

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 393 241**

51 Int. Cl.:
C04B 41/72 (2006.01)
E04G 23/02 (2006.01)
G21F 9/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09783637 .3**
96 Fecha de presentación: **01.10.2009**
97 Número de publicación de la solicitud: **2334619**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **22.06.2011**

54 Título: **Procedimiento de descontaminación electrocinética de un medio sólido poroso**

30 Prioridad:
03.10.2008 FR 0856716

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
19.12.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
19.12.2012

73 Titular/es:
**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
Bâtiment "Le Ponant D" 25, rue Leblanc
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:
**CUER, FRÉDÉRIC y
DE NADAÏ, AXEL**

74 Agente/Representante:
PÉREZ BARQUÍN, Eliana

ES 2 393 241 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 descontaminación electrocinética de un medio sólido poroso

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un procedimiento de descontaminación electrocinética de un medio sólido poroso.

10 Este procedimiento, que está basado en la migración forzada, por medio de la aplicación de un campo eléctrico entre dos electrodos dispuestos en la superficie del medio y/o implantados en este medio, unos contaminantes hacia uno de estos electrodos (cátodo para las especies catiónicas y para la mayoría de los compuestos orgánicos u organometálicos neutros y ánodo para las especies aniónicas), permiten eliminar de forma muy eficaz, los materiales de matriz de cemento como los hormigones o los morteros, las especies químicas ecotóxicas y radiológicas (actínidos y lantánidos) presentes en la profundidad de estos materiales.

15 Su utilización presenta por consiguiente un interés en particular para el desmantelamiento de instalaciones militares o industriales, especialmente nucleares, o para la rehabilitación de instalaciones susceptibles de haber sido contaminadas, debido a la naturaleza de las actividades de las que han sido sede, por unas especies químicas ecotóxicas como los metales pesados o radiológicos.

20 No obstante, el procedimiento de la invención se puede utilizar de igual modo para descontaminar unos medios sólidos porosos que no sean los materiales de matriz de cemento como, por ejemplo, unos suelos geológicos, unos sedimentos tales como los sedimentos portuarios, o incluso unos vasos de drenaje antes de su rechazo en medio marino.

25 **Estado de la técnica anterior**

Los materiales de matriz de cemento presentan, debido a su naturaleza compuesta, una porosidad abierta no insignificante.

30 Por ello, los materiales de matriz de cemento que se intervienen en la constitución de las instalaciones nucleares se encuentran, al ser llamados a entrar en contacto con unos radioelementos en solución (en forma líquida o gaseosa), contaminados en profundidad por esos radioelementos que se difunden en el seno de estos materiales y se pueden alojar a varios centímetros de su superficie.

35 En este caso, los tratamientos superficiales de descontaminación son totalmente ineficaces para eliminar estos radioelementos.

40 En el transcurso de estos dos últimos decenios, se han desarrollado unos procedimientos de dechloración y de realcalinización de los hormigones armados para limitar la corrosión de los armazones internos de estos hormigones por los cloruros presentes especialmente en los entornos marinos y garantizar de este modo la durabilidad de las obras de ingeniería civil.

45 Utilizados a título preventivo o curativo, estos procedimientos consisten en extraer los cloruros que se hayan difundido en el hormigón y en mantener o en restablecer el pH de la solución intersticial del hormigón con un valor superior a 11 por difusión en este hormigón de especies alcalinas.

50 La extracción de los cloruros y la difusión de las especies alcalinas en el hormigón se obtienen por medio de la aplicación de una corriente eléctrica entre el armazón interno del hormigón, que desempeña la función de cátodo, y un electrodo externo, que se aplica de manera temporal sobre la piel de hormigón y que desempeña la función de ánodo.

55 La continuidad eléctrica entre el electrodo externo y la piel de hormigón se garantiza por un electrólito que sirve también para recoger los iones cloruros extraídos del hormigón y para proporcionar las especies básicas destinadas a difundirse en éste último.

Teniendo en cuenta la configuración con frecuencia compleja de las obras de ingeniería civil, este electrólito es de forma general una pasta húmeda de naturaleza orgánica como la descrita en la solicitud de patente europea publicada con el número 0398117 (más adelante referencia [1]) que consta de una mezcla de fibras de celulosa y de una solución básica y que se deposita sobre la piel de hormigón en una capa de 5 cm a 10 cm de grosor. La medida de la resistencia entre el armazón interno del hormigón y el electrodo externo permite evaluar el grado de desecación de la pasta unido a la evaporación del agua que contiene y prever a qué frecuencia se deben volver a humedecer las fibras de celulosa con la solución básica (de media cada 2 ó 3 días).

65 Otros procedimientos de regeneración de los hormigones armados consisten en aplicar sobre la piel de hormigón, de manera prolongada, un mortero activo de reparación que está compuesto de un aglomerante hidráulico cargado en

iones básicos y de granulados metálicos.

5 En este tipo de procedimiento, que se encuentra descrito en la solicitud de patente francesa publicada con el número 2770839 (más adelante referencia [2]), el aglomerante hidráulico sirve de pasta conductora mientras que los granulados metálicos desempeñan la función de electrodos.

10 El sistema funciona sin aporte de corriente eléctrica exterior. En efecto, la pareja formada por el armazón interno del hormigón y los granulados metálicos constituye en el seno de la pasta conductora una pareja de oxidorreducción que suministra una corriente que polariza de forma espontánea este armazón y estos granulados y esta polarización se conserva por la humedad relativa de la pasta, por la reserva de iones del mortero y por el consumo de las cargas metálicas. La humedad ambiente tiene bastante con la rehumidificación de la pasta conductora.

15 Los procedimientos descritos más arriba no se pueden trasladar a la descontaminación de los materiales de matriz de cemento que participan en la constitución de las instalaciones nucleares.

20 En efecto, la utilización de un electrólito de naturaleza orgánica, como se describe en la referencia [1], conduciría a recuperar los contaminantes en un medio orgánico, totalmente incompatible con los procedimientos de tratamiento de los desechos nucleares para los que los umbrales de concentración en materias orgánicas son extremadamente reducidos.

25 En cuanto a la utilización de un mortero activo de reparación, como se describe en la referencia [2], ésta necesitaría, para recuperar los contaminantes, la implementación de técnicas de escarpado que son, en el sector nuclear, complicadas de implementar y generadoras de una cantidad de desechos demasiado importante.

