

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 024 622**

51 Int. Cl.:

C04B 22/00 (2006.01)

C04B 28/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.12.2016** **PCT/IB2016/001717**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.06.2017** **WO17093795**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.12.2016** **E 16822261 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.02.2025** **EP 3383816**

54 Título: **Espuma mineral ultraligera**

30 Prioridad:

04.12.2015 EP 15306943

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

04.06.2025

73 Titular/es:

HOLCIM TECHNOLOGY LTD (100.00%)
Grafenauweg 10
6300 Zug, CH

72 Inventor/es:

NEYRAND, CORINNE;
DALAS, FLORENT;
DYKMAN, MÉLANIE;
TINTILLER, PATRICK y
SABIO, SERGE

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 3 024 622 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

Espuma mineral ultraligera

- 5 La presente invención se refiere a un proceso de producción de una espuma mineral y al uso de un cloruro de magnesio como acelerador para mejorar la estabilidad mecánica y/o reducir el colapso de una lechada de cemento espumado.
- 10 Generalmente, una espuma mineral, en particular una espuma de cemento es muy ventajosa para muchas aplicaciones gracias a sus propiedades, tales como sus propiedades de aislamiento térmico, sus propiedades de aislamiento acústico, su durabilidad, su resistencia al fuego y su fácil implementación.
- 15 Una espuma mineral es un material en forma de espuma. Este material es generalmente más ligero que el hormigón típico debido a sus poros o espacios vacíos. Estos poros o espacios vacíos se deben a la presencia de aire en la espuma mineral y pueden estar en forma de burbujas. Se entiende por espuma ultraligera una espuma que generalmente presenta una densidad en su estado seco de entre 20 y 300 kg/m³.
- 20 Cuando se vierte una espuma mineral en un elemento, la espuma mineral puede colapsar debido a la falta de estabilidad de la espuma mineral, por ejemplo durante su colocación o antes de su curado completo. Estos problemas de colapso de la espuma pueden deberse a fenómenos de coalescencia, a fenómenos de maduración de Ostwald, a la presión hidrostática o a fenómenos de drenaje, siendo estos últimos más pronunciados, en particular, en el caso de elementos que presentan una altura considerable.
- 25 En la producción de espumas minerales la dificultad consiste, por lo tanto, en producir una espuma mineral estable en la que se reduzcan estos problemas de colapso. Sin embargo, los procesos conocidos para proporcionar espumas minerales suficientemente estables requieren composiciones de cemento que comprenden numerosos aditivos y que son difíciles y costosas de realizar.
- 30 En el documento US 5 696 1741, se ha propuesto ya el uso simultáneo de componentes (i) catiónicos y (ii) aniónicos para la obtención de espumas minerales. Dichas espumas cementosas comprenden estearatos de amonio como componente aniónico y un componente catiónico denominado Arquad T.
- 35 La solicitud WO 2013/150148 describe espumas a base de cemento que comprenden diferentes aditivos. Estas espumas pueden comprender cemento de aluminato de calcio a fin de permitir un fraguado rápido o componentes minerales finos además del cemento Portland. Sin embargo, la densidad más baja alcanzada con este proceso se limita, en general, a 100 kg/m³.
- 40 La solicitud de patente WO 2011/086333 describe espumas minerales a base de cementos aluminosos. La alta reactividad de estos cementos permite ciertamente la formación de espumas minerales estables y homogéneas, pero los altos costes y la alta reactividad dan como resultado que esta invención sea en muchos casos difícil de utilizar por el usuario.
- 45 El documento US 2015/175 887 divulga una composición de material de construcción preparada a partir de un agregado de espuma y una mezcla acuosa de una composición cementosa. La composición cementosa está constituida, por ejemplo, por un cemento de fraguado rápido y un aglutinante tal como fosfato de magnesio u óxido de magnesio.
- 50 Para satisfacer las necesidades de los usuarios, resulta necesario encontrar un proceso de producción de una espuma mineral ultraligera y altamente estable cuya realización sea sencilla y tenga un bajo coste.
- Además, el problema que la invención pretende resolver es encontrar un proceso de producción de una espuma mineral estable y ultraligera que no se colapse cuando la espuma se vierte verticalmente y cuya realización sea relativamente sencilla y tenga un bajo coste.
- 55 La invención se refiere a un proceso de producción de una espuma mineral que comprende las etapas siguientes:
- (i) preparar por separado una lechada de cemento y una espuma acuosa, en el que la lechada de cemento comprende agua (W) y cemento Portland (C);
 - 60 (ii) poner en contacto la lechada de cemento con la espuma acuosa para obtener una lechada de cemento espumado;
 - (iii) añadir una fuente de sal de magnesio como acelerador antes, durante o después de la etapa (ii) para acelerar el fraguado de la lechada de cemento espumado;
 - 65 (iv) colar la lechada de cemento espumado y dejarla fraguar, en el que la espuma mineral está sustancialmente

exenta de partículas con un diámetro medio $D_{50} < 2 \mu\text{m}$, caracterizado por que se utiliza cloruro de magnesio (MgCl_2), en particular en forma de una solución de cloruro de magnesio, como dicha fuente de sal de magnesio, y por que el cloruro de magnesio se añade en una cantidad tal que la espuma acuosa comprende el 0.1 - 2.0% en peso de MgCl_2 en seco de la espuma acuosa, de forma más preferida el 0.1 - 1% en peso de MgCl_2 en seco, de forma más preferida el 0.2 - 0.7% en peso de MgCl_2 en seco, en el que los porcentajes en peso se expresan en peso de agua en la espuma acuosa.

La espuma producida según la invención se puede utilizar como material de construcción o material de aislamiento. Por ejemplo, la espuma mineral se puede verter entre dos paneles de placas de yeso, entre dos paredes de ladrillo o entre dos paredes portantes de hormigón.

