

HORMIGÓN ESPONJOSO ALTAMENTE ABSORBENTE

CAMPO DE LA INVENCIÓN

- 5 La invención se refiere a un hormigón esponjoso (material de hormigón absorbente) con alta capacidad de absorción de agua y evapotranspiración, y al proceso de preparación de dicho hormigón. Este material de hormigón absorbente es útil como material de construcción, en particular para contribuir a la gestión de la temperatura local durante episodios de calor en entornos urbanos. Además, es útil como material descontaminante.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

La evapotranspiración es una combinación de evaporación y transpiración, medida para comprender mejor las necesidades hídricas de los cultivos, la programación del riego y la gestión de cuencas hidrográficas. Los dos componentes clave de la evapotranspiración

15 son:

- Evaporación: el movimiento del agua directamente al aire desde fuentes como el suelo y los cuerpos de agua. Puede verse afectada por factores como el calor, la humedad y la velocidad del viento.
 - Transpiración: el movimiento del agua desde el sistema radicular a través de la
- 20 planta y su salida al aire en forma de vapor. Esta salida se produce a través de las estomas de la planta. La tasa de transpiración puede verse influenciada por factores como el tipo de planta, el tipo de suelo, las condiciones climáticas, el contenido de agua y las prácticas de cultivo.

A nivel mundial, se estima que, en promedio, entre tres quintos y tres cuartos de la precipitación terrestre regresan a la atmósfera a través de la evapotranspiración.

25

El ciclo de evapotranspiración está influenciado principalmente por factores climáticos:

- la cantidad de agua presente;
- la cantidad de energía presente en el aire y el suelo (*por ejemplo*, el calor); y
- la capacidad de la atmósfera para absorber agua.

30 Los factores secundarios incluyen en particular factores de vegetación y humedad, permeabilidad del suelo o geometría urbana.

Se sabe que la reducción de la evapotranspiración en zonas urbanas, en particular mediante el hormigonado extensivo que sella el suelo, contribuye al aumento de las temperaturas durante las olas de calor. De hecho, la evapotranspiración permite un enfriamiento que puede cuantificarse considerando el calor latente del agua, que es de

35

2474 kJ/kg a 20 °C. Por ejemplo, la evaporación de 1 mm/h.m² (1 litro/m²) generaría una potencia de enfriamiento de $2474 \times 1000 / 3600 = 687$ vatios/m².

Las políticas de reverdecimiento urbano que incluyen la plantación de árboles son importantes, pero no suelen ser eficientes a corto plazo.

5

Por lo tanto, existe una necesidad de nuevos materiales capaces de aumentar la absorción de agua, en particular en las zonas urbanas.

La presente invención tiene por objeto proporcionar un material de hormigón absorbente con mayor capacidad de absorción, capilaridad y evapotranspiración, apto para su uso como material de construcción o, en particular, para la gestión de la temperatura local durante episodios de calor en entornos urbanos. Además, el material absorbente es adecuado para su uso como material descontaminante para eliminar, al menos parcialmente, gases y compuestos volátiles de la atmósfera.

15 RESUMEN DE LA INVENCION

En un primer aspecto, la invención se refiere a un material de hormigón absorbente que comprende un hormigón poroso con una porosidad abierta que oscila entre el 15% y el 40%, preferiblemente entre el 25 y el 35%, expresada como porcentaje en volumen del hormigón poroso, comprendiendo dicho hormigón poroso poros interconectados al menos parcialmente rellenos con una composición mineral absorbente.

dicha composición mineral absorbente comprende 90 % en peso o más, preferiblemente 95 % en peso o más, con respecto al peso total de la composición mineral absorbente (en estado seco), de:

- cemento, y
- un agente modificador de la viscosidad.

Ventajosamente, la capacidad de absorción (medida utilizando el método descrito a continuación) y/o la absorción por capilaridad (medida utilizando el método descrito a continuación) del material de hormigón absorbente es típicamente del 15 % en peso o más, con respecto al peso total de la composición mineral absorbente (en estado seco).

30

En otro aspecto, la invención se refiere a un uso del material de hormigón absorbente para mejorar la evapotranspiración de materiales de construcción o como material de refrigeración mineral.

35 El material de hormigón absorbente de la invención proporciona las siguientes ventajas:

- Alta capacidad de retención de agua y alta capacidad de absorción por capilaridad, lo que permite su uso como enfriador pasivo con capacidades de evapotranspiración.
- Prestaciones mecánicas comparables al hormigón permeable original, no relleno por la composición mineral absorbente.
- Capacidad de drenaje que permite un drenaje continuo después de la saturación.

Esto permite que el material de hormigón absorbente de la invención ayude a gestionar la temperatura local durante los episodios de calor en un entorno urbano, en particular evitando la formación de "islas de calor".

10

En otro aspecto, la invención se refiere a una lechada de cemento que comprende:

- cemento,
- agua, y
- un agente modificador de la viscosidad,

15 con una relación másica agua/cemento (en adelante A/C) comprendida entre 2 y 5, preferentemente entre 2 y 4.

La invención se refiere además a la composición mineral absorbente obtenida tras el fraguado y opcionalmente el curado de dicha lechada.

20 En otro aspecto, la invención se refiere a un proceso para preparar lechada de cemento:

- cemento,
- agua, y
- un agente modificador de la viscosidad,

con una relación másica agua/cemento comprendida entre 2 y 5, preferentemente entre 2

25 y 4, comprendiendo dicho proceso:

- a) Proporcionar un cemento o una premezcla de cemento,
- b) mezclar un agente modificador de la viscosidad en agua para obtener una solución con un valor de límite elástico que normalmente oscila entre 0,1 y 1,0 Pa,
- c) Añadir el cemento o premezcla de cemento del paso a) a la solución del paso b) de manera de obtener una relación A/C comprendida entre 2 y 5, preferentemente entre 2 y 4, y mezclar para obtener la lechada de cemento.

o

- a') Proporcionar un cemento o una premezcla de cemento que incluya un agente modificador de la viscosidad,

35

- b') Añadir el cemento o la premezcla de cemento que incluye un agente modificador de viscosidad del paso a') al agua de manera de obtener una relación A/C de entre 2 y 5, preferentemente de 2 a 4, y mezclar para obtener la lechada de cemento.

5

En otro aspecto, la invención se refiere a un proceso para preparar un material de hormigón absorbente, que comprende:

- a) Proporcionar un hormigón poroso con una porosidad abierta del 15 % o más expresada como un porcentaje de volumen del hormigón poroso, comprendiendo
10 dicho hormigón poroso poros interconectados,
- b) Proporcionar una lechada de cemento absorbente según el procedimiento de la invención, y
- c) Verter la lechada de cemento absorbente dentro del hormigón poroso de manera que rellene al menos parcialmente los poros con la lechada de cemento y dejarla
15 fraguar.

DEFINICIONES

Masa total (peso) de un material/composición: Como se usa en este documento, la "masa total de un material/composición" o "peso total de un material/composición" se
20 entiende como la masa total (o peso) del material/composición en estado seco, *es decir*, la masa total (o peso) de la materia seca del material/composición. De hecho, el contenido de agua absorbido en la composición mineral absorbente o el material de hormigón absorbente puede variar dependiendo de una serie de factores, incluidas las condiciones climáticas (por ejemplo, pluviometría, temperatura, humedad, etc.). El
25 material/composición está en estado seco cuando su masa (o peso) permanece constante. La masa total (o peso) del material/composición se puede determinar secando la composición a 40 °C hasta que su masa (o peso) permanezca constante, *es decir*, hasta que la diferencia de masa (o peso) entre dos pesadas medidas con 24 horas de diferencia, sea del 1,0 % o menos.

30

Wt%: el wt% de una composición se calcula en relación con el peso total de la composición, como se definió anteriormente.

Masa%: la masa% de una composición se calcula en relación con la masa total de la
35 composición, como se definió anteriormente.

Cemento: El cemento comprende clinker Portland y una fuente de sulfato de calcio. El cemento es preferiblemente como se define en la norma NF-EN-197-1 de abril de 2012, o en la norma NF EN 197-5 publicada en mayo de 2021. Los cementos definidos en estas normas se agrupan en 6 familias diferentes: CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV, CEM V y CEM VI. El cemento también puede ser un CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV, CEM V o un CEM VI al que se añaden además componentes minerales en un segundo paso de preparación. El cemento puede ser cualquier aglutinante mineral que comprenda clinker Portland mezclado opcionalmente con uno o varios componentes minerales como se define a continuación. El cemento puede contener opcionalmente además un 10 % en peso o menos de un cemento de aluminato de calcio o un cemento de sulfoaluminato de calcio si, por ejemplo, se requieren tiempos de fraguado más cortos y un mayor desarrollo de resistencia a la edad temprana.

