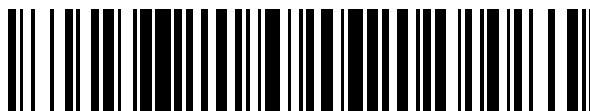


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 883 122**

51 Int. Cl.:

**C04B 7/52** (2006.01)

**C04B 28/02** (2006.01)

**C04B 40/00** (2006.01)

**C04B 28/04** (2006.01)

**C04B 28/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.09.2008 E 12186918 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.06.2021 EP 2562149**

54 Título: **Hormigón con bajo contenido en clínker**

30 Prioridad:

**25.09.2007 FR 0706703**

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

**07.12.2021**

73 Titular/es:

**HOLCIM TECHNOLOGY LTD (100.0%)  
Grafenauweg 10  
6300 Zug, CH**

72 Inventor/es:

**GARCIA, EMMANUEL y  
SCHWARTZENTRUBER, ARNAUD**

74 Agente/Representante:

**CURELL SUÑOL, S.L.P.**

ES 2 883 122 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 con bajo contenido en clínker

5 **Campo de la invención**

La invención se refiere a una composición de hormigón húmedo con bajo contenido en clínker, así como a unos procedimientos de preparación de dicha composición de hormigón.

10 **Antecedentes tecnológicos**

15 En el campo de los hormigones estructurales habituales, en particular de los hormigones de tipo C25/30 (es decir, cuya resistencia característica a la compresión 28 días después del amasado, medida en cilindro de 16x32 cm es de por lo menos 25 MPa, según la norma EN 206-1), se constata que la cantidad de cemento está comprendida normalmente entre 260 y 360 kg por m<sup>3</sup> de hormigón. Las normas europeas actuales no prevén de hecho ninguna tasa de cemento inferior a 260 kg/m<sup>3</sup> para los hormigones estructurales comunes.

20 Ahora bien, los procedimientos de fabricación del cemento, y más particularmente de su constituyente primordial, el clínker, son el origen de fuertes emisiones de dióxido de carbono. La producción de granos de clínker supone en efecto:

- a) el precalentamiento y la descarbonatación de la harina cruda que se obtiene mediante trituración de las materias primas, que son en particular la piedra caliza y la arcilla; y
- 25 b) la cocción o la clinkerización de la harina a una temperatura de 1450-1550°C, seguida por un enfriamiento brusco.

30 Estas dos etapas son productoras de CO<sub>2</sub>, por un lado como producto directo de la descarbonatación y por otro lado, como producto secundario de la combustión que se realiza en la etapa de cocción para proporcionar el aumento de temperatura.

35 La tasa de emisión alcanza aproximadamente 560 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada de aglutinante, para un aglutinante utilizado habitualmente para la fabricación de un hormigón C25/30, que contiene el 65% de clínker (sobre una base de 850 kg de CO<sub>2</sub> emitidos como media por tonelada de clínker), y es aún superior para un hormigón de prestaciones ultraaltas.

40 Ahora bien, las fuertes emisiones de dióxido de carbono en los procedimientos habituales de producción de composiciones cementosas y de hormigón constituyen un problema medioambiental principal, y, en el contexto actual, están sujetas a elevadas penalizaciones en el plano económico.

45 Por lo tanto, existe una fuerte necesidad de un procedimiento que permita producir hormigón con unas emisiones asociadas de dióxido de carbono reducidas, presentando dicho hormigón unas propiedades mecánicas satisfactorias y en particular equivalentes a las de los hormigones de uso común existentes, con vistas a su utilización en la industria de la construcción. En particular, se desea que la resistencia característica a la compresión del hormigón sea superior o igual a 25 MPa a los 28 días, de acuerdo con la norma EN 206-1. Por otro lado, se desea en particular que la resistencia media a la compresión del hormigón sea superior o igual a 4 MPa, preferentemente superior o igual a 5 MPa, a 20°C 16 h después del amasado, realizándose la medición según la norma EN 12390-3 en muestras cilíndricas, conservadas según la norma EN 12390-2 a 20°C ± 2°C y humedad relativa superior al 95%. Se desea asimismo que las propiedades reológicas del hormigón húmedo sean satisfactorias, es decir, en particular, que la viscosidad de la mezcla sea suficientemente baja para permitir una manipulación fácil, incluso 2 horas después del amasado.

50 El documento JPH10256666 describe una composición de cemento, para solidificar residuos orgánicos, que comprende entre el 20% y el 40% en peso de un cemento Portland que tiene una superficie específica que varía entre 3000 y 5500 cm<sup>2</sup>/g, entre el 40% y el 60% en peso de una lechada de alto horno que tiene una superficie específica que varía entre 4000 y 10000 cm<sup>2</sup>/g, entre el 10% y el 30% en peso de yeso que tiene una superficie específica que varía entre 3000 y 7000 cm<sup>2</sup>/g.

60 **Resumen de la invención**

Por lo tanto, la invención tiene por objeto una composición de hormigón húmedo tal como la definida en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 que comprende una premezcla aglutinante seca que comprende, en proporciones de masa:

- 65 - clínker Portland en forma de granos que presentan un Dv97 que va de 10 a 30 µm,

siendo la cantidad mínima de dicho clínker determinada en porcentaje en masa según la fórmula (I) para un clínker que presenta un  $Dv_{97}$  que va de 10 a 30  $\mu\text{m}$ , o según la fórmula (II) para un clínker que presenta una superficie específica Blaine superior o igual a 5300  $\text{cm}^2/\text{g}$ :

$$5 \quad [26 \times \ln(Dv_{97k})] - 43 \quad \text{Fórmula (I)}$$

en la que  $Dv_{97k}$  es el  $DV_{97}$  del clínker expresado en  $\mu\text{m}$ ;

10 siendo la cantidad total de clínker en la premezcla aglutinante estrictamente inferior al 60%

- lechada de alto horno según la norma EN 197-1 párrafo 5.2.2 que presenta una tasa de vidrio del 80% como mínimo triturado con una finura mínima  $SSB_L$  de 2500  $\text{cm}^2/\text{g}$ , cuya cantidad mínima en porcentaje en masa se determina según la fórmula (III):

$$15 \quad [1000 \div SSB_L] \times [(-90 \times \ln(Dv_{97k})) + 310] \quad \text{Fórmula (III)}$$

20 en la que  $Dv_{97k}$  es el  $Dv_{97}$  del clínker expresado en  $\mu\text{m}$ ,

$SSB_L$  es la superficie específica Blaine de la lechada expresada en  $\text{cm}^2/\text{g}$ ;

- unos materiales complementarios que presentan un  $Dv_{90}$  inferior o igual a 200  $\mu\text{m}$  seleccionados de entre los polvos de piedra caliza o las cenizas volantes;
- sulfato de calcio;
- entre el 0,05 y el 1,5% en masa de un agente fluidificante.

30 En todas las fórmulas (I) y (III), "ln" significa logaritmo neperiano.

Según un modo de realización, la premezcla aglutinante seca comprende entre el 0,1 y el 0,8%, en masa, de un agente fluidificante, preferentemente de tipo policarboxilato.

35 Según un modo de realización de la premezcla aglutinante seca, el clínker está en forma de granos que presentan un  $Dv_{97}$  que va de 10 a 20  $\mu\text{m}$ .

Según un modo de realización, los materiales complementarios constituyen una carga inerte.

40 Según un modo de realización, la premezcla aglutinante seca comprende además un acelerador y/o un agente portador de aire y/o un agente viscosante y/o un retardador y/o un inertizante de arcillas y/o un fluidificante.

Se describe asimismo una mezcla aglutinante seca que comprende, en proporciones en volumen:

- 45 - por lo menos el 10% de la premezcla aglutinante seca mencionada anteriormente; y
- hasta el 90% de granulados.

50 Los granulados comprenden arena y gravilla, estando la relación en masa entre la cantidad de arena y la cantidad de gravilla comprendida entre 1,5:1 y 1:1,8, preferentemente entre 1,25:1 y 1:1,4, más particularmente entre 1,2:1 y 1:1,2.

La invención tiene por objeto una composición de hormigón húmedo, que comprende entre 140 y 220  $\text{l}/\text{m}^3$  de agua eficaz en asociación con:

- 55 - por lo menos el 10% en volumen de la premezcla aglutinante seca mencionada anteriormente; y
- hasta el 90% en volumen de granulados;

correspondiendo los porcentajes a unas proporciones con respecto al volumen total seco.

60 Los granulados comprenden arena y gravilla, estando la relación en masa entre la cantidad de arena y la cantidad de gravilla comprendida entre 1,5:1 y 1:1,8, preferentemente entre 1,25:1 y 1:1,4, más particularmente entre 1,2:1 y 1:1,2.

65 Según una forma de realización de la composición de hormigón húmedo según la invención, la cantidad de agua eficaz utilizada varía entre 140 y 200  $\text{l}/\text{m}^3$ , preferentemente entre 150 y 180  $\text{l}/\text{m}^3$  (véase EN 206-1 párrafo 3.1.30).

Según un modo de realización, la composición de hormigón húmedo según la invención es un hormigón con umbral.

5 Según un modo de realización, la composición de hormigón húmedo según la invención presenta una resistencia media a la compresión superior a 4 MPa, a 20°C 16 horas después del amasado, y una resistencia característica a la compresión superior a 25 MPa, 28 días después del amasado.

10 Según un modo de realización, la composición de hormigón húmedo según la invención presenta un esparcido comprendido entre 180 y 270 mm, preferentemente entre 215 y 235 mm, a partir del cono de la norma ASTM C230, tras una duración de 1 minuto y 45 segundos, incluidos 30 segundos en presencia de vibraciones de 50 Hz de frecuencia y 0,5 mm de amplitud.

15 Según un modo de realización de la composición de hormigón húmedo según la invención, el asentamiento con el cono de Abrams (o valor de *slump*) está comprendido entre 0 y 250 mm, preferentemente entre 100 y 240 mm.