El proceso proporcionado por la presente invención posee una o más de las características siguientes:

- el proceso es universal, es decir, permite producir una espuma mineral estable a partir de cualquier tipo de cemento;
- el proceso es fácil de implementar;
- el proceso se puede transportar fácilmente a cualquier sitio o a la obra;
- el proceso permite implementar una espuma mineral de forma continua. Por lo tanto, es posible producir la espuma mineral de forma continua y verterla sin interrupción.

El proceso de producción de una espuma mineral según la invención puede utilizarse en un sistema discontinuo o continuo.

Una espuma mineral producida mediante el procedimiento según la presente invención posee una o más de las características siguientes:

- la espuma mineral presenta excelentes propiedades de estabilidad. En particular, es posible obtener una espuma que no colapse o que solo colapse muy ligeramente cuando se vierte verticalmente o desde una altura considerable. Por ejemplo, la espuma mineral según la invención no colapsa o solo colapsa muy ligeramente cuando se vierte verticalmente desde una altura superior o igual a 2 metros;
- la espuma mineral presenta excelentes propiedades térmicas y, en particular, una conductividad térmica muy baja. Es muy deseable reducir la conductividad térmica en los materiales de construcción, ya que esto permite obtener ahorros de energía calefactora en edificios residenciales y de oficinas. Además, esta disminución permite reducir los puentes térmicos, en particular en la construcción de edificios de varias plantas y diseñados con aislamiento térmico interior. En particular, los puentes térmicos se reducen en los pisos intermedios.

El cemento es un aglutinante hidráulico que comprende al menos el 50% en peso de CaO y de SiO_2 . Por lo tanto, el cemento puede contener otros componentes además de CaO y SO_2 , en particular escoria, humo de sílice, puzolanas (naturales y calcinadas), cenizas volantes (síliceas y cálcicas) y/o caliza.

El cemento Portland que se utiliza en la invención puede ser cualquier tipo de cemento Portland, independientemente de su composición química y, en particular, independientemente de su contenido alcalino. Por lo tanto, una de las ventajas de la invención es no tener que seleccionar un tipo específico de cemento Portland. Ventajosamente, el cemento Portland que se utiliza en la invención se selecciona de entre los cementos fácilmente disponibles en el mercado.

El cemento adecuado que se utiliza en la etapa (i) de la invención es preferentemente cualquiera de los cementos descritos según la norma europea NF EN 197-1 de abril de 2012 o mezclas de los mismos, preferentemente cemento de los tipos CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV o CEM V.

Según una forma de realización preferida de la invención, el cemento Portland presenta una superficie específica (Blaine) de 3000 a 10000 cm^2/g , preferentemente de 3500 a 6000 cm^2/g .

La relación agua/cemento (relación peso/peso) de la lechada de cemento preparada en la etapa (i) es preferentemente de 0.25 a 0.5, de forma más preferida de 0.28 a 0.35, en particular de 0.29. La relación agua/cemento puede variar, por ejemplo debido a la demanda de agua de las partículas minerales cuando se utilizan las mismas. La relación agua/cemento se define como la relación en masa de la cantidad de agua (W) con respecto a la masa seca de cemento Portland (C).

La lechada de cemento preparada en la etapa (i) puede comprender un reductor de agua, tal como un plastificante o un superplastificante. Un reductor de agua permite reducir la cantidad de agua de mezclado para una

trabajabilidad dada normalmente entre el 10 y el 15%. A modo de ejemplo, como reductores de agua se pueden mencionar lignosulfonatos, ácidos hidroxicarboxílicos, carbohidratos y otros compuestos orgánicos específicos, por ejemplo glicerol, poli(alcohol vinílico), aluminato-metil-siliconato de sodio, ácido sulfanílico y caseína, tal como se describe en el manual Concrete Admixtures Handbook, Properties Science and Technology, V.S. Ramachandran, Noyes Publications, 1984.

Los superplastificantes pertenecen a una nueva clase de reductores de agua y son capaces de reducir el contenido de agua del agua de mezclado, para una trabajabilidad dada, en aproximadamente un 30% en masa. Como ejemplos de superplastificantes, se pueden mencionar los superplastificantes de PCP sin un agente antiespumante.

El término "PCP" o " polioxi-policarboxilato" debe entenderse según la presente invención como un copolímero de ácidos acrílicos o ácidos metacrílicos y sus ésteres de polioxi-etileno (POE).

Preferentemente, la lechada de cemento comprende del 0.05 al 1%, de forma más preferida del 0.05 al 0.5% de un reductor de agua, un plastificante o un superplastificante, porcentaje expresado en masa con respecto a la masa de cemento seco.

Preferentemente, la lechada de cemento no comprende ningún agente antiespumante ni ningún agente que tenga la propiedad de desestabilizar una emulsión de aire/líquido. Determinados superplastificantes comerciales pueden contener agentes antiespumantes y, en consecuencia, estos superplastificantes no son adecuados para la lechada de cemento que se utiliza para producir la espuma mineral según la invención.

Preferentemente, la lechada de cemento que se utiliza para producir la espuma mineral según la invención comprende del 0.05 al 2.5% en peso de un acelerador, expresado como masa seca con respecto a la masa de cemento seco.

Según una forma de realización de la invención, se pueden añadir otros aditivos a la lechada de cemento o a la espuma acuosa. Dichos aditivos pueden ser agentes espesantes, agentes viscosificantes, agentes de inclusión de aire, retardantes del fraguado, pigmentos coloreados, perlas de vidrio huecas, agentes formadores de película, agentes hidrófobos o agentes descontaminantes (por ejemplo zeolitas o dióxido de titanio), látex, fibras orgánicas o minerales, adiciones minerales o sus mezclas. Preferentemente, los aditivos no comprenden ningún agente desespumante.

