

**MATERIALES AUTORREPARABLES, QUE INCLUYEN ESPORAS PARA
REPARACIÓN DE CONCRETO Y PROTECCIÓN DE ESPORAS A BASE DE ACEITE**

REFERENCIA CRUZADA A APLICACIONES RELACIONADAS

Esta solicitud reivindica el beneficio de la solicitud de patente provisional de los EE. UU. con núm. de serie 63/399.454, presentada el 19 de agosto de 2022, y la solicitud de patente provisional de los EE. UU. con núm. de serie 63/401.869, presentada el 29 de agosto de 2022, cada una de las cuales se incorpora en la presente como referencia.

CAMPO DE LA INVENCION

La presente descripción se dirige hacia materiales autorreparables que comprenden esporas para reparar grietas en materiales cementosos, tales como concreto. La presente descripción se dirige además a proteger las esporas, tal como recubriendo las esporas con un recubrimiento protector.

ANTECEDENTES

Los materiales cementosos, tal como el concreto, pueden agrietarse por una variedad de razones. Cuando tales

grietas no se reparan lo suficiente, el concreto tenderá a tener una resistencia debilitada, lo que puede causar problemas de seguridad. Las grietas no reparadas también permiten que los materiales (p. ej., agua, aire, sal) penetren en el concreto. Además, las grietas no reparadas pueden exponer cualquier acero de refuerzo a la corrosión y pueden crear una apariencia no deseada.

Algunas técnicas convencionales para reparar grietas, tal como la inyección de sellador, requieren una inspección frecuente para identificar las grietas. Por lo tanto, estas y otras técnicas convencionales pueden ser difíciles, llevar mucho tiempo, y ser costosas.

Sigue existiendo una necesidad en la técnica de mejoras para reparar grietas en materiales cementosos.

SUMARIO

Un aspecto de la descripción proporciona un material autorreparable para reparar una grieta dentro de un material cementoso, el material autorreparable comprende: un sustrato poroso que tiene poros, el sustrato poroso que comprende un componente cementoso, donde el componente cementoso se dispone en al menos una porción de una superficie del sustrato, dispuesto dentro de al menos una

porción de los poros del sustrato, o ambos; y esporas fúngicas dentro de al menos una porción de los poros, donde las esporas fúngicas están recubiertas al menos parcialmente por un recubrimiento protector.

Otro aspecto de la descripción proporciona un método para autorreparar un material cementoso, el método comprende etapas de combinar un sustrato poroso con una suspensión de cemento húmedo; opcionalmente eliminar una porción de la suspensión de cemento húmedo, que incluye exceso de agua de la suspensión de cemento húmedo; permitir que la suspensión de cemento húmedo se endurezca al menos parcialmente sobre una superficie del sustrato poroso, o al menos parcialmente se endurezca dentro del sustrato poroso, o ambos; combinando esporas fúngicas con el sustrato poroso para formar de esta manera un sustrato poroso cargado con esporas, donde las esporas fúngicas están recubiertas al menos parcialmente por un recubrimiento protector; y opcionalmente recubrir además el sustrato poroso cargado con esporas con un segundo recubrimiento protector.

Otro aspecto de la descripción proporciona un material autorreparable para reparar una grieta dentro de un material cementoso, el material autorreparable comprende: un sustrato poroso que tiene poros, donde el sustrato poroso comprende un material seleccionado de espuma, arcilla

expandida, celite, perlita, y vidrio expandido; y esporas fúngicas dentro de al menos una porción de los poros, donde las esporas fúngicas están recubiertas al menos parcialmente por un recubrimiento protector.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Los materiales cementosos, tal como concreto, tienden a sufrir grietas, estas grietas pueden provocar una variedad de efectos no deseados. Los aspectos de la descripción están dirigidos a la reparación de tales grietas. Los aspectos de la descripción se dirigen hacia un material autorreparable para reparar grietas en los materiales cementosos, tal como concreto.

Como se describirá además en la presente descripción, el término material autorreparable generalmente se refiere a una unidad que comprende un material portador que incluye esporas. Como se describe además, las esporas son capaces de permitir la reparación de una grieta de un material cementoso. El material portador del material autorreparable generalmente sirve para proteger físicamente las esporas. Las esporas dentro del material autorreparable también pueden protegerse químicamente recubriendo las esporas con un recubrimiento protector antes de la

incorporación de las esporas recubiertas con el material portador.

Como se describirá además en la presente descripción, el término material cementoso generalmente se refiere a un material que es un material a base de cemento, que puede denominarse material que contiene cemento o material que tiene la naturaleza de cemento, que comprende el material autorreparable. El material cementoso también puede denominarse en la presente descripción composiciones cementosas o materiales compuestos. Los materiales cementosos ilustrativos incluyen concreto, recubrimientos cementosos, y mortero. Las estructuras ilustrativas que se pueden elaborar a partir de concreto incluyen túneles, puentes, y losas para carreteras, aeródromos, y almacenes. Si bien aspectos de la descripción pueden referirse al concreto en particular, debe apreciarse que estos aspectos pueden extenderse a otros materiales cementosos adecuados.

Al incorporarse las esporas dentro del material cementoso, a través del material autorreparable, las esporas deben ser capaces de sobrevivir y permanecer latentes a través de las condiciones dañinas a las que se someten materiales cementosos. Estas condiciones pueden incluir aquellas condiciones a lo largo de las diversas etapas de formación de los materiales cementosos, y las condiciones a

las que los materiales cementosos pueden estar sometidos en una amplia matriz de entornos.

Al aparecer una o más grietas en el material cementoso (p. ej., una estructura de concreto), y al ser sometidas las esporas a condiciones adecuadas, tal como recibir oxígeno y nutrientes apropiados, las esporas deben germinar para volver al crecimiento vegetativo como células vegetativas. Las células vegetativas, que también pueden denominarse microorganismos, deben entonces formar depósitos sólidos, que también pueden denominarse minerales, para reparar una o más grietas. Este proceso de producción de depósitos sólidos por parte de un microorganismo se conoce generalmente como biomineralización. Los depósitos sólidos producidos deben servir para rellenar suficientemente la una o más grietas, de tal manera que el material autorreparable descrito en la presente sea capaz de reparar grietas dentro de los materiales cementosos.

Es decir, el término material autorreparable, que también puede denominarse material autocurable, generalmente se refiere a la capacidad del material para reparar un material cementoso que comprende el material autorreparable. También se puede referir a esto como tener una capacidad incorporada para reparar daños. Esta capacidad de reparación también puede incluir no necesitar diagnosticar externamente

el problema y no necesitar más intervención humana para reparar el daño.

Dicho de otra manera, los materiales cementosos que comprenden el material autorreparable serán capaces de contrarrestar una grieta a través de la biomineralización, específicamente iniciando la germinación de las esporas, logrando después el crecimiento vegetativo por las células resultante de la germinación, rellenando después la grieta con los materiales sólidos resultantes del crecimiento vegetativo. Esto puede incluir no necesitar añadir un material adicional, tal como un sellador.

En uno o más aspectos de la descripción, el material autorreparable puede mezclarse con un material cementoso inicial, donde el material cementoso inicial se refiere a una composición que se convertirá en un material cementoso final. Por ejemplo, un material cementoso húmedo inicial puede convertirse en un material cementoso endurecido, seco, final (p. ej., el concreto es un material cementoso que comprende cemento y agregado y, como tal, el material cementoso final puede ser concreto endurecido). En estos u otros aspectos de la descripción, el material autorreparable podría llenarse en una grieta dentro de un material cementoso final ya existente. En estos u otros aspectos de la descripción, un recubrimiento que comprende

el material autorreparable y el material cementoso podría aplicarse a un material cementoso final ya existente. Los espesores ilustrativos para un recubrimiento que comprende el material autorreparable y el material cementoso incluyen de aproximadamente 5 mm a 20 mm, o de aproximadamente 5 mm a 15 mm, o de aproximadamente 5 mm a 10 mm, o de aproximadamente 10 mm a 15 mm.

Como se indicó anteriormente, los esfuerzos para reparar materiales cementosos (p. ej., concreto) pueden ser complejos, basado en las duras condiciones a las que podrían estar sometidos los materiales cementosos, particularmente durante la formación de materiales cementosos, lo que también puede denominarse hidratación del cemento. Las condiciones durante la hidratación del cemento pueden incluir pH relativamente alto, tal como hasta aproximadamente pH 13, y temperaturas relativamente altas, tales como hasta aproximadamente de 50 °C a 60 °C. La hidratación de cemento generalmente incluye una suspensión cementosa que cambia de un estado líquido a un estado rígido o sólido. Después de la formación de materiales cementosos, los materiales cementosos formados también pueden estar sujetos a condiciones ambientales duras.

Por lo tanto, los componentes de los materiales autorreparables descritos en la presente generalmente

necesitan soportar tales condiciones. Como se describirá más adelante en la presente descripción, aspectos de la descripción están dirigidos a proteger las esporas de estas condiciones, tal como recubrir las esporas con un recubrimiento protector y/o incluir las esporas dentro de un material portador.