30 Los Inventores se han fijado por tanto como objetivo proporcionar un procedimiento que esté perfectamente adaptado a la descontaminación de materiales de matriz de cemento que intervengan en la constitución de instalaciones nucleares, especialmente en cuanto a que permite, además de extraer de forma muy eficaz los contaminantes y, en concreto, los radioelementos de estos materiales, recuperar fácilmente estos contaminantes y eso, con la forma de un desecho adaptado para intervenir en uno de los procedimientos de tratamiento y de condicionamiento de los desechos nucleares.

35 Los Inventores se han fijado igualmente como objetivo que este procedimiento sea sencillo en cuanto a su implementación y eso, sea cual sea la configuración y la disposición de los materiales que se deben descontaminar, y resulte en la producción de un volumen de desechos que sea lo más reducido posible.

Exposición de la invención

40 Estos objetivos así como otros se logran aún por la invención que propone un procedimiento de descontaminación electrocinética de un medio sólido poroso, que comprende:

45 a) la extracción de las especies contaminantes presentes en este medio sólido en un electrólito que se presenta con la forma de un gel esencialmente inorgánico, estando realizada esta extracción por medio de la aplicación de una corriente eléctrica entre dos electrodos dispuestos en la superficie y/o en el interior del medio sólido, estando garantizado el contacto de al menos uno de estos electrodos con dicho medio sólido por una capa de dicho gel,

b) el secado del gel que contiene las especies contaminantes extraídas de ese modo hasta la obtención de un residuo seco que se fractura, y

50 c) la eliminación del residuo seco obtenido de ese modo de dicho medio sólido.

En lo que precede y lo que sigue, se entiende por "gel esencialmente mineral", un gel que no comprenda más del 10 % en masa, de forma preferible no más del 5 % en masa y, de forma ideal, no más del 3 % en masa de materia(s) orgánica(s).

55 Conforme a la invención, este gel comprende del 10 % al 40 % en masa de un agente espesante inorgánico, o mineral, dispersado en un 60 % a un 90 % en masa de una fase acuosa de pH básico.

60 El agente espesante inorgánico, cuya función es permitir al gel, por una parte, adherirse sobre una superficie sean cuales sean la configuración y la disposición y, por otra parte, formar por medio del secado de un residuo seco que se fractura y se despega fácilmente de esta superficie, es, preferiblemente, de alúmina o una mezcla de alúmina y de sílice, teniendo la presencia de sílice en el gel, en efecto, la ventaja de reducir la velocidad de secado de este gel con respecto a la velocidad existente en la ausencia de sílice para unas condiciones de temperatura y de higrometría idénticas.

65 Las alúminas susceptibles de ser utilizadas según la invención son especialmente las alúminas calcinadas, las alúminas calcinadas molidas y las alúminas pirógenas como, por ejemplo, las alúminas que son comercializadas por

ES 2 393 241 T3

la sociedad DEGUSSA AG con las denominaciones Aeroxil® (Alu C, Alu 65, Alu 130...) y las que son comercializadas por la sociedad CABOT con las denominaciones Spectral® (51, 81 ó 100).

5 Entre estas alúminas, se prefieren no obstante las alúminas pirógenas y, en concreto, la alúmina Aeroxil® Alu C que presenta una superficie específica BET de 100 m²/g.

10 En cuanto a las sílices, también pueden ser hidrófilas, hidrófobas, precipitadas como, por ejemplo, las sílices de la serie Tixosil® (38, 73...) de la sociedad RHODIA, o pirógenas como, por ejemplo, las sílices que son comercializadas por la sociedad DEGUSSA AG con las denominaciones Aerosil® y las que son comercializadas por la sociedad CABOT con las denominaciones Cab-O-Sil® (M5, H5, EH5...).

Entre estas sílices, se prefieren no obstante las sílices pirógenas y, en concreto, la sílice Aerosil® 380 que presenta una superficie específica BET de 380 m²/g.

15 Conforme a la invención, el agente espesante no representa, de forma preferible, más del 30 % en masa del gel de manera que se confiera a este gel un tiempo de secado relativamente largo, es decir, en práctica de varios días, a una temperatura de 20 °C a 30 °C y una higrometría relativa de 20 % al 70 %, independientemente del hecho de que contenga o no sílice.

20 Cuando el gel contenga sílice, ésta no representará de forma ventajosa más del 5 % en masa y, más preferiblemente, no más del 1 % en masa del agente espesante.

25 Tal como se ha indicado anteriormente, la fase acuosa del gel es de naturaleza básica, la presencia de una base en el gel que tenga, en efecto, la ventaja de aumentar la conductividad eléctrica de este gel y, en el caso de un cierto número de medios sólidos porosos como, por ejemplo, los materiales de matriz de cemento, mantener y/o restablecer el pH de la parte de estos medios que se encuentra en contacto con el gel y evitar de ese modo que se produzcan en el transcurso de la etapa a), unas reacciones ácido-básicas dañinas para la totalidad del gel y, a consecuencia de ello, para el rendimiento de la descontaminación.

30 Esta fase acuosa es, de forma preferible, una solución de una base inorgánica, en cuyo caso ésta se escoge de forma ventajosa entre la sosa, la potasa, el hidróxido de calcio, el carbonato de potasio, el carbonato de sodio y sus mezclas y, más preferiblemente, entre la sosa y la potasa cuyo carácter higroscópico contribuye, también, a reducir la velocidad de secado del gel.

35 Sea cual sea la base utilizada, ésta está, de forma preferible, presente en la fase acuosa con una concentración de al menos 3 moles/L y, más preferiblemente, de al menos 5 moles/L de fase acuosa, habiéndose demostrado que unas concentraciones de 5 a 10 moles/L son especialmente convenientes.

40 Conforme a la invención, el gel puede comprender además un polímero superabsorbente de manera que se facilite la rehumidificación de este gel en el transcurso de la etapa a).

45 Este polímero, que se puede escoger especialmente entre los polímeros superabsorbentes comercializados por la sociedad ARKEMA con las denominaciones Aquakeep® y Norsocryl® y las mezclas de estos polímeros, no representa, de forma preferible, más del 1 % en masa del gel.

