hormigones AR y HPC, reduciendo de este modo el fenómeno posible de la contracción y el coste total del producto.

30 [0031] Entre las ventajas adicionales que presentan los hormigones de AR y HPC de acuerdo con la presente invención está la característica de ser impermeable al agua. Además, si se añaden fibras de tipo polimérico, por ejemplo fibras de polipropileno, preferentemente de 0,2 hasta 0,5 % en peso con respecto a la mezcla sólida, presentan una elevada resistencia frente al fuego.

35 Parte experimental

[0032] Los materiales usados para el experimento fueron:

40 Cemento

[0033] Un cemento CEM de tipo I clase 52,5 R, conforme a la norma EN 197-1 y que tenía una calidad Blaine de aproximadamente 4900 cm²/g.

45 Aditivos

[0034] Se usaron aditivos acrílicos comerciales (Axim, Driver 3, Creative L).

Agua de mezcla

[0035] Se usó agua de mezcla conforme a la norma UNI-EN 1008.

5 Áridos

[0036] Se uso caliza machacada conforme a la norma UNI EN 1097 caracterizada por una estructura cristalina compacta, cantera de Rezzato (BS) que tenía una composición química indicada en la tabla IV; en la misma tabla se presenta también el valor medio de la absorción de agua.

10 [0037] En la Figura 1, se presenta la composición granulométrica de cada fracción usada para fabricar la mezcla sólida de áridos.

15 **TABLA IV: Composición química y valor medio de la absorción de agua del árido de caliza de acuerdo con la invención**

CaCO ₃	98,61 %
Mg CO ₃	0,87 %
SiO ₂	0,13 %
Al ₂ O ₃	0,01 %
Fe ₂ O ₃	0,03 %
Na ₂ O	0,12 %
K ₂ O	0,07 %
T.O.C.	0,020 %
H ₂ O Absorb.	0,28 %
<u>Composición de mezcla</u>	

[0038] La mezcla de hormigón de acuerdo con la invención comprende:

- 20 - un 20,4 % en peso de cemento de tipo I CEM 52,5 R, calculado con respecto al cemento y el árido de caliza con D. Max. de 12 a 20 mm.
- sílice pirógena menor de un 2 % en peso del cemento,
- 1,2 % de una base acrílica de superfluidización expresada como sustancia seca en el cemento,
- 25 - una proporción de agua/cemento: 0,31

[0039] Los porcentajes anteriormente mencionados de cemento y áridos se refieren a la suma en peso de estos dos componentes, excluyendo el total de otros posibles componentes de la mezcla. Preferentemente, el árido de caliza debería tener un contenido de CaCO₃ mayor o igual de un 95 % en peso con respecto a la masa de árido.

30 Mezcla típica de "LSC" de acuerdo con la invención

[0040] La tabla V presenta una mezcla típica de cemento árido de acuerdo con la invención.

TABLA V: Composición de la mezcla sólida

Fracción de árido A	14,38
Fracción de árido B	11,55
Fracción de árido C	7,8
Fracción de árido D	5,87
Fracción de árido E	15,7 %
Fracción de árido F	17,22 %
Fracción de árido G	7,09 %
Cem I 52.5R	20,4 %

35 [0041] Esta composición resultante presenta una curva de distribución granulométrica de acuerdo con los datos de la tabla III.

40 [0042] En la Figura 2, se presenta la distribución granulométrica acumulada de la mezcla sólida y áridos presentada en la tabla V. Además, también se presentan los límites inferior y superior indicados en la tabla III. En la misma figura 2, se presenta la curva de Fuller y Bolomey con fines comparativos.

Preparación de la mezcla de acuerdo con una técnica conocida para una comparación del producto de acuerdo con la invención representada por medio de la mezcla LSC

45 [0043] La mezcla de cemento y áridos que se presenta en la Tabla VI describe la mezcla objeto de comparación y se prepara de acuerdo con la solicitud de patente MI2001002480.