Además de la necesidad de que las esporas y microorganismos resistan estas duras condiciones, la consideración de esporas y microorganismos adecuados generalmente debe tomar en cuenta ciertos otros factores. Las especies adecuadas para las esporas y microorganismos, y aspectos de los materiales cementosos, pueden seleccionarse basadas en una o más de la capacidad de que las esporas permanezcan latentes pero viables durante períodos relativamente largos de confinamiento dentro del material cementoso (p. ej., concreto); la capacidad de las esporas para germinar y crecer en condiciones (p. ej., temperatura, humedad, y salinidad) cuando aparece una grieta en el material cementoso; la capacidad de los microorganismos para producir una cantidad suficiente de depósitos sólidos para reparar una grieta cuando están en el estado de crecimiento vegetativo; la compatibilidad, tal como del material autorreparable, cualquier componente correspondiente, y los depósitos sólidos, con el material cementoso general; la capacidad de que los componentes

del material autorreparable y cualquier componente correspondiente estén disponibles para los microorganismos para formar los depósitos sólidos; y la capacidad de los microorganismos para producir un estado latente o regresar a un estado latente después de reparar una grieta para proporcionar una regeneración posterior para llevar a cabo etapas repetidas de reparación.

Como se mencionó anteriormente, aspectos de la descripción se relacionan con material autorreparable, que comprende esporas formadas por microorganismos, y materiales cementosos correspondientes que comprenden el material autorreparable. Como es generalmente conocido por el experto en la técnica, las esporas son pequeñas estructuras de células individuales que son en su mayoría inactivas e latentes. Las esporas son hechas por los microorganismos para su dispersión y para la supervivencia a largo plazo, y por lo tanto son generalmente resistentes a las duras condiciones ambientales.

Las esporas son distintas de las células vegetativas, que son células activas en crecimiento. Las esporas dentro del material autorreparable y los materiales cementosos correspondientes deben germinar de nuevo en células vegetativas para producir los depósitos sólidos. Dado que las esporas están inicialmente latentes, se debe considerar la

capacidad de las esporas para germinar bajo las condiciones esperadas en una grieta dentro del material cementoso. La latencia generalmente se mantiene en un material cementoso no agrietado basado en el pH relativamente alto (p. ej., > 12) y la falta de oxígeno dentro del material cementoso no agrietado. Una grieta dentro de un material cementoso generalmente tenderá a reducir el pH (p. ej., < 10) y permitirá que suficiente oxígeno y agua lleguen a las esporas para poner fin a la latencia. Terminar la latencia también requiere generalmente proporcionar suficientes nutrientes, que también pueden denominarse alimentos, a las esporas a través del material autorreparable y/o los materiales cementosos correspondientes. Aspectos relacionados para proporcionar estos nutrientes adecuados se describen en otra parte de la presente descripción.

Los microorganismos y esporas adecuados pueden cribarse y elegirse en relación con los factores descritos con respecto a la idoneidad de ciertos microorganismos y esporas para ser utilizados dentro del material autorreparable y los materiales cementosos correspondientes descritos en la presente.

Generalmente, se ha encontrado que las esporas fúngicas, que también pueden denominarse esporas aéreas fúngicas o conidios, se desempeñarán mejor que las esporas

bacterianas para lograr las funciones descritas en la presente. Por ejemplo, las esporas fúngicas tienen una capacidad de supervivencia relativamente mayor en el concreto. También, las esporas fúngicas generalmente pueden producir depósitos más sólidos. Como otro ejemplo, algunas bacterias producen endosporas internas, lo que, por lo tanto, requeriría una técnica de recolección difícil. Por lo tanto, gran parte de la descripción se centra en esporas fúngicas adecuadas. Sin embargo, es posible que ciertas esporas bacterianas puedan ser utilizadas de acuerdo con las funciones descritas en la presente.

En aspectos de la descripción, las especies adecuadas para las esporas fúngicas incluyen aquellas que tienen suficiente crecimiento celular a pH relativamente alto, tal como aproximadamente 10, o aproximadamente 11, en relación con el crecimiento superficial, tal como en una placa de agar. En aspectos de la descripción, las especies adecuadas para las esporas fúngicas incluyen aquellas que no producen una cantidad deletérea de ácidos orgánicos. Tales ácidos orgánicos son producidos por algunos hongos como para bajar el pH localmente, pero estos ácidos orgánicos microbianos probablemente afectarían negativamente la integridad del concreto y provocarían corrosión de cualquier acero de refuerzo. En aspectos de la descripción, las

especies adecuadas para las esporas fúngicas incluyen aquellas que tienen la capacidad de crecimiento sumergido en un medio líquido que tiene un pH relativamente alto, tal como aproximadamente 10, o aproximadamente 11. En aspectos de la descripción, las especies adecuadas para las esporas fúngicas incluyen aquellas que tienen la capacidad de germinación a un pH moderadamente alto, tal como aproximadamente 9,5, que es pertinente para ambientes cementosos bajo carbonatación del aire ambiente, tal como dentro de las grietas. En aspectos de la descripción, las especies adecuadas para las esporas fúngicas incluyen aquellas que tienen la capacidad de germinación de esporas a pH neutro a moderadamente alto después de haber sido expuestas a las condiciones de pH y/o temperatura altos relevantes para aquellas encontradas durante la mezcla, fraguado, y curado de materiales cementosos (p. ej., concreto), tales como pH de aproximadamente 12,9 y temperatura de 45 °C a 55 °C. En aspectos de la descripción, las especies adecuadas para las esporas fúngicas incluyen aquellas que cumplan varias o todas estas condiciones.

Las especies adecuadas para las esporas fúngicas serán aquellas que producen los materiales sólidos (p. ej., carbonato de calcio, tal como calcita). Esto debe incluir la capacidad de formar piezas continuas y grandes de depósito

sólido. Además, se debe considerar la morfología de formación de calcita y asociación con la biomasa celular en relación con la selección de especies adecuadas para las esporas fúngicas. Otra consideración en relación con los materiales sólidos podría incluir la capacidad de producir coprecipitados (p. ej., SrCO_3).

En aspectos de la descripción, las especies adecuadas para las esporas fúngicas incluyen hongos alcalofílicos y/o alcalotolerantes.

En aspectos de la descripción, las especies adecuadas para las esporas fúngicas incluyen *Scopulariopsis brevicaulis*, *Purpureocillium lilacinum*, *Myrothecium verrucaria*, *Aspergillus nidulans*, y combinaciones de estos. Con referencia a la colección de cultivos USDA-ARS (NRRL), los ejemplos incluyen *Aspergillus nidulans* NRRL 187, *Scopulariopsis brevicaulis* NRRL 1100, *Myrothecium verrucaria* NRRL 2003, y *Purpureocillium lilacinum* NRRL 895.

Como se indicó anteriormente, las esporas fúngicas se pueden proteger de condiciones duras a través de un recubrimiento protector. Esto puede denominarse protección química. En aspectos de la descripción, las esporas pueden recubrirse individualmente con el recubrimiento protector. Los aspectos de la descripción también incluyen múltiples

esporas que están incrustadas dentro de un recubrimiento unitario.

El recubrimiento protector se puede aplicar a las esporas suspendiendo las esporas dentro del material deseado para el recubrimiento protector, que puede ser uno o más aceites, que también pueden denominarse líquido hidrofóbico o recubrimiento hidrofóbico. En uno o más aspectos, el recubrimiento protector comprende uno o más ácidos grasos libres además de uno o más aceites. El uno o más ácidos grasos libres podrían ser utilizados para bajar el pH local, tal como cuando las esporas están dentro del material cementoso. El recubrimiento de las esporas también puede denominarse las esporas que están rodeadas de aceite. Las esporas recubiertas pueden proporcionarse para uso posterior de estas en forma de la suspensión oleosa, que también puede denominarse fase oleosa que contiene esporas.

Como se indicó anteriormente, el recubrimiento protector debe ser generalmente hidrofóbico, lo que puede denominarse un líquido hidrofóbico. La superficie hidrofóbica de las esporas fúngicas permite un fácil recubrimiento con una capa del recubrimiento hidrofóbico. El recubrimiento hidrofóbico generalmente sirve para prevenir o minimizar el contacto de esporas con cualquier agua. También se cree que el recubrimiento hidrofóbico protege a las

esporas contra los ambientes de pH más alto debido a que los iones hidróxido (OH^-) no pueden disolverse en el aceite, y por lo tanto el efecto de pH alto no puede alcanzar las esporas dentro del recubrimiento. El recubrimiento hidrofóbico sirve además como un líquido portador para permitir la carga de esporas en un sustrato poroso, como se describe además en la presente descripción. Además, el recubrimiento hidrofóbico también puede servir para ser consumible por las células fúngicas como para apoyar el crecimiento celular fúngico y la biomineralización, tal como después de que las esporas germinan dentro de un material cementoso agrietado (p. ej., concreto, mortero).

Se pueden usar muchas sustancias y mezclas adecuadas para el recubrimiento protector. Los materiales ilustrativos para el recubrimiento protector incluyen aceites, ácidos grasos libres, y grasas fundidas. Estos incluyen soluciones y mezclas de estos. El experto en la técnica también entenderá que el término aceite, tal como se usa en la presente descripción, puede referirse a composiciones que tienen una variedad de constituyentes químicos. Los aceites ilustrativos incluyen aceite de soya, aceite de palma, aceite de colza, aceite de canola, aceite de oliva, aceite de girasol, aceite de coco, aceite de maíz, aceite de semilla de algodón, aceite de maní, aceite de cártamo, aceite mineral, aceite de parafina,

hidrocarburos líquidos y sus mezclas con longitudes de cadena de aproximadamente C10 a aproximadamente C25, y aceite de silicona. Los ácidos grasos libres ilustrativos incluyen ácido oleico, ácido palmítico, ácido esteárico, ácido linoleico, y ácido linolénico. Los ácidos grasos libres ilustrativos también pueden denominarse ácidos grasos de cadena larga, que generalmente se refiere a longitudes de cadena de aproximadamente C10 a aproximadamente C25. Otros líquidos hidrofóbicos adecuados incluyen líquidos hidrofóbicos de origen animal, vegetal, derivados del petróleo, y sintéticos. Otros líquidos hidrofóbicos adecuados incluyen otros lípidos y compuestos solubles en aceite o compatibles con aceite tales como alcoholes grasos, éteres, ésteres, glicolípidos, y lipopéptidos. Aún otros materiales adecuados incluyen monoglicéridos y diglicéridos.