Por la expresión "agente espesante" se entiende en general cualquier compuesto que permita mantener las fases físicas heterogéneas en equilibrio o facilitar este equilibrio. Los agentes espesantes adecuados son preferentemente gomas, celulosa o sus derivados, por ejemplo éteres de celulosa o carboximetilcelulosa, almidón o sus derivados, gelatina, agar, carragenanos o arcillas bentónicas.

Según una forma de realización de la invención, la lechada de cemento que se utiliza para producir la espuma mineral según la invención puede comprender además al menos un componente mineral complementario, en particular material cementoso complementario.

Los componentes minerales adecuados se seleccionan preferentemente de entre carbonato de calcio, sílice, vidrio molido, perlas de vidrio macizas o huecas, gránulos de vidrio, polvos de vidrio expandido, aerogeles de sílice, humo de sílice, escorias granuladas de altos hornos, arenas silíceas sedimentarias molidas, cenizas volantes o materiales puzolánicos o mezclas de los mismos.

Las partículas minerales que se utilizan según la invención pueden ser escorias (por ejemplo, tal como se definen en la norma europea NF EN 197-1 de abril de 2012, apartado 5.2.2), materiales puzolánicos (por ejemplo, tal como se definen en la norma europea NF EN 197-1 de abril de 2012, apartado 5.2.3), cenizas volantes (por ejemplo, tal como se describen en la norma europea NF EN 197-1 de abril de 2012, apartado 5.2.4), esquistos calcinados (por ejemplo, tal como se describen en la norma europea NF EN 197-1 de abril de 2012, apartado 5.2.5), material que contiene carbonato de calcio, por ejemplo caliza (por ejemplo, tal como se define en la norma europea NF EN 197-1 de abril de 2012, apartado 5.2.6), humo de sílice (por ejemplo, tal como se define en la norma europea NF EN 197-1 de abril de 2012, apartado 5.2.7), adiciones silíceas (por ejemplo, tal como se definen en la norma sobre hormigón NF P 18-509), metacaolín o mezclas de los mismos.

Las cenizas volantes son generalmente partículas pulverulentas comprendidas en los humos de las centrales térmicas alimentadas con carbón. Las cenizas volantes se recuperan generalmente mediante precipitación electrostática o mecánica.

Las escorias se obtienen generalmente mediante el enfriamiento rápido de la escoria fundida resultante de la fusión del mineral de hierro en un alto horno.

El humo de sílice puede ser un material obtenido mediante la reducción de cuarzo con calidad de alta pureza por

medio del carbón en hornos de arco eléctrico utilizados para la producción de silicio y aleaciones de ferrosilicio. El humo de sílice está formado generalmente por partículas esféricas que comprenden al menos el 85% en masa de sílice amorfa.

5 Los materiales puzolánicos pueden ser materiales silíceos y/o silicoaluminosos naturales o una combinación de los mismos. Entre los materiales puzolánicos se pueden mencionar las puzolanas naturales, que son generalmente materiales de origen volcánico o rocas sedimentarias, y las puzolanas naturales calcinadas, que son materiales de origen volcánico, arcillas, esquistos o rocas sedimentarias activadas térmicamente.

10 Según la invención, se añade una fuente de sal de magnesio antes, durante o después de la etapa (ii), es decir, antes, durante o después de poner en contacto la lechada de cemento con la espuma acuosa para obtener una lechada de cemento espumado. Se ha observado que la fuente de sal de magnesio es eficaz como acelerador que acelera el fraguado de la lechada de espuma de cemento. En particular, el uso de sal de magnesio estabiliza específicamente la espuma mineral a base de Portland y limita el drenaje de agua en la espuma antes de que
15 fragüe la lechada de cemento. El uso de sal de magnesio permite, en consecuencia, fabricar espuma mineral a base de Portland altamente estable con cemento puro. La adición de aceleradores de sal de magnesio permite la fabricación de espumas minerales de densidad ultrabaja altamente estables independientemente del tipo de cemento Portland utilizado. Esta solución se puede utilizar para eliminar la premezcla en la solución comercial de espuma mineral y, en consecuencia, reducir el precio de la solución. Se mejora la calidad de la espuma. En
20 particular, el tamaño de las burbujas, conjuntamente con el drenaje de agua, disminuye cuando se utilizan sales de magnesio.

Preferentemente, la sal de magnesio, concretamente el cloruro de magnesio, se añade a la espuma acuosa. La sal de magnesio se puede añadir durante la preparación de la espuma acuosa o se puede mezclar con el agente
25 espumante para obtener una premezcla que se utiliza para preparar posteriormente la espuma acuosa.

Preferentemente, la fuente de sal de magnesio se añade a la espuma acuosa antes de poner en contacto la espuma acuosa con la lechada de cemento en la etapa (ii).

30 Como alternativa o adicionalmente, la fuente de sal de magnesio se puede añadir a la lechada de cemento espumado después de la etapa (ii) y antes de la etapa (iv).

Como alternativa o adicionalmente, la fuente de sal de magnesio se puede añadir a la lechada de cemento espumado durante la etapa (ii).

35 Según una forma de realización preferida,

a) se añade una cantidad parcial de la fuente de sal de magnesio a la preparación de la espuma acuosa en la etapa (i),

40 b) se añade una cantidad parcial de la fuente de sal de magnesio durante la etapa (ii), y/o

c) se añade una cantidad parcial de la fuente de sal de magnesio a la espuma acuosa antes de ponerla en contacto con la lechada de cemento en la etapa (ii), y/o

45 d) se añade una cantidad parcial de la fuente de sal de magnesio a la lechada de cemento espumado después de la etapa (ii) y antes de la etapa (iv).

Es decir, la cantidad total de la fuente de sal de magnesio puede dividirse entre las opciones de adición alternativas mencionadas en a), b), c) y d) anteriormente; en particular, la cantidad total de la fuente de sal de magnesio puede dividirse entre al menos dos de las opciones de adición alternativas mencionadas en a), b), c) y d).