TABLA VI: Composición de la mezcla sólida (comparación)

Fracción de árido. 00	22,8 %
Fracción de árido. 1	35,2 %
Fracción de árido. 2	10 %
Cemento* 52,5 R Tipo I	32 %

5 [0044] En la Figura 3 se compara la distribución granulométrica de la mezcla LSC con la distribución granulométrica usada para fabricar la mezcla sólida (Old BRV), cuya composición se presenta en la tabla VI. Como se puede observar, existen diferencias significativas en el diámetro de partícula que varía entre 0,1 y 10 mm.

Preparación de la mezcla para ensayos comparativos

10 [0045] Con la mezcla sólida descrita en la tabla VI, se preparó una mezcla con una proporción de agua/aglutinante de 0,26 y un 0,6 % de aditivo acrílico de superfluidización en forma de sustancia seca en el aglutinante (Super flux 2003).

15 [0046] La preparación de las mezclas se puede llevar a cabo en un mezclador forzado de arena de alta eficacia. En la primera fase de la mezcla, se introduce cemento, agua y aditivo, durante aproximadamente 3 minutos. Posteriormente, se añade el árido de caliza y se prolonga la mezcla durante otros 7 minutos hasta que se alcanza la consistencia requerida.

Caracterización del producto de acuerdo con la invención y comparación con productos de acuerdo con técnicas conocidas

20

1. Rendimiento reológico

25 [0047] En la siguiente Tabla VII, se presentan los valores de dispersión (fluidez) de acuerdo con la norma UNI 11040 encontrados en las mezclas mencionadas anteriormente.

TABLA VII: Características reológicas de las mezclas tras examen.

	Normas de Referencia	Aceptación	Resultado (mezcla LSC)
Fluidez	UNI 11041	> 600 mm	690 mm
Tiempo de dispersión (para alcanzar un diámetro de 500 mm)	UNI 11041	< 12 segundos	5 segundos
Deslizamiento confinado (caja con forma de L)	UNI 11043	$h_2/h_1 > 0,8$	$h_2/h_1 = 1$
Deslizamiento confinado (caja con forma de U)	UNI 11044	$\Delta h < 30$ mm	$\Delta h = 0$

30 [0048] Todas las muestras de ensayo, preparadas en moldes metálicos de 100 x 100 x 100 mm, se retiraron tras 24 horas desde la colada y se colocaron en agua para maduración a 20 ± 2 °C durante un tiempo pre-establecido.

2. Contracción higrométrica

35 [0049] Se llevaron a cabo los ensayos higrométricos en mezclas comparativas y mezclas LSC de acuerdo con la norma UNI 6555. En la Tabla VIII, se apuntan los datos de contracción higrométrica sobre muestras de ensayo retiradas trascurridas 24 horas desde la colada. La contracción higrométrica se tomó 1, 3 y 7 días tras la retirada del molde.

TABLA VIII: Contracción Higrométrica

Expira [días]	Retirada del molde a las 24 horas desde la colada [$\mu\epsilon$] (hormigón LSC)	Retirada del molde a las 24 horas desde la colada [$\mu\epsilon$] (hormigón comparativo)
Día 1	54	90
Día 3	99	140
Día 7	150	211

40 [0050] Se puede observar a partir de la tabla VIII como la contracción higrométrica del hormigón comparativo es mucho más elevada que la del hormigón de acuerdo con la invención.

3. Resistencia mecánica

45 [0051] En la siguiente tabla IX, se presentan los valores de resistencia frente a la compresión en diferentes etapas.

TABLA IX: Valores de resistencia a compresión [MPa] de acuerdo con UNI EN 12390-3

Expira horas (h) o días (d)	16 h	1 d	2 d	3 d	7 d
Rc [MPa]	63,5	74	80,5	83	89,5

4. Aumento térmico

5 [0052] En la figura 4, se presenta el aumento térmico de las muestras de ensayo LSC durante las primeras horas de la colada. Se observó un aumento de temperatura en el centro de las muestras de ensayo cúbicas (cubos con lados de 150 mm) vertidas en un molde de poliestireno y posteriormente sellado con una cubierta de poliestireno. Con fines comparativos, se presentan el aumento térmico de las muestras de ensayo de comparación registrado en las mismas condiciones experimentales (aumento térmico semi adiabático).