50 El gel puede comprender además un agente tensioactivo, de forma preferible no iónico, de manera que se le confieran unas propiedades reológicas tales que se pueda pulverizar fácilmente, por ejemplo con un pulverizador, sobre unas superficies verticales del tipo muros o pilares, incluso sobre unas superficies horizontales del tipo techos, sin riesgo de esparcimiento. La presencia de un agente tensioactivo en el gel permite de igual modo controlar la adherencia del residuo seco obtenido después de la etapa b) con respecto a la superficie sobre la que se encuentra y controlar el tamaño de los fragmentos que resultan de la fractura del gel.

55 Este agente tensioactivo, que se puede seleccionar especialmente entre los copolímeros secuenciados comercializados por la sociedad IFRACHIMIE con las denominaciones Ifralan® y por la sociedad BASF con las denominaciones Pluronic® y las mezclas de estos copolímeros, no representa, de forma preferible, más del 5 % en masa y, más preferiblemente, no más del 2 % en masa del gel.

60 Según un primer modo de implementación del procedimiento de la invención, el medio sólido poroso que comprende un armazón interno eléctricamente conductor, uno de los electrodos está constituido por este armazón o una parte de este armazón, mientras que el otro electrodo está constituido por un elemento eléctricamente conductor que se aplica sobre una superficie del medio sólido poroso o se implanta en este medio, en cuyo caso solo el contacto de este elemento con dicho medio se garantiza por medio de una capa de gel.

65 Según otro modo de implementación del procedimiento de la invención, los dos electrodos están constituidos por unos elementos eléctricamente conductores que se aplican sobre dos superficies diferentes del medio sólido poroso, en cuyo caso el contacto de cada uno de estos elementos con este medio se garantiza por medio de una capa de

gel.

Según otro modo de implementación del procedimiento de la invención, los dos electrodos están constituidos por dos elementos eléctricamente conductores que se implantan en el medio sólido poroso, en cuyo caso el contacto de cada uno de estos elementos con este medio se garantiza por medio de una capa de gel.

En todos los casos, allí donde las capas de gel presenten, de forma preferible, un grosor de 0,5 cm a 2 cm y, más preferiblemente, de 1 cm a 2 cm de manera que, de nuevo, se reduzca la velocidad de secado del gel, habiendo mostrado, en efecto, la experiencia que el gel se seca más rápidamente que se deposita en capas más delgadas, para unas condiciones de temperatura y de higrometría idénticas.

Por otra parte, su depósito sobre los electrodos y/o sobre el medio sólido poroso se puede realizar por medio de unos procedimientos completamente clásicos tales como la pulverización, por ejemplo con un pulverizador, o la aplicación por medio de un pincel o de una llana.

En la medida en que una desecación del gel se traduzca por una caída de su conductividad eléctrica, la etapa a) puede comprender una o varias operaciones que consisten en rehumedecer el gel con una solución electrolítica, de forma preferible de composición idéntica a la de la fase acuosa de este gel, de manera que se restablezca la conductividad eléctrica de este gel a su valor de origen. La formulación del gel se escogerá, no obstante, de forma preferible de manera que se evite o, por lo menos, que se limite el número de estas operaciones.

El secado del gel previsto en la etapa b) puede ser natural, es decir resultar de la evaporación de la fase acuosa de este gel en contacto con el aire ambiente, o bien estar forzado, es decir mediante el suministro de una fuente térmica desprovista de túnel de viento, del tipo calentamiento por infrarrojo. En todos los casos, este secado se conduce hasta la obtención de un residuo seco que se fractura, de forma típica en virutas finas de dimensiones milimétricas.

El residuo seco obtenido de este modo se puede eliminar en ese caso fácilmente, por ejemplo mediante cepillado y/o aspiración.

El procedimiento de la invención presenta numerosas ventajas. En concreto:

- permite extraer de forma muy eficaz, de un medio sólido poroso, las especies contaminantes que se encuentran en la profundidad de este medio;

- permite recuperar de forma muy fácil estas especies contaminantes;

- es sencillo de implementar, especialmente porque utiliza un electrólito que se puede, por una parte, preparar fácilmente a partir de productos químicos disponibles en el comercio y, por otra parte, se puede utilizar fácilmente sea cual sea la configuración y la disposición de los medios sólidos porosos que se deben tratar;

- por último, debido a su reducido volumen y a su naturaleza mineral, los desechos que produce son aptos para intervenir en uno de los procedimientos de tratamiento y de acondicionamiento de los desechos nucleares y esto, sin tener que experimentar un tratamiento previo.

Es muy conveniente por tanto de forma concreta para la descontaminación, especialmente en radioelementos (actínidos y lantánidos) tales como el cesio, materiales de matriz de cemento que intervienen en la constitución de instalaciones nucleares.

Otras ventajas y características de la invención resultarán de la lectura del complemento de descripción que aparece a continuación, dado en referencia a las figuras anexas.

Ni tiene que decir que este complemento de descripción solo se da a título de ilustración del objeto de la invención y no se debe interpretar en ningún caso como una limitación de este objeto.

Breve descripción de las figuras

La figura 1 es un esquema de un primer modo de implementación de la etapa a) del procedimiento de la invención.

La figura 2 es un esquema de un segundo modo de implementación de la etapa a) del procedimiento de la invención.

La figura 3 es un esquema de un tercer modo de implementación de la etapa a) del procedimiento de la invención.

La figura 4 es un gráfico que ilustra la influencia de la presencia de sosa o de potasa en la fase acuosa de un gel sobre la cinética de secado de este gel.

La figura 5 es un gráfico que ilustra la evolución en función del tiempo de la resistencia eléctrica y de la masa de un gel cuya fase acuosa contiene potasa en el momento en que este gel se somete a un secado bajo un campo eléctrico.

5 La figura 6 es un gráfico que ilustra la influencia del pH de un gel sobre la cinética de secado de este gel.

La figura 7 es un gráfico que ilustra la influencia de la presencia de sílice en un gel sobre la cinética de secado de este gel.

10 La figura 8 es un gráfico que ilustra la influencia del grosor del depósito de un gel sobre la cinética de secado de este gel.

La figura 9 es un gráfico que ilustra la evolución en función del tiempo de la proporción de cesio de un gel tal como se observa cuando este gel se utiliza como electrólito para descontaminar un mortero.