Sulfato de calcio: El sulfato de calcio utilizado según la presente invención incluye yeso (sulfato de calcio dihidratado, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), hemihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), anhidrita (sulfato de calcio anhidro, CaSO_4) o una mezcla de estos. También puede utilizarse sulfato de calcio producido como subproducto de ciertos procesos industriales. Preferiblemente, el contenido de sulfato de calcio oscila entre el 0 % y el 5 % en peso del cemento.

Componente mineral : el componente mineral puede designar escoria (por ejemplo, como se define en la norma europea NF EN 197-1 de abril de 2012, apartado 5.2.2), materiales puzolánicos (por ejemplo, como se define en la norma europea NF EN 197-1 de abril de 2012, apartado 5.2.3), cenizas volantes (por ejemplo, como se describe en la norma europea NF EN 197-1 de abril de 2012, apartado 5.2.4), esquistos calcinados (por ejemplo, como se describe en la norma europea NF EN 197-1 de abril de 2012, apartado 5.2.5), material que contiene carbonato de calcio, por ejemplo piedra caliza (por ejemplo, como se define en la norma europea NF EN 197-1 apartado 5.2.6), componentes de piedra caliza (por ejemplo, como se define en la norma "Hormigón" NF P 18-508), humo de sílice (por ejemplo, como se define en la norma europea NF Norma EN 197-1 de abril de 2012, apartado 5.2.7), componentes silíceos (por ejemplo, según se definen en la norma NF P 18-509 «Hormigón»), metacaolín o mezclas de estos. El componente mineral también puede ser residuos de demolición de obras de construcción. Ejemplos de componentes silíceos son vidrio molido, perlas de vidrio macizas o huecas, gránulos de vidrio y polvo de vidrio expandido.

Lechada de cemento: El término «lechada de cemento» designa una mezcla de agua y cemento. Dicha lechada de cemento puede contener también componentes adicionales, como se describe a continuación. Los términos «lechada de cemento» y «lechada de cemento» tienen el mismo significado y se utilizarán indistintamente.

5

Esencialmente libre de: En el presente documento, un material está "esencialmente libre de" un componente en particular cuando este está presente en una cantidad muy baja, generalmente el 5 % en peso o menos, en comparación con el peso total del material, especialmente por debajo del 1 % en peso. Por ejemplo, un cemento está esencialmente libre de arena cuando esta está presente en una cantidad inferior al 5 % en peso o, preferiblemente, al 1 % en peso del peso total del cemento.

Agente modificador de la viscosidad (o VMA): Los agentes modificadores de la viscosidad pueden modificar el límite elástico, la viscosidad y la tixotropía de la lechada de cemento. Los VMA también se conocen en la técnica como aditivos modificadores de la viscosidad, agentes mejoradores de la viscosidad (VEA) o agentes estabilizantes (SA). Los VMA suelen ser polímeros de origen biológico e incluyen éteres de celulosa, gomas naturales (xantana, welano, diutano), almidón y combinaciones de estos (véase <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106646>). Por ejemplo, Mecellose® HiEND 2001 de LOTTE Fine Chemical es un VMA adecuado para la presente invención.

Capacidad de absorción: como se utiliza en este documento, la "capacidad de absorción" es el porcentaje de masa de agua que una composición mineral absorbente es capaz de absorber cuando está completamente sumergida bajo el agua durante 1 hora. Se mide utilizando el protocolo divulgado en la parte del método.

Absorción por capilaridad: como se utiliza en este documento, la "absorción por capilaridad" es el porcentaje de masa de agua que una composición mineral absorbente es capaz de absorber cuando el 10% de su volumen está sumergido bajo el agua durante 1 hora. Se mide utilizando el protocolo divulgado en la parte del método.

Límite elástico: El límite elástico o tensión de fluencia es una propiedad del material y representa el esfuerzo cortante correspondiente al punto de fluencia en el que el material comienza a deformarse plásticamente. El límite elástico se utiliza a menudo para

determinar la carga máxima admisible en un componente mecánico, ya que representa el límite superior de las fuerzas que pueden aplicarse sin producir deformación permanente.

Porosidad Abierta: La porosidad abierta se refiere a la relación entre el volumen de fluido ocupado por la fase fluida continua (aire en estado seco en la presente invención) y el volumen total del material poroso. La porosidad abierta difiere de la "porosidad cerrada" o "porosidad interna", que es la relación entre el volumen del espacio vacío dentro del material, inaccesible desde el exterior, y el volumen total. La porosidad abierta está formada por una red de poros conectados. La porosidad abierta puede medirse mediante diversos métodos, preferiblemente el método de intrusión de mercurio, como se describe en la sección sobre métodos. La porosidad abierta se expresa como un porcentaje del volumen del material poroso.

NO_x: En este documento, «NO_x» es la abreviatura de óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂), los óxidos de nitrógeno más relevantes para la contaminación atmosférica. Estos gases contribuyen a la formación de smog y lluvia ácida, además de afectar al ozono troposférico.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES DE LA INVENCION

20 1. Composición mineral absorbente y lechada de cemento absorbente

La composición mineral absorbente se obtiene después del fraguado y opcionalmente del curado de una lechada de cemento absorbente.

La lechada de cemento absorbente está compuesta o consiste esencialmente en:

- 25 • cemento,
- agua, y
- un agente modificador de la viscosidad,

con una relación másica agua/cemento (en adelante A/C) comprendida entre 2 y 5, preferentemente entre 2 y 4, y

30 preferiblemente con una relación de agente modificador de viscosidad/masa de cemento comprendida entre 0,1 y 0,8.

En una realización particular, la lechada de cemento absorbente contiene un 1 % o menos de arena y/o áridos. Preferiblemente, la lechada de cemento está prácticamente exenta de arena y áridos.

35 Ventajosamente, la lechada de cemento está libre de cualquier agente expansivo.

Ventajosamente, la lechada de cemento tiene un límite elástico comprendido entre 0,1 y 1,0 Pa.

Preferiblemente, el cemento utilizado para la composición mineral absorbente tiene un tiempo de fraguado inicial que varía de 80 a 150 minutos, y un tiempo de fraguado final que
5 varía de 150 a 250 minutos a temperatura ambiente, también cuando se agregan aditivos adicionales, incluidos aceleradores.

Cemento

El cemento tiene la definición proporcionada anteriormente.

10 El cemento utilizado en la invención puede ser cualquier tipo de cemento que comprenda clinker Portland, cualquiera que sea su composición química y en particular cualquiera que sea su contenido alcalino.

Por lo tanto, una de las ventajas de la invención es que no es necesario seleccionar un tipo específico de cemento. Ventajosamente, el cemento utilizado en la invención se selecciona
15 entre los cementos disponibles en el mercado.

Los cementos menos adecuados o inapropiados para la presente invención son los cementos de aluminato de calcio y sus mezclas, utilizados solos. Los cementos de aluminato de calcio son cementos que generalmente comprenden una fase mineral C_4A_3 , CA, $C_{14}A_3$, C_3A o $C_{14}A_3CaF_2$ o sus mezclas, como, por ejemplo, Ciment Fondu® (un
20 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 (Al_2O_3) igual o inferior al 35 % en peso. Sin embargo, los cementos de aluminato de calcio, cementos de sulfoaluminato de calcio o sus mezclas pueden utilizarse en pequeñas
25 cantidades si, por ejemplo, se desea un fraguado más corto o una mayor resistencia a la edad temprana. Los cementos de aluminato de calcio, cementos de sulfoaluminato de calcio o mezclas de los mismos, no podrán exceder del 10 % en peso respecto del peso total del cemento.

Por consiguiente, preferentemente, el cemento de la invención tiene un contenido de
30 alúmina (Al_2O_3) inferior o igual al 35 % en peso.

Como se mencionó anteriormente, el cemento puede contener componentes minerales, tal como se definió anteriormente. Los componentes minerales adecuados se seleccionan preferiblemente entre carbonato de calcio, sílice, vidrio molido, perlas de vidrio sólidas o huecas, gránulos de vidrio, polvo de vidrio expandido, aerogeles de sílice, humo de sílice,
35 escorias, arenas silíceas sedimentarias molidas, cenizas volantes, arcillas calcinadas,

materiales puzolánicos, residuos de demolición de hormigón, residuos de demolición de obras de construcción o mezclas de los mismos.

