

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 385 316**

51 Int. Cl.:

**G21F 9/16** (2006.01)

**G21F 9/30** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **10169911 .4**

96 Fecha de presentación: **16.07.2010**

97 Número de publicación de la solicitud: **2276037**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **19.01.2011**

54 Título: **Procedimiento de inmovilización de residuos nucleares**

30 Prioridad:  
**17.07.2009 FR 0954986**  
**31.07.2009 FR 0955428**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**23.07.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**23.07.2012**

73 Titular/es:  
**Soletanche Freyssinet**  
**133 Boulevard National**  
**92500 Rueil Malmaison, FR**

72 Inventor/es:  
**Martin, Ludovic;**  
**Aman, Jean-Jacques y**  
**Bernard, Vincent**

74 Agente/Representante:  
**Veiga Serrano, Mikel**

ES 2 385 316 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Procedimiento de inmovilización de residuos nucleares

**5 Sector de la técnica**

10 La presente invención se refiere a un procedimiento de inmovilización de residuos nucleares mediante una matriz a base de una composición mineral obtenida mediante la preparación de una base que comprende una cantidad predeterminada de un material mineral sintetizado por al menos una parte de una estructura viva elegida del reino vegetal, animal y/o los microorganismos.

**Estado de la técnica**

15 Un residuo radiactivo o nuclear es una materia radiactiva de la que no se prevé ninguna utilización y cuya dispersión en el medio ambiente no está autorizada. Los residuos radiactivos cubren una gran diversidad de sustancias que se distinguen concretamente por su actividad y su periodo radiactivo, pero también por su estado (sólido, líquido, gaseoso) y su composición química.

20 La eliminación de residuos, en particular los residuos de origen nuclear, es un problema medioambiental importante. Los residuos nucleares (líquidos o sólidos) pueden estar contaminados en la superficie y/o en masa.

25 Los residuos de la industria nuclear son específicos. Por una parte, su actividad disminuye con el tiempo, y por otra parte, su diversidad requiere de métodos de acondicionamiento adaptados a los volúmenes y a sus actividades. Existen numerosos métodos para acondicionar los residuos de la industria nuclear.

Se utilizan dos modos de acondicionamiento principales para los residuos nucleares, la compactación o el bloqueo.

30 La compactación es un modo de acondicionamiento primario en el que los productos compactados deben acondicionarse en un bulto.

El bloqueo o la inmovilización de residuos es una técnica utilizada comúnmente en la industria nuclear en la que un cemento o un polímero sirven para inmovilizar residuos nucleares en el seno de contenedores o como matriz de acondicionamiento para recubrir los residuos nucleares.

35 Además de su uso para bloquear residuos sólidos macizos en contenedores, la cimentación también se utiliza para recubrir residuos en disolución o en forma pulverulenta, por ejemplo residuos de evaporación, lodos de tratamiento químico o incluso resinas intercambiadoras de iones.

40 Cualquiera que sea el nivel de contaminación de los residuos nucleares, deben almacenarse en instalaciones seguras durante periodos bastante largos, por ejemplo de varios cientos de años. En la duración del almacenamiento, es necesario garantizar la integridad del bulto de almacenamiento, en particular del embalaje y del contenido compuesto por el residuo y la matriz.

45 Estos bultos de residuos cumplen con criterios estrictos, en particular en los que se refiere a la matriz. El contenido debe ser lo suficientemente estable y no estar sometido a una diseminación relacionada con las condiciones del almacenamiento.

50 El bloqueo mediante un cemento es un procedimiento de bajo coste y de fácil puesta en práctica pero no está carente de inconvenientes. Las interacciones entre los constituyentes de determinados residuos nucleares y la matriz cementosa pueden conducir a un hinchamiento y una fisuración del bulto, reduciendo su durabilidad.

55 La cimentación es la técnica más utilizada para los residuos sólidos. Los motivos principales de esta elección residen en la abundancia de materias primas, la densidad del material (protección biológica), la resistencia mecánica, el buen conocimiento de su comportamiento a largo plazo, la robustez del procedimiento y la sencillez de su puesta en práctica. Los residuos compactados previamente o a granel se colocan generalmente en una cesta, a su vez depositada en un contenedor metálico o de hormigón; a continuación se inmovilizan mediante cemento, encargado de limitar el riesgo de difusión de los radioelementos hacia el exterior, y forman así un recubrimiento heterogéneo.

60 No obstante, la cimentación no permite garantizar la durabilidad de los bultos para determinados residuos nucleares cargados químicamente (sulfatos,..) o reactivos que contienen materia orgánica.

65 En efecto, el proceso de cimentación es un proceso exotérmico que corre el riesgo de provocar reacciones violentas durante el mezclado con determinados residuos nucleares reactivos.

Además, el medio cementoso tiene un pH alcalino del orden de 13 a 14 puede no ser compatible con determinados residuos nucleares.