La invención tiene asimismo por objeto un objeto de hormigón endurecido de la composición mencionada anteriormente.

20 La invención tiene asimismo por objeto un procedimiento de preparación de una composición de hormigón tal como se define en la reivindicación 7, que comprende la etapa siguiente:

- amasar la premezcla con unos granulados y de entre 140 y 220 l/m<sup>3</sup> de agua eficaz.

25 Se describe asimismo un procedimiento de preparación de una composición de hormigón húmedo que comprende una etapa de amasado de:

- Clínter Portland en forma de granos que presentan un Dv97 que va de 10 a 30 μm o que presentan una superficie específica Blaine superior o igual a 5300 cm<sup>2</sup>/g, preferentemente superior o igual a 5500 cm<sup>2</sup>/g,

30 estando la cantidad mínima de dicho clínter en kg/m<sup>3</sup> determinada según la fórmula (V) para un clínter que presenta un Dv97 que va de 10 a 30 μm, o según la fórmula (VI) para un clínter que presenta una superficie específica Blaine superior o igual a 5300 cm<sup>2</sup>/g:

35 
$$\left[ (90 \times \ln(Dv97_k)) - 150 \right] \times (E_{ef} \div 140)$$
 Fórmula (V)

en la que Dv97<sub>k</sub> es el Dv97 del clínter expresado en μm,

40 E<sub>ef</sub> es la cantidad de agua eficaz en l/m<sup>3</sup>

$$\left[ (-0,021 \times SSB_k) + 263 \right] \times (E_{ef} \div 140)$$
 Fórmula (VI)

45 en la que SSB<sub>k</sub> es la superficie específica Blaine del clínter expresada en cm<sup>2</sup>/g,

E<sub>ef</sub> es la cantidad de agua eficaz en l/m<sup>3</sup>;

- lechada, cuya cantidad mínima en kg/m<sup>3</sup> se determina según la fórmula (VII) en el caso de una mezcla con un clínter que presenta un Dv97 que va de 10 a 30 μm, o según la fórmula (VIII) en el caso de una mezcla con un clínter que presenta una superficie específica Blaine superior o igual a 5300 cm<sup>2</sup>/g:

50 
$$(3500 \div SSB_L) \times \left[ -90 \times \ln(Dv97_k) + 310 \right] \times (E_{ef} \div 140)$$
 Fórmula (VII)

55 en la que Dv97<sub>k</sub> es el Dv97 del clínter y se expresa en μm,

SSB<sub>L</sub> es la superficie específica Blaine de la lechada expresada en cm<sup>2</sup>/g,

60 E<sub>ef</sub> es la cantidad de agua eficaz en l/m<sup>3</sup>;

$$(3500 \div SSB_L) \times \left[ 0,021 \times SSB_k - 103 \right] \times (E_{ef} \div 140)$$
 Fórmula (VIII)

en la que  $SSB_k$  y  $SSB_L$  son respectivamente la superficie específica Blaine del clinker y de la lechada expresadas en  $cm^2/g$ ,

$E_{ef}$  es la cantidad de agua eficaz en  $l/m^3$ ;

- sulfato de calcio;
- materiales complementarios, que presentan un  $Dv_{90}$  inferior o igual a  $200 \mu m$ , cuya cantidad mínima en  $kg/m^3$  se determina según la fórmula (IX) siguiente:

$$220 - (\text{cantidad de lechada}) - (\text{cantidad de clinker}) - (\text{cantidad de sulfato de calcio})$$

Fórmula (IX)

- de  $1500$  a  $2200 kg/m^3$ , preferentemente de  $1700$  a  $2000 kg/m^3$  de granulados;
- un agente fluidificante;
- eventualmente un acelerador y/o un agente portador de aire y/o un agente viscosante y/o un retardador y/o un inertizante de arcillas; con
- entre  $140$  y  $220 l/m^3$  de agua eficaz,

siendo la cantidad total de clinker en el hormigón húmedo inferior o igual a  $200 kg/m^3$ .

En todas las fórmulas (V) y (VII), "ln" significa logaritmo neperiano.

Según un modo de realización del procedimiento de preparación de una composición de hormigón húmedo, el clinker y/o la lechada y/o los materiales complementarios son tales como los definidos anteriormente en relación con la premezcla.

Según un modo de realización del procedimiento de preparación de una composición de hormigón húmedo, la cantidad de agua eficaz utilizada varía entre  $140$  y  $200 l/m^3$ , preferentemente entre  $150$  y  $180 l/m^3$ .

Se describe asimismo un procedimiento de preparación de un hormigón húmedo colado, que comprende la etapa siguiente:

- colar una composición de hormigón húmedo tal como la definida anteriormente.

Se describe asimismo un procedimiento de fabricación de un objeto de hormigón, que comprende una etapa de:

- endurecimiento de una composición de hormigón húmedo tal como la definida anteriormente o de una composición de hormigón húmedo colada tal como la definida anteriormente.

La invención permite responder a la necesidad de reducción de las emisiones de  $CO_2$  hasta ahora insatisfecha por los hormigones conocidos. En efecto, la cantidad de cemento (y en particular de clinker) utilizada en el marco de la presente invención es inferior a la que es necesaria tradicionalmente. Más precisamente, la emisión de  $CO_2$  inducida se puede reducir del orden del  $50$  al  $60\%$  con respecto a un hormigón convencional del tipo C25/30, no provocando al mismo tiempo ninguna reducción sustancial de las prestaciones mecánicas del hormigón, ya que la invención proporciona un hormigón que presenta una resistencia característica a la compresión superior o igual a  $25 MPa$   $28$  días después del amasado y un tiempo de desencofrado del orden de  $16$  horas a  $20^\circ C$ . Por otro lado, la reología de las composiciones de hormigón húmedo sigue siendo del mismo orden que la de las composiciones de hormigón habituales. Además, la invención permite, a pesar de una tasa de clinker muy baja, conservar unas resistencias a edad temprana del mismo orden de magnitud que las obtenidas con una formulación que tiene una tasa habitual de clinker.

El hormigón obtenido según la invención presenta asimismo las ventajas siguientes:

- el coste de las premezclas aglomerantes secas puede ser normalmente inferior entre el  $7$  y el  $10\%$  al coste de las premezclas aglutinantes secas utilizadas para preparar un hormigón C25/30 convencional.

Los diversos objetivos y ventajas y modos de realización particulares de la invención se pueden obtener gracias a una optimización exhaustiva del conjunto de los parámetros de formulación y, en particular gracias a:

- una optimización del apilamiento de los granos de los diferentes materiales (que permite minimizar la cantidad de agua para un comportamiento reológico determinado);

- la optimización de la topología de la mezcla, es decir la multiplicación y la homogeneidad en el espacio de las interfaces de adhesión entre partículas de arena y/o granulados mediante unos "puntos de cola" de hidratos de cemento (en particular a través de la utilización de granos de clínker aproximadamente entre 2 y 5 veces más finos que los del cemento Portland ordinario);
- la búsqueda de una "cronoformulación", es decir la utilización de una cantidad mínima de clínker para garantizar la adquisición de la resistencia mecánica a corto plazo, mientras que otros materiales aglutinantes están presentes en una cantidad ajustada para proporcionar la adquisición de la resistencia mecánica a más largo plazo (tomando el relevo en cierta manera del clínker en el incremento de la resistencia mecánica);
- el ajuste de la demanda de agua total mediante una elección de materiales con demanda de agua total relativamente baja (en particular baja porosidad), lo cual permite también maximizar la resistencia a la compresión;
- la optimización de los diferentes adyuvantes y en particular del agente fluidificante (superplastificante), que permite maximizar la reducción de agua eficaz mediante la optimización de la dispersión del polvo y por lo tanto del apilamiento.

### Breve descripción de las figuras

La figura 1 representa el perfil granulométrico del cemento utilizado en los ejemplos siguientes. El tamaño en  $\mu\text{m}$  está representado en las abscisas y el porcentaje en volumen está representado en las ordenadas. La curva nº 1 corresponde al cemento "SPLC dv97 = 16  $\mu\text{m}$  selecto", la curva nº 2 corresponde al cemento CEM I 52,5 HTS Le Teil y la curva nº 3 corresponde al cemento "SPLC dv97 = 15  $\mu\text{m}$  micronizado" (véase el ejemplo 4).

La figura 2 representa el perfil granulométrico de los rellenos de piedra caliza utilizados en los ejemplos siguientes. El tamaño en  $\mu\text{m}$  está representado en las abscisas y el porcentaje en volumen está representado en las ordenadas. La curva nº 1 representa el relleno BL200, la curva nº 2 representa el relleno Calgar FV, la curva nº 3 representa el relleno Mikhart 15 y la curva nº 4 representa el relleno Calgar 40 (véase el ejemplo 4).

La figura 3 representa el perfil granulométrico de las lechadas utilizadas en los ejemplos siguientes. El tamaño en  $\mu\text{m}$  está representado en las abscisas y el porcentaje de volumen está representado en las ordenadas. La curva nº 1 representa la lechada de Fos/Mer triturada industrialmente con una superficie Blaine de 3260  $\text{cm}^2/\text{g}$ . La curva nº 2 representa esta misma lechada micronizada con una superficie Blaine de 9150  $\text{cm}^2/\text{g}$  (véase el ejemplo 4).

La figura 4 representa el perfil granulométrico de los granulados utilizados en los ejemplos siguientes. El tamaño en  $\text{mm}$  está representado en las abscisas y el porcentaje en volumen acumulado está representado en las ordenadas. La curva nº 1 representa la arena de Honfleur 0/4R (arena rodada de río), la curva nº 2 representa la arena 0/3,15 de Cassis (arena triturada), la curva nº 3 representa el granulado 6,3/10 de Cassis (gravilla triturada), la curva nº 4 representa el granulado 0/5R de St Bonnet (véase el ejemplo 4).