Los componentes minerales se presentan preferiblemente en forma de partículas con un Dv90 menor o igual a 200 µm, y más preferiblemente un Dv97 menor o igual a 200 µm. El tamaño de partícula puede medirse mediante granulometría láser, por ejemplo, con un Malvern MS2000.

En una realización particular, la lechada de cemento comprende entre 15 % en peso y 50 % en peso, preferiblemente entre 20 % en peso y 40 % en peso, de cemento con respecto al peso total de la lechada de cemento.

- 10 En una realización particular, la composición mineral absorbente comprende 85 % en peso o más, preferiblemente 90 % en peso o más, de cemento con respecto al peso total de la composición mineral absorbente.

Agente modificador de la viscosidad

- 15 El agente modificador de la viscosidad es el descrito en este documento. Preferiblemente, el agente modificador de la viscosidad es un polímero anfifílico de base biológica.

En una realización particular, el VMA es un polímero derivado de la celulosa. Aún más preferiblemente, el VMA es un éter celulósico, como metilcelulosa, metilhidroxietilcelulosa, hidroxipropilmetilcelulosa o una mezcla de estas. En una realización preferida, el VMA comprende o consiste en goma xantana o un polímero derivado de la goma xantana, como la goma diutana. También se pueden contemplar mezclas de polímeros derivados de celulosa y goma xantana o un polímero derivado de la goma xantana.

- 20 La goma diután es una goma natural de alto peso molecular producida mediante fermentación aeróbica cuidadosamente controlada. La unidad repetitiva está compuesta por una unidad de seis azúcares. Más específicamente, la estructura principal de la unidad repetitiva está compuesta por d-glucosa, ácido d-glucurónico, d-glucosa y l-ramnosa, y la cadena lateral de dos unidades de l-ramnosa. La goma diután está disponible comercialmente con el número CAS 125005-87-0.

- 25 Preferiblemente, la relación de masa de agente modificador de viscosidad/cemento varía de 0,1 a 0,8, preferentemente de 0,1 a 0,5.

Agua

La relación A/C varía preferiblemente de 2 a 5, preferentemente de 2 a 4.

- 35 Aditivos

Opcionalmente, la lechada de cemento absorbente comprende además hasta un 5 % de aditivos en peso con respecto al peso del cemento.

Ventajosamente, los aditivos se seleccionan del grupo que consiste en:

- 5 - un reductor de agua, como un plastificante o un superplastificante, para evitar la aglomeración durante la preparación del material,
- un acelerador, para reducir el tiempo de fraguado de la lechada,
- un polímero superabsorbente, para mejorar la retención de agua y mejorar aún más el fenómeno de evapotranspiración, por ejemplo, cuando el material absorbente está
- 10 expuesto a altas temperaturas o a la luz solar directa,
- un pigmento, en particular un pigmento claro, para aumentar el fenómeno del albedo, y
- mezclas de los mismos.

Ventajosamente, la composición mineral absorbente puede incluir además un reductor de

15 agua, como un plastificante o un superplastificante. Un reductor de agua permite reducir la cantidad de agua de mezcla para una trabajabilidad dada, típicamente entre un 10 % y un 15 % en peso. Los superplastificantes pueden reducir el contenido de agua del agua de mezcla, para una trabajabilidad dada, en aproximadamente un 30 % en peso.

A modo de ejemplo de reductores de agua, se pueden citar los lignosulfonatos o

20 gluconatos, los ácidos hidroxicarboxílicos, los carbohidratos y otros compuestos orgánicos específicos, por ejemplo, el glicerol, el alcohol polivinílico, el alumino-metil-siliconato de sodio, el ácido sulfanílico y la caseína, tal como se describe en el Concrete Admixtures Handbook, Properties Science and Technology, V.S. Ramachandran, Noyes Publications, 1984.

25 Como ejemplo de superplastificante, cabe mencionar los superplastificantes de PCP sin agente antiespumante. El término "PCP" o "policarboxilato de polioxi" se entiende, según la presente invención, como un copolímero de ácidos acrílicos o metacrílicos y sus ésteres de polioxietileno (POE) y/o polioxipropileno.

Preferiblemente, la lechada de cemento comprende de 0,05 a 0,5 % en peso, más

30 preferiblemente de 0,05 a 0,2 % en peso de un reductor de agua, un plastificante o un superplastificante, porcentaje expresado en peso con respecto al peso del cemento seco. Un agente reductor de agua contiene un polímero y otras sustancias químicas que permiten reducir entre un 10 % y un 15 % en peso la cantidad de agua de amasado para lograr una trabajabilidad y reología de la lechada determinadas. Como ejemplos de agentes

35 reductores de agua se pueden citar los lignosulfonatos, los ácidos hidroxicarboxílicos, los carbohidratos y otros compuestos orgánicos específicos, como el glicerol, el alcohol

polivinílico, el alumino-metil siliconato de sodio, el ácido sulfanílico y la caseína (véase el Manual de Aditivos para Hormigón, Propiedades, Ciencia y Tecnología, V.S. Ramachandran, Noyes Publications, 1984).

5 Los plastificantes son la primera generación de agentes reductores de agua. La cantidad de plastificante generalmente depende de la reactividad del cemento. Cuanto menor sea su reactividad, menor será la cantidad de plastificante necesaria.

Los superplastificantes pertenecen a la nueva generación de agentes reductores de agua y permiten reducir en aproximadamente un 30 % en peso la cantidad de agua de amasado para un tiempo de trabajabilidad determinado. Como ejemplo de superplastificante, se
10 pueden citar los superplastificantes de tipo PCP que no contienen ningún agente antiespumante. El término "PCP" o "polióxido de policarboxilato" se refiere, según la presente invención, a un copolímero de ácidos acrílicos o metacrílicos y sus ésteres de óxido de polietileno (POE). La cantidad de superplastificante generalmente depende de la reactividad del cemento. Cuanto menor sea su reactividad, menor será la cantidad de
15 superplastificante necesaria.

Preferiblemente, la lechada de cemento absorbente contiene entre un 0,2 % y un 2,0 %, preferiblemente entre un 0,5 % y un 1,5 % en peso de un agente reductor de agua, en relación con el peso del cemento. Cuando el agente reductor de agua se utiliza en solución, la cantidad se expresa en gramos de ingrediente activo por litro de solución.

20

Ventajosamente, la lechada de cemento absorbente puede comprender además un polímero superabsorbente.

Un polímero superabsorbente (PSA) es un homopolímero o copolímero hidrófilo que absorbe agua y puede absorber y retener cantidades extremadamente grandes de líquido
25 en relación con su propia masa. Los polímeros superabsorbentes están reticulados para evitar su disolución. Existen tres clases principales de PSA: 1) poliacrilatos y poliacrilamidas reticulados, 2) copolímeros de injerto de celulosa o almidón y acrilonitrilo, y 3) copolímeros de anhídrido maleico reticulados. Ejemplos de PSA son el poliacrilato de sodio y el poliacrilato de potasio.

30 Preferiblemente, la lechada de cemento absorbente comprende de 0,2 a 2,0 %, más preferiblemente de 0,5 a 1,5 %, en peso de un polímero superabsorbente en comparación con el peso del cemento.

35

Ventajosamente, la lechada de cemento absorbente puede contener además un acelerador (o agente acelerador). El acelerador suele ser el definido en la norma NF EN 934-2 de septiembre de 2002. Los aceleradores adecuados pueden seleccionarse, por ejemplo, entre:

- 5 - sales de calcio, sales de potasio y sales de sodio en las que el anión puede ser nitrato, nitrito, cloruro, formato, tiocianato, sulfato, bromuro, carbonato o mezclas de los mismos;
- silicatos y aluminatos alcalinos, por ejemplo silicato de sodio, silicato de potasio, aluminato de sodio, aluminato de potasio o mezclas de los mismos.

Ventajosamente, está presente en una cantidad de hasta 0,5 a 3,0 % en peso con respecto
10 al peso del cemento.