15 **Exposición detallada de modos de implementación del procedimiento según la invención**

Se hace referencia en primer lugar a las figuras de la 1 a la 3 que representan, con forma de esquemas, tres modos de implementación diferentes de la etapa a) del procedimiento de la invención.

20 El primero de estos modos, que se ilustra en la figura 1, se puede utilizar para descontaminar un medio sólido poroso 10 que comprende un armazón interno 11 eléctricamente conductor, capaz de desempeñar la función de electrodo y del que una parte se ha vuelto accesible y una superficie libre 12 casi paralela a este armazón.

25 Un medio de este tipo es, por ejemplo, un bloque de hormigón o de mortero armado.

En este caso, una capa 13 de un gel tal como se ha definido anteriormente, que mida de forma típica de 0,5 cm a 2 cm de grosor, se aplica sobre la superficie 12, por ejemplo por pulverización, con la ayuda de un pincel o de una llana. A continuación, la capa 13 de gel está recubierta de un elemento eléctricamente conductor 14, capaz igualmente de desempeñar la función de electrodo.

30 La capa 13 de gel tiene, en condiciones de funcionamiento, una doble función: por una parte, la de garantizar una continuidad eléctrica entre la superficie 12 del medio sólido poroso 10 y el elemento eléctricamente conductor 14; por otra parte, la de recoger y atrapar las especies contaminantes que, bajo el efecto de la aplicación de una corriente eléctrica entre el armazón interno 11 y el elemento eléctricamente conductor 14, van a migrar en dirección de este elemento.

35 Como se observa en la figura 1, el elemento eléctricamente conductor 14 se perfora, de forma preferible, con agujeros 15 para ofrecer al operador un acceso visual a la capa 13 de gel y permitirle, si es necesario, volver a humedecer fácilmente este gel en condiciones de funcionamiento, por ejemplo por medio de la pulverización de una solución electrolítica, de forma típica con la misma composición que la fase acuosa del gel, a través de estos agujeros.

40 Además, el elemento eléctricamente conductor 14 es de forma típica una placa enrejada de metal, por ejemplo de acero inoxidable, de platino, titanio o similar.

Descontaminar un medio sólido poroso mediante la realización de la etapa a) según el modo de implementación ilustrado en la figura 1 es extremadamente fácil.

50 En efecto, basta con unir el armazón interno 11 y el elemento eléctricamente conductor 14 a una fuente de alimentación eléctrica 16 de manera que se polarice este armazón y este elemento, uno en ánodo y el otro en cátodo, para que el tratamiento de descontaminación electrocinética pueda comenzar.

55 Esta polarización debe seleccionarse de forma conveniente, por supuesto, en función de las especies contaminantes que se deseen extraer del medio sólido poroso 10.

60 De este modo, si las especies contaminantes que se van a extraer del medio sólido poroso 10 son unas especies catiónicas (cargadas de forma positiva), lo que es el caso, por ejemplo, de los metales pesados y de los radioelementos, en ese caso se polariza el armazón interno 11 en ánodo mientras que el elemento eléctricamente conductor 14 se polariza en cátodo.

65 En cambio, si las especies contaminantes que se van a extraer del medio sólido poroso 10 son unas especies aniónicas (cargadas de forma negativa), lo que es el caso, por ejemplo, de los iones cloruros, los fluoruros y los sulfuros, en ese caso se polariza el armazón interno 11 en cátodo mientras que el elemento eléctricamente conductor 14 se polariza en ánodo.

La corriente eléctrica impuesta al armazón interno 11 y al elemento eléctricamente conductor 14 puede ser continua o pulsada. Es preferible que la densidad de corriente no sea superior a 5 A/m^2 de armazón interno con el fin de evitar cualquier degradación del material.

5 La desecación del gel se puede apreciar, no solamente de forma visual gracias a los agujeros 15 del elemento eléctricamente conductor 14, sino igualmente por medio de un seguimiento de la resistencia medida en los bornes de los dos electrodos (armazón interno 11 / elemento eléctricamente conductor 14).

10 Un aumento notable de esta resistencia traduce una desecación del gel y, por consiguiente, una conductividad eléctrica insuficiente de la misma. La pulverización de solución electrolítica a través de los agujeros 15 permite en ese caso restablecer la conductividad eléctrica del gel a su valor inicial.

15 Cuando se logren las exigencias de descontaminación o cuando el gel esté saturado de contaminantes, la capa 13 de gel se someterá a un secado que puede ser natural (por simple evaporación de la fase acuosa del gel en contacto con el aire ambiente) o forzado (mediante el suministro de una fuente térmica del tipo calentamiento por infrarrojo) hasta la obtención de un residuo seco que se fractura, de forma típica en virutas finas de dimensiones milimétricas.

20 Después de la retirada del elemento eléctricamente conductor 14, este residuo se puede eliminar en ese caso fácilmente de la superficie 12, por ejemplo por el cepillado de esta superficie y/o por aspiración del residuo.

A título de ejemplo, para descontaminar en radioelementos un bloque de hormigón armado, teniendo por armazón interno, un enrejado de malla comprendido entre 3,5 cm y 4 cm, formado por varillas de hierro que miden 8 mm de diámetro y unidas entre ellas al nivel de cada nudo por un hilo de hierro, se podrá utilizar:

25 - el armazón interno de este bloque como ánodo,

30 - una capa de 2 cm de grosor de un gel que comprende un 23,7 % en masa de alúmina Aeroxil® Alu C, un 1 % en masa de sílice Aerosil® 380 y una solución de potasa 5 M, como electrolito,

- una placa de titanio perforada con agujeros circulares que miden 8 mm de diámetros y espaciados unos de otros 3 mm, como cátodo, y

35 - una densidad de corriente eléctrica media de 2 A/m^2 de armazón interno.

Se hace referencia ahora a la figura 2 que ilustra de forma esquemática un segundo modo de implementación de la etapa a) del procedimiento de la invención, que solo difiere del precedente en que los dos electrodos necesarios en la aplicación de la corriente eléctrica en el medio sólido poroso se aplican ambos sobre este medio.