### Descripción de modos de realización de la invención

La invención se describe ahora con mayor detalle y de manera no limitativa en la descripción siguiente.

#### Clínker

Por "clínker" se entiende según la presente invención un clínker Portland tal como el definido en la norma EN 197-1 párrafo 5.2.1.

El clínker Portland según la invención se podrá obtener a partir de los cementos Portland habituales, y en particular de los cementos descritos en la norma europea EN 197-1.

Dicho cemento debe estar triturado y/o cortado (por clasificación neumática) con el fin de proporcionar clínker que presenta las características requeridas según la invención, es decir un  $D_{v97}$  que va de 10 a 30  $\mu\text{m}$ , preferentemente que va de 10 a 20  $\mu\text{m}$ . Se describe asimismo un cemento que presenta una superficie específica Blaine superior o igual a 5300  $\text{cm}^2/\text{g}$ , preferentemente superior o igual a 5500  $\text{cm}^2/\text{g}$  según la norma EN 196-6 párrafo 4.

Según la invención, el clínker presenta un  $D_{v97}$  que va de 10 a 30  $\mu\text{m}$ .

Se describe asimismo un cemento que presenta una superficie específica Blaine superior o igual a 5300  $\text{cm}^2/\text{g}$ , preferentemente superior o igual a 5500  $\text{cm}^2/\text{g}$ .

5 El clinker puede ser calificado según la invención de clinker ultrafino. El cemento puede ser triturado por ejemplo con la ayuda de un taller de trituración que comprende un triturador primario de tipo muela o vertical acoplado a un triturador de acabado de tipo Horomill<sup>®</sup>, pendular o triturador de bolas, o triturador de chorros de aire. Se puede utilizar asimismo un selector o clasificador neumático de segunda, tercera generación o de muy alta eficacia.

10 Se desea, reduciendo el tamaño del clinker, maximizar las distancias de difusión de los granos de cemento de manera que se maximice la homogeneidad de la matriz a través de una distribución óptima de los puntos de cola entre partículas.

15 El Dv97 (en volumen) corresponde al 97<sup>o</sup> percentil de la distribución de tamaño de las partículas, es decir que el 97% de las partículas tienen un tamaño inferior al Dv97 y el 3% tienen un tamaño superior al Dv97. Asimismo, el Dv90 corresponde al 90<sup>o</sup> percentil de la distribución de tamaño de las partículas, es decir que el 90% de las partículas tienen un tamaño inferior al Dv90 y el 10% tienen un tamaño superior al Dv90.

20 Generalmente, el Dv90, el Dv97 y las demás magnitudes del mismo tipo que son características del perfil granulométrico (distribución volumétrica) de un conjunto de partículas o granos pueden ser determinados por granulometría láser para las partículas de tamaño inferior a 200 µm, o por tamizado para las partículas de tamaño superior a 200 µm.

25 Sin embargo, cuando las partículas individuales tienen tendencia a la agregación, es conveniente determinar su tamaño por microscopía electrónica, puesto que el tamaño aparente medido por granulometría por difracción láser es entonces más grande que el tamaño de partícula real, lo cual es susceptible de falsear la interpretación (aglomeración y floculación).

Puede ser preferible utilizar un cemento con alto contenido en alcalinos solubles. Esto permite por ejemplo activar la componente lechada.

#### 30 Lechada

Mediante el término "lechada" se entiende según la presente invención una lechada de alto horno según la norma EN 197-1 párrafo 5.2.2 que presenta una tasa de vidrio del 80% como mínimo, triturada con una fineza mínima (superficie específica Blaine, procedimiento normalizado EN 196-6) de 2500 cm<sup>2</sup>/g.

35 Las lechadas según la invención se pueden utilizar solas o en combinación entre sí. El experto en la materia elegirá unas lechadas apropiadas en función de su reactividad, es decir su aptitud para promover la resistencia a la compresión entre 1 día y 28 días después del amasado. Esta aptitud varía según el tipo y la procedencia particular de las lechadas utilizadas.

#### 40 Materiales complementarios

Por "materiales complementarios" se entiende unos materiales en forma de granos que presentan un Dv90 inferior o igual a 200 µm, y preferentemente un Dv97 inferior o igual a 200 µm.

45 Estos materiales pueden servir de materiales de relleno de la matriz, es decir que pueden llenar los intersticios entre los demás materiales cuyos granos tienen unos tamaños superiores.

50 Aunque se pueda prever que los materiales complementarios sean unos materiales aglutinantes, la optimización (en particular en términos de coste) de los hormigones según la invención conduce a preferir que los materiales complementarios sean una carga inerte, es decir que sean unos materiales no aglutinantes (sin actividad hidráulica o puzolánica).

55 Se podrán utilizar por ejemplo como materiales complementarios unos polvos de piedra caliza (reellenos de piedra caliza) o unas cenizas volantes. Se describen asimismo unos esquistos calcinados, unas metacaolinas, unos reellenos silíceos, unos polvos de sílice, unas puzolanas (véase la norma EN 197-1 párrafo 5.2.3), unas lechadas, o también clinker diferente al clinker según la invención.

#### Sulfato de calcio

60 Se entiende por "sulfato de calcio" según la presente invención cualquier material que permita aportar sulfato (SO<sub>3</sub>) al aglutinante, tal como se define en la norma EN 197-1 párrafo 5.4.

65 El sulfato de calcio según la invención se puede seleccionar en particular de entre el yeso, el hemihidrato, la anhidrita o sus mezclas. El sulfato de calcio puede existir en el estado natural o puede proceder de la industria en forma de subproducto de ciertos procedimientos industriales.

La cantidad de sulfato de calcio está ajustada de manera habitual con el fin de situarse en el punto óptimo de la resistencia mecánica a la compresión a las 24 h y a 20°C. Preferentemente, la cantidad de sulfato de calcio según la invención, determinada según el procedimiento descrito en la norma EN 196-2 párrafo 8, se sitúa entre el 2,0 y el 3,5%, en porcentaje en masa de sulfato (SO<sub>3</sub>) con respecto a la masa de la mezcla (clínker + lechada + material complementario + sulfato de calcio).

#### Agua

El hormigón comprende diferentes categorías de agua. En primer lugar, el agua eficaz es el agua interna del hormigón, situada entre los granos del esqueleto sólido formado por los granulados, el clínker, la lechada y los materiales complementarios. El agua eficaz representa por lo tanto el agua necesaria para la hidratación y la obtención de la consistencia. Por otro lado, el hormigón comprende agua retenida por la porosidad de los granulados, de la lechada y de los materiales complementarios. Esta agua no se tiene en cuenta en el agua eficaz. Se supone que está atrapada y que no participa en la hidratación del cemento y en la obtención de la consistencia. El agua total representa toda el agua presente en la mezcla (en el momento del malaxado).

#### Premezclas aglutinantes secas

La premezcla aglutinante seca comprende, en proporciones en masa:

- Clínker Portland en forma de granos con un Dv97 que va de 10 a 30 µm,

siendo la cantidad mínima de dicho clínker en porcentaje en masa determinada según la fórmula (I) para un clínker que presenta un Dv97 que va de 10 a 30 µm:

$$\left[ 26 \times \ln(Dv97_k) \right] - 43$$

Fórmula (I)

en la que Dv97<sub>k</sub> está expresado en µm

- lechada, cuya cantidad mínima en porcentaje en masa se determina según la fórmula (III):

$$\left[ 1000 \div SSB_L \right] \times \left[ (-90 \times \ln(Dv97_k)) + 310 \right]$$

Fórmula (III)

en la que Dv97<sub>k</sub> es el Dv97 del clínker expresado en µm,

SSB<sub>L</sub> es la superficie específica Blaine de la lechada expresada en cm<sup>2</sup>/g;

siendo la cantidad total de clínker en la premezcla aglutinante estrictamente inferior al 60%.

Preferentemente, la cantidad mínima de dicho clínker en porcentaje en masa se determina según la fórmula (I bis) para un clínker que presenta un Dv97 que va de 10 a 30 µm. Se describe asimismo la fórmula (II bis) para un clínker que presenta una superficie específica Blaine superior o igual a 5300 cm<sup>2</sup>/g:

$$\left[ 26 \times \ln(Dv97_k) \right] - 37$$

Fórmula (I bis)

en la que Dv97<sub>k</sub> está expresado en µm

$$\left[ -6.10^{-3} \times SSB_k \right] + 81$$

Fórmula (II bis)

en la que SSB<sub>k</sub> es la superficie específica Blaine del clínker expresada en cm<sup>2</sup>/g;

y la cantidad mínima de lechada en porcentaje en masa se determina según la fórmula (III bis) en el caso de una mezcla con un clínker que presenta un Dv97 que va de 10 a 30 µm. Se describe asimismo la fórmula (IV bis) en el caso de una mezcla con un clínker que presenta una superficie específica Blaine superior o igual a 5300 cm<sup>2</sup>/g:

$$\left[ 1000 \div SSB_L \right] \times \left[ (-90 \times \ln(Dv97_k)) + 330 \right]$$

Fórmula (III bis)

en la que Dv97<sub>k</sub> es el Dv97 del clínker expresado en µm,

SSB<sub>L</sub> es la superficie específica Blaine de la lechada expresada en cm<sup>2</sup>/g;

$$\left[ 1000 \div \text{SSB}_L \right] \times \left[ (0,021 \times \text{SSB}_k) - 83 \right]$$

Fórmula (IV bis)

en la que SSB<sub>k</sub> y SSB<sub>L</sub> son respectivamente la superficie específica Blaine del clínker y de la lechada expresadas en cm<sup>2</sup>/g.

En todas las fórmulas (I bis) y (III bis), "ln" significa logaritmo neperiano.