En una realización particular, la lechada de cemento absorbente o la composición mineral pueden comprender además un pigmento, en particular un pigmento de color claro. Los pigmentos pueden ser naturales o sintéticos, orgánicos o inorgánicos. Los pigmentos
15 sintéticos son más estables y conservan su color. Ejemplos de pigmentos son el óxido de hierro (negro, marrón, rojo, amarillo de diferentes tamaños y formas de partícula), el óxido de cromo (verde), el dióxido de titanio (blanco) y la ftalocianina (azul, verde). Los pigmentos se presentan habitualmente en forma de polvos finos. En el presente documento, se entiende por "color claro" un color que proporciona un alto efecto albedo, es *decir*, un color
20 que permite que un alto porcentaje de la luz se refleje en la superficie coloreada. Un color claro se selecciona preferiblemente entre tonos de blanco, amarillo y gris.

Se prefieren especialmente los pigmentos blancos, como el óxido de titanio. También se pueden utilizar pigmentos amarillos, como los óxidos de hierro amarillos, o pigmentos grises, como la piedra caliza molida o precipitada.

25

Otros

Normalmente, la composición mineral absorbente no es una espuma cementosa.

En realizaciones particulares, la composición mineral absorbente y/o la lechada de cemento están prácticamente exentas de cualquier agente de expansión. Ejemplos de
30 agentes de expansión son el peróxido de hidrógeno, el ácido peroxomonosulfúrico, el ácido peroxodisulfúrico, los peróxidos alcalinos, los peróxidos alcalinotérreos, el peróxido orgánico, las partículas de aluminio o sus mezclas. Otros ejemplos de agentes de expansión son el óxido de calcio, el óxido de magnesio, el CSA o sus mezclas.

En realizaciones particulares, la composición mineral absorbente y/o la lechada de
35 cemento están esencialmente libres de cualquier agente estabilizador de espuma.

En realizaciones particulares, la composición mineral absorbente y/o la lechada de cemento están esencialmente libres de alcohol polivinílico, acetato de polivinilo o mezclas de los mismos.

Preferiblemente, no se requiere la adición de áridos. Los áridos incluyen arena (cuyas partículas generalmente tienen un tamaño mínimo (d mín.) mayor que 0,063 mm y un tamaño máximo (Dmáx.) menor o igual a 2 o 4 mm) y grava (cuyas partículas generalmente tienen un tamaño mínimo (d mín.) mayor que 4 mm).

Aún más preferiblemente, la lechada de cemento absorbente está esencialmente libre de agregados.

10

Realizaciones particulares

Ventajosamente, la lechada de cemento comprende o consiste en:

- cemento,
- 0,01 a 0,5 %, preferentemente 0,1 y 0,4 % en peso, de un agente modificador de la viscosidad tal como goma diutan, con respecto al peso total del cemento,
- Hasta un 15%, preferiblemente hasta un 5%, en peso de aditivos seleccionados del grupo que consiste en un reductor de agua (tal como un plastificante o un superplastificante), un acelerador, un polímero superabsorbente, un pigmento (en particular un pigmento ligero tal como un pigmento blanco), y mezclas de los mismos, con respecto al peso total del cemento,
- Agua,

15

20

con una relación másica agua/cemento (o A/C) que oscila entre 2 y 5, preferentemente entre 2 y 4.

25 Composición mineral absorbente

Como tal, la composición mineral absorbente tiene una capacidad de absorción o una absorción por capilaridad típicamente del 50 % en peso o más, en relación con el peso total de la composición mineral absorbente.

Ventajosamente, la composición mineral absorbente como tal tiene una capacidad de absorción del 80 % en peso, preferiblemente del 85 % en peso o más, incluso más preferiblemente del 100 % en peso o más, con respecto al peso total de la composición mineral absorbente.

30

Generalmente, la capacidad de absorción y la absorción capilar de la composición mineral absorbente es del 200 % en peso o menos, con respecto al peso total de la composición mineral absorbente.

35

La composición mineral absorbente es porosa. Normalmente, presenta una porosidad abierta de al menos el 50 %, preferiblemente entre el 55 % y el 85 % o más, expresada como porcentaje en volumen de la composición mineral absorbente.

5 Ventajosamente, la composición mineral absorbente es muy eficiente como aislante acústico (o fónico).

La composición mineral absorbente como tal normalmente tiene una buena resistencia a la compresión (especialmente en comparación con las espumas minerales conocidas), que normalmente varía de 0,04 a 1,5 MPa después de 28 días, preferiblemente de 0,05 a 1,2 MPa después de 28 días, más preferiblemente de 0,1 a 1,1 MPa después de 28 días.

10

2. Proceso de preparación de la lechada de cemento absorbente

Cualquier proceso convencional para preparar una lechada de cemento es adecuado para preparar la lechada de cemento de la invención.

15 Sin embargo, preferentemente, el proceso para preparar la lechada de cemento de la invención, que comprende o consiste esencialmente en:

- cemento,
- agua, y
- un agente modificador de la viscosidad,

20 con una relación másica agua/cemento comprendida entre 2 y 5, preferiblemente entre 2 y 4,

Dicho proceso comprende:

- a) Proporcionar un cemento o una premezcla de cemento,
- b) mezclar un agente modificador de la viscosidad en agua para obtener una solución acuosa con un valor de límite elástico que normalmente oscila entre 0,1 y 1,0 Pa,
- 25 c) Añadir el cemento o premezcla de cemento del paso a) a la solución del paso b) de manera de obtener una relación A/C de entre 2 y 5, y mezclar para obtener la lechada de cemento.

Alternativamente, el proceso puede comprender:

- 30 a') Proporcionar un cemento o una premezcla de cemento que incluya un agente modificador de la viscosidad,
- b') Añadir el cemento o la premezcla de cemento que incluye un agente modificador de viscosidad del paso a') al agua de manera de obtener una relación agua/cemento de entre 2 y 5 (preferiblemente de 2 a 4), y mezclar
- 35 para obtener la lechada de cemento.

La lechada de cemento puede mezclarse y/u homogeneizarse con agua o la solución acuosa del paso b) por cualquier medio para obtener una lechada de cemento. Preferiblemente, el paso b'), el paso (b) y/o el paso (c) se realizan en una mezcladora, preferiblemente equipada con palas desfloculantes. Se describen ejemplos de
5 mezcladoras estáticas adecuadas en el documento WO2022/122760 (págs. 14, 1.10-27). Preferiblemente, la velocidad de rotación en el paso (b) oscila entre 200 y 400 rpm, preferiblemente 300 rpm. Ventajosamente, la velocidad de rotación en el paso (c) o (b') oscila entre 500 y 800 rpm, preferiblemente 600 rpm.

En el paso (c) o (b'), la mezcla se realiza preferiblemente hasta que la suspensión sea
10 homogénea, *es decir*, la presencia de flóculos no sea detectable visualmente. Normalmente, el VMA se agrega a la solución del paso (b) en forma de polvo.

Ventajosamente, el paso (a) consiste en proporcionar una premezcla de cemento. Una premezcla de cemento es una mezcla de cemento con aditivos sólidos, como aceleradores,
15 agentes reductores de agua, SAP, pigmentos o mezclas de estos. Este paso es muy beneficioso, ya que permite reducir el tiempo de preparación de la lechada de cemento y también reduce su consumo de agua.

Ventajosamente, los aditivos comprenden un agente reductor de agua y/o un SAP. El
20 agente reductor de agua y/o un SAP pueden añadirse posteriormente a la solución acuosa del paso (b). El contenido de sólidos de los agentes reductores de agua suele oscilar entre el 15 % y el 45 %.

La premezcla de cemento suele ser una mezcla de cemento con aditivos sólidos seleccionados entre aceleradores, pigmentos y mezclas de los mismos.

25 Como alternativa, el agente reductor de agua y/o SAP se presenta en polvo. En esta alternativa, la premezcla de cemento consiste en una mezcla de cemento con agentes reductores de agua y/o SAP, y opcionalmente con aditivos sólidos seleccionados entre aceleradores, pigmentos y mezclas de estos.

La lechada de cemento se obtiene añadiendo la premezcla al agua (si esta contiene VMA)
30 o a una solución de VMA en agua. La solución puede contener además el agente reductor de agua cuando este se encuentra en estado líquido.

Preferiblemente, en el paso (b), la lechada de cemento se agita continuamente para evitar que se produzca cualquier deposición.

El paso (c) o (b') puede realizarse de forma continua o discontinua, preferiblemente de
35 forma continua.

En general, el proceso puede ser discontinuo o continuo. El experto en la materia sabe cómo adaptar el equipo en caso de un proceso continuo.

La invención se refiere también a una lechada de cemento obtenible y/u obtenida según el
5 procedimiento de la invención.