Otros materiales adecuados para el recubrimiento protector incluyen aquellos compuestos con un grupo funcional, donde el compuesto con el grupo funcional proporciona solubilidad en agua suficientemente baja. Los grupos funcionales ilustrativos incluyen alcohol, aldehído, éster, amina, y amida. La solubilidad en agua suficientemente baja generalmente puede ser menor que 1 g/l, tal como en condiciones ambientales. Aún otros materiales adecuados para el

recubrimiento protector incluyen aquellos compuestos que tienen un grupo funcional de ácido carboxílico ($-\text{COOH}$).

El material para el recubrimiento protector se puede elegir dependiendo de una aplicación final deseada. Por ejemplo, el material oleoso puede elegirse basado en que también sea consumible por el microorganismo o por tener un punto de fusión adecuado. Además, uno o más ácidos grasos pueden formar sales insolubles con álcali y alcalino para neutralizar el pH alto localmente y minimizar el daño a las esporas. Cualquier formación de sales insolubles con álcali y alcalino, que también puede denominarse saponificación, también debe equilibrarse con las propiedades del material cementoso. Esto puede incluir el uso de ciertos aditivos, tales como agentes desaireadores de aire, para reducir la cantidad de aire no deseado o excesivo para reducir la saponificación y/o prevenir problemas en relación con cualquier saponificación. Como se indicó anteriormente, se podrían utilizar mezclas de uno o más aceites, uno o más ácidos grasos, y/o una o más grasas fundidas para lograr más de uno de estos beneficios particulares.

Como se indicó anteriormente, las esporas fúngicas del material autocurable se proporcionan mediante impregnación o incorporación dentro de un material portador, que también puede denominarse un sustrato portador. El

material portador debe ser poroso para impregnar o incorporar las esporas en este. El material portador poroso que comprende las esporas también puede denominarse sustrato poroso cargado con esporas. Esta inclusión de las esporas dentro del portador/sustrato sirve como una forma de protección física de las esporas. En uno o más aspectos, esta impregnación o incorporación de las esporas dentro de un material portador es después de que las esporas se recubren con el recubrimiento protector. El material portador debe recibir las esporas dentro de los poros en su interior y/o dentro de los poros en la superficie, cuya presencia en los poros superficiales puede denominarse como recubiertos sobre el material portador.

En uno o más aspectos, el material portador poroso es una pluralidad de partículas porosas. Es decir, una pluralidad de partículas porosas pueden dispersarse dentro del material cementoso. Cada una de la pluralidad de partículas porosas incluiría generalmente esporas para reparar grietas en una variedad de ubicaciones de la pluralidad de partículas porosas.

Los materiales portadores porosos ilustrativos incluyen espumas. Las espumas adecuadas incluirán generalmente celdas abiertas. Las celdas abiertas permitirían una permeación más fácil, tal como la

impregnación de las esporas. Esto también puede denominarse espumas de celda abierta que son más porosas y absorbentes que las espumas de celda cerrada. Además, las estructuras de celda abierta generalmente incluyen los poros que se conectan, lo que permite de esta manera una carga efectiva de esporas, tal como incluso alcanzar un núcleo de la estructura de espuma que incluye los poros.

En aspectos de la descripción, una espuma puede estar elaborada de poliuretano. Como es generalmente conocido por el experto en la técnica, los materiales de poliuretano se pueden producir a partir de la reacción de un reactivo del lado A con un reactivo del lado B. El reactivo del lado A incluye generalmente un compuesto de isocianato (p. ej., diisocianato de metilendifenilo (MDI)) mientras que el reactivo del lado B incluye generalmente un compuesto reactivo de isocianato tal como un poliol. Al mezclar el lado A y el lado B, los reactivos del lado A y B sufrirán una reacción química para formar el material de poliuretano a través de mecanismos químicos que son conocidos por el experto en la técnica.

Los compuestos de isocianato adecuados incluyen poliisocianatos alifáticos, cicloalifáticos, aralifáticos, y aromáticos. Los compuestos reactivos de isocianato adecuados incluyen poliésteres, poliesteramidas, politioéteres,

policarbonatos, poliacetales, poliolefinas, y polisiloxanos. Los aditivos que pueden incluirse en uno o ambos lados A y B incluyen catalizadores, surfactantes, estabilizadores de espuma, retardantes de fuego, supresores de humo, estabilizadores UV, colorantes, inhibidores microbianos, y rellenos. Otros detalles de espumas de poliuretano adecuadas serán conocidos generalmente por el experto en la técnica.

Otros materiales ilustrativos para espumas incluyen poliésteres y poliamidas. Otros materiales ilustrativos para espumas incluyen EPDM (terpolímero de etileno propileno dieno), PVC/nitrilo (cloruro de polivinilo y mezcla de caucho de nitrilo), cerámica y metal (tal como aluminio y níquel). Otras espumas adecuadas que tienen suficiente absorción y resistencia también pueden ser conocidas generalmente por el experto en la técnica.

El material portador poroso, tal como las espumas, ofrece un amplio rango de opciones para propiedades, tales como resistencia a la compresión, hidrofiliicidad/hidrofobicidad, tamaño de poro, energía superficial, y porosidad/densidad. El experto en la técnica generalmente sabrá cómo adaptar estas propiedades para lograr las funciones descritas en la presente.

Los tamaños de poro ilustrativos para espuma incluyen de aproximadamente 250 μm a aproximadamente 750 μm ,

o de aproximadamente 300 μm a aproximadamente 600 μm , o de aproximadamente 400 μm a aproximadamente 700 μm , o de aproximadamente 400 μm a aproximadamente 600 μm . Estos rangos generalmente se refieren a la distribución estadística de los tamaños de poro, que serán generalmente conocidos por el experto en la técnica. Los tamaños de poro medios promedio ilustrativos para espuma incluyen aproximadamente 300 μm , o aproximadamente 400 μm , o aproximadamente 500 μm , o aproximadamente 600 μm , o aproximadamente 700 μm . El tamaño de poro se puede medir analizando imágenes microscópicas de la espuma, que pueden ser de un microscopio electrónico de barrido (SEM, por sus siglas en inglés) o un microscopio óptico.

Las porosidades ilustrativas para espuma incluyen al menos 90 %, al menos 95 %, al menos 98 %, y al menos 99 %. Las porosidades ilustrativas para espuma incluyen aproximadamente 90 %, aproximadamente 95 %, aproximadamente 98 %, y aproximadamente 99 %. La porosidad se puede medir mediante una técnica de absorción de agua.

Como se indicó anteriormente, se puede considerar y ajustar la hidrofiliicidad/hidrofobicidad de una espuma. Como se describe adicionalmente en la presente, la hidrofiliicidad/hidrofobicidad de una espuma puede considerarse en relación con las propiedades y funciones relacionadas con

una suspensión de cemento húmedo que se combina con la espuma. Es decir, la espuma se puede empapar en una suspensión de cemento húmedo para fortalecer la espuma. Por lo tanto, la propiedad de hidrofiliicidad/hidrofobicidad de una espuma puede adaptarse para promover los sólidos de la suspensión de cemento húmedo que se une a lo largo de las fibras de la espuma. Generalmente, es deseable lograr esta unión en lugar de la suspensión de cemento húmedo que forma perlas. Si una espuma es demasiado hidrofóbica, la suspensión acuosa de cemento húmedo puede tratar de formar perlas, que repelerían la espuma. Si las perlas son demasiado grandes, o los poros son demasiado pequeños, este conjunto de perlas podría, por lo tanto, reducir deletéreamente el espacio disponible para que las esporas llenen los poros. En uno o más aspectos, la espuma puede tener un ángulo de contacto con el agua menor que aproximadamente 90 grados, o menor que aproximadamente 85 grados, o menor que aproximadamente 80 grados.

Además de las espumas, otros materiales ilustrativos para el material portador poroso incluyen arcilla expandida, celite, perlita, y vidrio expandido. Aún otros materiales pueden ser adecuados para el material portador poroso, materiales que generalmente deberían ofrecer suficiente resistencia así como porosidad generalmente consistente.

Las resistencias a la compresión ilustrativas para el material portador poroso incluyen de aproximadamente 90 psi a aproximadamente 2000 psi, o de aproximadamente 150 psi a aproximadamente 1500 psi, o de aproximadamente 200 psi a aproximadamente 1000 psi. Las resistencias a la compresión ilustrativas para el material portador poroso incluyen al menos 250 psi, o al menos 500 psi, o al menos 750 psi, o al menos 1000 psi. Una resistencia a la compresión deseada puede adaptarse basado en un material particular utilizado para el material portador poroso.

Cuando el material portador poroso es un compuesto de espuma y un componente cementoso, como se describe además en la presente descripción, las resistencias a la compresión ilustrativas para el material compuesto incluyen de aproximadamente 200 psi a aproximadamente 900 psi, o de aproximadamente 300 psi a aproximadamente 800 psi, o de aproximadamente 400 psi a aproximadamente 700 psi, o de aproximadamente 500 psi a aproximadamente 600 psi. Las resistencias a la compresión ilustrativas para el material compuesto como el material portador incluyen al menos 300 psi, o al menos 400 psi, o al menos 500 psi, o al menos 600 psi, o al menos 700 psi.