La premezcla aglutinante seca comprende además unos materiales complementarios que presentan un Dv90 inferior o igual a 200 µm.

La premezcla aglutinante seca comprende además sulfato de calcio.

El clínker, la lechada y los materiales complementarios se pueden combinar ventajosamente según las proporciones indicadas anteriormente para formar unas premezclas aglutinantes secas (desprovistas de agua añadida), destinadas a ser amasadas con unos granulados y agua.

Unas premezclas aglutinantes secas particularmente ventajosas son las siguientes:

- clínker, lechada y polvo de piedra caliza;
- clínker, lechada y cenizas volantes;

Ventajosamente, se pueden prever asimismo en estas premezclas secas uno o varios adyuvantes utilizados habitualmente en el campo: un acelerador y/o un agente portador de aire y/o un agente viscosante y/o un retardador y/o un inertizante de arcillas y/o un fluidificante. En particular, se incluye un fluidificante (superplastificante), en particular de tipo policarboxilato, con un contenido de entre el 0,05 y el 1,5%, preferentemente entre el 0,1 y el 0,8% en porcentajes en masa.

Se entiende por "inertizante de arcillas" cualquier molécula que permita disminuir o anular el efecto nefasto de las arcillas sobre las propiedades de los aglutinantes hidráulicos. Se pueden utilizar en particular los inertizantes de arcillas tales como se describen en los documentos WO 2006/032785 y WO 2006/032786.

#### Granulados

La definición de los granulados según la invención es la de la norma XPP18-545, sabiendo que los granulados según la invención tienen un tamaño máximo D<sub>max</sub> inferior o igual a 32 mm. Los granulados según la invención comprenden arena (granos de tamaño máximo D<sub>max</sub> inferior o igual a 4 mm, definida en cuanto pasa por un tamiz - norma EN 12620 párrafo 3.8), y/o gravilla (granulados o piedras de tamaño mínimo D<sub>min</sub> superior a 4 mm, definidos en cuanto no pasa por un tamiz - norma EN 12620 párrafo 3.9).

Los granulados pueden ser de naturaleza calcárea, silícea o silicocalcárea.

La arena y la gravilla pueden estar rodadas o trituradas. Una arena triturada comprende una proporción de finos mayor que una arena rodada. Según el vocabulario utilizado en el campo de la arena, los finos son los granos de dimensión inferior a 63 µm (que pasan por un tamiz).

Cuando la arena contiene unos finos en cantidad superior al 1% (fracción en masa en la arena), es importante tener en cuenta la cantidad de finos aportada por la arena, disminuyendo la cantidad de los "materiales complementarios" descritos anteriormente en una cantidad igual a la cantidad de finos presente en la arena (fracción inferior a 63 µm) por encima del umbral del 1%.

Preferentemente, el contenido de arcilla en la arena y los granulados es inferior al 1%. En efecto, unos contenidos elevados de arcillas afectan negativamente a la trabajabilidad de los hormigones.

La relación en masa entre la cantidad de arena y la cantidad de gravilla está comprendida entre 1,5:1 y 1:1,8, más particularmente entre 1,25:1 y 1:1,4, en particular entre 1,2:1 y 1:1,2, e idealmente es igual o cercana a 1:1.

#### Mezclas aglutinantes secas

Los granulados, el clínker, la lechada, los materiales complementarios, el agente fluidificante, los demás adyuvantes eventuales pueden estar asociados en mezclas aglutinantes secas (desprovistas de agua añadida). Dichas mezclas aglutinantes secas se pueden preparar o bien mezclando una premezcla aglutinante seca definida

anteriormente con los granulados, o bien mezclando directamente los diferentes constituyentes *ab initio*.

Las proporciones en volumen de los diferentes constituyentes se pueden definir entonces de la siguiente manera:

- 5
- por lo menos el 10% de la premezcla aglutinante seca mencionada anteriormente; y
  - hasta el 90% de granulados.

La mezcla aglutinante seca comprende unos materiales complementarios.

10 La mezcla aglutinante seca comprende además sulfato de calcio.

Una mezcla aglutinante seca así definida puede ser un hormigón seco listo para su uso, que se puede utilizar mediante simple amasado con agua.

15 Se describe una mezcla aglutinante seca, en la que las proporciones en volumen de los diferentes constituyentes se pueden definir de la siguiente manera:

- por lo menos el 10% de la premezcla aglutinante seca mencionada anteriormente; y
- hasta el 90% de gravilla.

20 La mezcla aglutinante seca comprende además sulfato de calcio.

Se describe una mezcla aglutinante seca, en la que las proporciones en volumen de los diferentes constituyentes se pueden definir de la siguiente manera:

- 25
- por lo menos el 10% de la premezcla aglutinante seca mencionada anteriormente; y
  - hasta el 90% de arena.

30 La mezcla aglutinante seca comprende además sulfato de calcio.

### Hormigón

Por el término "hormigón húmedo" según la invención se entiende el hormigón fresco (véase la norma EN 206-1 párrafo 3.1.2).

35 El hormigón húmedo según la invención se prepara amasando:

- por lo menos el 10% en volumen de la premezcla aglutinante seca que comprende unos materiales complementarios; y
- hasta el 90% en volumen de granulados;
- con entre 140 y 220 l/m<sup>3</sup> de agua eficaz.

45 Correspondiendo los porcentajes a unas proporciones con respecto al volumen total seco.

El hormigón húmedo según la invención comprende además sulfato de calcio.

50 El hormigón húmedo se puede preparar asimismo amasando directamente la mezcla seca definida anteriormente con entre 140 y 220 l/m<sup>3</sup> de agua eficaz.

El hormigón según la invención se puede preparar asimismo amasando directamente los diferentes ingredientes entre sí y con agua. Se describe un procedimiento de preparación de una composición de hormigón húmedo que comprende una etapa de amasado de:

- 55
- clinker Portland en forma de granos que presentan un D<sub>v97</sub> que va de 10 a 30 μm o que presenta una superficie específica Blaine superior o igual a 5300 cm<sup>2</sup>/g, preferentemente superior o igual a 5500 cm<sup>2</sup>/g,
- 60
- siendo la cantidad mínima de dicho clinker en kg/m<sup>3</sup> determinada según la fórmula (V) para un clinker que presenta un D<sub>v97</sub> que va de 10 a 30 μm, o según la fórmula (VI) para un clinker que presenta una superficie específica Blaine superior o igual a 5300 cm<sup>2</sup>/g:

$$\left[ \left( 90 \times \ln(D_{v97,k}) \right) - 150 \right] \times (E_{ef} \div 140)$$

Fórmula (V)

65

en la que  $Dv97_k$  es el  $Dv97$  del clínker expresado en  $\mu\text{m}$ ,

$E_{ef}$  es la cantidad de agua eficaz en  $\text{l/m}^3$

$$5 \quad [(-0,021 \times SSB_k) + 263] \times (E_{ef} \div 140) \quad \text{Fórmula (VI)}$$

en la que  $SSB_k$  es la superficie específica Blaine del clínker expresada en  $\text{cm}^2/\text{g}$ ,

10  $E_{ef}$  es la cantidad de agua eficaz en  $\text{l/m}^3$ ;

- lechada, cuya cantidad mínima en  $\text{kg/m}^3$  se determina según la fórmula (VII) en el caso de una mezcla con un clínker que presenta un  $Dv97$  que va de 10 a 30  $\mu\text{m}$ , o según la fórmula (VIII) en el caso de una mezcla con un clínker que presenta una superficie específica Blaine superior o igual a 5300  $\text{cm}^2/\text{g}$ :

$$15 \quad (3500 \div SSB_L) \times [-90 \times \ln(Dv97_k) + 310] \times (E_{ef} \div 140) \quad \text{Fórmula (VII)}$$

en la que  $Dv97_k$  es el  $Dv97$  del clínker y se expresa en  $\mu\text{m}$ ,

20  $SSB_L$  es la superficie específica Blaine de la lechada expresada en  $\text{cm}^2/\text{g}$ ,

$E_{ef}$  es la cantidad de agua eficaz en  $\text{l/m}^3$ ;

$$25 \quad (3500 \div SSB_L) \times [0,021 \times SSB_k - 103] \times (E_{ef} \div 140) \quad \text{Fórmula (VIII)}$$

en la que  $SSB_k$  y  $SSB_L$  son respectivamente la superficie específica Blaine del clínker y de la lechada expresadas en  $\text{cm}^2/\text{g}$ ,

30  $E_{ef}$  es la cantidad de agua eficaz en  $\text{l/m}^3$ ;

- sulfato de calcio;

- 35 - materiales complementarios, que presentan un  $Dv90$  inferior o igual a 200  $\mu\text{m}$ , cuya cantidad mínima en  $\text{kg/m}^3$  se determina según la fórmula (IX) siguiente:

$$220 - (\text{cantidad de lechada}) - (\text{cantidad de clínker}) - (\text{cantidad de sulfato de calcio})$$

40  $\text{kg/m}^3$  Fórmula (IX)

- entre 1500 y 2200  $\text{kg/m}^3$ , preferentemente entre 1700 y 2000  $\text{kg/m}^3$  de granulados;

- un agente fluidificante;

- 45 - eventualmente un acelerador y/o un agente portador de aire y/o un agente viscosante y/o un retardador y/o un inertizante de arcillas; con

- entre 140 y 220  $\text{l/m}^3$  de agua eficaz,

50 siendo la cantidad total de clínker en el hormigón húmedo inferior o igual a 200  $\text{kg/m}^3$ .

Se entiende por " $\text{kg/m}^3$ " la masa de materiales a utilizar por  $\text{m}^3$  de hormigón producido.