10 [0053] A partir de la figura 4, se puede apreciar la reducción del aumento térmico a niveles de pico (aproximadamente 50 °C) similar al límite superior del hormigón con resistencia ordinaria.

5. Resistencia a temperatura elevada

15 [0054] Con el fin de conferir resistencia a temperaturas elevadas, específicamente resistencia frente a la ruptura explosiva, se modificó la composición de los LSC previendo el uso (un 0,24 % de la mezcla sólida) de fibras poliméricas (longitud = 200 mm, Φ =200-250 μ m).

20 [0055] Las muestras de ensayo cilíndricas modificadas (diámetro 36 mm; h = 110 mm) de LSC han experimentado dos procedimientos de ensayo:

25 1) ciclo lento de calentamiento/enfriamiento como el ciclo que se presenta en la figura 5. Al final del ciclo, se midió la resistencia frente a la compresión de la muestra de ensayo (véase la figura 6). La exposición a 600 °C durante 2 horas engloba una reducción de la resistencia de hasta un 40 %; este valor de aproximadamente 40 MPa debe considerarse suficiente para confirmar las propiedades estructurales apreciables del hormigón LSC.

30 2) Choque térmico: se introdujeron las muestras, a temperatura ambiente ($20 \pm 2^\circ\text{C}$), en una mufla a 600 °C durante 30 minutos. Tras enfriar de nuevo hasta temperatura ambiente, se observó una resistencia relativa de residuo de 0,39, sustancialmente igual a las sometidas a un ciclo lento con $T_{\text{max}} = 600^\circ\text{C}$. Las muestras de ensayo de LSC carente de fibras poliméricas, sometidas a choque térmico, han mostrado un fenómeno bien conocido de ruptura explosiva debida a la sobrepresión de la corriente de agua generada en el sistema poroso del material.

6. Características impermeables

35 [0056] Se caracteriza el hormigón LSC por medio de una estructura porosa compacta. La porosidad total observada por medio de intrusión de mercurio es igual a aproximadamente un 3,1 % en volumen, y se distribuye en un intervalo de poros muy pequeños (Figura 7). Por este motivo, el hormigón LSC, cuando se somete a ensayo de penetración de vacío (UNI EN 12390-8) no muestra ningún frente de avance de agua.

40 [0057] Sometido a un ensayo de impermeabilización con O₂, el hormigón LSC mostró un valor igual a $7,61 \cdot 10^{-19}$.

REIVINDICACIONES

5 **1.** Una mezcla sólida sin sustancialmente actividad hidráulica oculta, lo que significa que dicha adición de materiales de actividad hidráulica latente, si están presentes en modo alguno, generalmente es menor de un 5 % en peso y con respecto al cemento, consistiendo esta mezcla sólida en cemento y áridos de caliza, **caracterizada por** cantidades de cemento de un 15-22 % en peso de la mezcla sólida y por el hecho de que su distribución granulométrica viene representada por una curva que sustancialmente corresponde a los valores mostrados en la siguiente tabla:

Diámetro (mm)	% de Paso (límite inferior)	% de Paso (límite superior)
16,00	100	100
12,50	92	98
10,00	82	94
8,00	78	90
6,30	72	80
4,00	62	70
3,15	58	65
2,00	50	60
1,00	42	50
0,40	35	45
0,20	32	40
0,10	28	36
0,01	12	20
0,005	8	16

10 incluyendo opcionalmente la mezcla sólida aditivos adicionales de tipo acrílico así como fibras poliméricas.