Como se mencionó anteriormente, el material portador poroso puede ser una pluralidad de partículas

porosas. Esto se refiere a que cada una de las partículas porosas tiene generalmente una porosidad en lugar del espacio entre partículas que proporciona una porosidad. Las partículas porosas pueden tener un tamaño, que también puede referirse a una longitud, de aproximadamente 1 mm a aproximadamente 10 mm, o de aproximadamente 1 mm a aproximadamente 7 mm, o de aproximadamente 2 mm a aproximadamente 6 mm, o de aproximadamente 3 mm a aproximadamente 5 mm, o de aproximadamente 2 mm a aproximadamente 5 mm, o de aproximadamente 2 mm a aproximadamente 3 mm, o de aproximadamente 1 mm a aproximadamente 5 mm, o de aproximadamente 1 mm a aproximadamente 3 mm. En aspectos de la descripción, las partículas porosas pueden tener un tamaño de aproximadamente 2 mm, o aproximadamente 3 mm, o aproximadamente 4 mm, o aproximadamente 5 mm, o aproximadamente 6 mm, o aproximadamente 7 mm.

Una pluralidad de partículas porosas puede incluir partículas porosas de cualquier forma adecuada. Las formas ilustrativas para las partículas porosas incluyen aquellas que son generalmente cubos (o similares a cubo), generalmente esferas (o similares a esferas), generalmente prismas rectangulares (o similares a prisma), generalmente cilindros (o similares a cilindros), y combinaciones de estos. Para

formas con más de una medición dimensional diferente (es decir, diferente longitud, ancho, y/o altura), las dimensiones anteriores pueden utilizarse en relación con cada medición dimensional diferente.

Las formas de una pluralidad de partículas porosas también pueden describirse en relación con la relación de aspecto. En uno o más aspectos, la relación de aspecto de una pluralidad de partículas porosas puede ser de aproximadamente 1 a aproximadamente 5, o de aproximadamente 1 a aproximadamente 4, o de aproximadamente 1 a aproximadamente 3, o de aproximadamente 1 a aproximadamente 2. En uno o más aspectos, la relación de aspecto de una pluralidad de partículas porosas puede ser aproximadamente 1, o aproximadamente 2, o aproximadamente 3.

Las formas de una pluralidad de partículas porosas también pueden describirse en relación con la esfericidad. En uno o más aspectos, la esfericidad de una pluralidad de partículas porosas puede ser de aproximadamente 0,6 a aproximadamente 1, o de aproximadamente 0,7 a aproximadamente 1, o de aproximadamente 0,75 a aproximadamente 1, o de aproximadamente 0,7 a aproximadamente 0,95, o de aproximadamente 0,75 a aproximadamente 0,95, o de aproximadamente 0,7 a aproximadamente 0,9. En uno o más aspectos, la esfericidad de una pluralidad de partículas

porosas puede ser mayor que 0,6, o mayor que 0,7, o mayor que 0,8, o mayor que 0,9, o mayor que 0,95.

Algunos materiales para el material portador poroso, tales como espumas de poliuretano, especialmente aquellos con alta porosidad y poros grandes, pueden ser fácilmente compresibles. Por lo tanto, estos materiales pueden no proporcionar singularmente suficiente rigidez para proteger las esporas, que se cargan en su interior, de los factores físicos dañinos. También, se debe tener precaución hacia la prevención general de que las esporas impregnadas sean posteriormente exprimidas.

Por lo tanto, como se mencionó anteriormente, los materiales autorreparables de la presente descripción incluyen un material portador poroso (es decir, sustrato poroso) que comprende un componente cementoso para la resistencia. El cemento incorporado en y/o sobre el material portador poroso puede denominarse en la presente descripción como un “componente cementoso”. Por consiguiente, aspectos de la descripción incluyen infundir, que también puede denominarse impregnar o incorporar, el componente cementoso en forma de una suspensión de cemento húmedo en y/o sobre el material portador poroso (p. ej., una pluralidad de partículas de espuma de poliuretano). La impregnación generalmente se logrará remojando o sumergiendo el material

portador poroso en una suspensión de cemento, que comprende al menos cemento y agua. Esta incorporación del cemento con el material portador poroso servirá generalmente para proporcionar una resistencia mejorada al material portador poroso. Los materiales que incluyen el sustrato poroso y el componente cementoso, pero no las esporas, también pueden denominarse en la presente descripción “sustrato poroso híbrido y compuestos de cemento”.

La incorporación de la suspensión de cemento húmedo en y/o sobre el material portador poroso puede ser asistida con fuerza mecánica. Esto puede incluir un dispositivo mecánico que comprimirá y después liberará el material portador poroso mientras está en la suspensión de cemento. Estas acciones generalmente pueden servir para causar una entrada rápida de la suspensión, transportando de esta manera más partículas de cemento al material portador poroso. En uno o más aspectos, esta técnica de compresión y liberación (es decir, descomprimir) ocurre al menos una vez, o al menos dos veces, o al menos tres veces, o al menos cuatro veces. En uno o más aspectos, esta técnica de compresión y liberación ocurre de dos a seis veces, o de dos a cinco veces, o de dos a cuatro veces, o de tres a cinco veces. Estas repeticiones de la técnica de compresión y liberación también pueden usarse para caracterizar un tiempo de remojo. Es decir, un tiempo de remojo puede ser un

tiempo suficiente para lograr los ciclos deseados de la técnica de compresión y liberación. Después de retirar el material portador poroso de la suspensión de cemento, puede ocurrir una técnica adicional de compresión y liberación, que puede ser una vez, o dos veces, o tres veces. Se puede utilizar una técnica de compresión y liberación mientras está fuera de la suspensión de cemento para eliminar una cantidad de exceso de agua.

La suspensión de cemento húmedo utilizada como el componente cementoso para impregnar el sustrato poroso comprenderá generalmente cemento y agua. En aspectos de la descripción, la suspensión de cemento húmedo utilizada para impregnar el sustrato poroso puede adaptarse para su posterior compatibilidad con una composición para un material cementoso. Por ejemplo, la suspensión de cemento húmedo utilizada para impregnar el sustrato poroso puede diseñarse para su compatibilidad con una composición de concreto en la que se utilizarán el sustrato poroso híbrido y los compuestos de cemento, que en última instancia se convertirán en el material autorreparable.

Una relación en peso ilustrativo para una composición para una suspensión de cemento húmedo para impregnar el sustrato poroso es aproximadamente 0,5: 1 para el agua:cemento. En otros aspectos, una relación en peso para una composición para una suspensión de cemento húmedo para

impregnar el sustrato poroso puede ser de aproximadamente 0,25 : 1 a aproximadamente 0,75 : 1, o de aproximadamente 0,4 : 1 a aproximadamente 0,6 : 1, o de aproximadamente 0,5 : 1 a aproximadamente 0,6 : 1, o de aproximadamente 0,3 : 1 a aproximadamente 0,5 : 1, en relación con agua : cemento.

La impregnación de la suspensión de cemento húmedo dentro del material portador poroso está destinada a unir cemento húmedo junto y/o entre los poros, lo que también puede denominarse unión a la espuma o 'fibras' de la superficie, en la estructura de espuma. La suspensión de cemento húmedo también puede proporcionar al menos un recubrimiento parcial del sustrato poroso.

La suspensión de cemento húmedo, dentro de los poros y/o como un recubrimiento, comenzará entonces a endurecerse, lo que también puede denominarse como fragua. Este comienzo de endurecerse o fraguarse puede denominarse parcialmente endurecido o parcialmente fraguado. Por lo tanto, el sustrato portador poroso tendrá un cemento parcialmente fraguado relleno y/o cemento parcialmente fraguado recubierto sobre la estructura porosa. Por lo tanto, el cemento endurecido impartirá resistencia mecánica adicional al sustrato poroso híbrido y a los compuestos de cemento.

El endurecimiento o fraguado del cemento incluirá al menos una hidratación parcial del cemento. La hidratación al menos parcial del cemento puede incluir el uso de condiciones de curado adecuadas, que generalmente incluye mantener el cemento de endurecimiento en condiciones húmedas y a una temperatura satisfactoria. Este curado puede incluir la aplicación de agua adicional, que puede ser agua líquida o vapor.

El endurecimiento o fraguado del cemento puede incluir una etapa de secado al aire o curado, la que puede ser una primera etapa. En uno o más aspectos, el secado al aire ocurre durante aproximadamente 1 hora a aproximadamente 6 horas, o de aproximadamente 2 horas a aproximadamente 5 horas, o de aproximadamente 3 horas a aproximadamente 4 horas.

El endurecimiento o fraguado del cemento puede incluir una etapa de curado por vapor, que puede ser posterior a una etapa de secado al aire. El curado por vapor puede incluir la utilización de una cámara de curado por vapor. En uno o más aspectos, el curado por vapor se produce durante aproximadamente 2 horas a aproximadamente 8 horas, o de aproximadamente 3 horas a aproximadamente 7 horas, o de aproximadamente 4 horas a aproximadamente 6 horas.

El cemento endurecido no llenará completamente la mayoría de los poros del sustrato poroso. Es decir, el cemento endurecido reducirá el tamaño de poro inicial hasta un tamaño de poro reducido. Los poros restantes son necesarios para impregnar posteriormente el sustrato poroso híbrido y los compuestos de cemento con las esporas para formar los materiales autorreparables de la presente descripción. Es decir, los poros restantes aún deben estar bien conectados y ser lo suficientemente grandes para una carga efectiva de esporas. Algunos poros, especialmente aquellos en la superficie, pueden quedar completamente cubiertos por cemento endurecido. Aunque muchos poros deben permanecer abiertos, y los poros abiertos deben permanecer conectados a otros poros abiertos.