- 55 Preferentemente, la cantidad mínima de dicho clínker en  $\text{kg/m}^3$  se determina según la fórmula (V bis) para un clínker que presenta un  $Dv97$  que va de 10 a 30  $\mu\text{m}$ , o según la fórmula (VI bis) para un clínker que presenta una superficie específica Blaine superior o igual a 5300  $\text{cm}^2/\text{g}$ :

$$60 \quad [(90 \times \ln(Dv97_k)) - 130] \times (E_{ef} \div 140) \quad \text{Fórmula (V bis)}$$

en la que  $Dv97_k$  es el  $Dv97$  del clínker expresado en  $\mu\text{m}$ ,

$E_{ef}$  es la cantidad de agua eficaz en  $\text{l/m}^3$ ;

$$\left[ (-0,021 \times \text{SSB}_k) + 283 \right] \times (E_{ef} \div 140)$$

Fórmula (VI bis)

5 en la que  $\text{SSB}_k$  es la superficie específica Blaine del clínker expresada en  $\text{cm}^2/\text{g}$ ,

$E_{ef}$  es la cantidad de agua eficaz en  $\text{l}/\text{m}^3$ ;

10 y la cantidad mínima de lechada en  $\text{kg}/\text{m}^3$  se determina según la fórmula (VII bis) en el caso de una mezcla con un clínker que presenta un  $Dv_{97}$  que va de 10 a 30  $\mu\text{m}$ , o según la fórmula (VIII bis) en el caso de una mezcla con un clínker que presenta una superficie específica Blaine mayor o igual a 5300  $\text{cm}^2/\text{g}$ :

$$(3500 \div \text{SSB}_L) \times \left[ -90 \times \ln(Dv_{97}_k) + 330 \right] \times (E_{ef} \div 140)$$

Fórmula (VII bis)

15 en la que  $Dv_{97}_k$  es el  $Dv_{97}$  del clínker expresado en  $\mu\text{m}$ ,

$\text{SSB}_L$  es la superficie específica Blaine de la lechada expresada en  $\text{cm}^2/\text{g}$ ,

20  $E_{ef}$  es la cantidad de agua eficaz en  $\text{l}/\text{m}^3$ ;

$$(3500 \div \text{SSB}_L) \times \left[ 0,021 \times \text{SSB}_k - 83 \right] \times (E_{ef} \div 140)$$

Fórmula (VIII bis)

25 en la que  $\text{SSB}_k$  y  $\text{SSB}_L$  son respectivamente las superficies específicas Blaine del clínker y de la lechada expresadas en  $\text{cm}^2/\text{g}$ ,

$E_{ef}$  es la cantidad de agua eficaz en  $\text{l}/\text{m}^3$ .

30 En todas las fórmulas (V bis) y (VII bis), "ln" significa logaritmo neperiano.

La cantidad de dicho clínker utilizada es preferentemente inferior a 180  $\text{kg}/\text{m}^3$ , ventajosamente inferior a 150  $\text{kg}/\text{m}^3$ , preferentemente inferior a 120  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

35 Preferentemente, la cantidad mínima de materiales complementarios en  $\text{kg}/\text{m}^3$  se determina según la fórmula (IX bis) siguiente:

$$250 - (\text{cantidad de lechada}) - (\text{cantidad de clínker}) - (\text{cantidad de sulfato de calcio})$$

40 Fórmula (IX bis)

Según un modo de realización del procedimiento de preparación del hormigón húmedo, la cantidad de agua eficaz utilizada varía entre 140 y 200  $\text{l}/\text{m}^3$ , preferentemente entre 150 y 180  $\text{l}/\text{m}^3$ . Según algunos modos, esta cantidad de agua eficaz se reduce por lo tanto con respecto al hormigón clásico.

45 Preferentemente, los granulados comprenden arena y gravilla y la relación en masa entre la cantidad de arena y la cantidad de gravilla está comprendida entre 1,5:1 y 1:1,8, más particularmente entre 1,25:1 y 1:1,4, en particular entre 1,2:1 y 1:1,2, e idealmente es igual a o cercana a 1:1.

50 Los materiales en cuestión presentan, según unos modos de realización particulares, las mismas características que las que se han descrito anteriormente en relación con las mezclas y premezclas aglutinantes.

El malaxado se efectúa por medio de un malaxador convencional en una planta de hormigón o directamente en un camión hormigonera, durante un tiempo de malaxado habitual en este campo.

55 Las composiciones de hormigón húmedo obtenidas según la invención presentan unas propiedades mecánicas comparables, preferentemente por lo menos tan buenas o incluso mejores con respecto a los hormigones de tipo C25/30 habituales, en particular en términos de resistencia a la compresión a las 16 h y a los 28 días y en términos de reología.

60 En particular, según un modo de realización de la invención, la resistencia media a la compresión es superior o igual a 4 MPa, preferentemente superior o igual a 5 MPa, a 20°C 16 h después del amasado, y superior o igual a 25 MPa, preferentemente superior o igual a 28 MPa, 28 días después del amasado.

Según un modo de realización del hormigón húmedo según la invención, el asentamiento con el cono de Abrams (o valor de *slump*) está comprendido entre 0 y 250 mm, preferentemente entre 100 y 240 mm, siendo la medición efectuada según la norma europea EN 12350-2 de diciembre de 1999.

5 Según un modo de realización del hormigón húmedo según la invención, el esparcido en un minuto está comprendido entre 50 y 140 mm, preferentemente entre 85 y 105 mm utilizando el cono de la norma ASTM C230 en ausencia de vibraciones.

10 Según un modo de realización del hormigón húmedo según la invención, el esparcido en un minuto está comprendido entre 180 y 270 mm, preferentemente entre 215 y 235 mm utilizando el cono de la norma ASTM C230 en presencia de vibraciones, siendo la medición efectuada como se ha indicado en el ejemplo 6 siguiente.

15 Los hormigones según la invención presentan así unas propiedades reológicas equivalentes a los hormigones C25/30 habituales.

20 Preferentemente, los hormigones según la invención son unos hormigones con umbral. Se entiende por "hormigón con umbral" un hormigón (húmedo) que necesita la aportación de una energía positiva (por ejemplo, una fuerza de cizalladura, una vibración o un choque) con el fin de activar su flujo. Por el contrario, un hormigón sin umbral fluye solo, sin aportación de energía exterior. Así, el hormigón con umbral se comporta esencialmente, por debajo de una energía umbral, como un sólido elástico deformable; y por encima de esta energía umbral, como un fluido viscoso.

25 La cantidad de clínker utilizada para preparar el hormigón según la invención es muy inferior a la necesaria para preparar un hormigón habitual de tipo C25/30, lo cual permite realizar unos ahorros espectaculares en términos de emisión de CO<sub>2</sub>. Con respecto a una fórmula C25/30 de referencia que contiene 95 kg/m<sup>3</sup> de piedra caliza y 260 kg/m<sup>3</sup> de cemento, un hormigón según la invención que contiene por ejemplo entre 100 y 120 kg/m<sup>3</sup> de clínker permite realizar un ahorro de emisión de CO<sub>2</sub> del orden del 50 al 60%.

30 El hormigón según la invención puede ser colado según los procedimientos habituales; después de la hidratación/endurecimiento se obtienen unos objetos de hormigón endurecido tales como unos elementos de construcción, unos elementos de trabajos de ingeniería u otros.

### Ejemplos

35 Los siguientes ejemplos ilustran la invención sin limitarla.

#### Ejemplo 1: procedimiento de granulometría láser

40 Las curvas granulométricas de los diferentes polvos se obtienen a partir de un granulómetro láser Malvern MS2000. La medición se efectúa en vía húmeda (medio acuoso); el tamaño de las partículas debe estar comprendido entre 0,02 μm y 2 mm. La fuente luminosa está constituida por un láser rojo He-Ne (632 nm) y un diodo azul (466 nm). El modelo óptico es el de Fraunhofer, la matriz de cálculo es de tipo polidispersa.

45 Se efectúa en primer lugar una medición de ruido de fondo con una velocidad de bomba de 2000 rpm, una velocidad de agitador de 800 rpm y una medición del ruido en 10 s, en ausencia de ultrasonidos. Durante la fase de calibración/medición en vacío del aparato, se verifica que la intensidad luminosa del láser es por lo menos igual al 80%, y que se obtiene una curva exponencial decreciente para el ruido de fondo. Si no es el caso, se deben limpiar las lentes de la celda.

50 Se efectúa a continuación una primera medición en la muestra con los parámetros siguientes: velocidad de bomba de 2000 rpm, velocidad de agitador de 800 rpm, en ausencia de ultrasonidos. Se introduce la muestra para obtener una oscuración comprendida entre el 10 y el 20%. Se entiende por "oscuración" la extinción de la señal láser por la suspensión que circula entre el emisor y el sensor central (turbidímetro). Una oscuración del 100% corresponde a una extinción completa de la señal. Por el contrario, una oscuración del 0% corresponde al fluido puro translúcido sin ninguna partícula. La oscuración depende de la concentración en sólidos de la suspensión y del índice de refracción de las partículas. Después de la estabilización de la oscuración, la medición se efectúa con una duración entre la inmersión y la medición fijada a 10 s. La duración de medición es de 30 s (30000 imágenes de difracción analizadas). En el granulograma obtenido, se debe tener en cuenta que una parte de la población del polvo puede estar aglomerada.

60 Se efectúa a continuación una segunda medición (sin vaciar la cuba) con ultrasonidos. Se lleva la velocidad de bomba a 2500 rpm, la agitación a 1000 rpm, los ultrasonidos se emiten al 100% (30 vatios). Este régimen se mantiene durante 3 minutos, y después se vuelve a los parámetros iniciales: velocidad de bomba de 2000 rpm, velocidad de agitador de 800 rpm, ausencia de ultrasonidos. Al cabo de 10 s (para evacuar las eventuales burbujas de aire), se efectúa una medición de 30 s (30000 imágenes analizadas). Esta segunda medición corresponde a un

polvo desaglomerado por dispersión ultrasónica.