3. Material de hormigón absorbente

La invención se refiere a un material de hormigón absorbente que comprende un hormigón poroso con una porosidad abierta que oscila entre el 15% y el 40%, preferiblemente entre
10 el 25 y el 35%, expresada como porcentaje en volumen del hormigón poroso, comprendiendo dicho hormigón poroso poros interconectados al menos parcialmente rellenos con una composición mineral absorbente.

dicha composición mineral absorbente comprende 90 % en peso o más, preferiblemente 95 % en peso o más, con respecto al peso total de la composición mineral absorbente, de:

- 15 • cemento, y
- un agente modificador de la viscosidad,

en donde la capacidad de absorción (medida utilizando el método descrito a continuación) y/o la absorción por capilaridad (medida utilizando el método descrito a continuación) del material de hormigón absorbente es típicamente del 15 % en peso o más, en relación con
20 el peso total de la composición mineral absorbente.

Composición mineral absorbente

La composición mineral absorbente es la definida anteriormente.

Los poros pueden rellenarse parcial o totalmente con la lechada de cemento. Por ejemplo,
25 el 50% (vol/vol) o más, el 60% (vol/vol) o más, el 70% (vol/vol) o más, o el 80% (vol/vol) o más de los poros interconectados pueden rellenarse con la lechada de cemento.

Normalmente, el material de hormigón absorbente comprende entre un 15% y un 30% (vol/vol) de composición mineral absorbente.

Hormigón poroso

Cualquier tipo de hormigón poroso con una porosidad abierta que oscila entre el 15% y el 40%, preferiblemente entre el 25 y el 35%, expresada como porcentaje en volumen del hormigón poroso, es adecuado para su uso en la presente invención.

Los hormigones porosos y el método para prepararlos son conocidos en la técnica.

35 Preferiblemente, el hormigón poroso es un hormigón permeable.

En el presente documento, un "hormigón permeable", también llamado "hormigón drenante", es un hormigón cuya porosidad, o volumen de huecos, es lo suficientemente alta como para que el agua fluya a través de ellos. Un hormigón permeable generalmente presenta pocos áridos finos y una importante interconexión entre los huecos. Un elemento de hormigón permeable se prepara generalmente mezclando áridos con una pasta de cemento, llenando un encofrado o molde con la mezcla y aplicando presión a la superficie superior del elemento de hormigón para obtener un relleno adecuado del encofrado o molde, así como una superficie superior plana. La aplicación de presión al hormigón permeable se conoce generalmente como compactación del hormigón y puede realizarse manual o mecánicamente, por ejemplo, mediante una pala, un rodillo, una pavimentadora, etc. Los hormigones permeables generalmente se formulan para que sean poco compresibles o incluso incompresibles, a fin de conservar su alta porosidad incluso después de la compactación.

La persona experta en la materia está familiarizada con las formulaciones de hormigón permeable y el proceso para prepararlas, como se describe, por ejemplo, en WO2012/001292.

Preferiblemente, la porosidad abierta del hormigón poroso en estado seco (endurecido) varía de 15% a 35%, tal como de 25% a 35% o de 30% a 35%, expresado como un porcentaje de volumen del hormigón poroso.

Ventajosamente, el diámetro de los agregados en el hormigón poroso varía de 4 mm a 14 mm.

Preferiblemente, el hormigón poroso comprende menos del 10% de agregados con un diámetro que varía entre 0,063 mm y 2,0 mm.

Normalmente, la resistencia a la compresión del hormigón poroso después de 28 días varía entre 3 y 20 MPa.

Ventajosamente, en estado seco (o endurecido), la densidad del hormigón poroso o permeable oscila entre 1,5 y 1,9, preferiblemente entre 1,7 y 1,8, para áridos cuya densidad varía entre 2,5 y 2,7. La densidad del hormigón poroso o permeable puede ser incluso menor para áridos más ligeros.

Normalmente, el hormigón poroso comprende, por metro cúbico de hormigón permeable fresco:

de 80 a 200 litros, y preferiblemente de 120 a 160 litros, de una mezcla de un aglutinante hidráulico y agua, siendo la relación entre la masa de agua y la masa de aglutinante hidráulico de 0,25 a 0,4, teniendo dicha mezcla un umbral de flujo que varía de 20 a 100

Pa; y
450 a 700 litros de áridos de diámetro de 2 mm a 32 mm.

El aglutinante hidráulico está compuesto por cemento y opcionalmente aditivos y/o VMA. Más concretamente, el hormigón poroso se describe en el documento WO2012/001292, cuyo contenido se incorpora al presente documento por referencia. En particular, el aglutinante hidráulico puede ser el descrito en el documento WO2012/001292, página 4, línea 3 a página 5, línea 9. Puede comprender, en particular, un plastificante, como se describe en la página 5, línea 10 a página 6, línea 12. Se pueden utilizar otros aditivos, como antiespumantes (véanse página 6, líneas 13-23), agentes antieflorescencia (véanse página 6, líneas 24 a página 7, línea 4), agentes modificadores de la viscosidad (véanse página 7, líneas 5-14), agentes activadores, aceleradores y/o retardadores (véanse página 7, líneas 15-21). También se describen composiciones ejemplares de la página 7, línea 22 a página 8, línea 12, y en los ejemplos.

Material de hormigón absorbente

Ventajosamente, el material de hormigón absorbente puede contener además carbón activado y/o biocarbón. El carbón activado y/o el biocarbón pueden estar presentes en la composición mineral absorbente del hormigón poroso y/o del material de hormigón absorbente.

Por “carbón activo” o “carbón activado” se entiende un material en forma de polvo constituido principalmente por materia carbonosa con una estructura microporosa.

Tal como se utiliza en este documento, el término “biocarbón” designa un material carbonoso poroso sólido que se produce por descomposición térmica de biomasa.

El término “biocarbón” designa un material carbonoso sólido y poroso que se produce mediante la descomposición térmica de la biomasa. El biocarbón se obtiene mediante la descomposición térmica de la biomasa a una temperatura que oscila entre 350 y 1200 °C, preferiblemente entre 350 y 800 °C, más preferiblemente entre 400 y 750 °C y aún más preferiblemente entre 450 y 700 °C. Ventajosamente, el tratamiento térmico consiste en una pirólisis realizada a una temperatura superior a 550 °C y, ventajosamente, inferior a 750 o 700 °C. La pirólisis se realiza típicamente en una atmósfera reducida en oxígeno. Se entiende por atmósfera reducida en oxígeno una atmósfera con un contenido de oxígeno inferior al 21 %. Ventajosamente, la pirólisis se realiza en una atmósfera reducida en oxígeno con menos del 10 % de oxígeno en la atmósfera.

Ventajosamente, el carbón activado y/o biocarbón está presente en una cantidad que varía entre 0,1 y 5 % en peso, con respecto al peso del cemento en el material de hormigón absorbente.

La capacidad de absorción de la composición mineral absorbente y/o la absorción por capilaridad de la composición mineral absorbente es ventajosamente del 25% o más, preferiblemente del 30% o más.

Por lo tanto, el hormigón absorbente presenta una buena capacidad de evapotranspiración y es drenante cuando la composición mineral absorbente está saturada. Normalmente, el
5 hormigón absorbente tiene una capacidad de evapotranspiración, medida aquí, de 2 a 9 mm/día, preferiblemente de 3 a 8 mm/día.

Ventajosamente, el material de hormigón absorbente también es muy eficiente como aislante acústico (o fónico).

10 El material de hormigón absorbente tiene típicamente una resistencia a la compresión de entre 3 y 20 MPa después de 28 días, preferiblemente de 5 a 15 MPa después de 28 días, más preferiblemente de 10 a 15 MPa después de 28 días.

4. Preparación del material de hormigón absorbente

15 En otro aspecto, la invención se refiere a un proceso para preparar un material de hormigón absorbente, que comprende:

- a) Proporcionar un hormigón poroso como se describe con una porosidad abierta de 15% o más expresada como un porcentaje de volumen del hormigón poroso, comprendiendo dicho hormigón poroso poros interconectados,
- 20 b) Proporcionar una lechada de cemento absorbente como se describe anteriormente, y
- c) Verter la lechada de cemento absorbente dentro del hormigón poroso de manera que se rellenen al menos parcialmente los poros con la lechada de cemento, y
- d) Curarlo y/o dejarlo reposar.

25

El hormigón poroso del paso (a) normalmente está en estado seco (endurecido).