Como ejemplo, una espuma original (p. ej., poliuretano) puede tener un tamaño de poro de aproximadamente 500 μm , y los poros abiertos en el sustrato poroso híbrido y los compuestos de cemento pueden permanecer a aproximadamente 200 μm después de que la suspensión de cemento húmedo se endurece. En estos u otros aspectos, una espuma original puede tener un tamaño de poro de aproximadamente 250 μm a 750 μm , o de aproximadamente 300 μm a 700 μm , o de aproximadamente 400 μm a 600 μm . En estos u otros aspectos, los poros abiertos en el sustrato poroso híbrido y los compuestos de cemento pueden

permanecer en de aproximadamente 50 μm a 350 μm , o de aproximadamente 100 μm a 300 μm , o de aproximadamente 150 μm a 250 μm , después de que la suspensión de cemento húmedo se endurezca. Estos rangos generalmente se refieren a la distribución estadística de los tamaños de poro, que serán generalmente conocidos por el experto en la técnica. El tamaño de poro se puede medir analizando imágenes microscópicas de la espuma, que pueden ser de un microscopio electrónico de barrido (SEM) o un microscopio óptico.

Dicho de otra manera, la porosidad de la espuma original se reducirá tras la incorporación del cemento endurecido. En uno o más aspectos, el sustrato poroso híbrido y los compuestos de cemento pueden tener una porosidad de aproximadamente 50 % a aproximadamente 90 %, o de aproximadamente 55 % a aproximadamente 85 %, o de aproximadamente 60 % a aproximadamente 80 %, o de aproximadamente 60 % a aproximadamente 75 %, o de aproximadamente 60 % a aproximadamente 70 %, o de aproximadamente 65 % a aproximadamente 75 %.

Como se mencionó anteriormente, las esporas fúngicas pueden protegerse mediante impregnación o incorporación dentro de un material portador. Cuando un material portador (p. ej., espuma) se refuerza con el componente cementoso (p. ej., suspensión de cemento), esta incorporación de las esporas con

el material portador debe ser después de que el material portador se haya reforzado con el componente cementoso. La incorporación de las esporas después de reforzar el material portador con la suspensión de cemento generalmente servirá para mejorar la retención de esporas durante la etapa de impregnación. La impregnación o incorporación de las esporas con el material portador se puede lograr cargando o remojando el material portador con las esporas. Como se mencionó anteriormente, la impregnación de las esporas dentro del material portador puede ser después de que las esporas estén químicamente protegidas con un recubrimiento protector. Es decir, uno o más aspectos incluyen proporcionar esporas dentro de una suspensión del material de recubrimiento protector, y después remojar el material portador, que podría incluir el cemento endurecido, en la suspensión que contiene esporas. Esta incorporación de las esporas dentro del material portador produce de esta manera el material autorreparable para su posterior incorporación con un material cementoso.

El material autorreparable puede caracterizarse por la cantidad de esporas que contiene. Como se menciona en la presente descripción, las esporas se proporcionan generalmente dentro de un recubrimiento protector que puede incluir las esporas que se proporcionan dentro de una suspensión del material para el recubrimiento protector, que

puede denominarse suspensión de esporas en aceite o solución de esporas en aceite. Por lo tanto, la cantidad de esporas dentro del material autorreparable puede ser referida por la cantidad de suspensión de esporas en aceite que es retenida por el material de autorreparación.

Dicho de otra manera, anteriormente se proporcionan porosidades adecuadas del sustrato poroso híbrido y los compuestos de cemento. En relación con estas porosidades, en uno o más aspectos, de aproximadamente 70 % a aproximadamente 98 %, o aproximadamente 75 % a aproximadamente 95 %, o aproximadamente 80 % a aproximadamente 90 %, o aproximadamente 80 % a aproximadamente 95 %, o aproximadamente 85 % a aproximadamente 95 %, del espacio vacío disponible puede ser llenado por la suspensión de esporas en aceite. Como ejemplo, para una porosidad disponible de aproximadamente 60 % a aproximadamente 75 % para el sustrato poroso híbrido y compuestos de cemento, y donde de aproximadamente 75 % a aproximadamente 95 % del espacio vacío disponible se llena por la suspensión de esporas en aceite, multiplicar estos valores incluiría el material autorreparable en estos aspectos que tiene un volumen general de aproximadamente 45 % a aproximadamente 71,25 % de la suspensión de esporas en aceite.

Para calcular la cantidad de suspensión de esporas en aceite dentro del material autorreparable, primero se puede medir la porosidad en el sustrato poroso híbrido y los compuestos de cemento (es decir, en una condición endurecida) mediante un método de absorción de agua. Una vez identificada esta porosidad, el sustrato poroso híbrido y los compuestos de cemento pueden medirse antes y después de combinarse con (p. ej., remojo) la suspensión de esporas en aceite para determinar qué porcentaje de la porosidad disponible es llenado por la suspensión de esporas en aceite.

El experto en la técnica entenderá generalmente detalles adicionales para adaptar y desarrollar los materiales cementosos (p. ej., concreto) en los que se pueden utilizar los materiales autorreparables de esta descripción. Sin embargo, en la presente descripción se proporcionan ciertos detalles al respecto. Como se mencionó anteriormente, el material cementoso puede referirse a una composición inicial en la que se incorpora el material autorreparable de tal manera que el material autorreparable incorporado pueda reparar la composición final que resulta de la composición inicial. En otros aspectos, el material cementoso puede referirse a un material cementoso final ya existente en el que se incorpora el material autorreparable, tal como en una grieta existente en este.

Una composición para un material cementoso comprende generalmente un aglutinante (p. ej., cemento), agregado, agua, y opcionalmente otros aditivos deseables como generalmente conoce el experto en la técnica. Otros aditivos ilustrativos incluyen aquellos que potencian las propiedades reológicas y/o la velocidad del proceso de curado.

Los agregados son materiales granulares inertes tales como arena, grava, piedras, conchas, y concreto reciclado. La forma de partícula y la textura de la superficie pueden considerarse en relación con las propiedades del concreto recién mezclado. También se considerarán las propiedades deseadas del concreto endurecido. Los agregados pueden llegar a ser de aproximadamente 60 % a aproximadamente 75 % del volumen de concreto.

El cemento Portland se puede utilizar como aglutinante, que también puede denominarse material aglutinante. Otros materiales de unión ilustrativos incluyen cal, cal hidráulica, y cemento natural. Otros materiales aglutinantes ilustrativos incluyen aquellos generalmente conocidos como materiales cementosos suplementarios (SCM, por sus siglas en inglés). Los materiales cementosos suplementarios ilustrativos incluyen productos de desecho industriales, tales como escoria granulada de alto horno y humos de sílice.

Para impartir una protección autorreparable efectiva basada en esporas a todos o partes seleccionadas de objetos y estructuras elaboradas de materiales cementosos, las esporas podrían distribuirse uniformemente en los objetos y estructuras o en las partes deseadas de objetos y estructuras. Por ejemplo, donde es más deseable autorreparar una superficie de un material cementoso, las esporas pueden distribuirse uniformemente dentro de una capa superficial de un espesor deseado. Es decir, un núcleo o centro de un material cementoso no podría incluir las esporas y la capa superficial incluirá las esporas. El experto en la técnica entenderá el uso de andamios o envolturas para preparar un núcleo sin esporas y una capa superficial posterior con esporas. Los espesores ilustrativos para una capa superficial que comprende el material autorreparable y el material cementoso incluyen de aproximadamente 5 mm a 20 mm, o de aproximadamente 5 mm a 15 mm, o de aproximadamente 5 mm a 10 mm, o de aproximadamente 10 mm a 15 mm. En otros aspectos, las esporas pueden distribuirse de manera uniforme a lo largo de todo un material cementoso, que incluso la distribución a lo largo de todo el material cementoso puede ser deseable para ciertos materiales cementosos de nueva construcción.

Dicho de otra manera, el material cementoso debe incluir el sustrato portador poroso, y por lo tanto las

esporas, de una manera que conduzca a una distribución generalmente homogénea entre todos, o la porción deseada, del material cementoso. De esta manera, las esporas estarían disponibles en la mayor parte o en todos los puntos deseados donde podría formarse una grieta. Por lo tanto, el tamaño de las partículas portadoras porosas, por ejemplo, podría considerarse en relación con el logro de esta función de distribución generalmente homogénea en relación con una o más de otras funciones deseadas descritas en la presente. Es decir, en aspectos de la descripción, podrían usarse partículas porosas de tamaño relativamente menor para lograr una mejor distribución entre el material cementoso, aunque este tamaño de partícula debe equilibrarse con otros factores.

Como se mencionó anteriormente, además del concreto, se contemplan otros materiales cementosos en los que se puedan utilizar los materiales autorreparables, los cuales otros materiales cementosos incluyen recubrimientos cementosos y mortero.

El material cementoso que incluye el material autorreparable puede caracterizarse en relación con la cantidad de material autorreparable en este. En aspectos de la descripción, un material cementoso incluye de 0,25 % en volumen a aproximadamente 5 % en volumen, de 0,25 % en volumen a

aproximadamente 2,5 % en volumen, o de 0,5 % en volumen a aproximadamente 2 % en volumen, o de 0,5 % en volumen a aproximadamente 1,5 % en volumen, o de 1,0 % en volumen a aproximadamente 1,5 % en volumen, o de 0,75 % en volumen a aproximadamente 1,5 % en volumen, del material autorreparable. En aspectos de la descripción, un material cementoso incluye aproximadamente 0,5 % en volumen, o aproximadamente 1,0 % en volumen, o aproximadamente 1,5 % en volumen, o aproximadamente 2 % en volumen, o aproximadamente 2,5 % en volumen, del material autorreparable.