Cada medición se repite por lo menos dos veces para verificar la estabilidad del resultado. El aparato se calibra antes de cada sesión de trabajo por medio de una muestra estándar (sílice C10 Sifrac) de la cual se conoce la curva granulométrica. Todas las mediciones presentadas en la descripción y las gamas anunciadas corresponden a los valores obtenidos con ultrasonidos.

## Ejemplo 2: procedimiento de medición de la superficie específica

### Superficie específica BET

La superficie específica de los diversos polvos se mide como sigue. Se extrae una muestra de polvo de masa siguiente: entre 0,1 y 0,2 g para una superficie específica estimada en más de 30 m<sup>2</sup>/g; 0,3 g para una superficie específica estimada en 10-30 m<sup>2</sup>/g; 1 g para una superficie específica estimada en 3-10 m<sup>2</sup>/g; 1,5 g para una superficie específica estimada en 2-3 m<sup>2</sup>/g; 2 g para una superficie específica estimada en 1,5-2 m<sup>2</sup>/g; 3 g para una superficie específica estimada en 1-1,5 m<sup>2</sup>/g.

Se utiliza una celda de 3 cm<sup>3</sup> o 9 cm<sup>3</sup> según el volumen de la muestra. Se pesa el conjunto de la celda de medición (celda + varilla de vidrio). Se añade después la muestra en la celda: el producto no debe estar a menos de un milímetro de la parte superior del estrechamiento de la celda. Se pesa el conjunto (celda + varilla de vidrio + muestra). Se coloca la celda de medición en un puesto de desgasificación y se desgasifica la muestra. Los parámetros de desgasificación son de 30 min/45°C para el cemento Portland, el yeso, las puzolanas; de 3 h/200°C para las lechadas, humos de sílice, cenizas volantes, cemento aluminoso, piedra caliza; y de 4 h/300°C para la alúmina de control. La celda se tapona rápidamente con un tapón después de la desgasificación. Se pesa el conjunto y se anota el resultado. Todos los pesajes se realizan sin el tapón. La masa de la muestra se obtiene restando la masa de la celda a la masa de la celda + muestra desgasificada.

Se efectúa a continuación el análisis de la muestra tras haberla colocado en el puesto de medición. El analizador es el SA 3100 de Beckman Coulter. La medición se basa en la adsorción de nitrógeno por la muestra a una temperatura determinada, en este caso la temperatura del nitrógeno líquido es de -196°C. El aparato mide la presión de la celda de referencia en la que el adsorbato está a su presión de vapor saturante y la de la celda de muestra en la que se inyectan unos volúmenes conocidos de adsorbato. La curva resultante de estas mediciones es la isoterma de adsorción. En el proceso de medición, es necesario conocer el volumen muerto de la celda: por lo tanto, se realiza una medición de este volumen con helio antes del análisis.

La masa de la muestra calculada previamente se introduce como parámetro. Se determina la superficie BET mediante el programa por regresión lineal a partir de la curva experimental. La desviación estándar de reproducibilidad obtenida a partir de 10 mediciones en una sílice de superficie específica de 21,4 m<sup>2</sup>/g es de 0,07. La desviación estándar de reproducibilidad obtenida a partir de 10 mediciones en un cemento de superficie específica de 0,9 m<sup>2</sup>/g es de 0,02. Una vez cada dos semanas se efectúa un control en un producto de referencia. Dos veces al año se realiza un control con la alúmina de referencia suministrada por el constructor.

### Superficie específica Blaine:

Se determina según la norma EN 196-6 párrafo 4.

## Ejemplo 3: materias primas utilizadas

En la continuación de la descripción, se utilizan más particularmente los materiales siguientes.

Cemento: se utiliza un cemento CPA CEM I 52.5 (procedente de Lafarge Ciments - cementera de Saint-Pierre la Cour, denominado "SPLC"). Se utilizaron dos modos de obtención: la selección y la micronización.

La selección se realiza por medio de un separador Alpine Hosokawa AFG100. Se produce una calidad de cemento según este modo: el cemento "SPLC dv97 = 16 µm selecto" (velocidad de turbina de 13000 rpm, 42,95% de material recuperado);

La micronización se realiza mediante un molino de chorros de aire opuestos Alpine Hosokawa AFG200. La velocidad de rotación de la turbina se ha regulado de manera que se obtenga un dv97 de 15 µm. Este cemento micronizado se denominará en adelante: "SPLC dv97 = 15 µm micronizado"

El perfil granulométrico de estas dos calidades de cemento es visible en la figura 1. Este cemento se obtiene a partir de una mezcla de base de 95% de clínker, 2% de piedra caliza y 3% de relleno, a la que se añade el 5% de yeso o de anhidrita y eventualmente unos agentes de molienda y/o reductores de cromo VI. El cemento comprende así por lo menos el 90% de clínker.

Para el hormigón de control (C25/30 de referencia) se utiliza cemento HTS CEM I 52.5 PMES Le Teil (proveedor Lafarge).

La lechada procede de Fos sur Mer. Ha sido triturada industrialmente. Se utilizaron dos finuras: 3260 y 3500 cm<sup>2</sup>/g (superficie Blaine). Se micronizó una muestra de la lechada a 3260 cm<sup>2</sup>/g de superficie Blaine a una superficie Blaine de 9150 cm<sup>2</sup>/g con la ayuda de un molino de chorros de aire opuestos Alpine Hosokawa AFG200. Las apelaciones de los diferentes lotes de lechada se refieren a las superficies Blaine de la siguiente manera:

- "Lechada 3500 cm<sup>2</sup>/g";
- "Lechada 3260 cm<sup>2</sup>/g";
- "Lechada 9150 cm<sup>2</sup>/g micronizada";

Los perfiles granulométricos de las lechadas a 3260 cm<sup>2</sup>/g y 9150 cm<sup>2</sup>/g de superficie Blaine son visibles en la figura 3.

Materiales complementarios: se utilizan los rellenos de piedra caliza listados a continuación.

- Calgar 40 (Provençale SA) con una superficie específica BET de 0,99 m<sup>2</sup>/g y un valor con azul de metileno MB<sub>F</sub> de 0,6 g/100 g según la norma NF EN 933-9;
- Mikhart 15 (proveedor Provençale SA) con una superficie específica BET de 1,2 m<sup>2</sup>/g y un valor con azul de metileno MB<sub>F</sub> de 0,27 g/100 g según la norma NF EN 933-9;
- BL200 (proveedor Omya) con una superficie específica BET de 0,86 m<sup>2</sup>/g y un valor con azul de metileno MB<sub>F</sub> de 0,3 g/100 g según la norma NF EN 933-9;
- Calgar FV (Provençale SA) con una superficie específica BET de 1,08 m<sup>2</sup>/g y un valor con azul de metileno MB<sub>F</sub> de 0,3 g/100 g según la norma NF EN 933-9.

El perfil granulométrico de estos materiales es visible en la figura 2.

Adyuvante:

Los productos utilizados en los ejemplos son:

- Superplastificante "Optima 203" de Chryso, que es de tipo policarboxilato;
- Plastificante "Chrysoplast 209" de Chryso, que es de tipo lignosulfonato;
- Superplastificante "Premia 180" de Chryso, que es de tipo policarboxilato;
- Plastificante "Optima 100" de Chryso, que es de tipo polifosfonato;
- Plastificante "Omega 101" de Chryso, que es de tipo policarboxilato;
- Antiespuma "TBP", que es a base de Tributillfosfato.

Granulados: se utilizan los materiales listados a continuación:

- Arena 0/3,15 de Cassis (arena triturada);
- Arena de Honfleur 0/4R (arena rodada de río);
- Arena St Bonnet 0/5R (arena rodada de río);
- Granulados 6,3/10 de Cassis (gravilla triturada).

El perfil de distribución granulométrica de estos materiales está representado en la figura 4.

#### Ejemplo 4: formulaciones de hormigón según la invención

Las fórmulas siguientes son unas fórmulas de composiciones de hormigón según la invención, con la excepción de la fórmula C25/30 que es un control. Los materiales utilizados son los descritos en el ejemplo 3. Cada número corresponde a la masa de material utilizada (en kg) para preparar 1 m<sup>3</sup> de hormigón.

##### Fórmula G3-1 (fuera de la invención)

Granulados Cassis 6,3/10	941,5
Arena Honfleur 0/4R	941,5
Cemento SPLC dv97 = 16 µm selecto	100
Relleno BL200	218,8
Lechada 3500 cm <sup>2</sup> /g	60
Adyuvante Optima 203	2,3
Agua total	164,2
Agua eficaz	142

Fórmula G3-2

	Granulados Cassis 6,3/10	941,5
	Arena Cassis 0/3,15	941,5
5	Cemento SPLC dv97 = 16 µm selecto	100
	Relleno BL200	93,8
	Lechada 3500 cm <sup>2</sup> /g	60
	Adyuvante Optima 203	2,3
	Agua total	164,2
10	Agua eficaz	145

En la fórmula G3-2 la cantidad de relleno se reduce con respecto a la fórmula G3-1 ya que la arena utilizada (triturada y no rodada) comprende una gran cantidad de finos, que se tiene en cuenta en la fracción de los materiales complementarios.