40 Este segundo modo se puede utilizar de forma típica para descontaminar un medio sólido poroso 20 que está desprovisto de armazón interno eléctricamente conductor, pero que comprende dos superficies libres opuestas, respectivamente 21 y 22, sobre las que se pueden aplicar dos elementos eléctricamente conductores, específicos para desempeñar la función de electrodos.

45 Un medio de este tipo, por ejemplo, un bloque de hormigón o de mortero no armado.

En este caso, una capa, respectivamente 23 y 24, de un gel tal como el que se ha definido anteriormente se aplica sobre cada una de las superficies 21 y 22, a continuación cada una de estas capas está recubierta de un elemento eléctricamente conductor, respectivamente 25 y 26.

50 Allí igualmente, estos elementos eléctricamente conductores se perforan, de forma preferible, con agujeros 27 por las mismas razones que las que se han mencionado anteriormente para el elemento eléctricamente conductor 14 mostrado en la figura 1.

55 La descontaminación de un medio sólido poroso mediante la realización de la etapa a) según este modo de implementación se realiza por el mismo principio que según el modo de implementación ilustrado en la figura 1, excepto que la accesibilidad de los dos elementos eléctricamente conductores 25 y 26 permite escoger la opción de polarizar estos elementos, uno en ánodo y el otro en cátodo, independientemente de la carga de las especies contaminantes que se deben extraer de este medio.

60 Se hace referencia de nuevo a la figura 3 que ilustra de forma esquemática un tercer modo de implementación de la etapa a) del procedimiento de la invención.

Este tercer modo se puede utilizar de forma típica para descontaminar:

65 - ya sea un medio sólido poroso 30 que, no solamente esté desprovisto de armazón interno eléctricamente

conductor sino que, además, no tenga dos superficies libres sobre las que fijar unos elementos eléctricamente conductores como, por ejemplo, un suelo geológico,

5 - ya sea una zona muy localizada de un medio sólido poroso 30 después de, por ejemplo, una contaminación accidental y esto, tanto si este medio comprende o no un armazón interno eléctricamente conductor,

10 - ya sea incluso una zona de un medio sólido poroso 30 que comprenda un armazón interno eléctricamente conductor pero no en el que la profundidad de la contaminación sea superior al grosor del revestimiento de este armazón.

En todos los casos, dos electrodos en forma de bujías, respectivamente 31 y 32, se implantan en el medio sólido poroso 30, de forma eventual en estos alojamientos previamente dispuestos con este fin, por ejemplo, a través de perfilajes, estando colocados a un lado y a otro de la zona de dicho medio que se debe descontaminar.

15 La continuidad eléctrica entre los electrodos 31 y 32 y el medio sólido poroso que los rodea está asegurado por una capa de gel, respectivamente 33 y 34, que está, ya sea depositada sobre la superficie de los electrodos antes de su implantación o depositada sobre la pared de los alojamientos destinados a recibir estos electrodos.

20 La descontaminación de un medio sólido poroso por medio de la realización de la etapa a) según este modo de implementación se realiza por el mismo principio que según el modo de implementación ilustrado en la figura 2, a excepción de que las etapas de secado y de eliminación del gel se realicen después de haber retirado los electrodos de este medio sólido.

Resultados experimentales

25 Los geles utilizados en los ejemplos que se indican a continuación se han preparado todos mediante la utilización del mismo protocolo.

30 Esto consiste en verter el agente espesante (que es ya sea de alúmina Aeroxil® Alu C, o de una mezcla de alúmina Aeroxil® Alu C y de sílice Aerosil® 380) en el agua o, llegado el caso, en una solución de sosa o de potasa mantenida bajo agitación mecánica, a una velocidad comprendida entre 600 y 800 giros/minuto y en proseguir la agitación de la mezcla obtenida de este modo durante un período de 2 a 5 minutos de manera que se obtenga un gel homogéneo.

35 Ejemplo 1:

Este ejemplo trata de la influencia de un cierto número de parámetros sobre la cinética de secado del gel utilizado como electrólito en el procedimiento de la invención.

40 ** Influencia de la presencia de sosa o de potasa en la fase acuosa del gel:*

La figura 4 representa, con la forma de curvas, las cinéticas de secado (es decir, los índices de pérdida de masa en función del tiempo de secado) de tres geles denominados en lo sucesivo geles A, B y C y que comprenden respectivamente:

45 - Gel A: 23,7 % en masa de alúmina Aeroxil® Alu C y 76,3 % en masa de agua;

- Gel B: 23,7 % en masa de alúmina Aeroxil® Alu C y 76,3 % en masa de una solución de KOH 5 M;

50 - Gel C: 23,7 % en masa de alúmina Aeroxil® Alu C y 76,3 % en masa de una solución de NaOH 5 M.

Estas cinéticas de secado se han obtenido para unas capas de gel de 2 mm de grosor, a 22 °C y un 60 % de humedad relativa.

55 Tal como se muestra en esta figura, la velocidad de secado de un gel se reduce de forma considerable por la presencia de sosa o de potasa en la fase acuosa de este gel.

60 En efecto, debido al carácter higroscópico de estas bases, la competición entre el proceso de evaporación de la fase acuosa del gel y el de la reanudación hídrica unido a la presencia de sosa o de potasa en esta fase acuosa permite retrasar la obtención del palier que traduce una eliminación total del agua libre contenida en el gel.

Un gel cuya fase acuosa contiene potasa o sosa conduce por lo tanto durante más tiempo la corriente eléctrica que un gel cuya fase acuosa solo esté formada de agua.

65 Esto se ha confirmado especialmente mediante el sometimiento de las capas del gel B de 2 mm de grosor a un secado bajo un campo eléctrico de 8 mA de intensidad, a 22 °C y un 60 % de humedad relativa, siguiendo la

evolución de la resistencia eléctrica y de la masa de estas capas en el transcurso del tiempo.

En efecto, tal como se muestra en la figura 5 que presenta los resultados de esta experiencia, la resistencia eléctrica y, por tanto, la conductividad eléctrica del gel se ha demostrado que son de una gran estabilidad durante su secado.

5 Esto es especialmente interesante ya que esto garantiza unas condiciones de funcionamiento uniformes mientras que el gel no esté totalmente seco.