Según la invención, como fuente de sal de magnesio se utiliza cloruro de magnesio ($MgCl_2$), en particular en forma de solución de cloruro de magnesio.

55 Según la invención, se añade cloruro de magnesio en una cantidad tal que la espuma acuosa comprende el 0.1 - 2.0% en peso de $MgCl_2$ en seco de la espuma acuosa, de forma más preferida el 0.1 - 1% en peso de $MgCl_2$ en seco, de forma más preferida el 0.2 - 0.7% en peso de $MgCl_2$ en seco. Los porcentajes en peso se expresan en peso de agua en la espuma acuosa.

60 La invención supera el prejuicio técnico según el cual es necesario el uso de diversos aditivos para garantizar la estabilidad de la espuma mineral.

En particular, la espuma mineral obtenida por medio de la invención está sustancialmente exenta de partículas finas, es decir, no se añaden partículas finas a la pequeña fracción de partículas más finas normalmente incluidas en el cemento Portland convencional. Se entiende que el término "partículas finas" comprende partículas cuyo

diámetro medio D50 es inferior a 2 μm . El diámetro D50 corresponde al diámetro del percentil 50 de la distribución en volumen del tamaño de partícula, es decir, el 50% del volumen está formado por partículas que tienen un tamaño inferior al diámetro D50 y el 50% por partículas que tienen un tamaño superior al diámetro D50. El término "sustancialmente" significa menos del 1%, preferentemente menos del 5%, expresado en masa con respecto a la masa de cemento.

Los cementos menos adecuados, o que no son adecuados, para la realización de la invención son los cementos de aluminato de calcio y sus mezclas. Los cementos de aluminato de calcio son cementos que comprenden generalmente una fase mineral C4A3\$, CA, C12A7, C3A o C11A7CaF₂ o sus mezclas, tales como, por ejemplo, Ciment Fondu® (un aglutinante hidráulico a base de aluminato de calcio), cementos de alúmina, cementos de sulfoaluminato y cementos de aluminato de calcio según la norma europea NF EN 14647 de diciembre de 2006. Dichos cementos se caracterizan por un contenido de alúmina (Al₂O₃) $\geq$ 35% en peso.

En la etapa (i), la lechada puede prepararse utilizando mezcladores utilizados habitualmente para la producción de lechadas de cemento. Pueden ser un mezclador para lechadas, un mezclador de una planta de fabricación de cemento, un mezclador descrito en la norma europea NF EN 196-1 de abril de 2006 - apartado 4.4, o un agitador con movimiento planetario.

Según un primer modo de operación, la lechada de cemento puede prepararse introduciendo en un mezclador agua y opcionalmente aditivos (tales como un reductor de agua). A continuación se añade al mezclador el cemento Portland y opcionalmente otros componentes pulverulentos. Después, la pasta así obtenida se mezcla para obtener la lechada de cemento. Preferentemente, la lechada de cemento se mantiene en agitación, por ejemplo mediante una pala de desfloculación, a una velocidad que puede estar comprendida entre 1000 y 600 rpm, en función del volumen de la lechada, durante todo el proceso de fabricación.

Según un segundo modo de operación, la lechada de cemento puede prepararse introduciendo una parte del agua y opcionalmente los aditivos (tales como un reductor de agua) en un mezclador, y después el cemento y a continuación los demás componentes.

Según un tercer modo de operación, la lechada de cemento puede prepararse introduciendo en un mezclador el cemento y, eventualmente, todos los demás componentes pulverulentos. El cemento y los componentes pulverulentos se mezclan para obtener una mezcla homogénea. A continuación se introducen en el mezclador el agua y, opcionalmente, los aditivos (tales como un reductor de agua).

Según un cuarto modo de operación, la lechada de cemento se prepara de forma continua preparando de antemano una mezcla que contiene agua y aditivos (tales como un reductor de agua).

En la etapa (i), la espuma acuosa puede producirse combinando agua y un agente espumante, e introduciendo después un gas. Este gas es preferentemente aire. El agente espumante se utiliza preferentemente en una cantidad del 0.25 al 5.00% en peso, preferentemente del 0.75 al 2.50% en peso (masa seca) de la masa de agua.

La introducción de aire puede llevarse a cabo mediante agitación, mediante burbujeo o mediante inyección a presión. Preferentemente, la espuma acuosa puede producirse utilizando un espumador turbulento (lecho de perlas de vidrio, por ejemplo). Este tipo de espumador permite introducir aire a presión en una solución acuosa que comprende un agente espumante.

La espuma acuosa se puede generar de forma continua en el proceso según la invención.

La espuma acuosa generada presenta burbujas de aire con un D50 inferior o igual a 400 μm , preferentemente comprendido entre 100 y 400 μm , de forma más preferida comprendido entre 150 y 300 μm . Preferentemente, la espuma acuosa generada presenta burbujas de aire con un D50 de 250 μm .

El D50 de las burbujas se mide por retrodispersión. El aparato utilizado es el aparato Turbiscan® Online proporcionado por la empresa Formulaction. Las mediciones de la retrodispersión permiten estimar un D50 para las burbujas de una espuma acuosa conociendo de antemano la fracción de volumen de las burbujas y el índice de refracción de la solución de agente espumante.

Preferentemente, el agente espumante es un derivado de proteína orgánico de origen animal (tal como, por ejemplo, el agente espumante denominado Propump26, un polvo de queratina hidrolizada, comercializado por la empresa Propump Engineering Ltd) o de origen vegetal. Los agentes espumantes pueden ser también un tensioactivo catiónico (por ejemplo, bromuro de cetiltrimetilamonio, CTAB), un tensioactivo iónico, un tensioactivo anfótero (por ejemplo, cocamidopropil-betaína, CAPB), o un tensioactivo no iónico, o mezclas de los mismos.