15

Fórmula G3-3 (fuera de la invención)

	Granulados Cassis 6,3/10	941,5
	Arena Honfleur 0/4R	941,5
20	Cemento SPLC dv97 = 16 µm selecto	100
	Relleno Calgar FV	218,8
	Lechada 3500 cm <sup>2</sup> /g	60
	Adyuvante Optima 203	2,5
	Agua total	164
25	Agua eficaz	142

Fórmula G3-4 (fuera de la invención)

	Granulados Cassis 6,3/10	941,5
	Arena Honfleur 0/4R	941,5
30	Cemento SPLC dv97 = 16 µm selecto	100
	Relleno Calgar 40	217,9
	Lechada 3500 cm <sup>2</sup> /g	60
	Adyuvante Optima 203	3
35	Agua total	163,6
	Agua eficaz	142

Fórmula G3-5 (fuera de la invención)

	Granulados Cassis 6,3/10	941,5
	Arena Honfleur 0/4R	941,5
40	Cemento SPLC dv97 = 16 µm selecto	100
	Relleno Mikhart 15	217,9
	Lechada 3500 cm <sup>2</sup> /g	60
45	Adyuvante Optima 203	3,5
	Agua total	163,2
	Agua eficaz	142

Fórmula G4-1

50	Granulados Cassis 6,3/10	920
	Arena Honfleur 0/4R	920
	Cemento SPLC dv97 = 16 µm selecto	120
	Relleno BL200	126
55	Lechada 3500 cm <sup>2</sup> /g	100
	Adyuvante CHRYSOPLAST 209	0,80
	Agua total	193
	Agua eficaz	171

60 Fórmula G4-2

	Granulados Cassis 6,3/10	920
	Arena Honfleur 0/4R	920
	Cemento SPLC dv97 = 16 µm selecto	120
65	Relleno BL200	144
	Lechada 3500 cm <sup>2</sup> /g	80

Adyuvante CHRYSOPLAST 209	1,02
Agua total	195
Agua eficaz	173

5 Las fórmulas G4-3 y G4-4 ponen en evidencia el impacto de la finura de la lechada en su dosificación.

Fórmula G4-3

10	Granulados Cassis 6,3/10	920
	Arena St. Bonnet 0/5R	920
	Cemento SPLC dv97 = 15 µm micronizado	120
	Relleno BL200	144
	Lechada 3260 cm <sup>2</sup> /g	80
15	Adyuvante OMEGA 101	0,86
	Adyuvante TBP	0,03
	Agua total	184,1
	Agua eficaz	161

Fórmula G4-4

20	Granulados Cassis 6,3/10	920
	Arena St. Bonnet 0/5R	920
	Cemento SPLC dv97 = 15 µm micronizado	120
	Relleno BL200	181
25	Lechada 9150 cm <sup>2</sup> /g	40
	Adyuvante OMEGA 101	1,07
	Adyuvante TBP	0,03
	Agua total	184,1
30	Agua eficaz	161

Fórmula C25/30 (referencia)

35	Granulados Cassis 6,3/10	900
	Arena Honfleur 0/4R	900
	Cemento CEM I 52.5 N HTS Le Teil	257
	Relleno BL200	95
	Adyuvante CHRYSOPLAST 209	0,54
40	Agua total	189
	Agua eficaz	173

**Ejemplo 5: prestaciones de los hormigones según la invención**

Las prestaciones de los hormigones según la invención se evalúan en los puntos siguientes.

- 45 - Resistencia a la compresión. Se determina según la norma EN 12390-3 en probetas cilíndricas, conservadas según la norma EN 12390-2 a 20°C ± 2°C y humedad relativa superior al 95%.

50 El resultado de las mediciones de resistencia media a la compresión se indica en la tabla 1 siguiente: muestra en particular que las formulaciones anteriores permiten obtener una resistencia a la compresión media superior o igual a 4 MPa a las 16 h y superior o igual a 25 MPa (incluso cerca de 30 MPa) a los 28 días.

Tabla 1 – resistencias medias a la compresión (en MPa) hasta los 28 días medidas en cilindro de diámetro de 70 mm

	Plazo: 16 h	Plazo: 24 h	Plazo: 28 d
C25/30 ref	nm	9,8	32,2
G3-1	5,4	6,3	29,8
G3-2	nm	7,5	nm
G3-3	5,4	6,5	29,1
G3-4	5,4	6,9	29,1
G3-5	5,5	6,7	29,2
G4-1	6,1	7,9	36,8
G4-2	nm	nm	30,1
G4-3	4,1	6,1	29,4
G4-4	4,1	6,2	28,1

nm = no medido.

## ES 2 883 122 T3

Se evalúa asimismo la reología de las composiciones de hormigón anteriores. Para ello, se efectúa una medición del esparcido "estático" y "vibrado" de la siguiente manera:

- 5 Se utiliza el cono ASTM descrito en la norma ASTM C230. El cono se posiciona sobre una mesa vibrante electromagnética SINEX TS100 provista de una placa cuadrada de 600 mm × 600 mm (frecuencia 50 Hz, amplitud 0,5 mm). La medición del esparcido se realiza sobre una superficie seca. El esparcido se mide según 3 direcciones, se considera el valor medio redondeado a aproximadamente 5 mm.
- 10 Para la preparación: se introducen 2 litros de mezcla seca en la cuba; se mezcla 30 segundos en seco a baja velocidad; se detiene el mezclador; se introduce la cantidad total de agua y el adyuvante líquido; se malaxa 2 minutos a baja velocidad. Al final del amasado, es decir 2 minutos tras el contacto con el agua (T=2 min), el cono se llena de una vez y se nivela, y después se retira el cono.
- 15 A T=3 min, se mide el esparcido "estático" tras un minuto de espera.  
 A T=3 min 15, se pone en marcha una vibración a 50 Hz y 0,5 mm de amplitud durante 30 s.  
 A T=3 min 45, se mide el esparcido "vibrado".
- 20 Se recupera y se conserva el hormigón en una bolsa de plástico cerrada con el fin de evitar el desecado entre las mediciones. Antes de cada extracción, se agita ligeramente la pasta con la ayuda de una espátula.
- A T = 10 min, el cono se llena de una vez, se nivela y luego se retira el cono.  
 A T = 11 min, se mide el esparcido "estático" tras un minuto de espera.  
 A T = 11 min 15, se pone en marcha una vibración a 50 Hz y 0,5 mm de amplitud durante 30 s.
- 25 A T = 11 min 45, se mide el esparcido "vibrado".

30 Los resultados se muestran en la tabla 2 siguiente. Muestran que los hormigones formulados según la invención presentan unas prestaciones aceptables en términos de reología, incluso tan buenas como las de un hormigón C25/30 habitual. La diferencia entre los resultados obtenidos y sin vibraciones pone en evidencia un comportamiento de fluido con umbral (como para un hormigón C25/30 clásico).

Tabla 2 - prestaciones reológicas (los esparcidos se dan en mm)

	Esparcido a los 3 min estático	Esparcido a los 11 min estático	Esparcido a los 3 min 45 vibrado	Esparcido a los 11 min 45 vibrado
C25/30	95	95	225	225
G3-1	95	95	230	230
G3-2	100	100	225	225
G3-3	90	90	225	220
G3-4	90	90	225	220
G3-5	90	90	225	225
G4-1	100	100	220	215
G4-2	nm	95	nm	225
G4-3	95	nm	215	nm
G4-4	100	nm	215	nm

nm = no medido.

## REIVINDICACIONES

1. Composición de hormigón húmedo, que comprende entre 140 y 220 l/m<sup>3</sup> de agua eficaz en asociación con:

- 5 - por lo menos el 10% en volumen de premezcla aglutinante seca que comprende en proporciones en masa:
- clínker Portland en forma de granos que presentan un Dv97 que va de 10 a 30 µm, correspondiendo la cantidad mínima de dicho clínker en porcentaje en masa al valor determinado según la fórmula (I)

$$10 \quad [26 \times \ln(Dv97_k)] - 43 \quad \text{Fórmula (I)}$$

en la que Dv97<sub>k</sub> es el DV97 del clínker expresado en µm;

15 siendo la cantidad total de clínker en la premezcla aglutinante estrictamente inferior al 60%;

- lechada de alto horno según la norma EN 197-1 párrafo 5.2.2 que presenta una tasa de vidrio del 80% como mínimo, triturada con una finura mínima SSB<sub>L</sub> de 2500 cm<sup>2</sup>/g, cuya cantidad mínima en porcentaje en masa corresponde al valor determinado según la fórmula (III)

$$20 \quad [1000 \div SSB_L] \times [(-90 \times \ln(Dv97_k)) + 310] \quad \text{Fórmula (III)}$$

en la que Dv97<sub>k</sub> es el Dv97 del clínker expresado en µm,

25 SSB<sub>L</sub> es la superficie específica Blaine de la lechada expresada en cm<sup>2</sup>/g

- unos materiales complementarios que presentan un Dv90 inferior o igual a 200 µm seleccionados de entre los polvos de piedra caliza o las cenizas volantes;
- sulfato de calcio;
- entre el 0,05 y el 1,5% en masa de un agente fluidificante; y

35 - hasta el 90% en volumen de granulados que comprenden arena y gravilla, estando la relación en masa entre la cantidad de arena y la cantidad de gravilla comprendida entre 1,5:1 y 1:1,8;

correspondiendo los porcentajes a unas proporciones con respecto al volumen seco total.

40 2. Composición de hormigón húmedo según la reivindicación 1, caracterizada por que la proporción en masa de agente fluidificante en la premezcla varía entre el 0,1 y el 0,8%.

45 3. Composición de hormigón húmedo según la reivindicación 1, caracterizada por que el agente fluidificante es de tipo policarboxilato.

4. Composición de hormigón húmedo según la reivindicación 1, caracterizada por que la relación en masa entre la cantidad de arena y la cantidad de gravilla está comprendida entre 1,25:1 y 1:1,4.

50 5. Composición de hormigón húmedo según la reivindicación 1, que comprende entre 140 y 200 l/m<sup>3</sup>, preferentemente entre 150 y 180 l/m<sup>3</sup> de agua eficaz.

6. Objeto de hormigón endurecido de la composición según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

55 7. Procedimiento de preparación de una composición de hormigón húmedo que comprende una etapa de amasado de por lo menos el 10% en volumen de la premezcla según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 con hasta el 90% en volumen de los granulados tales como los definidos en la reivindicación 1 y entre 140 y 220 l/m<sup>3</sup> de agua eficaz.