5 Por otro lado, el bloqueo de materiales reactivos genera gases, haciendo imposible garantizar la integridad de los bultos durante largos periodos, por ejemplo periodos de al menos 300 años.

### Objeto de la invención

10 Así, uno de los objetivos de la presente invención es proponer otra solución que permita inmovilizar residuos nucleares que no presente los inconvenientes de las soluciones de la técnica anterior.

La invención propone así un procedimiento de inmovilización de residuos nucleares, que comprende:

- 15
- una etapa de mezclado, durante la cual se mezclan residuos nucleares con una composición mineral y agua,
  - una etapa de secado, durante la cual se seca la mezcla obtenida durante la etapa de mezclado de modo que se forme una matriz de inmovilización, en la que se obtiene la composición mineral mediante un procedimiento de fabricación que comprende las etapas que consisten en:
- 20
- preparar una base que comprende una cantidad predeterminada de un material mineral sintetizado por al menos una parte de una estructura viva elegida del reino vegetal, animal y/o los microorganismos; y
  - tratar dicha base de modo que se transforme en una materia inactivada y de textura predefinida.

25 Ventajosamente, el procedimiento de inmovilización según la invención permite inmovilizar residuos nucleares cargados químicamente y/o residuos nucleares metálicos reactivos y/o residuos nucleares orgánicos que no pueden inmovilizarse mediante cimentación clásica.

30 Un procedimiento de inmovilización según la invención puede comprender además una o más de las siguientes características opcionales, consideradas individualmente o según todas las combinaciones posibles:

- la composición mineral se elige de modo que, mezclada con agua, presente un pH comprendido entre 11 y 12,5, por ejemplo entre 11 y 12;
- 35
- la composición mineral se elige de modo que la reacción entre dicha composición mineral y el agua sea sensiblemente atérmica;
  - la razón de la cantidad másica de la composición mineral y de la cantidad másica de agua es superior o igual a 1, por ejemplo superior o igual a 1,5, e inferior o igual a 85/15;
- 40
- la composición mineral se elige de modo que la matriz de inmovilización presente una resistencia a las tensiones de compresión superior o igual a 8 MPa a los 8 días;
  - durante la etapa de mezclado, puede añadirse arena de modo que la razón de la cantidad másica de la composición mineral y de la cantidad másica de arena sea superior o igual a 1,5 e inferior o igual a 10;
- 45
- la etapa de mezclado comprende:
    - una etapa de premezclado durante la cual se mezclan la composición mineral y el agua,
    - una etapa de amasado durante la cual se amasa la mezcla obtenida durante la etapa de premezclado, y
    - una etapa de inyección durante la cual se inyecta la mezcla amasada en un embalaje que contiene los residuos que van a inmovilizarse;
- 50
- 55
- la etapa de mezclado comprende:
    - una etapa de premezclado durante la cual se mezclan los residuos nucleares, la composición mineral y el agua,
    - una etapa de amasado durante la cual se amasa la mezcla obtenida durante la etapa de premezclado, y
    - una etapa de inyección durante la cual se inyecta la mezcla amasada en un embalaje destinado a contener los residuos nucleares.
- 60
- 65
- la composición mineral comprende al menos el 50% y como mucho el 80% en masa de carbonato de calcio;

- la composición mineral comprende al menos el 10% y como mucho el 30% en masa de sílice;

- la cantidad másica de residuos nucleares en la matriz de inmovilización depende de la forma y de la densidad, es superior o igual al 10% e inferior o igual al 80%.

5 La invención se entenderá mejor con la lectura de la siguiente descripción, facilitada únicamente a modo de ejemplo.

### Descripción detallada de la invención

10 La presente invención se refiere a un procedimiento de inmovilización de residuos nucleares cargados químicamente o reactivos o que contienen materia orgánica, y más particularmente de aquéllos que no pueden bloquearse mediante los aglutinantes hidráulicos clásicos.

15 Ventajosamente, el procedimiento, según la invención, permite poder realizar la encapsulación de estos residuos en una matriz homogénea y duradera que responde a criterios de almacenamiento predefinidos.

20 Entre los residuos nucleares que pueden bloquearse mediante el procedimiento según la invención, pueden citarse, sin que ello constituya una limitación: los aceites, las resinas, las resinas intercambiadoras de iones (RII), el grafito, el magnesio, el uranio, el aluminio, el asfalto, los lodos, el agua glicolada, los productos a base de borato y de sulfato, los lodos o los concentrados que contienen materia orgánica y sus mezclas.

Según un modo de realización de la invención, el procedimiento de inmovilización comprende:

- 25 ■ una etapa de mezclado durante la cual se mezclan residuos nucleares con una composición mineral y agua,
- una etapa de secado durante la cual se seca la mezcla obtenida durante la etapa de mezclado, de modo que se forme una matriz de inmovilización.