2. Una mezcla de acuerdo con la reivindicación 1, que proporciona el siguiente desarrollo de resistencia mecánica en el tiempo: tras 16 horas \geq 50 MPa; tras 1 día \geq 60 MPa; tras 2 días \geq 70 MPa; y que comprende un cemento conforme a la norma Europea 197-1.

15 **3.** Una mezcla de acuerdo con las reivindicaciones 1 y 2 en la que el cemento es de tipo I CEM 52,5 R.

4. Una mezcla de acuerdo con las reivindicaciones anteriores en la que el contenido de cemento está entre un 19 % y un 21 % en peso de la mezcla.

20 **5.** Una mezcla de acuerdo con las reivindicaciones anteriores en la que el árido de caliza está formado por caliza machacada con un contenido de CaCO₃ igual o mayor de un 95 % en peso del peso total del árido.

25 **6.** Una mezcla de acuerdo con las reivindicaciones anteriores en la que el árido de caliza tiene un D. Max (dimensión máxima) entre 12 y 20 mm.

7. Una mezcla de acuerdo con las reivindicaciones anteriores que además incluye aditivos de tipo acrílico.

30 **8.** Una mezcla de acuerdo con la reivindicación 7, en la que los aditivos de tipo acrílico están entre un 0,4 % y un 1,5 % en peso del cemento.

9. Una mezcla de acuerdo con la reivindicación 8, en la que los aditivos de tipo acrílico están entre un 0,8 % y un 1,3 % en peso del cemento.

35 **10.** Una mezcla de acuerdo con las reivindicaciones anteriores que además incluye fibras poliméricas.

11. Una mezcla de acuerdo con la reivindicación 10, en la que las fibras poliméricas son de tipo propileno.

40 **12.** Una mezcla de acuerdo con las reivindicaciones 10 y 11, en la que las fibras poliméricas están entre un 0,2 y un 0,5 % en peso.

13. Una mezcla de cemento para la preparación de hormigón AR o HPC que carece de adiciones con actividad hidráulica latente, que comprende una mezcla sólida de acuerdo con las reivindicaciones anteriores mezclada con agua, con una proporción de agua/cemento entre 0,30 y 0,34.

45 **14.** Una mezcla de cemento de acuerdo con la reivindicación 13, en la que la proporción de agua/cemento está entre 0,31 y 0,32.

50 **15.** Una mezcla de cemento de acuerdo con la reivindicación 13, en la que el contenido de cemento es menor de 500 kg/m³.

16. Una mezcla de cemento de acuerdo con la reivindicación 13, para la preparación de hormigón AR o HPC resistente al fuego.

5 **17.** Una mezcla de cemento de acuerdo con la reivindicación 13, para la preparación de hormigón AR o HPC impermeable.

18. Un hormigón obtenido a partir de una mezcla de cemento de acuerdo con cualquier reivindicación 13 a 17.

10 **19.** Un producto de cemento obtenido a partir de una mezcla de acuerdo con cualquier reivindicación 13 a 17.