En la etapa (ii), la lechada de cemento puede homogeneizarse con la espuma acuosa por cualquier medio para obtener una lechada de cemento espumado. Preferentemente, la etapa (ii) del proceso según la invención puede comprender la introducción de la lechada de cemento y la espuma acuosa en un mezclador estático para obtener

una lechada de cemento espumado.

Los mezcladores estáticos adecuados presentan preferentemente elementos en forma de hélice para asegurar un mezclado radial completo y divisiones sucesivas del flujo para cada combinación de líquidos y gas. Los mezcladores estáticos adecuados según la invención presentan preferentemente elementos helicoidales que transmiten una velocidad radial al fluido, que se dirige alternativamente hacia el lado del mezclador, después hacia su centro. Las combinaciones sucesivas de elementos que dirigen el flujo en sentido horario y en sentido antihorario provocan un cambio de dirección y una división del flujo. Estas dos acciones combinadas aumentan la eficacia del mezclado. Preferentemente, el mezclador estático utilizado en el proceso según la invención es un mezclador que opera dividiendo el flujo continuo de lechada de cemento y de espuma acuosa. La homogeneidad de la mezcla se basa en el número de divisiones. Según el proceso de la invención, se utilizan preferentemente 16 elementos para asegurar una buena homogeneidad. Los mezcladores estáticos adecuados según el proceso de la invención son preferentemente los comercializados con la denominación comercial Kenics®.

Según una forma realización más particular, la lechada de cemento se bombea a un flujo volumétrico preciso, que es función de la composición objetivo de la lechada de cemento espumado. A continuación, esta lechada de cemento se combina con la espuma acuosa que ya circula en el circuito del proceso. Se genera así la lechada de cemento espumado. Esta lechada de cemento espumado se cuele y se deja fraguar.

Ventajosamente, el proceso inventivo no necesita ni una etapa de autoclave ni una etapa de tratamiento térmico (por ejemplo a 60-80 °C) para obtener una espuma de cemento según la invención.

La espuma mineral puede ser prefabricada. La espuma mineral también puede prepararse directamente en la obra instalando un sistema de espumación en la obra.

Preferentemente, la espuma mineral puede tener una densidad de 20 a 300 kg/m³, de forma más preferida de 20 a 150 kg/m³, de la forma más preferida de 30 a 80 kg/m³. Cabe señalar que la densidad de la lechada de cemento espumado (densidad en húmedo) es diferente a la densidad de la espuma mineral (densidad del material endurecido).

La invención proporciona otra ventaja, que es que la espuma mineral producida según la invención presenta excelentes propiedades térmicas, y en particular una conductividad térmica muy baja. La conductividad térmica (también denominada lambda (λ)) es un valor físico que caracteriza el comportamiento de los materiales durante la transferencia de calor por conducción. La conductividad térmica representa la cantidad de calor transferida por unidad de superficie y por unidad de tiempo sometida a un gradiente de temperatura. En el sistema internacional de unidades, la conductividad térmica se expresa en vatios por metro-Kelvin (W/m.K). Los hormigones típicos o convencionales presentan valores de conductividad térmica medidos a 23 °C y una humedad relativa del 50% de 1.3 a 2.1. La conductividad térmica de la espuma mineral según la invención puede ser de 0.030 a 0.150 W/m.K, preferentemente de 0.030 a 0.060 W/m.K, de forma más preferida de 0.030 a 0.055 W/m.K, siendo el margen de error de ± 0.4 mW/m.K.

Preferentemente, la espuma mineral producida según la invención posee una muy buena resistencia al fuego.

La espuma mineral puede ser un hormigón prefabricado en la obra, un hormigón premezclado o un hormigón producido en una planta de producción de elementos prefabricados. Preferentemente, la espuma mineral es un hormigón premezclado.

La espuma mineral producida según la invención se puede utilizar para el moldeado de paredes, techos y tejados en la obra. También es posible la producción de elementos prefabricados en una planta de prefabricación, tales como bloques o paneles.

Ventajosamente, la espuma mineral producida según la invención permite en determinados casos sustituir la lana de vidrio, la lana mineral o un material aislante de poliestireno.

La espuma mineral se puede utilizar ventajosamente para rellenar espacios vacíos o huecos en un edificio, una pared, un tabique, un ladrillo, un suelo o un techo. En este caso, se utiliza como compuesto de relleno. Tales elementos de construcción de material compuesto también constituyen en sí mismos objetos de la invención.

La espuma mineral se puede utilizar ventajosamente como revestimiento de fachada para aislar un edificio del exterior. En este caso, la espuma mineral puede recubrirse con un compuesto de acabado.

La espuma mineral producida según la invención puede utilizarse para rellenar partes huecas de bloques de construcción, tales como ladrillos con cavidades. La espuma puede introducirse en las cavidades en cualquier etapa de la producción del bloque de construcción.

La espuma mineral puede verterse en vertical para su moldeado entre dos paredes, por ejemplo entre dos paredes

de hormigón, dos paredes de ladrillo, dos placas de yeso, dos paredes de madera, para obtener un sistema.

La invención se refiere además al uso de una fuente de sal de magnesio, concretamente cloruro de magnesio, en particular en forma de una solución de cloruro de magnesio, para mejorar la estabilidad mecánica y/o reducir el colapso de una lechada de cemento espumado, obteniéndose dicha lechada de cemento espumado preferentemente mediante el proceso siguiente:

(i) preparar por separado una lechada de cemento y una espuma acuosa, en el que la lechada de cemento comprende agua (W) y cemento Portland (C);

(ii) poner en contacto la lechada de cemento con la espuma acuosa para obtener una lechada de cemento espumado.

(iii) añadir la fuente de sal de magnesio como acelerador antes, durante o después de la etapa (ii) para acelerar el fraguado de la lechada de cemento espumado,

caracterizado por que se añade cloruro de magnesio en una cantidad tal que la espuma acuosa comprende el 0.1 - 2.0% en peso de $MgCl_2$ en seco de la espuma acuosa, de forma más preferida el 0.1 - 1% en peso de $MgCl_2$ en seco, de forma más preferida el 0.2 - 0.7% en peso de $MgCl_2$ en seco, en el que los porcentajes en peso se expresan en peso de agua en la espuma acuosa.