En aspectos de la descripción, un material cementoso incluye de 0,05 % en peso a aproximadamente 3 % en peso, o de 0,1 % en peso a aproximadamente 2,5 % en peso, o de 0,2 % en peso a aproximadamente 2 % en peso, o de 0,4 % en peso a aproximadamente 1,5 % en peso, o de 0,25 % en peso a aproximadamente 0,75 % en peso, o de 0,5 % en peso a aproximadamente 1 % en peso, del material autorreparable. En aspectos de la descripción, un material cementoso incluye aproximadamente 0,25 % en peso, o aproximadamente 0,5 % en peso, o aproximadamente 0,75 % en peso, o aproximadamente 1 % en peso, o aproximadamente 1,25 % en peso, del material autorreparable.

El material autorreparable (p. ej., partículas de espuma porosa que comprenden el componente cementoso y las

esporas) también se puede proteger de condiciones adversas mediante un recubrimiento protector adicional sobre el material autorreparable, que también puede denominarse un segundo recubrimiento protector. Es decir, las partículas de espuma porosa que contienen las esporas se pueden recubrir con un recubrimiento protector. El recubrimiento protector se puede aplicar al material autorreparable suspendiendo el material autorreparable dentro de la composición líquida deseada del segundo recubrimiento protector.

El segundo recubrimiento protector puede incluir uno o más ácidos grasos libres. Esto puede incluir un tipo singular de ácido graso libre o una mezcla de diferentes tipos de ácidos grasos libres. El segundo recubrimiento protector puede incluir otras sustancias adecuadas tales como uno o más aceites. Estos incluyen soluciones y mezclas de estos, por ejemplo, uno o más ácidos grasos libres mezclados con uno o más aceites. El uno o más aceites podrían utilizarse para ayudar con la aplicabilidad del segundo recubrimiento protector. El segundo recubrimiento protector se puede aplicar en forma de pasta. Los ácidos grasos libres ilustrativos incluyen ácido oleico, ácido palmítico, ácido esteárico, ácido linoleico, y ácido linolénico. Los aceites ilustrativos incluyen aceite de soya, aceite de palma, aceite de colza, aceite de canola, aceite de oliva, aceite de

girasol, aceite de coco, aceite de maíz, aceite de semilla de algodón, aceite de maní, aceite de cártamo, aceite mineral, aceite de parafina, hidrocarburos líquidos y sus mezclas con longitudes de cadena de C10-C25, y aceite de silicona.

Como se mencionó anteriormente, el segundo recubrimiento protector puede ser una mezcla de diferentes tipos de ácidos grasos libres o un tipo singular de ácido graso libre. Se podría utilizar una mezcla de diferentes tipos de ácidos grasos libres para lograr una consistencia deseada, aunque un tipo singular de ácido graso libre solo también será adecuado.

En uno o más aspectos, una mezcla de ácidos grasos libres puede incluir de aproximadamente 5 % en peso a aproximadamente 50 % en peso de ácido esteárico, o aproximadamente 10 % en peso a aproximadamente 30 % en peso de ácido esteárico, o aproximadamente 15 % en peso a aproximadamente 20 % en peso de ácido esteárico. En uno o más aspectos, una mezcla de ácidos grasos libres puede incluir de aproximadamente 5 % en peso a aproximadamente 50 % en peso de ácido palmítico, o aproximadamente 10 % en peso a aproximadamente 30 % en peso de ácido palmítico, o aproximadamente 15 % en peso a aproximadamente 20 % en peso de ácido palmítico. En uno o más aspectos, una mezcla de ácidos grasos libres puede incluir de aproximadamente 25 %

en peso a aproximadamente 80 % en peso de ácido oleico, o aproximadamente 40 % en peso a aproximadamente 75 % en peso de ácido oleico, o aproximadamente 60 % en peso a aproximadamente 70 % en peso de ácido oleico.

El recubrimiento protector sobre el material autorreparable puede caracterizarse en relación con un espesor de este. En uno o más aspectos, un recubrimiento protector sobre el material autorreparable puede tener un espesor de aproximadamente 50 μm a aproximadamente 500 μm , o de aproximadamente 50 μm a aproximadamente 250 μm , o de aproximadamente 75 μm a aproximadamente 200 μm , o de aproximadamente 100 μm a aproximadamente 150 μm , o de aproximadamente 100 μm a aproximadamente 500 μm , o de aproximadamente 200 μm a aproximadamente 500 μm .

Como se mencionó anteriormente, el material autorreparable y el material cementoso incluirán inicialmente esporas que están latentes. Las esporas deben ser capaces de sobrevivir y permanecer latentes hasta que aparezcan una o más grietas en el material cementoso. Sobre la una o más grietas que aparecen en el material cementoso, y al estar sometidas a condiciones adecuadas, tales como recibir oxígeno y nutrientes apropiados, las esporas deben germinar entonces para regresar al crecimiento vegetativo como células vegetativas. A continuación se proporcionan aspectos de los

nutrientes, qué nutrientes pueden ser aportados por el recubrimiento protector y/o dentro de la composición para el material cementoso. El oxígeno suficiente que es proporcionado por la grieta apoyará la necesidad respiratoria de las células fúngicas vegetativas.

Tras la activación de las esporas, las células vegetativas que resultan de las esporas del material autorreparable producirán materiales sólidos recién formados, que también pueden denominarse residuos del material autorreparable, o un producto de biomineralización, o un compuesto de base biológica. Los materiales sólidos recién formados pueden ser una mezcla de biomasa (es decir, células y esporas reformadas), calcita y otros componentes. La producción del material recién formado debe entonces reparar la grieta en la que se deposita el material recién formado.

Uno o más del material autorreparable y el material cementoso deben estar provistos de nutrientes suficientes para soportar las células (p. ej., células fúngicas). Como se indicó anteriormente, el material para los recubrimientos protectores (p. ej., aceite, ácidos grasos) podría seleccionarse basado en la capacidad de consumo por las células fúngicas como nutrientes. Además del material para el recubrimiento protector, se pueden añadir otros nutrientes dentro de la composición para el material

cementoso. En uno o más aspectos, se pueden proporcionar nutrientes dentro del material autorreparable. Como tal, el material autocurativo de la presente descripción puede comprender además los nutrientes ilustrativos descritos a continuación como una alternativa o además de cualquier nutriente que pueda ser proporcionado por el recubrimiento protector. La cantidad de nutrientes debe ser de tal manera que se proporcione una repetibilidad adecuada de la reparación de grietas, aunque demasiados nutrientes podrían conducir a una resistencia relativamente menor de los materiales cementosos. El experto en la técnica será capaz de adaptar los nutrientes de acuerdo con la presente descripción.

Los nutrientes ilustrativos, que también pueden denominarse nutrientes de crecimiento, incluyen calcio, urea, melaza/jarabe del procesamiento de soya, maíz, y/u otros productos agrícolas, harina/comida del procesamiento de soya, maíz, y/u otros productos agrícolas y animales (que incluye aves de corral), polvo de cáscara/vaina del procesamiento de soya, maíz, y/u otros productos agrícolas, almidón, celulosa, pectina, xilano, u otros polisacáridos del procesamiento de soya, maíz, y/u otros productos agrícolas, y/o fuentes de algunos micronutrientes esenciales tal como manganeso, cobalto, cobre y zinc. Los tipos y cantidades de nutrientes

pueden depender de la aplicación final deseada, particularmente el número previsto de ciclos de autorreparación, la vida útil del material/estructura cementoso, el tamaño de la grieta previsto, y el grado de reparación. El calcio podría proporcionarse para ayudar con la formación de cantidades deseadas de biomasa y calcita. La urea podría proporcionarse para ayudar a formar más calcita usando la ureasa fúngica.

Si bien los aspectos de la descripción se tratan anteriormente, en la presente se proporcionan ciertos aspectos ilustrativos.

Aspecto 1. Un material autorreparable para reparar una grieta dentro de un material cementoso, el material autorreparable comprende: un sustrato poroso que tiene poros, el sustrato poroso que comprende un componente cementoso, donde el componente cementoso se dispone en al menos una porción de una superficie del sustrato, dispuesto dentro de al menos una porción de los poros del sustrato, o ambos; y esporas fúngicas dentro de al menos una porción de los poros, donde las esporas fúngicas están recubiertas al menos parcialmente por un recubrimiento protector.

Aspecto 2. El material autorreparable del Aspecto 1, donde el componente cementoso es cemento.

Aspecto 3. El material autorreparable del Aspecto 2, donde el cemento se selecciona de cemento Portland y cemento natural.

Aspecto 4. El material autorreparable de cualquiera de los Aspectos anteriores, donde el componente cementoso es al menos cemento parcialmente endurecido derivado de una suspensión de cemento.

Aspecto 5. El material autorreparable de cualquiera de los Aspectos anteriores, donde el componente cementoso es cemento totalmente endurecido derivado de una suspensión de cemento.

Aspecto 6. El material autorreparable de cualquiera de los Aspectos anteriores, donde las esporas fúngicas son de una especie seleccionada de *Scopulariopsis brevicaulis*, *Purpureocillium lilacinum*, *Myrothecium verrucaria*, *Aspergillus nidulans*, y combinaciones de estas.

Aspecto 7. El material autorreparable de cualquiera de los Aspectos anteriores, donde el sustrato poroso comprende una pluralidad de partículas porosas.

Aspecto 8. El material autorreparable de cualquiera de los Aspectos anteriores, donde el sustrato poroso comprende espuma.

Aspecto 9. El material autorreparable del Aspecto 8, donde la espuma comprende poliuretano.