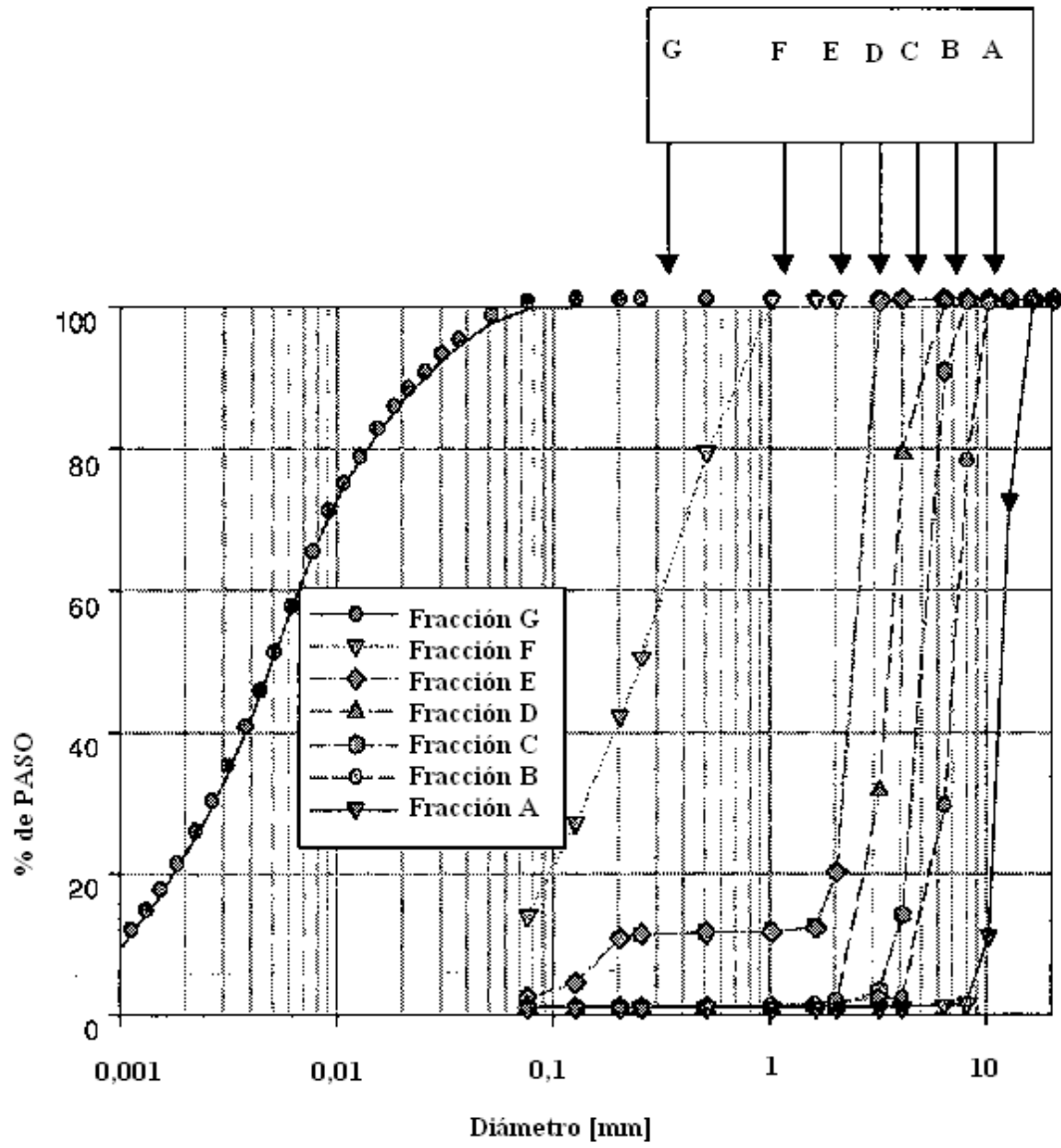


FIGURA 1

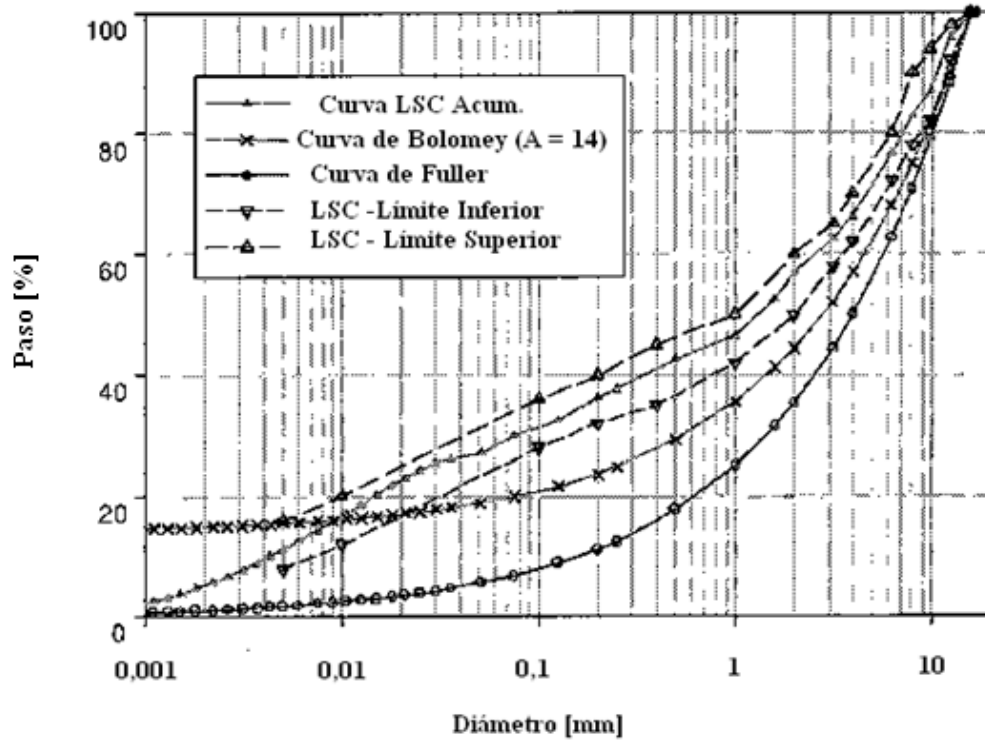