El hormigón poroso del paso (a) presenta preferiblemente una porosidad abierta que oscila entre el 15 % y el 40 %, e incluso más preferiblemente entre el 25 % y el 35 %, expresada como porcentaje en volumen del hormigón poroso. El hormigón poroso del paso (a) es el
30 descrito anteriormente. El hormigón poroso del paso (a) puede ser un elemento prefabricado o puede hormigonarse in situ.

La lechada de cemento absorbente del paso (b) se puede preparar de acuerdo con el proceso descrito en la sección 3. En particular, la lechada de cemento absorbente del paso
35 (b) se puede prefabricar en el lugar de trabajo (por ejemplo, instalando una mezcladora en el lugar de trabajo) o producir en una planta de producción de elementos prefabricados.

El paso (c) puede comprender además un paso de esparcimiento de la lechada de cemento sobre la superficie porosa del hormigón, por ejemplo con un rastrillo o una escobilla de goma.

- 5 En el paso (c), los poros pueden rellenarse parcial o totalmente con la lechada de cemento. Por ejemplo, el 50% (vol/vol) o más, el 60% (vol/vol) o más, el 70% (vol/vol) o más, o el 80% (vol/vol) o más de los poros interconectados pueden rellenarse con la lechada de cemento.
- 10 En una primera realización, el hormigón poroso puede estar ya instalado en una construcción. Por ejemplo, puede ser una pared o suelo de un edificio (como un aparcamiento) o parte de un pavimento o mobiliario urbano. En esta primera realización, el paso (c) consiste preferiblemente en verter la lechada de cemento absorbente dentro (o sobre) el hormigón poroso, y el paso (d) en el fraguado in situ. En esta primera realización,
- 15 el paso (b) consiste ventajosamente en preparar la lechada de cemento absorbente en la obra. La lechada de cemento puede verterse sobre el hormigón poroso inmediatamente después del fraguado o posteriormente.

- En una segunda realización particular, el hormigón poroso puede ser un elemento
- 20 prefabricado para su instalación, como una losa de hormigón, (parte de) un pavimento, una carretera, una isleta vial como una rotonda, o (parte de) mobiliario urbano como bancos, etc. En esta segunda realización, el paso (c) comprende preferiblemente el vertido de la lechada de cemento absorbente dentro del hormigón poroso, y el paso (d) comprende el curado y fraguado, típicamente en una planta de producción de elementos prefabricados.
- 25 En esta segunda realización, la lechada de cemento absorbente del paso (b) se produce preferiblemente en una planta de producción de elementos prefabricados (o incluso más preferiblemente en dicha planta).

- Ventajosamente, el proceso no necesita ninguna etapa de autoclave, ni tampoco ninguna
- 30 etapa de tratamiento térmico (por ejemplo, a 60-80°C) para obtener una composición mineral absorbente.

El curado del paso (d) se realiza preferiblemente a temperatura ambiente comprendida entre 15°C y 30°C durante un periodo de 1 a 7 días.

- El tiempo de fraguado (y opcionalmente de secado) del paso (d) puede reducirse
- 35 dependiendo de la presencia y la cantidad de acelerador añadido a la premezcla de cemento.

La invención se refiere también a un material de hormigón absorbente obtenible y/o obtenido mediante el procedimiento de la invención.

5 Usos

En otro aspecto, la invención se refiere al uso del hormigón absorbente como material aislante o para mejorar la evapotranspiración de elementos de construcción. En este último caso, la composición mineral absorbente puede considerarse un «material mineral refrigerante».

10

Como material aislante, el hormigón absorbente es relevante para la construcción. Este material es ventajosamente capaz de resistir o reducir las transferencias de aire y termohidráulicas. De hecho, este elemento presenta una permeabilidad controlada a las transferencias de aire, agua en forma de vapor o líquido.

15

Ejemplos de aplicaciones del material de hormigón absorbente de la invención incluyen la fabricación de losas para aparcamientos, zonas de poco tráfico, la construcción de calles en zonas residenciales, pasos de peatones, etc. En otras palabras, el material de hormigón absorbente de la invención puede utilizarse como (parte de) una losa de hormigón, (parte de) un pavimento, (parte de) una carretera, (parte de) una isleta vial como una rotonda, un panel apto para revestimiento o elementos de mobiliario urbano como bancos, etc. En estas aplicaciones, gracias a su alta capacidad de evapotranspiración, el material de hormigón absorbente de la invención permite reducir localmente la temperatura durante las olas de calor, contribuyendo así a la gestión de los impactos del cambio climático en las poblaciones.

25

Así, la invención se refiere además a un elemento de construcción, por ejemplo, una losa de hormigón, (parte de) un pavimento, (parte de) una carretera, (parte de) una isleta de carretera tal como una rotonda, o (parte de) mobiliario urbano tal como bancos y similares, que comprende o consiste en el material de hormigón absorbente de la invención.

30

En otro aspecto, la invención se refiere a un uso del material de hormigón absorbente de la invención para eliminar (al menos en parte) de la atmósfera gases y compuestos volátiles incluyendo óxidos de nitrógeno, preferiblemente NO_x, óxidos de azufre, compuestos orgánicos volátiles, ozono o monóxido de carbono, más preferiblemente NO_x, aún más preferiblemente NO₂.

35

La invención también se refiere a un método para descontaminar la atmósfera (al menos en parte), o para retirar NOx de la atmósfera (al menos en parte), que comprende atrapar, en particular absorber, gases atmosféricos y compuestos volátiles incluyendo óxidos de nitrógeno, y preferiblemente NOx, óxidos de azufre, compuestos orgánicos volátiles y ozono, más preferiblemente NOx, incluso más preferiblemente NO2, en un edificio o construcción que comprende el material de hormigón absorbente de la invención.

La invención se refiere además a un método para descontaminar la atmósfera (al menos en parte), o para retirar NOx de la atmósfera (al menos en parte) en una zona a descontaminar, que comprende fabricar un edificio o una construcción situada en la zona a descontaminar con el material de hormigón absorbente de la invención.

MÉTODOS

Medición de capacidad de absorción

Una lechada de cemento de la invención se vierte típicamente en un molde cúbico de dimensiones 10 cm*10 cm*10 cm.

La lechada de cemento se cura durante 28 días a 20 °C y 100 % de humedad relativa para obtener una composición mineral absorbente. Posteriormente, la composición mineral absorbente se seca a 60 °C hasta que su masa se mantiene constante, *es decir*, hasta que la diferencia de masa entre dos mediciones realizadas con 24 horas de diferencia sea igual o inferior al 0,5 %. De este modo, se obtiene una muestra de composición mineral absorbente seca y curada.

La muestra de composición mineral absorbente seca y curada se sumerge completamente y se mantiene bajo la superficie del agua (si procede, utilizando pesas para evitar que flote) en un tanque de agua durante una hora. A continuación, se retira la muestra de composición mineral absorbente "húmeda" y se coloca sobre un paño húmedo para eliminar el exceso de agua, antes de medir su masa.

La capacidad de absorción se expresa en %, y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad ABS} = 100 \times (M_{\text{húmedo}} - M_{\text{seco}}) / M_{\text{seco}}$$

donde M_{seco} es la masa de la composición mineral absorbente seca y curada, y

$M_{\text{húmedo}}$ es la masa de la composición mineral absorbente "húmeda".

Medición de absorción por capilaridad

Se prepara una muestra de composición mineral absorbente seca y curada como se describió anteriormente para determinar la capacidad de absorción.

La muestra de composición mineral absorbente seca y curada se coloca en un tanque vacío y se le añade agua hasta una altura de 1 cm. Esta muestra se mantiene en agua (si procede, utilizando pesas para evitar que flote) durante una hora. A continuación, se retira del tanque la muestra húmeda.

- 5 La absorción capilar se expresa en %, y se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Capilaridad Abs} = 100 \times (M_{\text{húmedo}} - M_{\text{seco}}) / M_{\text{seco}}$$

donde M_{seco} es la masa de la composición mineral absorbente seca y curada, y

$M_{\text{húmedo}}$ es la masa de la composición mineral absorbente “húmeda”.

10 **Medición de capacidad de evapotranspiración**

Coloque una muestra de hormigón absorbente en un horno a 40 °C hasta alcanzar una masa de referencia seca. Este tiempo de secado es de al menos varios días para obtener una muestra seca antes del ensayo. El material se considera seco cuando su peso no varía más del 1 % en -peso entre dos mediciones consecutivas con 24 horas de diferencia.