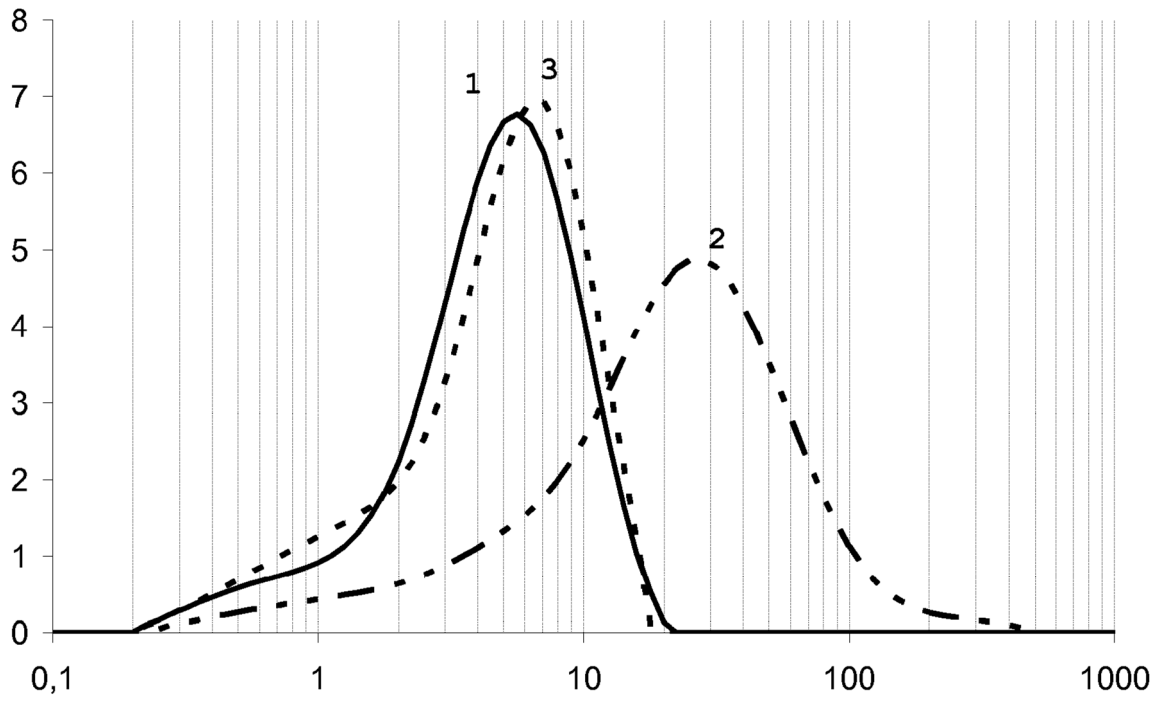


Figura 1

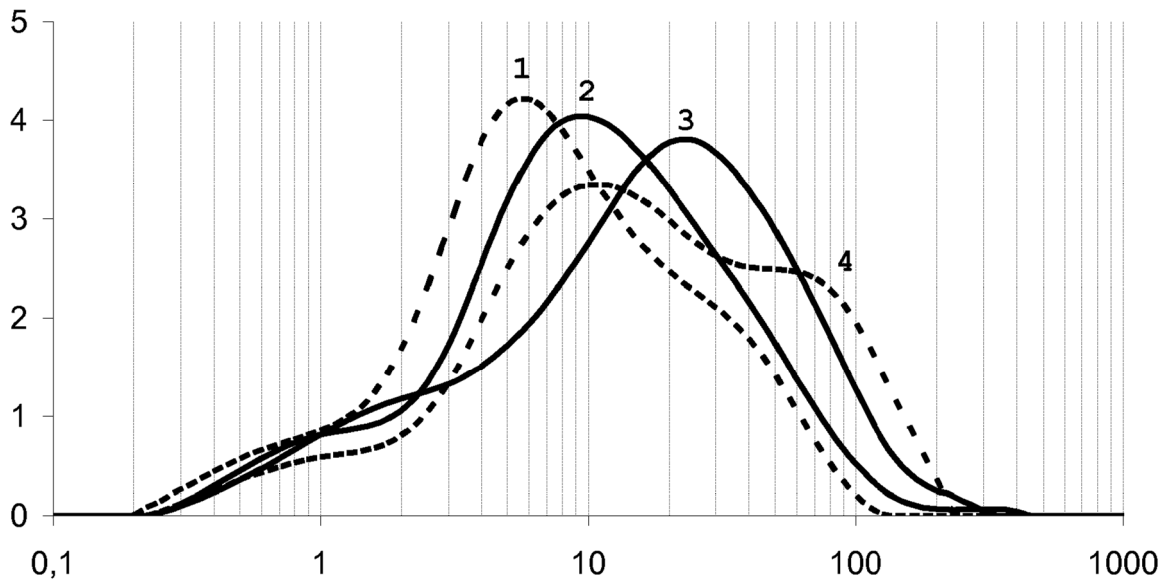


Figura 2

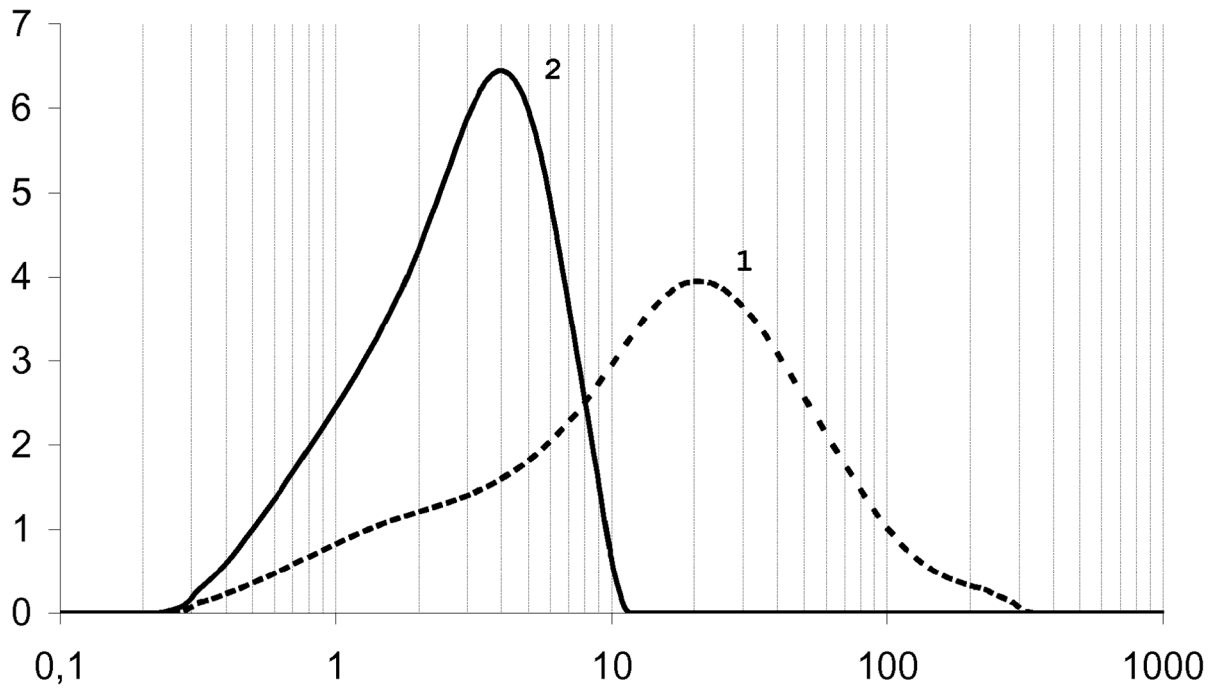


Figura 3

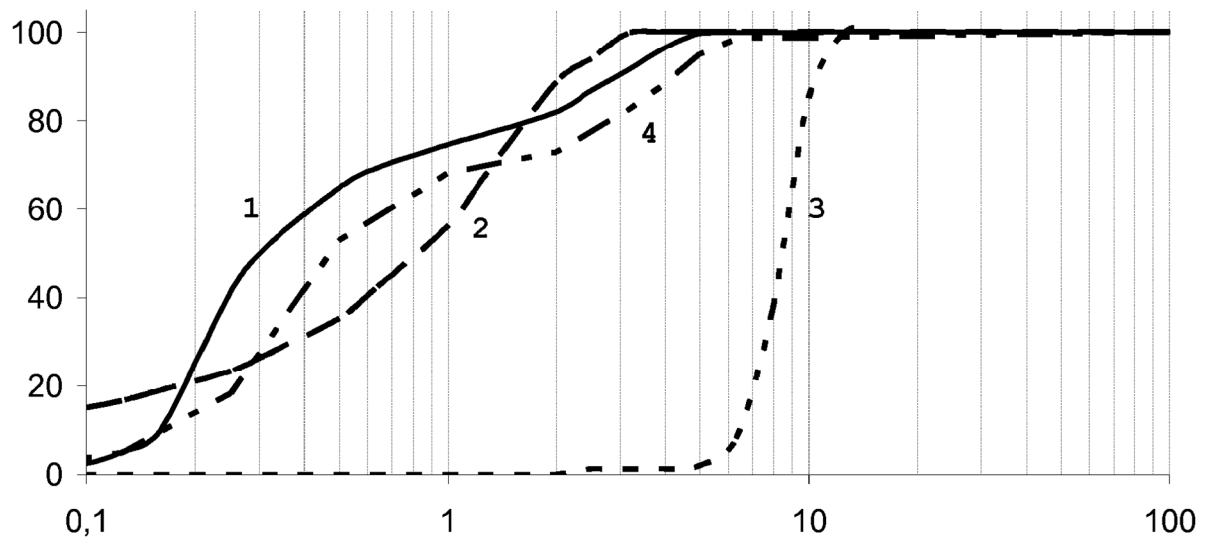


Figura 4