La invención se describirá ahora con referencia a los siguientes ejemplos no limitantes.

Se utilizaron los siguientes procedimientos de medición:

Procedimiento de granulometría láser

En la presente memoria descriptiva, incluidas las reivindicaciones adjuntas, las distribuciones de tamaño de partícula y los tamaños de partícula se miden utilizando un granulómetro láser del tipo Mastersize 2000 (año 2008, serie MAL1020429) comercializado por la empresa Malvern.

La medición se realiza en un medio apropiado (por ejemplo, un medio acuoso para partículas no reactivas, o alcohol para material reactivo) para dispersar las partículas. El tamaño de partícula deberá encontrarse en el intervalo de 1 μm a 2 mm. La fuente de luz consiste en un láser de He-Ne rojo (632 nm) y un diodo azul (466 nm). El modelo óptico es el de Fraunhofer y la matriz de cálculo es de tipo polidiserso. Se realiza una medición del ruido de fondo con una velocidad de bomba de 2000 rpm, una velocidad de agitador de 800 rpm y una medición de ruido durante 10 s, en ausencia de ultrasonidos. Se verifica que la intensidad luminosa del láser sea al menos igual al 80% y que se obtenga una curva exponencial decreciente para el ruido de fondo. En caso contrario, se deben limpiar las lentes de la célula.

Posteriormente, se realiza una primera medición en la muestra con los siguientes parámetros: velocidad de bomba de 2000 rpm y velocidad de agitador de 800 rpm. Se introduce la muestra para establecer un oscurecimiento entre el 10 y el 20%. Tras la estabilización del oscurecimiento se efectúa la medición con una duración entre la inmersión y la medición fijada en 10 s. La duración de la medición es de 30 s (30000 imágenes de difracción analizadas). En el granulograma obtenido debe tenerse en cuenta que una parte del polvo puede estar aglomerado.

Posteriormente se realiza una segunda medición (sin vaciar el receptáculo) con ultrasonidos. La velocidad de bomba se ajusta a 2500 rpm, la velocidad de agitador a 1000 rpm, los ultrasonidos se emiten al 100% (30 vatios). Este ajuste se mantiene durante 3 minutos, después se reanudan los ajustes iniciales: velocidad de bomba a 2000 rpm, velocidad de agitador a 800 rpm, sin ultrasonidos. Al cabo de 10 s (para que se eliminen las posibles burbujas de aire), se lleva a cabo una medición durante 30 s (30000 imágenes analizadas). Esta segunda medición corresponde a un polvo desaglomerado mediante una dispersión ultrasónica.

Cada medición se repite al menos dos veces para verificar la estabilidad del resultado.

Medición de la superficie BLAINE específica

La superficie específica de los distintos materiales se mide de la forma siguiente: se utiliza el procedimiento Blaine a una temperatura de 20 °C con una humedad relativa no superior al 65%, utilizándose un aparato Blaine Euromatest Sintco conforme a la norma europea EN 196-6.

Antes de la medición, las muestras húmedas se secan en una cámara de secado para obtener una masa constante a una temperatura de 50 - 150 °C. A continuación, el producto seco se muele para obtener un polvo con un tamaño de partícula máximo inferior o igual a 80 μm .

Ejemplos

Se utilizó el procedimiento según la invención para producir las espumas minerales B, C, E, F, H y J partiendo de lechadas de cemento con las formulaciones de lechada I, II y III y de las espumas acuosas 2, 3, 5, 6 y 8. También se realizaron ejemplos comparativos, concretamente las espumas minerales A, D, G e I partiendo de las lechadas de cemento con las formulaciones de lechada I, II y III y de las espumas acuosas 1, 4 y 7 a fin de ilustrar los aspectos ventajosos de la invención.

Materiales utilizados:

Los cementos son cementos Portland procedentes de diferentes plantas de producción de cemento de Lafarge, tal como se indica en la tabla 1. Estos cementos son cementos de tipo estándar. Las letras "R" y "N" corresponden a la definición dada en la norma europea NF EN 197-1, versión de abril de 2012.

El plastificante es una mezcla que comprende un policarboxilato-polióxido (PCP) de la empresa Chryso con la denominación comercial Chrysolab EPB 530-017, que no comprende ningún agente antiespumante. El contenido de sólidos de Chrysolab EPB 530-017 es del 48% en peso.

Los agentes espumantes utilizados son las siguientes proteínas derivadas de origen animal:

- Propump 26, obtenida de la empresa Propump Engineering Ltd, con un contenido de sólidos del 26% en peso;
- MAPEAIR L/LA, obtenida de la empresa MAPEI, con un contenido de sólidos del 26% en peso;
- Foamcem LT2, obtenida de la empresa Laston Italiana spa.

Agua: agua del grifo.

Equipo utilizado:

El mezclador Rayneri:

- Un mezclador Turbotest (MEXP-101, modelo: Turbotest 33/300, N° de serie: 123861) suministrado por la empresa Rayneri, que es un mezclador de eje vertical.

Bombas:

- Una bomba con un transportador de tornillo excéntrico Seepex™ del tipo MD 006-24, número de encargo 244920.
- Una bomba con un transportador de tornillo excéntrico Seepex™ del tipo MD 006-24, número de encargo 278702.

Espumador:

- Un espumador que comprende un lecho de perlas de vidrio del tipo SB30 con un diámetro de 0.8 - 1.4 mm dispuestas como relleno en un tubo que presenta una longitud de 100 mm y un diámetro de 12 mm.

Mezclador estático:

- Un mezclador estático compuesto por 32 elementos helicoidales del tipo Kenics con un diámetro de 19 mm y denominado 16La632 en ISOJET.