- 15 La bandeja se pesa periódicamente para controlar la pérdida de agua. Cuando ya no se observa pérdida de agua (la masa de la muestra se mantiene relativamente constante), se toma como referencia su masa seca. La pérdida de masa se registra en tiempo real o a intervalos preestablecidos mediante una báscula digital conectada.

- 20 Luego, la muestra seca se humedece justo antes de comenzar la prueba.

Existen varios métodos de humectación. El primero (añadir una cantidad conocida de agua) es más representativo de las condiciones reales de lluvia, mientras que el segundo permite obtener mediciones comparativas e identificar la capacidad máxima de evapotranspiración de una muestra dada. El tercer método consiste en absorber agua por el fondo (utilizando propiedades capilares) con un nivel de agua constante y medir el caudal para mantenerlo, lo cual corresponde a la tasa de evaporación.

- 30 Para evaluar el efecto refrigerante del material, se mide la temperatura con un sensor en la habitación, entre el ventilador y la balanza, cerca de la muestra, y también con un sensor algo más alejado (junto al ventilador para evitar el efecto del viento). La temperatura también se mide por encima de la muestra utilizando dos sensores adicionales fijados con pasta adhesiva a un cable. Un sensor conectado a los termopares presentes en la muestra permite obtener las variaciones de temperatura interna (parte inferior y central de la muestra).

35 **1er método de humectación: agregar una cantidad conocida de agua**

Una vez colocada la muestra en estudio, con todos los sensores funcionales y los dispositivos que simulan las condiciones reales listos para su lanzamiento, pese la masa

deseada de agua (p. ej., 200 g) en un vaso de precipitados con una balanza de precisión. Vierta la cantidad de agua medida sobre toda la superficie de la muestra de la forma más uniforme posible. Inicie la adquisición de la balanza justo después de añadir el agua. Finalmente, encienda el ventilador a velocidad 1 y conecte el proyector.

5 2º método de humectación: saturación

Tras el secado, la muestra se lleva a una sala con 100 % de humedad relativa (HR) en el sótano y se sumerge en un tanque lleno de agua. El tiempo de inmersión es de 5 minutos. Transcurrido este tiempo, se extrae la muestra del tanque y se coloca boca abajo sobre una rejilla en la sala con 100 % de HR, donde comienza la fase de drenaje. El drenaje dura
10 5 horas.

Medición de porosidad abierta

La porosidad abierta del material se mide mediante la intrusión de mercurio con un penetrómetro. Se aplican presiones bajas y altas para que el mercurio penetre en el
15 material. El volumen de mercurio que penetra en la muestra al final del experimento debe estar entre el 25 % y el 90 % del volumen del penetrómetro.

La medición de la porosidad abierta está relacionada con la ecuación de Washburn (1) que relaciona la presión aplicada con el diámetro del poro:

$$D = - (1/P)^{1/4} (\gamma \cos(\theta))^{1/4} \quad (1)$$

20 donde D es el diámetro del poro, P es la presión aplicada, γ es la tensión superficial del mercurio (0,485 N/m) y θ es el ángulo de contacto del mercurio (130°)

Se utiliza mercurio por su alto ángulo de contacto (es un líquido no humectante). El volumen de mercurio penetrado se mide en función de la presión aplicada al material. La ecuación
25 de Washburn relaciona la presión con el diámetro del poro. Este diámetro corresponde al diámetro de entrada del poro.

La norma DIN ISO 15901-1 de marzo de 2019 proporciona una descripción completa del método de medición de la porosidad abierta.

30 Medición del tiempo de fraguado

El tiempo de fraguado se mide según la norma NF EN 196-3 publicada en enero de 2009.

Medición de la tensión de fluencia de la composición mineral absorbente

El límite elástico representa el esfuerzo cortante mínimo que debe aplicarse al material
35 antes de fluir. Se mide con una paleta de cuatro hojas. El límite elástico es...

función del diámetro del álabe (D) y la altura (H) y el álabe gira a baja velocidad para que el par máximo no dependa de la viscosidad.

La paleta tiene un diámetro de 40 mm y una altura de 55 mm, la velocidad es de 0,1 rpm.

La medición comienza 1 minuto después de introducir la cuchilla en el material. El valor

- 5 máximo de la tensión se registra entonces, considerándose como el límite elástico estático.

Método para medir la resistencia a la compresión (CS) de la composición mineral absorbente:

- 10 La lechada de cemento de la invención se vierte típicamente en un molde. La lechada de cemento se cura durante 28 días a 20 °C y 100 % de humedad relativa para obtener una composición mineral absorbente curada. Se utilizan muestras cúbicas (dimensiones 4 cm x 4 cm x 4 cm) para medir la resistencia a la compresión.

- Para la medición de resistencias bajas, medidas según la norma NF EN 826 de mayo de 15 2013, se utiliza una mini prensa.

Método de prueba de adsorción:

- Las pruebas de adsorción de NO_x se realizaron utilizando un reactor de cuarzo fundido (3,8 dm³). El gas se inyectó en el reactor a través de cinco orificios para homogeneizar el patrón de flujo. La concentración de NO/NO₂ en la entrada (768 µg/m³ de NO y 478 µg/m³ de NO₂, respectivamente) y en la salida se controló con un analizador automático de NO_x (AC32M de Environnement SA, Francia). Los dos gases mezclados se inyectaron mediante un transportador de nitrógeno, con humedad relativa controlada (45%). La reducción porcentual instantánea de la concentración de gas contaminante se expresa como _{contaminante}

- 25 $AE = [(C_0 - C_{\text{muestra}}) / C_{\text{entrada}}] * 100$, donde:

_{contaminante} AE significa “eficiencia de adsorción” para el contaminante (NO o NO₂).

C₀ y C_{muestra} son las concentraciones simultáneas del contaminante, a la salida del bypass y del reactor que contiene la muestra sólida, respectivamente.

- Las muestras se expusieron en la cámara durante 24 horas. Su tamaño es de 15 cm x 15 cm x 5 cm, con solo la superficie superior expuesta al flujo de contaminantes (todas las demás superficies se sellaron con sellador).

El rendimiento también se puede expresar como porcentaje sumando/integrando el valor de mitigación instantáneo durante veinticuatro horas.

- 35 **DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

La figura 1 muestra la tasa de evaporación (en mm/h) a lo largo del tiempo (en h) de dos muestras sometidas al ensayo de evapotranspiración mediante el método de humectación. Los rombos representan los valores medidos únicamente con hormigón poroso y los círculos, los obtenidos con la muestra según la invención.

5

La figura 2 muestra el rendimiento de mitigación de NO₂ de los materiales probados en el ejemplo 2. El eje vertical corresponde a la relación [NO₂]/[NO₂] de entrada. El eje horizontal corresponde al tiempo (en h).

10 EJEMPLOS

Ejemplo 1

Materiales

El cemento utilizado es un CEM I 52,5 N suministrado por la planta Lafarge de Val d'Azergues en Francia.

15 El agente modificador de la viscosidad (VMA) es Kelcocrete DG (DG significa goma diutan) suministrado por BASF en forma de polvo.

El acelerador es Denka SC1 (acelerador a base de aluminato de calcio) suministrado por Denka en forma de polvo.

Agua: agua del grifo

20 El hormigón poroso: se prepara según las siguientes composiciones:

CEM I 52.5N	280 kg/ m ³
Grava de 3/6 mm de la cantera Cassis Lafarge	1489 kg/ m ³
Aditivo – MAPEI Mapecrete Drain P	0,75 kg/ m ³
Agua	87,5 L/ m ³

Tabla 1

Equipo

El mezclador Rayneri:

25 - Un mezclador Turbotest suministrado por la empresa Rayneri, que es un mezclador de eje vertical equipado con una pala desfloculante.