FIGURA 2

FIGURA 3

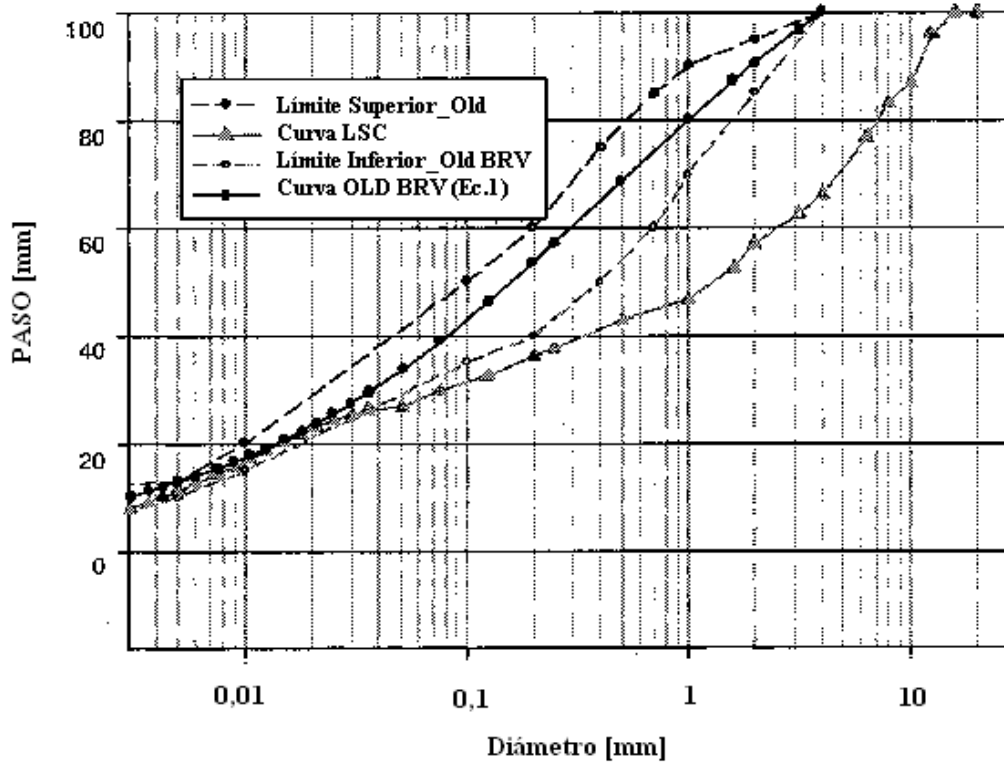


FIGURA 4

Temperatura [°C]