Aspecto 10. El material autorreparable de cualquiera de los Aspectos 7 a 9, donde la pluralidad de partículas porosas tienen una longitud de aproximadamente 2 mm a aproximadamente 5 mm.

Aspecto 11. El material autorreparable de cualquiera de los Aspectos anteriores, donde el recubrimiento protector comprende un aceite seleccionado de aceite de soya, aceite de palma, aceite de colza, aceite de canola, aceite de oliva, aceite de girasol, aceite de coco, aceite de maíz, aceite de semilla de algodón, aceite de maní, aceite de cártamo, aceite mineral, aceite de parafina, aceite de silicona, y mezclas de estos, donde el recubrimiento protector se deriva de una suspensión de esporas en aceite que comprende el aceite y las esporas fúngicas.

Aspecto 12. El material autorreparable de cualquiera de los Aspectos anteriores, donde el recubrimiento protector comprende un ácido graso libre.

Aspecto 13. El material autorreparable de cualquiera de los Aspectos anteriores, el sustrato poroso comprende un segundo recubrimiento protector sobre este, donde el segundo recubrimiento protector comprende una mezcla de ácidos grasos libres.

Aspecto 14. Un material cementoso que comprende el material autorreparable de cualquiera de los Aspectos anteriores.

Aspecto 15. El material cementoso del Aspecto 14, donde el material cementoso se selecciona de concreto, un recubrimiento cementoso, y mortero.

Aspecto 16. El material cementoso del Aspecto 15, que comprende además aglutinante y agregado.

Aspecto 17. Un método para autorreparar un material cementoso, el método comprende etapas de combinar un sustrato poroso con una suspensión de cemento húmedo; opcionalmente eliminar una porción de la suspensión de cemento húmedo, que incluye exceso de agua de la suspensión de cemento húmedo; permitir que la suspensión de cemento húmedo se endurezca al menos parcialmente sobre una superficie del sustrato poroso, o al menos parcialmente se endurezca dentro del sustrato poroso, o ambos; combinando esporas fúngicas con el sustrato poroso para formar de esta manera un sustrato poroso cargado con esporas, donde las esporas fúngicas están recubiertas al menos parcialmente por un recubrimiento protector; y opcionalmente recubrir además el sustrato poroso cargado con esporas con un segundo recubrimiento protector.

Aspecto 18. El método del Aspecto 17, que comprende además una etapa de combinar el sustrato poroso cargado con esporas con un material cementoso.

Aspecto 19. El método de cualquiera de los Aspectos 17 a 18, donde está presente la etapa de retirar la porción de la suspensión de cemento húmedo.

Aspecto 20. El método de cualquiera de los Aspectos 17 a 19, donde está presente la etapa de recubrir adicionalmente el sustrato poroso cargado con esporas con el segundo recubrimiento protector.

Aspecto 21. El método de cualquiera de los Aspectos 17 a 20, donde las esporas fúngicas son de una especie seleccionada de *Scopulariopsis brevicaulis*, *Purpureocillium lilacinum*, *Myrothecium verrucaria*, *Aspergillus nidulans*, y combinaciones de estas.

Aspecto 22. El método de cualquiera de los Aspectos 17 a 21, donde la suspensión de cemento húmedo se endurece completamente antes de la etapa de combinar las esporas fúngicas con el sustrato poroso.

Aspecto 23. El método de cualquiera de los Aspectos 17 a 22, donde la etapa de permitir comprende una etapa de secado al aire de la suspensión de cemento húmedo.

Aspecto 24. El método del Aspecto 23, donde la etapa de permitir comprende una etapa de curado por vapor

siguiendo la etapa de secado al aire, donde el cemento húmedo que se endurece completamente se define por la etapa de secado al aire que ocurre durante aproximadamente 3 horas a aproximadamente 4 horas y la etapa de curado por vapor que se produce durante aproximadamente 4 horas a aproximadamente 6 horas.

Aspecto 25. El método de cualquiera de los Aspectos 17 a 24, donde el recubrimiento protector comprende un aceite seleccionado de aceite de soya, aceite de palma, aceite de colza, aceite de canola, aceite de oliva, aceite de girasol, aceite de coco, aceite de maíz, aceite de semilla de algodón, aceite de maní, aceite de cártamo, aceite mineral, aceite de parafina, aceite de silicona, y mezclas de estos, donde el recubrimiento protector se aplica a las esporas que incluye las esporas fúngicas dentro del aceite para de esta manera formar una suspensión de esporas en aceite.

Aspecto 26. El método de cualquiera de los Aspectos 17 a 25, donde está presente la etapa de recubrir adicionalmente el sustrato poroso cargado con esporas con el segundo recubrimiento protector, donde el segundo recubrimiento protector comprende una mezcla de ácidos grasos libres.

Aspecto 27. El método del Aspecto 26, donde la mezcla de ácidos grasos libres comprende ácido oleico, ácido esteárico, y ácido palmítico.

Aspecto 28. El método de cualquiera de los Aspectos 17 a 27, donde está presente la etapa de recubrir adicionalmente el sustrato poroso cargado con esporas con el segundo recubrimiento protector, donde el segundo recubrimiento protector tiene un espesor de aproximadamente 100 μm a aproximadamente 150 μm .

Aspecto 29. Un material autorreparable para reparar una grieta dentro de un material cementoso, el material autorreparable comprende: un sustrato poroso que tiene poros, donde el sustrato poroso comprende un material seleccionado de espuma, arcilla expandida, celite, perlita, y vidrio expandido; y esporas fúngicas dentro de al menos una porción de los poros, donde las esporas fúngicas están recubiertas al menos parcialmente por un recubrimiento protector.

A la luz de lo anterior, debe apreciarse que la presente invención avanza en la técnica al proporcionar materiales y composiciones mejorados para reparar grietas dentro de materiales cementosos. Aunque aspectos particulares de la invención se han descrito en detalle en la presente, debe apreciarse que la invención no se limita a

estos o, de esta manera, en la medida en que las variaciones de la invención en la presente descripción serán fácilmente apreciadas por los expertos en la técnica. El alcance de la invención se apreciará a partir de las reivindicaciones a continuación.

Ejemplos

Ejemplo 1 - Cribado

Como se detalla más adelante, las cepas fúngicas se probaron basado en cuatro pruebas de cribado. Primero se realizó una revisión de la literatura para comprender la distribución de hongos en ambientes de pH alto y establecer una lista de posibles hongos alcalofílicos y alcalotolerantes que han reportado la capacidad para crecer a $\text{pH} \geq 8,5$. Se evitaron los hongos registrados como patógenos vegetales, animales y humanos. Después, se seleccionaron 18 cepas y se obtuvieron de la Colección de cultivos NRRL (Servicio de Investigación Agrícola, Departamento de Agricultura de los EE. UU.). Las 18 cepas fueron *Aspergillus glaucus* NRRL 66587, *Aspergillus thermomutatus* NRRL 180, *Aspergillus nidulans* NRRL 187, *A. nidulans* NRRL 194, *Paecilomyces variotii* NRRL 1115, *Scopulariopsis brevicaulis* NRRL 1100, *Trichoderma reesei*

NRRL 3652, *T. reesei* NRRL 6156, *Myrothecium verrucaria* NRRL 2003, *Gliomastix murorum* NRRL 62986, *Purpureocillium lilacinum* NRRL 895, *Gliocladium virens* NRRL 2308, *Gliocladium* sp. NRRL 22971, *Cladosporium cladosporioides* NRRL 3182, *Penicillium expansum* NRRL 62431, *Penicillium citrinum* NRRL 756, *Chrysosporium* sp. NRRL 22978, y *Aspergillus niger* NRRL 341. Ninguna de estas cepas requirió un permiso de Protección y Cuarentena Vegetal (PPQ) 526 del APHIS (Servicio de Inspección de Sanidad Animal y Vegetal) del USDA o un permiso de Servicios Veterinarios (VS) 16-3. Los cultivos fúngicos se mantuvieron en agar de dextrosa de papa (PDA, 40 g/l, pH 7) (Sigma Aldrich 70139).

Se utilizaron cuatro pruebas de cribado. Después de cada prueba respectiva, se probaron las cepas que cumplían las condiciones de prueba para las condiciones posteriores. Una primera prueba incluyó determinar qué cepas tienen la capacidad para un crecimiento celular suficiente a un pH relativamente alto, tal como aproximadamente 10, o aproximadamente 11. Una segunda prueba incluyó determinar qué cepas no producen una cantidad deletérea de ácidos orgánicos. En una tercera prueba se incluyó determinar qué cepas tienen la capacidad de germinación a un pH moderadamente alto, tal como aproximadamente 9,5, en relación con entornos cementosos bajo carbonatación del aire ambiente, tal como grietas

interiores. Una cuarta prueba incluyó determinar qué cepas tienen la capacidad de germinación de esporas a pH neutro a moderadamente alto después de haber sido expuestas a las condiciones de pH y/o temperatura altos relevantes para las encontradas durante la mezcla, fraguado, y curado de composiciones cementosas y composiciones de cemento, tales como pH de aproximadamente 12,9 y temperatura de 45 °C a 55 °C.

Basado en estas cuatro pruebas de cribado, se encontró que las especies más adecuadas para las esporas fúngicas fueron *Scopulariopsis brevicaulis*, *Purpureocillium lilacinum*, *Myrothecium verrucaria*, and *Aspergillus nidulans*,

Prueba de cribado 1

Se usaron placas de agar de dextrosa de papa (PDA, 40 g/l) a tres valores de pH: pH 7 como control y pH 10 y 11 para el crecimiento a pH alto. Las placas de pH 10 y 11 se prepararon con 10 mM (para pH 10) y 20 mM (para pH 11) de reguladores de carbonato-bicarbonato de sodio. Las células se inocularon en el centro de las placas de PDA y se cultivaron a temperatura ambiente (21 +/- 2 °C). Se midieron los diámetros de colonia en expansión con un calibrador deslizante en los días 2, 4, y 6 para cuatro placas de cada

cepa fúngica, y se determinaron con promedios y desviaciones estándar.