30 La mezcla de la composición mineral y agua permite a la composición mineral realizar una disposición estructural que conduce a la creación de una red tridimensional. La realización de esta red conduce a una aglomeración de la composición mineral hidratada alrededor de los residuos nucleares que, tras un determinado tiempo de secado, permite la obtención de una masa compacta compuesta por el residuo y una matriz de inmovilización.

35 La composición mineral, utilizada en el procedimiento según la invención, se obtiene mediante un procedimiento de fabricación que comprende las etapas que consisten en:

- preparar una base que comprende una cantidad predeterminada de un material mineral sintetizado por al menos una parte de una estructura viva elegida del reino vegetal, animal y/o los micro-organismos; y
- 40 ■ tratar dicha base de modo que se transforme en una materia inactivada y de textura predefinida.

Los documentos FR9405013, FR9504830, FR9504831, FR9504832 y WO95/29250 describen ejemplos de composiciones minerales que pueden utilizarse en el procedimiento según la invención.

45 Según un modo de realización de la invención, la composición mineral, utilizada en el procedimiento según la invención, es una composición mineral obtenida mediante un procedimiento de fabricación que comprende las etapas que consisten en:

- 50 ■ preparar una base que comprende una cantidad predeterminada de un material mineral sintetizado por al menos una parte de una estructura viva elegida del reino vegetal, animal y/o los microorganismos; y
- tratar dicha base de modo que se transforme en una materia inactivada y de textura predefinida.

55 En el sentido de la invención por "estructura viva" mineralizadora, mineralizada o mineralizable, debe entenderse cualquier estructura celular o de origen celular, vegetal, animal o de microorganismos, viva y/o resultante de la vida y/o de compuestos de origen biológico, cristalizados o no, tales como enzimas, hormonas, proteínas, ADN.

Por "materia inactivada" debe entenderse materia carente de cualquier actividad biológica y/o biomineralizadora, concretamente de cualquier actividad microbiológica patógena.

60 En el sentido de la invención, el término "mineral" debe entenderse en este caso en un sentido amplio, a saber como que incluye un mineral en su composición.

65 La etapa de preparación de la base puede comprender una fase que consiste en cultivar la estructura viva citada previamente durante un período y en un medio tales que al menos una parte denominada "biomasa mineral" de dicho material se produce o se sintetiza entonces por esa estructura.

La etapa de tratamiento puede comprender a continuación una fase de inactivación de la estructura viva. Por inactivación debe entenderse la obtención de materia inactivada, tal como se definió anteriormente, a partir de la estructura viva tal como se definió anteriormente.

5 Puede ejecutarse una fase de amasado durante una de las etapas del procedimiento de fabricación.

Preferiblemente, esta fase de amasado se efectúa al menos en parte simultáneamente con otra fase del procedimiento según la invención, por ejemplo durante la inactivación o incluso tras la etapa de mezclado.

10 El procedimiento de fabricación puede ponerse en práctica con microorganismos y/o células, de origen vegetal o animal, solos, o en asociación simbiótica o además, mineralizados, mineralizadores o mineralizables.

La estructura viva citada previamente puede ser un vegetal y/o animal o parte de un vegetal y/o animal tal como una célula, un tejido o un órgano.

15 Se podrá recurrir, en el reino vegetal, tanto a vegetales superiores, dicotiledóneas, monocotiledóneas, como a vegetales inferiores talofíticos o de microorganismos.

20 Según los casos, la estructura seleccionada se cultiva *in vivo*, en tierra, sobre una capa rica en materia orgánica, mediante hidroponía, en placa de Petri, en un reactor tal como fermentador o mediante cría en batería, sobre patas o piscicultura, concretamente.

25 La estructura puede cultivarse en un medio nutritivo apropiado conocido por el experto en la técnica tal como líquido de Knopli, disolución de Earle, Hanks, medio denominado "199", medio de Sabouraud, medio MEM-Eagle o similares.

30 La etapa de preparación de la base puede comprender una fase que consiste en cosechar y/o recoger la estructura viva citada previamente, e incorporarla a la base en proporciones tales que este aporte constituya al menos una parte del material mineral requerido.

El material mineral así cosechado y/o recogido podrá ser de naturaleza variada: carbonatada, silíceo, salina, fluorada, baritada, carbonosa, ferruginosa, en forma por ejemplo de depósito, concreción actuales y/o fósiles. Entonces se incorpora a la base, o bien durante la etapa de preparación, o bien durante la etapa de tratamiento.

35 Rocas sedimentarias fósiles y/u otras tales como granito, basalto, piedra pómez u otras pueden entrar en la composición de la materia final.

40 Durante una fase posible del procedimiento de fabricación, al menos uno entre la biomasa, la base, el material y/o la materia mineral citada previamente se fragmenta durante la etapa de preparación, y/o durante la etapa de tratamiento.