* Influencia del pH del gel:

10 La figura 6 representa, con forma de curvas, las cinéticas de secado de cuatro geles denominados en lo sucesivo geles D, E, F y G y que comprenden respectivamente:

15 - Gel D: 23,7 % en masa de alúmina Aeroxil® Alu C y 76,3 % en masa de una solución de NaOH 1 M;

- Gel E: 23,7 % en masa de alúmina Aeroxil® Alu C y 76,3 % en masa de una solución de NaOH 5 M;

- Gel F: 23,7 % en masa de alúmina Aeroxil® Alu C y 76,3 % en masa de una solución de NaOH 10 M;

20 - Gel G: 23,7 % en masa de alúmina Aeroxil® Alu C y 76,3 % en masa de una solución de KOH 10 M.

Estas cinéticas de secado se han obtenido para unas capas de gel de 2 mm de grosor, a 22 °C y 60 % de humedad relativa.

25 La figura 6 muestra que:

- por una parte, para una base dada, que la velocidad de secado de un gel es incluso más reducida que su concentración en esta base es elevada, y

30 - por otra parte, es posible, apostando por el carácter básico de un gel, modular la velocidad de secado de este gel y adaptar en el mejor de los casos esta velocidad a la duración del tratamiento de descontaminación.

De este modo, para la descontaminación de materiales de matriz de cemento en los que las cinéticas de extracción son de varias semanas (de forma típica de 2 a 4 semanas), se privilegiará la utilización de un gel con concentración muy elevada de sosa o de potasa para limitar tanto como sea posible el número de operaciones de rehumidificación de este gel.

35

* Influencia de la presencia de sílice en el gel:

40 La figura 7 representa, con la forma de curvas, las cinéticas de secado de dos geles denominados en lo sucesivo I y J y que comprenden respectivamente:

- Gel I: 23,7 % en masa de alúmina Aeroxil® Alu C y 76,3 % en masa de agua;

45 - Gel J: 23,5 % en masa de alúmina Aeroxil® Alu C, 1 % en masa de Aerosil® 380 y 75,5 % en masa de agua;

Estas cinéticas de secado se han obtenido para unas capas de gel de 2 mm de grosor, a 22 °C y un 60 % de humedad relativa.

50 Esta figura muestra que la presencia de sílice en el gel contribuye de igual modo a reducir la velocidad de secado de este gel.

* Influencia del grosor del depósito del gel:

55 La figura 8 representa, con la forma de curvas, las cinéticas de secado obtenidas para un gel que comprende un 23,7 % en masa de alúmina Aeroxil® Alu C y un 76,3 % en masa de agua cuando éste se deposita en capas de 0,2 cm o de 1,5 cm.

Estas cinéticas de secado se han obtenido a 22 °C y un 60 % de humedad relativa.

60 Esta figura muestra que el grosor de la capa de gel contribuye, también, a reducir la velocidad de secado de este gel.

Ejemplo 2:

65 Una prueba de descontaminación de un mortero contaminado de cesio se ha realizado por medio de:

- la extracción de cesio del mortero según el modo de implementación ilustrado en la figura 1, con
- 5 - un gel que comprende un 23,5 % en masa de alúmina Aeroxil® Alu C y un 76,3 % en masa de una solución de NaOH 5 M, y
- los parámetros siguientes: depósito del gel en una capa de 0,5 cm de grosor; aplicación a los electrodos de una densidad de corriente eléctrica de 2 A/m² de armazón interno; temperatura de 22 °C; higrometría relativa de un 60
- 10 %.
- La extracción se ha conducido durante 260 horas. Se han extraído unas muestras de gel en diferentes momentos de esta extracción, a continuación se han sometido a un secado natural en las condiciones ambientales del laboratorio y se han determinado sus proporciones de cesio y de aluminio.
- 15 La figura 9 presenta la evolución del informe de la proporción de cesio a la proporción de aluminio del gel seco en función de la duración de la extracción de cesio.

Referencias citadas

- 20 [1] EP-A-0 398 117
- [2] FR-A-2 770 839

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de descontaminación electrocinética de un medio sólido poroso, que comprende:
- 5 a) la extracción de unas especies contaminantes presentes en este medio sólido en un electrolito que se presenta con la forma de un gel esencialmente inorgánico, estando realizada esta extracción por medio de la aplicación de una corriente eléctrica entre dos electrodos dispuestos en la superficie y/o en el interior del medio sólido, estando asegurado el contacto de al menos uno de estos electrodos con dicho medio sólido por una capa de dicho gel,
- 10 b) el secado del gel que contiene las especies contaminantes extraídas de ese modo hasta la obtención de un residuo seco que se fractura, y
- c) la eliminación del residuo seco obtenido de dicho medio sólido de ese modo.
- 15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el gel electrolítico comprende de un 10 % a un 40 % en masa de un agente espesante inorgánico, dispersado en un 60 % a un 90 % en masa de una fase acuosa de pH básico.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que el agente espesante inorgánico es de alúmina o una mezcla de alúmina y de sílice.
- 20 4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que el agente espesante es de alúmina pirógena o una mezcla de alúmina y de sílice pirógenas.
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones de 2 a 4, en el que el agente espesante no representa más del 30 % en masa del gel.
- 25 6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones de 2 a 5, en el que la fase acuosa del gel es una solución de una base inorgánica escogida entre la sosa, la potasa, el hidróxido de calcio, el carbonato de potasio, el carbonato de sodio y sus mezclas.
- 30 7. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que la base inorgánica es de sosa o de potasa.
8. Procedimiento según la reivindicación 6 o la reivindicación 7, en el que la base inorgánica está presente en la fase acuosa con una concentración de al menos 3 moles/L de fase acuosa.
- 35 9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones de 2 a 8, en el que el gel comprende además un polímero superabsorbente y/o un agente tensioactivo.
- 40 10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 9, en el que el medio sólido poroso que comprende un armazón interno eléctricamente conductor, uno de los electrodos está constituido por este armazón o una parte de este armazón, mientras que el otro electrodo está constituido por un elemento eléctricamente conductor que se aplica sobre una superficie del medio sólido poroso o se implanta en este medio, en cuyo caso solo el contacto de este elemento con dicho medio está garantizado por una capa de gel.
- 45 11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 9, en el que los dos electrodos están constituidos por unos elementos eléctricamente conductores que se aplican sobre dos superficies diferentes del medio sólido poroso, en cuyo caso el contacto de cada uno de estos elementos con este medio está garantizado por una capa de gel.
- 50 12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 9, en el que los dos electrodos están constituidos por dos elementos eléctricamente conductores que se implantan en el medio sólido poroso, en cuyo caso el contacto de cada uno de estos elementos con este medio está garantizado por una capa de gel.
13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la o las capas de gel presentan un grosor de 0,5 cm a 2 cm.
- 55 14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el medio sólido poroso es un material de matriz de cemento.
- 60 15. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las especies contaminantes son unos radioelementos.