En los ejemplos siguientes, se produjeron 10 espumas minerales. Cada lechada de cemento se designa con los números I, II y III, y cada espuma acuosa con los números 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8. La espuma de cemento (espuma mineral) obtenida es una combinación de una de las lechadas de cemento con una de las espumas acuosas.

Preparación de lechada de cemento

Tabla 1

	Formulaciones de lechada		
	I	II	III
Tipo de cemento	CEM I 52,5 N	CEM I 52,5 N CE CP2 NF LHY-05420	CEM I 52,5 N
Planta de Lafarge	Le Havre	Mannersdorf	Saint Pierre La Cour
Relación agua/cemento (peso/peso)	0.29	0.33	0.29
x (% de Na ₂ O eq soluble)	-	-	-
Cemento (% en peso seco)	70.60	75.10	76.83
Carbonato de calcio (% en peso seco)	6.86	-	-
Agua (% en peso)	22.39	24.71	21.49
Superplastificante (% en peso)	0.17	0.20	0.20

En la tabla 1, se presenta la composición química de las distintas lechadas de cemento que se utilizan para llevar a cabo la invención. Las lechadas de cemento se prepararon utilizando el mezclador Rayneri Turbotest 33/300, en el que se introdujeron en primer lugar los componentes líquidos (agua, superplastificante). Mientras se mezclaba a 1000 rpm se añadieron progresivamente los componentes sólidos (cemento y todos los componentes pulverulentos). Después se mezcló la lechada de cemento durante dos minutos adicionales.

Preparación de la espuma acuosa

Se introdujo en un recipiente una solución acuosa que contenía el agente espumante y cloruro de magnesio. La composición de esta solución acuosa de agente espumante (en particular la concentración y la naturaleza del agente espumante y del cloruro de magnesio) se indica en la tabla 2. La solución acuosa del agente espumante se bombeó mediante una bomba volumétrica que presentaba un transportador de tornillo excéntrico Seed TM MD-006-24 (número de encargo: 278702).

Esta solución de agente espumante se introdujo en el espumador a través del lecho de perlas mediante aire presurizado (1 - 6 bar) y una unión en T. La espuma acuosa se produjo de forma continua a la velocidad que se indica en la tabla 2.

Tabla 2

Formulación de espuma acuosa	1	2	3	4	5	6	7	8
Agente espumante	Propump 26	MapeAIR L/LA	Foamcem LT2	MapeAIR L/LA	MapeAIR L/LA	MapeAIR L/LA	Foamcem LT2	Foamcem LT2
Concentración (% de líquido/agua)	3,5	2,5	3,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0
Concentración (% de material seco/agua)	0,91	0,65	0,84	0,65	0,65	0,65	0,84	0,84
Concentración de MgCl ₂ (% de material seco/agua)	-	0,2	0,4	-	0,4	0,6	-	0,6
Caudal de aire (l/min)	8	8	8	8	8	8	8	8
Caudal de agente espumante (l/min)	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41

Preparación de una lechada de cemento espumado

Las lechadas de cemento obtenidas anteriormente se vertieron en el recipiente de mezclado mientras se mezclaban (400 rpm). La lechada de cemento se bombeó por medio de una bomba volumétrica con un transportador de tornillo excéntrico Seepex™ MD 006-24 (número de encargo: 244920) a un caudal de 0.25 l/min.

La lechada bombeada y la espuma acuosa, preparadas de forma continua, se pusieron en contacto entre sí en un mezclador estático y se obtuvo una lechada de cemento espumado.

5 Preparación de una espuma mineral

La lechada de cemento espumado se vertió en cubos de poliestireno con unas dimensiones de 10 x 10 x 10 cm y en columnas cilíndricas de 2.50 m de altura y 20 cm de diámetro. Se realizaron tres cubos para cada lechada de cemento espumado. Los cubos se desmoldaron después de 1 día y se almacenaron durante 7 días a una humedad relativa del 100% y a una temperatura de 20 °C. A continuación, los cubos se secaron a una temperatura de 45 °C hasta obtener una masa constante. Se realizó una columna para determinadas lechadas de cemento espumado. Las columnas se desmoldaron después de 3 a 7 días y, a continuación, se cortaron en secciones de 25 cm de longitud. Las secciones se secaron hasta obtener una masa constante.

15 Análisis de las espumas minerales

La estabilidad de las espumas se midió mediante inspección visual de los cubos antes del desmoldeo. Se describió una espuma como "estable" si el cubo mantenía su altura de 10 cm después de su fraguado. Se describió una espuma como "inestable" si el cubo había colapsado durante su fraguado. Cada ensayo se realizó en 3 cubos de 10 x 10 x 10 cm. Los resultados muestran unas prestaciones similares entre los 3 cubos. Según sea el caso, los resultados son el valor medio de 3 cubos.

Una columna se consideró estable si la densidad entre la sección inferior y la sección superior no difería en más de 5 kg/m.

25 Drenaje de agua

La cantidad de agua drenada se mide a las 24 horas pesando la cantidad de agua que se libera tras desmoldar los cubos de 10 x 10 x 10. El agua drenada se expresa en g.

30 Conductividad térmica de las espumas minerales

La conductividad térmica se midió por medio de un aparato para medir la conductividad térmica: medidor de CT suministrado por la empresa Alphis-ERE (Resistencia 5 Ω, cable sensor 50 mm). Las mediciones se llevaron a cabo en muestras secadas a una temperatura de 45 °C hasta obtener una masa constante. Después, la muestra se corta en dos trozos iguales por medio de una sierra. El sensor de medición se dispuso entre las dos superficies de las mitades de la muestra (en el lado del corte por sierra). El calor se transfirió desde la fuente al termoelemento a través del material que rodea el sensor; el aumento de temperatura del termoelemento se midió en función del tiempo, lo que permitió calcular la conductividad térmica de la muestra.