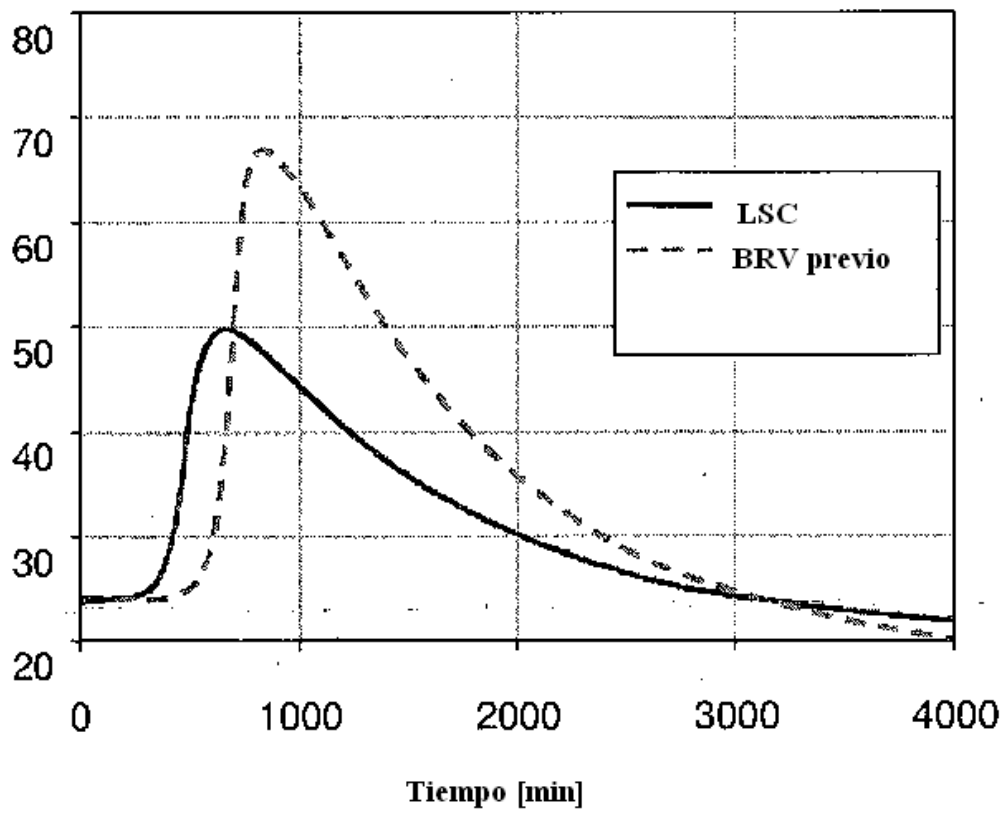


FIGURA 5

Temperatura [°C]