45 La fragmentación citada previamente se efectúa al menos parcialmente mediante dislocación con ayuda de ultrasonidos y/o de medios fisicoquímicos, tales como la adición de aditivos, la irradiación, el tratamiento criogénico y/o térmico, la trituración o la variación de presión.

Una de las fases del procedimiento puede consistir en elaborar una suspensión de la biomasa, de la base o del material citados anteriormente en un líquido, preferiblemente acuoso para pulverización o aplicación con pincel, por ejemplo. Este líquido puede entrar en la composición de uno de los medios de cultivo citados anteriormente.

50 Es posible incorporar, durante una fase del procedimiento, al menos a uno entre el medio de cultivo, la biomasa, el material, la base y la materia mineral, una sustancia colorante de matiz predeterminado.

Una fase eventual de la etapa de preparación y/o de tratamiento consiste en incorporar a al menos uno entre la biomasa, el medio, el material, la base y la materia mineral, un agente de cohesión y/o de textura.

55 Este agente de cohesión y/o de textura es preferiblemente metálico tal como calcio, magnesio, silicio, bario, sodio, flúor, aluminio, hierro, manganeso, zinc, o material orgánico tal como colágeno, muco-polisacárido y/o compuesto policelulósico.

60 Ventajosamente, las proporciones y la composición del agente de textura citado previamente se eligen para que la materia final presente una dureza y/o elasticidad predeterminada.

Por otro lado, el procedimiento de fabricación puede comprender una fase de deshidratación total o parcial de la sal o las sales de inactivación que componen la base y/o la materia mineral citadas anteriormente.

65

Esta fase de deshidratación puede efectuarse al menos parcialmente mediante filtración, centrifugación, tratamiento térmico y/o criogénico.

5 Es factible siguiendo el procedimiento de fabricación, que las fases de inactivación, de deshidratación y de fragmentación, se efectúen al menos parcialmente de manera simultánea.

10 Durante una de las fases o etapas del procedimiento de fabricación, puede incorporarse un aditivo, por ejemplo espumoso, fibroso, aglomerante, aislante, ignífugo o similares a la base y/o a la materia mineral citada anteriormente.

10 La clasificación a continuación proporciona ejemplos no limitativos de estructuras adecuadas para seleccionarse para la aplicación de la invención:

15 a) Entre las dicotiledóneas:

- Las células del orden Daucales, familia Araliaceae, género *Hedera*, del cual *Hedera helix*;
- Las células del orden Arales, género *Rhaphidophora*, especie *Syngonium podophyllum* (Schott), "*Albolineatum*", especies *Syngonium auritum* syn. *Philodendron trifolium* y especie *Syngonium hastifolium*;
- Las células del orden Solanales, familia Bignoniaceae, especie *Catalpa bignonioides* en la que se trata de oxalato de calcio en forma octaédrica, "en erizos de mar", presentes en abundancia en las células de los peciolos, por ejemplo.

25 Cualquier célula vegetal, aunque fuese poco simbiótica, es susceptible, mediante el procedimiento que se acaba de enunciar, de mineralizarse y/o supermineralizarse si se pone en contacto con tales microorganismos. Es así el caso de las células citadas anteriormente, pero también de cualquier célula vegetal procedente, por ejemplo, de matorrales en forma de virutas, de serrín, y que mediante este procedimiento se petrifican o incluso se transforman en piedra de toba y/o travertino.

30 b) Entre las monocotiledóneas:

- Las células del orden Pandarales, de las cuales, las de la familia Typhaceae;
- Las células de gramíneas, de las cuales, las de Lemnaceae.

c) Entre los helechos:

40 Las epidermis de *Equisetum arvense* (cola de caballo) son el decorado de formaciones minerales de sílice consideradas a menudo concreciones procedentes de secreciones de membranas epidérmicas, mientras que se ven implicadas en las mismas bacterias en la periferia y/o en las células de *Equisetum arvense*. Éstas explican los depósitos de sílice intra y/o extracelular. El revestimiento silíceo de los brotes aéreos estériles de *Equisetum arvense* y los depósitos de sílice opalina que se incrustan en la epidermis de sus diferentes órganos aéreos está relacionado con la presencia y con la participación simbiótica de bacterias. Se trata de bacilos de 0,4 a 0,7 micrómetros de largo y de 0,1 micrómetros de grosor. Estos bacilos mineralizadores provocan un empastamiento externo progresivo de células de interés a medida que se desarrollan velos bacterianos. Estos velos sucesivos provocan un revestimiento silíceo homogéneo y estratificado.

50 d) Entre las algas:

Las masas biominerales que resultan de la multiplicación y de la acumulación de frústulas de algas, de modo natural o industrial, son aplicables a la invención.