Para la prueba de evapotranspiración:

- 1 báscula conectada para medir la pérdida de masa de forma continua durante toda la prueba
- 1 ventilador para simular los efectos del viento barriendo la muestra
- 30 - 1 proyector fijado encima de la muestra para simular la radiación solar (80 W o ~1000 W/m² de luz solar equivalente en el cenit)
- 1 sensor Testo para medir la temperatura y la humedad cerca de la muestra

- 1 sensor Testo para medir la temperatura dentro de la muestra
- 1 sensor de referencia iButton fuera del rango del ventilador para medir la temperatura y la humedad de la habitación
- 2 sensores iButton encima de la muestra para medir la temperatura y la humedad cercana a la muestra

Preparación de las lechadas de cemento absorbente

Para preparar un litro de suspensión se utilizaron las siguientes composiciones:

MEZCLA	Acelerador/Cemento (en % en peso)	VMA (g)	Relación VMA/Cemento (en %)	WC
1	-	3	0,2%	2
2	-	3	0,3%	3
3	-	4	0,4%	4
4	5%	3	0,21%	2
5	5%	3	0,32%	3
6	5%	4	0,42%	4

Tabla 2

- 10 Las seis lechadas de cemento se prepararon utilizando un mezclador Rayneri Turbotest 33/300 equipado con una pala desfloculante, en el que previamente se introdujo agua del grifo.

Luego, mientras se mezclaba a 300 rpm, se añadió la VMA (goma diután). La solución acuosa se agitó continuamente hasta alcanzar un valor de límite elástico entre 0,1 y 1,0

- 15 Pa.

Mientras se mezclaba a 600 rpm, se añadieron progresivamente los componentes sólidos, preferiblemente durante un minuto. A continuación, se mezcló la lechada de cemento durante dos minutos más, hasta que no se detectaron flóculos visualmente.

Preparación del hormigón poroso

aproximadamente 130 L del hormigón poroso descrito en la tabla 1 en la cavidad superior de un molde de dos cavidades, para formar una losa de hormigón poroso con las siguientes dimensiones: 100 x 120 x 2,15 cm. La primera cavidad (superior) tiene las siguientes dimensiones: 100 x 120 x El molde tiene un espesor de 18 cm y está cubierto con geotextil.

- 25 Debajo de la primera cavidad se encuentra la segunda. Esta cavidad (inferior) tiene las siguientes dimensiones: 1,2 m² de superficie expuesta y 5 cm de espesor. Se rellena con grava. Se instala un grifo en la pared de la segunda cavidad, a 1 cm de su superficie inferior, para drenarla cuando sea necesario.

- 30 Para preparar el hormigón absorbente, se vierten aproximadamente 28 L de lechada de cemento absorbente sobre la muestra de hormigón poroso, hasta que alcanza el nivel del

hormigón poroso. Posteriormente, se deja fraguar dentro del hormigón poroso a una temperatura de 20 °C durante 7 días.

Luego se deja reposar la lechada dentro del hormigón poroso a una temperatura de 20 °C durante 7 días.

- 5 La superficie expuesta al “viento” simulado es entonces de 1,2 m².

Resultados

La muestra de material de hormigón absorbente se prepara de acuerdo con el método descrito anteriormente y la evapotranspiración se mide de acuerdo con el método descrito anteriormente.

Los resultados obtenidos en un ambiente de laboratorio con condiciones de humedad y temperatura constantes se presentan en la tabla 3 a continuación.

Los resultados muestran que el hormigón absorbente obtenido con la mezcla 2 presenta una alta tasa de evaporación, superior a la de una superficie de tierra y césped. El efecto medido con la mezcla 2 es extrapolable a las mezclas 1 a 6, todas ellas conformes a la presente invención.

MEZCLA	Descripción	Relación agua/cemento	Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa)	Capacidad de absorción (% en peso)	Absorción capilar (% en peso)	Tasa de evaporación (mm/día)
1	E/C 2	2	1.08	90	91.0	N.M
2	E/C 3	3	0,21	154	142	6.0
3	E/C 4	4	<0,05	209	207	N.M
4	E/C 2 + acelerador	2	1.03	100	96	N.M
5	E/C 3 + acelerador	3	0,35	154	128	N.M
6	E/C 4 + acelerador	4	0,25	196	158	N.M
Referencia 1	Césped	N / A	N / A	N / A	N / A	1,95
Referencia 2	Tierra + hierba	N / A	N / A	N / A	N / A	5.35
Referencia 3	Hidromedia con agregados convencionales	N / A	N / A	N / A	N / A	1.5
Referencia 4	Hidromedia con agregados reciclados	N / A	N / A	N / A	N / A	2.2
	agua					10

Tabla 3

NM: valor no medido.

NA: no aplicable

- Se realizaron otras pruebas al aire libre durante el verano de 2022 en una zona privada no accesible al público. Las muestras se sometieron a condiciones externas reales. La temperatura osciló entre 18,0 °C y 30,6 °C. Un primer período seco de 16 días (denominado «fase seca») fue seguido por unos 10 días de lluvia. El segundo período seco tras la lluvia se denomina «fase húmeda». La Figura 1 muestra la tasa de evaporación medida durante un período de 400 h durante la «fase seca» y demuestra que el material de la invención tiene una tasa de evaporación superior a la del hormigón permeable por sí solo.
- En comparación con un hormigón poroso convencional, el material de hormigón absorbente de la invención presenta una capacidad de evapotranspiración aumentada entre 2,0 y 4,0, y típicamente entre 2,5 y 3,0. Esta misma tendencia se observa en las pruebas de laboratorio y en condiciones reales (al aire libre).
- En pruebas en condiciones reales (al aire libre), se ha demostrado que la temperatura de la superficie del material de hormigón absorbente se reduce entre 2°C y 10°C, en comparación con un hormigón poroso convencional, dependiendo de la temperatura exterior (y de la hora del día).

20 **Ejemplo 2**

Materiales

- El cemento utilizado es un CEM I 52,5 N suministrado por la planta Lafarge de Val d'Azergues en Francia.
- El agente modificador de la viscosidad (VMA) es Kelcocrete DG (DG significa goma diutan) suministrado por BASF en forma de polvo.
- Agua: agua del grifo

El hormigón poroso PC-0 se prepara según las composiciones de la tabla 4:

CEM I 52.5N	280 kg/m ³
Grava de 3/6 mm de la cantera Cassis Lafarge	1480 kg/m ³
Aditivo – MAPEI Mapecrete Drain P	0,75 kg/m ³
WC	0,36

30 Tabla 4

El hormigón poroso PC-0 se prepara siguiendo el procedimiento expuesto en el ejemplo 1.

La lechada de cemento absorbente 7 (o RIMS-0) se prepara utilizando la composición de la tabla 5:

MEZCLA	Acelerador/Cemento (en % en peso)	VMA (g)	Relación VMA/Cemento (en %)	WC
7 (RIMS-0)	-	3	0,3%	3

Tabla 5

- 5 La lechada de cemento absorbente RIMS-0 y el material de hormigón absorbente (en adelante PC-RIMS-0) se preparan utilizando los mismos procedimientos que en el ejemplo 1.

Resultados

- 10 Se probaron la eficiencia de adsorción de NO_2 del hormigón poroso PC-0, la lechada de cemento absorbente RIMS-0 y el material de hormigón absorbente PC-RIMS-0 utilizando el método de prueba de adsorción descrito anteriormente.

Los resultados se muestran en la figura 2 y en la tabla 6 a continuación.

	Porosidad abierta	AE (NO_2)
PC-0	21%	24%
RIMS-0	70%	57%
PC-RIMS-0	NM	44%
Resultados simulados para PC-RIMS	N / A	35%

Tabla 6

- 15 **NM: valor no medido.**

NA: no aplicable

- la eficiencia de adsorción de NO_2 del material de hormigón absorbente PC-RIMS-0 con la eficiencia de adsorción de NO_2 que se esperaría de un material de hormigón absorbente en donde la contribución a la adsorción de NO_2 es de cada uno de los hormigones y la lechada de cemento absorbente estaría relacionada con su relación de volumen en el material de hormigón absorbente.

Para ello, se calcula un resultado simulado (denominado resultado simulado para PC-RIMS en la tabla 6) utilizando la siguiente fórmula:

$$[AE_{\text{simulado}}]^{NO_2} = vol^{PC-0} * [AE_{PC-0}]_{NO_2} + vol^{RIMS-0} * [AE_{RIMS-0}]_{NO_2}$$

con $vol^{PC-0} = 76\%$ y $vol^{RIMS-0} = 24\%$, valores $[AE_{PC-0}]_{NO_2}$ y $[AE_{RIMS-0}]_{NO_2}$ siendo como en la tabla 6.

- 5 Como se puede observar en la tabla 6, la eficiencia de adsorción de NO_2 medida para el material de hormigón absorbente PC-RIMS-0 es significativamente mayor que la obtenida mediante la simple suma de los componentes individuales. Esta comparación demuestra que se obtiene un efecto sinérgico en la mitigación de NO_2 al utilizar el material de hormigón absorbente.