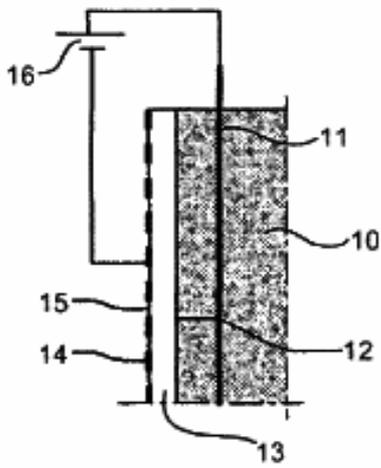


FIG. 1

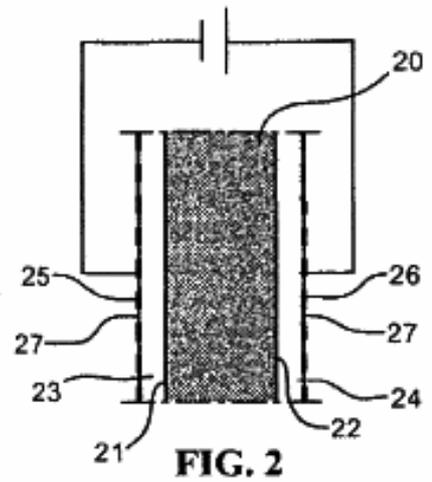


FIG. 2

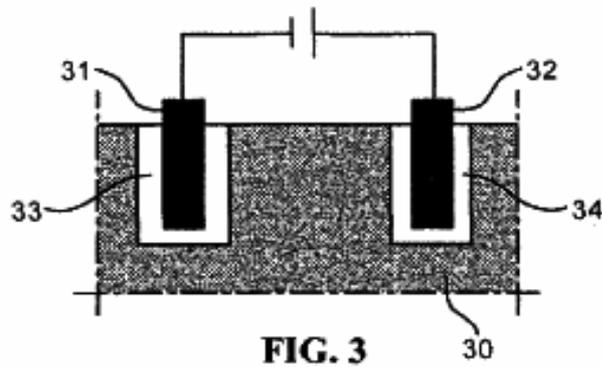


FIG. 3

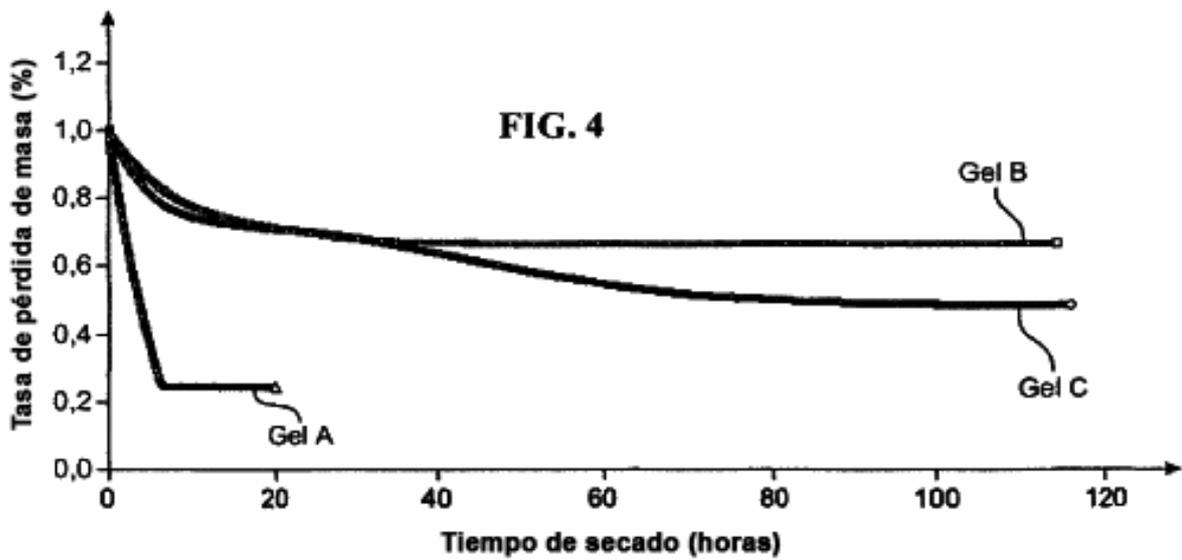


FIG. 4

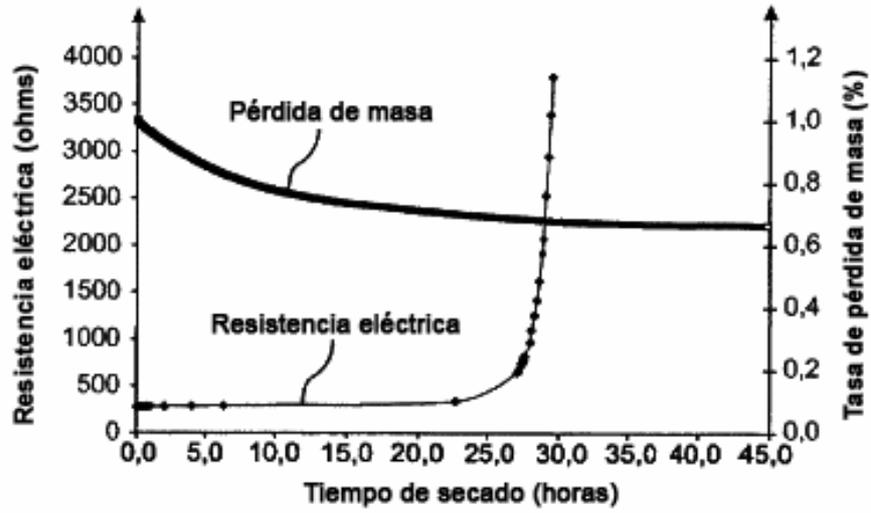