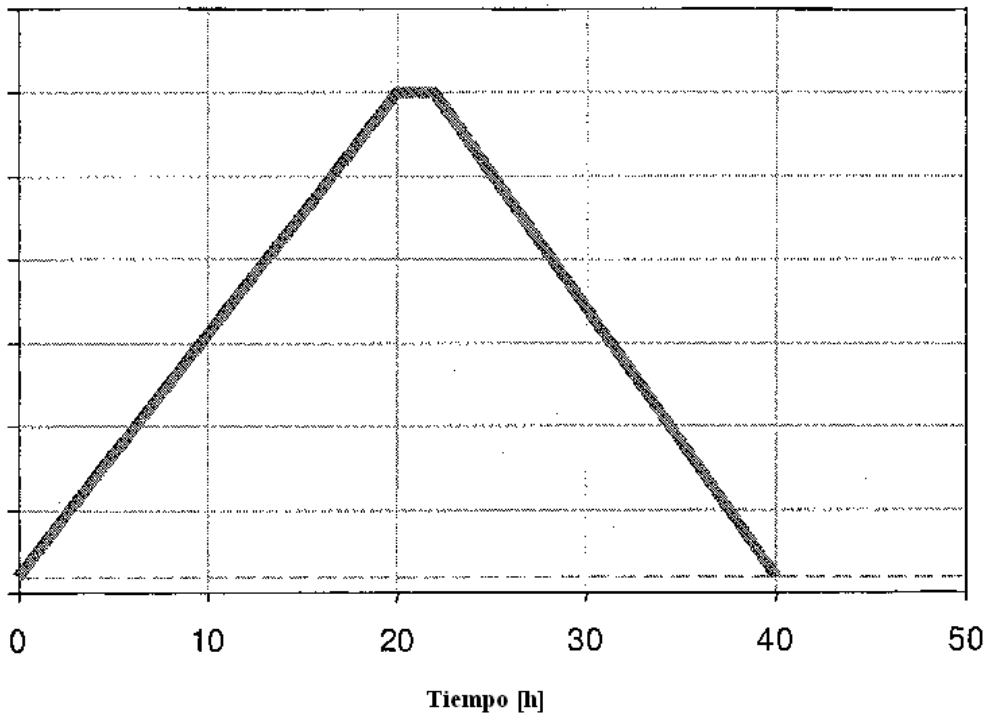


FIGURA 6

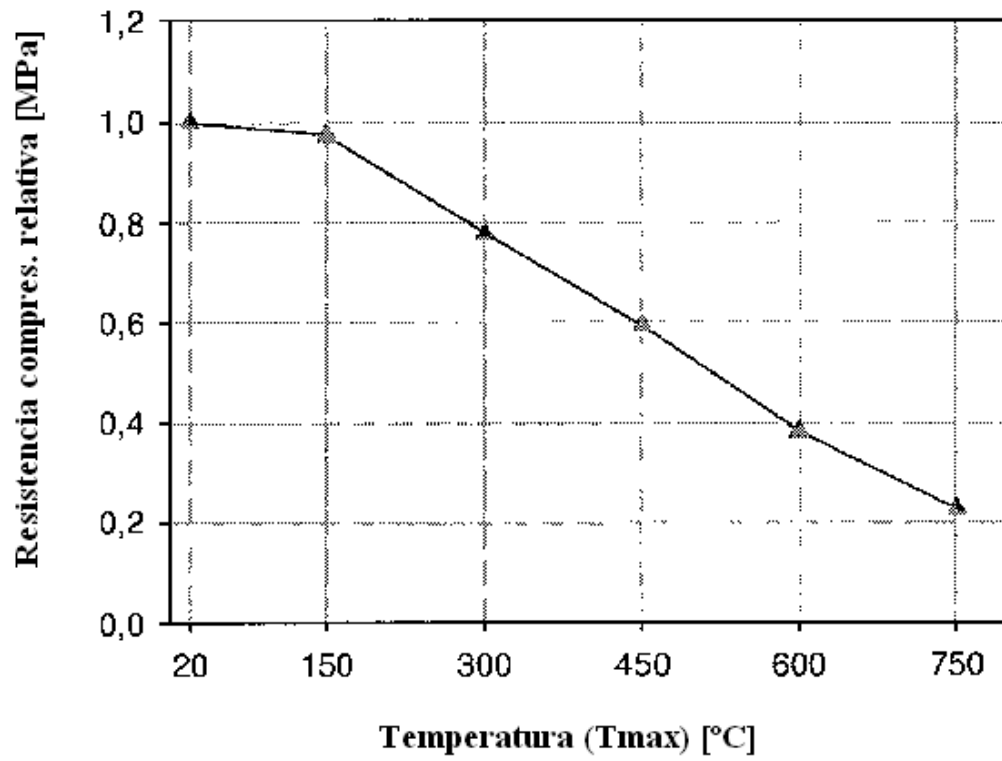


FIGURA 7