55 Se citarán, por ejemplo:

- Las Rhodophyceae con principalmente las Nematociales, las Solenoporaceae y las Corallinaceae (que comprenden las Lithothamnium, las Melobesieae);
- Las Chlorophyceae con las Siphonales (que comprenden las Codiaceae, de las cuales Halimeda) y las Dasycladales (que comprenden las Dasycladaceae, de las cuales Acetabularia);
- Las Charophyceae con las Characeae, de las cuales Cladophora y Vaucheria;
- Las Schizophyceae con las Porostromata y las Spongiostroma, de las cuales Rivularia, Oscillatoria, Phormidium, Chroococcus y Gleocapsa son adecuadas para seleccionarse.

e) Líquenes:

5 La masa biomineral también puede resultar del cultivo de una asociación vegetal tripartita de tipo liquénico. Los líquenes son asociaciones vegetales compuestas. La asociación denominada de beneficio recíproco se compone de un hongo, de un alga y de bacterias mineralizantes similares a las que se han mencionado anteriormente.

Estas bacterias contribuyen a incrustaciones minerales complejas y pigmentadas en el seno del micelio.

10 La existencia de depósitos de ácidos liquénicos en forma de cristales extracelulares e hidrófobos se debe a la mineralización de los líquenes por dichas bacterias simbióticas. Las bacterias simbióticas se distinguen de las cianobacterias, a veces citadas por su pequeño tamaño y la ausencia de pigmento.

La estructura viva puede ser por tanto simplemente las células de un vegetal así dotado fisiológicamente.

15 f) Entre los hongos:

La estructura de origen vegetal puede ser un vegetal inferior elegido entre los hongos y sus esporas.

20 g) Entre los microorganismos:

La estructura viva puede ser un microorganismo tal como virus o bacteria, de los cuales *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas maltophilia*, *Pseudomonas putida*, *Buttauxiella agrestis*, *Rhodococcus*, *Serratia marcescens*.

25 Puede preverse el empleo de un virus como estructura viva.

30 La estructura viva también puede ser un animal, o una parte de un animal tal como una célula, un tejido y/o un órgano, elegidos entre los protozoos y los metazoos invertebrados tales como las esponjas, los lamelibránquios y los equinodermos o incluso entre los vertebrados.

Una o más estructuras vivas compatibles, simbióticas o cooperantes pueden cultivarse en el seno de un mismo medio, ya sean de origen vegetal, animal y/o de microorganismos.

35 La primera etapa de preparación tiene como objetivo obtener una base mineral, es decir, un producto intermedio. Preferiblemente, la etapa de preparación de la base comprende una fase que consiste en cultivar la estructura viva citada anteriormente durante un periodo y en un medio tales que al menos una parte denominada "biomasa mineral" de dicho material se produce o se sintetiza entonces por esta estructura.

40 La segunda etapa consiste en tratar dicha base tras su supermineralización, de modo que se transforme en una materia mineral desactivada o inactivada y de textura predefinida.

A modo de ejemplo, pueden seleccionarse una o más correspondencias entre las estructuras vivas y los minerales y/o las rocas siguientes:

45 Células de *Hedera helix* corresponden a oxalato de calcio / caliza

Células de *Ficus elastica* correspondientes a carbonato de calcio / caliza

50 Células de *Equisetum* corresponden a sílice / opalina / madera silicificada / gres

Células de gramíneas corresponden a sílice / opalina / madera silicificada / gres

Células de Typhaceae corresponden a sílice / opalina / madera silicificada / gres

55 Hongo ascomiceto corresponde a dipicolinato de calcio / caliza

Células de Pectascinaeae corresponden a carbonato de calcio / caliza

60 Alga de Phaeophyceae corresponde a sílice / diatomita

Alga de Rhodophyceae corresponde a carbonato de calcio / caliza / travertino

Alga de Chlorophyceae corresponde a carbonato de calcio / caliza / travertino

65 Alga de Cyanophyceae corresponde a carbonato de calcio / caliza / travertino

Molusco lamelibranquio corresponde a carbonato de calcio / caliza / gres de conchas

La producción de biomasa obedece las leyes habituales de crecimiento de las estructuras vivas: no es necesario describir en este caso la fase de cultivo con precisión.

5 El experto en la técnica sabrá determinar en función de la estructura viva que va a hacerse crecer, qué método de cultivo y qué medio podrán utilizarse con el mayor éxito.

10 Así, es posible, según el tipo de estructura seleccionada, recurrir a uno de los procedimientos elaborados tales como el cultivo *in vivo*, en tierra, sobre una capa rica en materia orgánica, mediante hidroponía, en placa de Petri, en un reactor tal como fermentador o mediante cría en batería, sobre patas o piscicultura, concretamente.

15 En el caso de plantas que conservan su integridad, se emplean preferiblemente los métodos convencionales de cultivo (en tierra, en invernadero, hidroponía, etc.).