40 Densidad de las espumas minerales

La densidad en húmedo de la lechada de cemento se midió pesando los cubos en el momento de la colada.

La densidad en seco de las muestras se midió en muestras secadas a una temperatura de 45 °C hasta obtener una masa constante, mientras se presionaban los cubos.

Resultados

50 Los resultados se presentan en la tabla 4.

Tabla 4

Espuma mineral	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Espuma acuosa	1	2	3	4	5	6	7	8	4	6
Lechada de cemento	I	I	I	II	II	II	II	II	III	III
Densidad de la espuma mineral en húmedo (g/l)	120	120	120	105	110	107	108	107	110	105
Densidad de la espuma mineral en seco (g/l)	73	72	74	-	69	66	-	63	-	62

ES 3 024 622 T3

Espuma mineral	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Estabilidad (cubo)	Estable	Estable	Estable	Inestable	Estable	Estable	Inestable	Estable	Inestable	Estable
Tamaño de burbuja (mm)	$x > 2$	$1 < x < 2$	$1 < x < 2$	-	$1 < x < 2$	$1 < x < 2$	-	$1 < x < 2$	-	$1 < x < 2$
Drenaje a las 24h en el cubo (g de agua)	10	5	2	-	5	nm	-	6	-	6
Estabilidad (columna 16*32)	Estable	Estable	Estable	Inestable	Estable	Estable	Inestable	Estable	Inestable	Estable
Lambda (W/K.m) (medida con medidor de CT)	0,041	0,040	0,041	-	0,041	nm	-	nm	-	0,042

nm: no medido; "inestable" significa que la espuma colapsó

Los resultados muestran que todas las espumas que contienen cloruro de magnesio (B, C, E, F, H y J) son estables.

5

Además, estas espumas estables presentan un diámetro promedio de sus burbujas de aire reducido, lo que se sabe que está asociado con una mayor estabilidad de la espuma y un menor drenaje de agua.

REIVINDICACIONES

1. Proceso de producción de una espuma mineral que comprende las etapas siguientes:

- (i) preparar por separado una lechada de cemento y una espuma acuosa, en el que la lechada de cemento comprende agua (W) y cemento Portland (C);
- (ii) poner en contacto la lechada de cemento con la espuma acuosa para obtener una lechada de cemento espumado;
- (iii) añadir una fuente de sal de magnesio como un acelerador antes, durante o después de la etapa (ii) para acelerar el fraguado de la lechada de cemento espumado;
- (iv) colar la lechada de cemento espumado y dejarla fraguar, en el que la espuma mineral está sustancialmente exenta de partículas con un diámetro medio $D_{50} < 2 \mu\text{m}$, caracterizado por que se utiliza cloruro de magnesio (MgCl_2), en particular en forma de una solución de cloruro de magnesio, como dicha fuente de sal de magnesio, y por que el cloruro de magnesio se añade en una cantidad tal que la espuma acuosa comprende del 0.1 al 2.0% en peso de MgCl_2 en seco de la espuma acuosa, de forma más preferida del 0.1 al 1% en peso de MgCl_2 en seco, de forma más preferida del 0.2 al 0.7% en peso de MgCl_2 en seco, en el que los porcentajes en peso se expresan en peso de agua en la espuma acuosa.

2. Proceso según la reivindicación 1, caracterizado por que el D_{50} de las burbujas de la espuma acuosa preparada en la etapa (i) es inferior o igual a $400 \mu\text{m}$.

3. Proceso según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la etapa (ii) comprende la introducción de la lechada de cemento y la espuma acuosa en un mezclador estático para obtener una lechada de cemento espumado.

4. Proceso según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que en la etapa (i) se utiliza una relación W/C (peso/peso) de 0.28 a 0.35.

5. Proceso según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que el cemento Portland es un cemento del tipo CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV o CEM V.

6. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que el cemento Portland presenta una superficie específica (Blaine) de 3000 a 10000 cm^2/g , preferentemente de 3500 a 6000 cm^2/g .

7. Proceso según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que la lechada de cemento comprende un reductor de agua, en particular un plastificante o superplastificante.

8. Proceso según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que la lechada de cemento espumado comprende al menos un componente mineral complementario, en particular material cementoso complementario, en el que el componente mineral se selecciona preferentemente de entre carbonato de calcio, sílice, vidrio molido, perlas de vidrio macizas o huecas, gránulos de vidrio, polvos de vidrio expandido, aerogeles de sílice, humo de sílice, escorias de alto horno granuladas, arenas silíceas sedimentarias molidas, cenizas volantes o materiales puzolánicos o mezclas de los mismos.

9. Uso de una fuente de sal de magnesio, concretamente cloruro de magnesio, en particular en forma de una solución de cloruro de magnesio, para mejorar la estabilidad mecánica y/o reducir el colapso de una lechada de cemento espumado, obteniéndose dicha lechada de cemento espumado preferentemente de la forma siguiente

- (i) preparar por separado una lechada de cemento y una espuma acuosa, en el que la lechada de cemento comprende agua (W) y cemento Portland (C);
- (ii) poner en contacto la lechada de cemento con la espuma acuosa para obtener una lechada de cemento espumado.
- (iii) añadir la fuente de sal de magnesio como un acelerador antes, durante o después de la etapa (ii) para acelerar el fraguado de la lechada de cemento espumado, caracterizado por que se añade cloruro de magnesio en una cantidad tal que la espuma acuosa comprende del 0.1 al 2.0% en peso de MgCl_2 en seco de la espuma acuosa, de forma más preferida del 0.1 al 1% en peso de MgCl_2 en seco, de forma más preferida del 0.2 al 0.7% en peso de MgCl_2 en seco, en el que los porcentajes en peso se expresan en peso de agua en la espuma acuosa, y en el que la lechada de cemento espumado está sustancialmente exenta de partículas con un diámetro medio $D_{50} < 2 \mu\text{m}$.