Prueba de cribado 2

Se observó crecimiento en 100 ml de caldo de dextrosa de papa (PDB, 40 g/l) (Sigma Aldrich P6685) preparado en matraces Erlenmeyer de 250 ml. El pH inicial se ajustó a 10 usando 0,1M NaOH. No se usó regulador porque la prueba también fue para investigar las caídas de pH debidas a la producción de ácido por hongos mientras crecía en el medio líquido de pH alto. Los matraces estaban cubiertos por algodón envuelto en estopilla. Después de la inoculación, los matraces se pusieron en un agitador (Innova 4080 Agitador de incubadora digital New Brunswick Scientific Co., Inc) a 125 RPM, y el cambio de pH se monitoreó cada 8 h durante 4 días. También se preparó un control sin inoculación fúngica, y se midió la caída de pH abiótico del medio. El crecimiento celular se observó (pero no cuantificado) a simple vista y se confirmó con un microscopio óptico.

Prueba de cribado 3

Se produjeron pequeñas cantidades de esporas para cada cepa que se probará. Las placas de PDA inoculadas se cultivaron durante 14 días a temperatura ambiente. Micelia

habría cubierto las placas y esporulado. Se añadieron 30 ml de 1 g/l de solución acuosa estéril Tween 80 (Fisher Scientific T164) a una placa, y las esporas se rasparon suavemente del cultivo con un bucle de alambre estéril. 1 ml de la suspensión de esporas recolectada se inoculó a un matraz Erlenmeyer de 250 ml que contenía 100 ml de PDB se regularon a pH 12 con 0,025M Na_2HPO_4 y 0,027M NaOH. Los matraces se cubrieron con algodón envuelto en estopilla y se agitaron a 125 RPM. Después se tomaron muestras cada 8 h para examinar, usando un microscopio, si las esporas habían germinado. Se registró el tiempo que tardaron en germinar las esporas. También se prepararon controles con PDB a pH 6,5 inicial y de manera similar se inocularon con esporas para comparación de germinación de esporas en medios de pH neutro y alto.

Prueba de cribado 4

Se preparó PDB para tener un pH inicial de 12 o 12,9. El medio a pH 12 se reguló con 0,05M Na_2HPO_4 y 0,054M NaOH, el medio a pH 12,9 con 0,064M KCl y 0,136M NaOH. Se produjeron suspensiones de esporas como se describe para la Prueba 3. Se añadió 1 ml de suspensión de esporas a 9 ml de PDB en un vial de centelleo de vidrio de 20 ml (Kimble 74504-20). Una tira de cinta de teflón (Anti-Seize 26135, PTFE de baja densidad - cinta de sellado de rosca) se

envolvió alrededor del cuello del vial y la tapa se cerró herméticamente. Los viales fuertemente tapados se usaron para minimizar la disminución del pH debido a la carbonatación. Una prueba de evaluación mostró que el pH bajaría a 9,5-9,9 en 4 días para los matraces agitados utilizados en la Prueba 3, cubiertos con algodón cubierto con estopilla, pero solo a 11,2 +/- 0,6 para los viales de tapa cerrada después de 28 días.

Para simular las condiciones de pH-temperatura altos en la preparación del concreto, los viales con esporas añadidas se colocaron durante 2 h en baños de agua de 45 y 55 °C, respectivamente, o a temperatura ambiente (control). Posteriormente, los viales se mantuvieron a temperatura ambiente y se observaron hasta por 21 días (simulando el periodo de curado del concreto) para la germinación de esporas en estas condiciones de pH alto. En lo sucesivo, estos viales se denominan viales de “almacenamiento”. Para viales de almacenamiento sin germinación de esporas, los viales se sacrificaron semanalmente, y las esporas se recolectaron y lavaron una vez con agua desionizada por centrifugación durante 10 minutos (Thermo Scientific Sorvall Legend X1R) a 12.000 RPM (17,672 g). Las esporas lavadas fueron reinoculadas en PDB de pH 6,5 (control) y 9,5 (simulando la condición de pH carbonatado en grietas de

concreto), respectivamente, y observadas para la germinación de esporas. Estos últimos conjuntos de viales se denominan viales de “germinación”. Se prepararon dos viales de almacenamiento y dos viales de germinación para cada tiempo de prueba de germinación en PDB de cada pH (6,5 o 9,5), para cada cepa almacenada en PDB de cada pH (12 o 12,9) y sometida a cada condición de tratamiento térmico (temperatura ambiente, 45 °C, o 55 °C).

Ejemplo 2 - Pruebas de supervivencia para esporas de *S. brevicaulis*

El cemento Portland ordinario y la arena se esterilizaron con calor seco a 150 °C en un horno durante 4 h y después se mezclaron con agua desionizada esterilizada en autoclave a la relación en peso de cemento: arena: agua de 1: 2,75: 0,5. Se añadió una capa delgada (aproximadamente 45 ml) de esta mezcla de mortero húmedo a dos placas Petri estériles. Después, se añadieron cuidadosamente 5 ml de suspensión de esporas de *S. brevicaulis* sobre la capa de mortero usando una pipeta. El sistema era, por lo tanto, una capa de suspensión acuosa de esporas sobre una capa de mortero húmedo que se sometió a hidratación de cemento. Se tomaron muestras en 3, 6, 9, 14, 21, y 28 días, de la suspensión de esporas con un bucle de alambre estéril e

inoculadas en PDA para observar la germinación de esporas. También se midió/estimó el pH para la suspensión de esporas muestreada usando papeles de prueba de pH (Hydrion, Micro Essential Lab).

En una prueba de supervivencia separada para esporas de *S. brevicaulis*, se encontró que la exposición a pH hasta 12 no sumó significativamente más daño a las esporas de *S. brevicaulis* expuestas a 55 °C, pero que la exposición a pH 12,9 causó daños sustanciales a las esporas de *S. brevicaulis* las cuales fueron expuestas a 55 °C. Estos resultados apoyan los aspectos de esta descripción donde se utilizan recubrimientos protectores como un mecanismo de protección de esporas para disminuir ligeramente el pH local alrededor de las esporas, como se ha descrito anteriormente en la presente.

Ejemplo 3 - Estabilidad de las esporas en contacto con aceite y ácidos grasos

Varios ejemplos específicos proporcionaron evidencia de la estabilidad a largo plazo de las esporas en contacto con recubrimientos protectores (p. ej., aceites, ácidos grasos y mezclas de aceites-ácidos grasos). En un ejemplo, las esporas de *S. brevicaulis* se almacenaron a temperatura ambiente en aceite de soya durante 3 meses antes

de ser inoculadas en placas de agar papa dextrosa. Esporas en todas las inoculaciones germinaron, demostrando la estabilidad de esporas en suspensión de aceite de soya.

En otro ejemplo, las esporas de *S. brevicaulis* se mantuvieron durante 2 meses en una mezcla de aceite de soya y ácidos grasos con la siguiente composición: 9 g de ácido oleico, 3 g de ácido esteárico, y 2 g de ácido palmítico mezclado con 3 ml de aceite de soya. Esporas en todas las muestras inoculadas sobre placas de agar de dextrosa de papa germinadas.

Ejemplo 4 - Esporas en cubos de espuma de poliuretano

Se cortó un trozo de espuma de poliuretano poroso de celda abierta en cubos de aproximadamente 5 mm de tamaño. Estos cubos de poliuretano se remojaron después en una mezcla de agua-cemento/suspensión, que incluía agua y cemento en una relación en peso de aproximadamente 0,5: 1 para el agua:cemento. Los cubos remojados se sometieron a una técnica de compresión y liberación para ayudar a añadir el cemento a los cubos y a eliminar el exceso de agua/suspensión. Los cubos de poliuretano impregnados con cemento se dejaron reposar en el aire ambiente para que se produjera la reacción de hidratación del cemento durante 1

día, después se curaron en agua durante 3 semanas, y después se secaron en aire ambiente durante 2 semanas.

Posteriormente, las esporas de *S. brevicaulis* dentro de una suspensión de aceite de soya se cargaron en los cubos de poliuretano curado, reforzados con cemento por remojo. Los cubos cargados con esporas después se combinaron en una mezcla de ácidos grasos (66,7 % de ácido oleico, 16,65 % de ácido esteárico y 16,65 % de ácido palmítico; en peso) para formar un recubrimiento relativamente delgado de aceite-ácido graso de 100-150 μm alrededor de los cubos. Estos cubos se sumergieron en múltiples placas Petri con mortero de cemento húmedo recién preparado (agua : cemento : arena = 0,5 : 1 : 2,75; relación en peso). Los cubos estaban incrustados en el mortero de cemento húmedo. Los trozos de mortero de sacrificio se rompieron después de diferentes fraguados y duraciones de curado, y los cubos/fragmentos de poliuretano que contenían esporas recuperadas se colocaron en placas de agar de dextrosa de papa para observar la germinación de esporas. Se realizaron pruebas por periodos de tiempo de hasta 19 meses en el mortero, y la germinación de esporas se produjo a partir de todos los cubos/fragmentos de poliuretano analizados.

Diversas modificaciones y alteraciones que no se apartan del alcance y espíritu de esta invención serán evidentes para los expertos en la técnica. Esta invención no

debe limitarse debidamente a los ejemplos ilustrativos
establecidas en la presente descripción.