20 Cuando la estructura viva citada anteriormente es una parte de un vegetal tal como célula, tejido u órgano, la estructura viva puede tener como origen una planta denominada superior, monocotiledónea, como las lentejas de agua o dicotiledónea y concretamente entre las Daucales, las trepadoras, las Bignoniaceae, las Moraceae, las Cornaceae, las Cactaceae.

Para este tipo de estructura que, por ejemplo produce una materia de toba y/o travertino, es posible de utilizar el medio de cultivo siguiente:

25	Agua destilada	1.000 gramos
	Nitrato de calcio	0,71
	Nitrato de potasio	0,568
30	Sulfato de magnesio	0,284
	Fosfato de amonio	0,142
35	Cloruro férrico	0,112
	Yoduro de potasio	0,0028
	Ácido bórico	0,0005
40	Sulfato de zinc	0,0005
	Sulfato de manganeso	0,0005

45 Por otro lado, la estructura de origen vegetal puede ser un alga y concretamente Rhodophyceae, Chlorophyceae, Charophyceae, Schyzophyceae, Cyanophyceae, Pheophyceae y/o incluso un protofito, y entonces pueden considerarse otros medios.

50 Lo mismo sucede si la estructura viva es un animal, o parte de un animal tal como célula, tejido y/u órgano, y concretamente un protozoo de barra arenosa, carbonatada, silíceo o quitinoso, mesogleas de esponjas con espículas calcáreas o silíceas, células de corales, células epidérmicas de mariscos, o incluso células de origen de estructuras óseas en los vertebrados. Las biomasas minerales podrán obtenerse mediante cultivo *in vitro* de células, tejido y/u órganos implicados en las biosíntesis minerales del reino animal.

55 Es posible por ejemplo, recurrir a formaciones de coral actuales y/o fósiles para producir calizas específicas.

Los microorganismos también pueden cultivarse de modo abundante en fermentadores industriales comerciales, y concretamente ultrafermentadores de filtración tangencial, que permiten obtener una producción en continuo.

60 Pueden cultivarse una o más estructuras vivas compatibles en el seno de un mismo medio, eventualmente con al menos otra estructura compatible de origen vegetal, animal y/o de microorganismos.

La segunda etapa consiste en tratar dicha base tras su supermineralización de modo que se transforme en una materia mineral inactivada y de textura predefinida.

65 En caso de producción de biomasa a partir de una estructura viva, la etapa del tratamiento comprende entonces una fase de inactivación de la estructura viva.



Esta fase de inactivación puede efectuarse mediante adición de al menos una sal, tal como por ejemplo óxido de magnesio, sulfato de magnesio, cloruro de calcio, cloruro de bario en forma anhidra, preferiblemente.

5 La biomasa se estabiliza, es decir se inactiva, de modo que se interrumpa cualquier crecimiento celular. Puede obtenerse tal resultado mediante la adición en proporciones convenientes, de una o más sales anteriores, o de sustancias que tienen efectos similares sobre la estructura viva retenida.

10 En el caso de uso de estos compuestos, las proporciones (en unidad de masa) respectivas de 1 parte de sulfato de magnesio, 0,5 partes de cloruro de calcio, 0,5 partes de cloruro de bario, 2 partes de óxido de magnesio preferiblemente anhidros, son aceptables. No obstante, estas proporciones pueden variar, concretamente en un intervalo del 20% al 50%.

15 Pueden emplearse otros métodos de inactivación, solos o como complemento, entre ellos el uso de compuestos químicos, concretamente fluosilicatos o incluso irradiación y elevación a alta temperatura.

Puede ejecutarse una fase de amasado durante una de las etapas del procedimiento de fabricación. Preferiblemente, esta fase de amasado se efectúa al menos en parte de manera simultánea a otra fase del procedimiento, y concretamente durante la inactivación.

20 Puede recurrirse a dos fases de inactivación: una durante la elaboración del producto, otra durante el empleo, por ejemplo durante el estado de mezclado del procedimiento según la invención.

25 La inactivación total de las estructuras vivas de la base se realiza entonces mediante amasado de la biomasa y de las sales citadas, con un aporte de agua en igual cantidad, para garantizar un buen mezclado de las mismas. A modo de ejemplo, puede añadirse la base a las sales citadas en proporciones que van de 0,5 de base por 1 de sales a 4 de base por 1 de sales.

30 Una de las ventajas del procedimiento de fabricación consiste en que la etapa de preparación de la base puede comprender una fase que consiste en cosechar o recoger o bien la estructura viva citada anteriormente, o bien material mineral sedimentario, e incorporarlo a la base en proporciones tales que este aporte constituya al menos una parte del material mineral requerido.

35 Es posible recoger el material mineral en forma por ejemplo de depósito, concreción actual y/o fósil, e incorporarlo a la base o bien durante la etapa de preparación, o bien durante la etapa de tratamiento.