FIG. 5

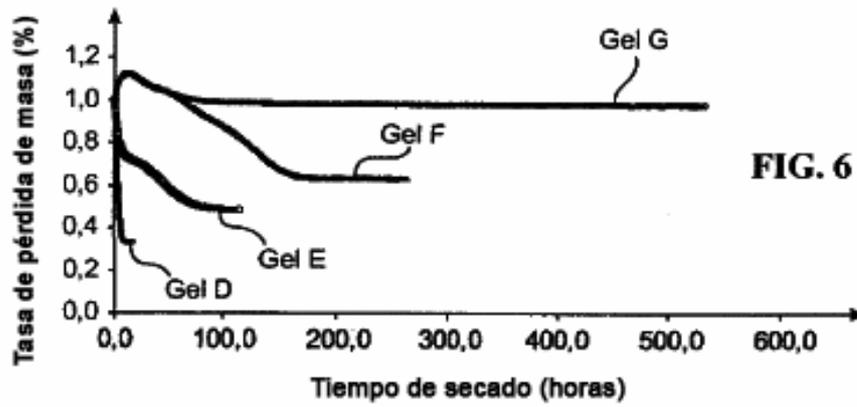


FIG. 6

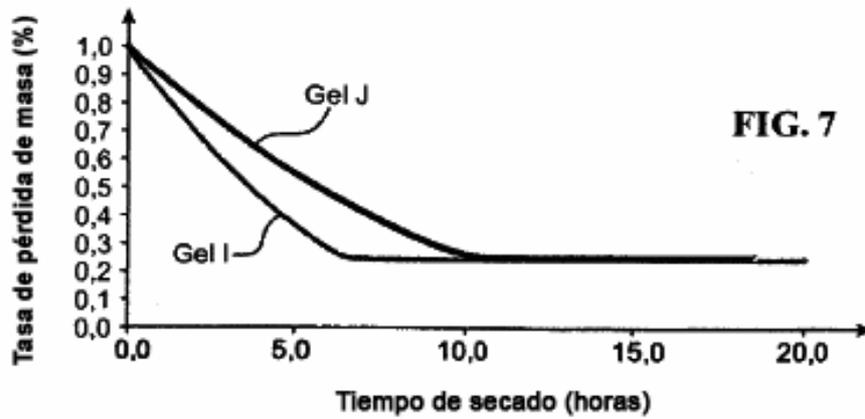


FIG. 7

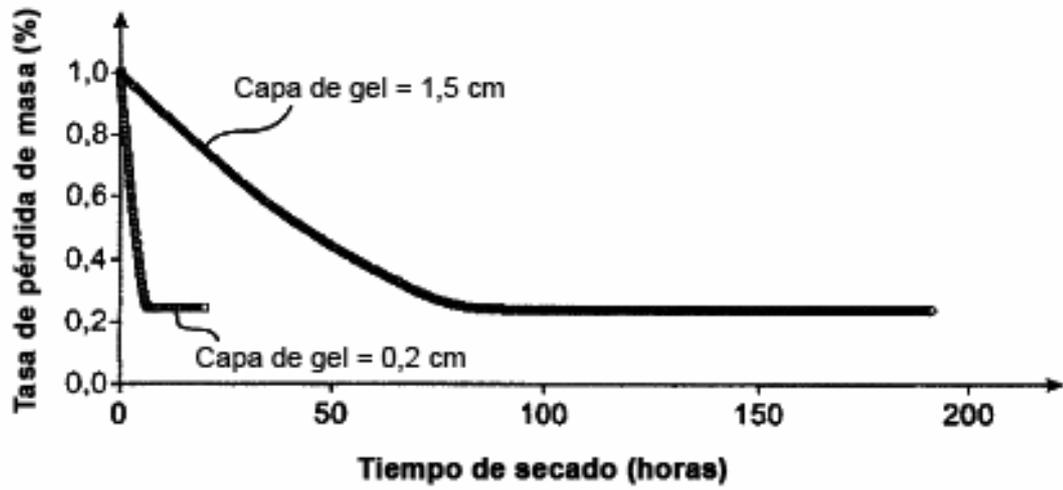


FIG. 8

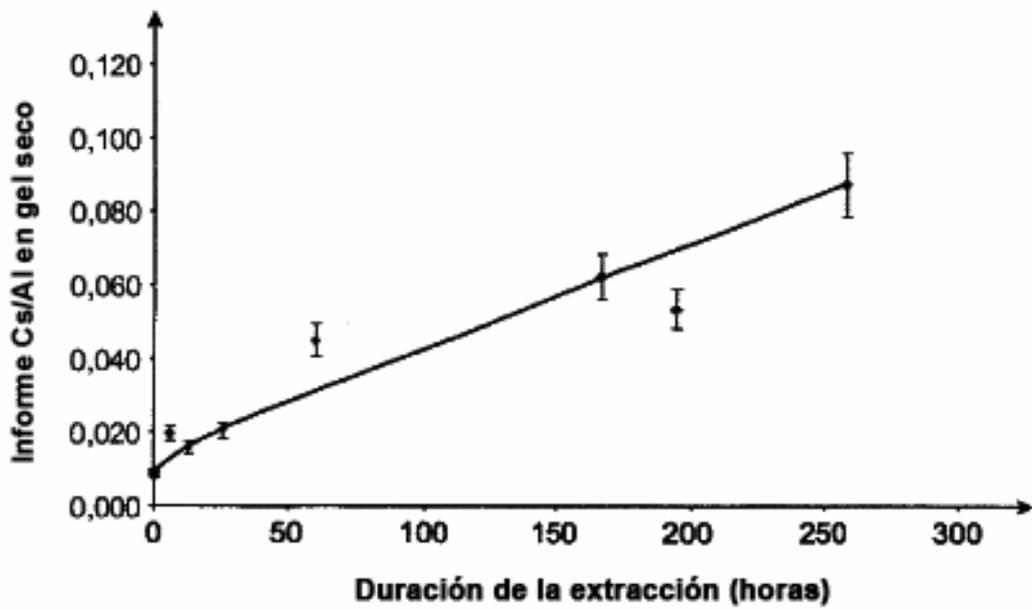


FIG. 9