40 Por otro lado, la estructura viva se elige para que su materia mineral asociada contenga al menos un constituyente mineralógico carbonatado, silíceo, de selenito o similares. Pueden utilizarse otras numerosas fuentes novedosas de mineral según la invención. El desbrozado u otras operaciones agrícolas (cosechas, de las cuales henificación, recolección, vendimias y otras) generan importantes cantidades de productos mineralizados o mineralizables o mineralizadores y adecuados para una supermineralización (heno, paja, rastrojo, etc...).

45 Determinadas operaciones industriales generan residuos de origen vegetal, tales como serrín, que pueden mineralizarse. Se citan las células de plantas relativamente rígidas y particularmente las de trepadoras como, por ejemplo *Syngonium podophyllum*, *Syngonium auritum* syn. *Philodendron trifolium* y *Syngonium hastifolium*. Las hiedras, las higueras, constituyen una fuente potencial de sustratos minerales. Lo mismo sucede con los depósitos costeros de algas marinas tales como el maerl.

50 Durante una posible fase del procedimiento de fabricación, se fragmenta al menos uno entre la biomasa, la base, el material y/o la materia mineral citados anteriormente durante la etapa de preparación, y eventualmente durante la etapa de tratamiento inactivante.

55 Por ejemplo si durante el cultivo de una estructura viva se obtienen apilamientos minerales y/o estratificados, que pueden dividirse eventualmente para su empleo en el seno de la base. Asimismo, si una parte o la totalidad del material mineral están constituidas por fósiles o residuos sólidos, tal como se explicó anteriormente, los bloques en masa recogidos podrán triturarse o fragmentarse.

60 La fase de fragmentación se efectúa hasta la obtención de una textura o maleabilidad determinada. Dicho de otro modo, la fragmentación tiene como objetivo obtener una materia más o menos blanda, y preferiblemente con una granulometría dada.

La fragmentación citada anteriormente se efectúa al menos parcialmente mediante dislocación con ayuda de ultrasonidos y/o de medios fisicoquímicos, tales como la adición de aditivos, el tratamiento criogénico y/o térmico, la trituración o la variación de presión.

65 En este caso, una de las fases del procedimiento de fabricación puede consistir en elaborar una suspensión de la biomasa o del material fragmentado citado anteriormente en un líquido, preferiblemente acuoso. Es posible durante

- una fase del procedimiento, incorporar al menos uno entre el medio de cultivo, la biomasa, el material, la base y la materia mineral. Esta sustancia es eventualmente un elemento de la biomasa.
- 5 Una etapa de preparación y/o de tratamiento puede consistir en incorporar a al menos uno entre la biomasa, el medio, el material, la base y la materia mineral, un agente de cohesión o textura. Este agente es preferiblemente un aglutinante concretamente metálico tal como calcio, magnesio, silicio, bario, sodio, flúor, aluminio, hierro, manganeso, zinc, u orgánico tal como colágeno, mucopolisacárido y compuesto policelulósico.
- 10 Se entiende ya que este agente sirve eventualmente como compuesto de inactivación, en el caso de una base que comprende una estructura viva, cultivada o recogida.
- Ventajosamente, las proporciones y la composición del agente de cohesión y/o de textura citado anteriormente se eligen para que la materia final presente una dureza o una elasticidad predeterminada.
- 15 Durante una de las fases o etapas del procedimiento, puede incorporarse un aditivo, por ejemplo espumoso, fibroso, aglomerante, aislante, ignífugo o similares a la base y/o a la materia mineral citada anteriormente.
- Por otro lado, el procedimiento puede comprender una fase de deshidratación al menos parcial de uno o más componentes de la base y/o de la materia mineral citada anteriormente.
- 20 Esta fase de deshidratación puede efectuarse al menos parcialmente mediante filtración, irradiación, centrifugación, tratamiento térmico y/o criogénico.
- Puede considerarse según el procedimiento que las fases de inactivación, de deshidratación y de fragmentación, se efectúen al menos parcialmente de manera simultánea.
- 25 Según un modo de realización de la invención, la composición mineral comprende al menos el 50% y como mucho el 80% en masa de carbonato de calcio y al menos el 10% y como mucho el 30% en masa de sílice.
- 30 La composición mineral según la invención puede presentarse en forma de sólido dividido, que, tras la incorporación de una cantidad de agua predeterminada y una etapa de amasado íntimo, conduce a una pasta denominada mezcla petrificante.
- 35 La viscosidad de la pasta de mezcla puede ajustarse con el ajuste de las proporciones de composición mineral y de agua.
- La realización de la matriz de bloqueo es posible tras amasado íntimo de la composición mineral y agua a temperatura ambiente. La fluidez de la mezcla, las propiedades mecánicas y el tiempo de solidificación dependen del contenido en agua. Puede adaptarse a la naturaleza del material y permite bloquear residuos nucleares.
- 40 El secado de la pasta de mezcla conduce a una matriz homogénea cuyas características mecánicas y químicas son compatibles con el almacenamiento de residuos nucleares.
- 45 Por ejemplo, las propiedades mecánicas de la matriz de inmovilización son:
- una tensión de compresión superior o igual a 8 MPa, normalmente de 25 MPa tras 30 días; y/o
  - una ausencia de desprendimiento gaseoso y de exudación incluso bajo carga; y/o
  - 50 ■ una contracción dimensional equivalente a la de matrices cementosas; y/o
  - una buena resistencia a la radiación; y/o
  - sin modificación de la resistencia a la compresión tras una irradiación de 1300 kGy.
- 55 Según un modo de realización de la invención, la etapa de mezclado comprende:
- una etapa de premezclado durante la cual se mezclan la composición mineral y el agua,
  - 60 ■ una etapa de amasado durante la cual se amasa la mezcla obtenida durante la etapa de premezclado, y
  - una etapa de inyección durante la cual se inyecta la mezcla amasada en un embalaje que contiene los residuos que van a inmovilizarse.
- 65 Según un modo de realización de la invención, la etapa de mezclado comprende:

- una etapa de premezclado durante la cual se mezclan los residuos nucleares, la composición mineral y el agua,
- una etapa de amasado durante la cual se amasa la mezcla obtenida durante la etapa de premezclado, y
- una etapa de inyección durante la cual se inyecta la mezcla amasada en un embalaje destinado a contener los residuos nucleares.

5

10

La invención no se limita a los modos de realización descritos y debe interpretarse de modo no limitativo, y englobando cualquier modo de realización equivalente.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de inmovilización de residuos nucleares, que comprende:
  - 5 ■ una etapa de mezclado durante la cual se mezclan residuos nucleares con una composición mineral y agua,
  - 10 ■ una etapa de secado durante la cual se seca la mezcla obtenida durante la etapa de mezclado de modo que se forme una matriz de inmovilización, caracterizado porque se obtiene la composición mineral mediante un procedimiento de fabricación que comprende las etapas que consisten en:
    - 15 ■ preparar una base que comprende una cantidad predeterminada de un material mineral sintetizado por al menos una parte de una estructura viva elegida del reino vegetal, animal y/o los microorganismos; y
    - 20 ■ tratar dicha base de modo que se transforme en una materia inactivada y de textura predefinida.
2. Procedimiento de inmovilización de residuos nucleares según la reivindicación 1, caracterizado porque la composición mineral se elige de modo que, mezclada con agua, presente un pH comprendido entre 11 y 12,5.
3. Procedimiento de inmovilización de residuos nucleares según una de las reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque la composición mineral se elige de modo que la reacción entre dicha composición mineral y el agua sea sensiblemente atérmica.
4. Procedimiento de inmovilización de residuos nucleares según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la razón de la cantidad másica de la composición mineral y de la cantidad másica de agua es superior o igual a 1 e inferior o igual a 85/15.
5. Procedimiento de inmovilización de residuos nucleares según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la composición mineral se elige de modo que la matriz de inmovilización presente una resistencia a las tensiones de compresión superior o igual a 8 MPa a los 8 días.
6. Procedimiento de inmovilización de residuos nucleares según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque, durante la etapa de mezclado, se añade arena, de modo que la razón de la cantidad másica de la composición mineral y de la cantidad másica de arena sea superior o igual a 1,5 e inferior o igual a 10.
7. Procedimiento de inmovilización de residuos nucleares según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la etapa de mezclado comprende:
  - 45 ■ una etapa de premezclado durante la cual se mezclan la composición mineral y el agua,
  - una etapa de amasado durante la cual se amasa la mezcla obtenida durante la etapa de premezclado, y
  - una etapa de inyección durante la cual se inyecta la mezcla amasada en un embalaje que contiene los residuos que van a inmovilizarse.
8. Procedimiento de inmovilización de residuos nucleares según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque la etapa de mezclado comprende:
  - 55 ■ una etapa de premezclado durante la cual se mezclan los residuos nucleares, la composición mineral y el agua,
  - una etapa de amasado durante la cual se amasa la mezcla obtenida durante la etapa de premezclado, y
  - 60 ■ una etapa de inyección durante la cual se inyecta la mezcla amasada en un embalaje destinado a contener los residuos nucleares.
9. Procedimiento de inmovilización de residuos nucleares según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la composición mineral comprende al menos el 50% y como mucho el 80% en masa de carbonato de calcio y al menos el 10% y como mucho el 30% en masa de sílice.

10. Procedimiento de inmovilización de residuos nucleares según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la cantidad másica de los residuos nucleares en la matriz de inmovilización es superior o igual al 10% e inferior o igual al 80%.