

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 538 841**

51 Int. Cl.:

**E02D 31/00** (2006.01)

**C04B 33/13** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.01.2012** **E 12704101 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.05.2015** **EP 2668343**

54 Título: **Método para usar composiciones de barrera de bentonita mejoradas y revestimientos arcillosos geosintéticos relacionados**

30 Prioridad:

**28.01.2011 US 201161437502 P**

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

**24.06.2015**

73 Titular/es:

**HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC.**  
**(100.0%)**  
**10200 Bellaire Blvd.**  
**Houston, TX 77072, US**

72 Inventor/es:

**LANDIS, CHARLES;**  
**YOUNGBLOOD, JIMMIE, GORDON;**  
**LIAO, WEN-CHIN, ANDREW y**  
**COLES, BRIAN**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 538 841 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

Método para usar composiciones de barrera de bentonita mejoradas y revestimientos arcillosos geosintéticos relacionados

5

**Antecedentes**

La presente invención se refiere a composiciones de barrera de bentonita mejoradas, y más particularmente, al uso de revestimientos arcillosos geosintéticos que comprenden estas composiciones de barrera de bentonita mejoradas con baja permeabilidad incrementada con el transcurso del tiempo en aplicaciones de contención.

10

Se han desarrollado y utilizado diversos materiales y procedimientos para formar barreras de baja permeabilidad en aplicaciones de contención. Por ejemplo, se necesitan barreras de baja permeabilidad para separar líquidos residuales con el fin de no contaminar el medio ambiente circundante en depósitos de cenizas volantes, sitios mineros de minerales y metales industriales, y vertederos. Estas barreras también son útiles para aplicaciones de contención acuosa tales como lagunas de lixiviado, lagunas de retención y reservorios de almacenamiento de agua. El término "contención", tal como se usa en la presente, se refiere a contenciones acuosas (p.ej., lagunas) así como a otras contenciones cuyos componentes de preferencia deben ser separados del medio ambiente circundante (p.ej., depósitos de cenizas volantes). Por ejemplo, "contención" puede referirse a la separación entre lagunas de corrientes de líquidos residuales provenientes de procesos industriales o lixiviados producidos por estos u otros procesos industriales, y el medio ambiente circundante. Un "lixiviado", tal como se usa ese término en la presente, se refiere a un efluente que contiene contaminantes, producido por agua (p.ej., agua de lluvia/tormenta) que se filtra a través de un depósito (p.ej., un vertedero, un depósito de cenizas flotantes, etc.). Usualmente, un lixiviado contiene una elevada concentración de electrólitos, comparado con el agua dulce.

15

Se han usado materiales arcillosos, tales como la bentonita, como barreras de baja permeabilidad en aplicaciones de contención. La bentonita es un filosilicato de aluminio, cuya composición puede variar en sus elementos dominantes. Cuando recién se extrae de la mina, por ejemplo, la bentonita de sodio extraída de Wyoming, a menudo tiene un contenido de humedad de aproximadamente un 30 %-35 % en peso. En muchas instancias, esta humedad se puede eliminar hasta aproximadamente un 6 %-15 % en peso. Esto se considera en la industria como bentonita "seca", a pesar del significativo contenido de humedad. El contenido de humedad puede variar de una aplicación a otra, y puede depender de la exposición a los fluidos del suelo, que hidratan la bentonita hasta un contenido de humedad mayor.

20

A menudo, las composiciones de barrera de bentonita se formulan a partir de bentonita natural o de intercambio sódico, mezclada con aditivos fluidos comunes. En muchos casos, las composiciones de barrera de bentonita pueden ser obtenidas por ingeniería a partir de bentonita de sodio granular natural de Wyoming con los aditivos. La granularidad o la distribución del tamaño relativo de partículas, a menudo descrito en la técnica en términos de tamaño de malla, pueden determinar el grado de empaquetamiento de la bentonita y su facilidad de manejo. Un uso común de los revestimientos de bentonita arcillosa geosintéticos es revestir la base de vertederos para impedir la migración de lixiviado y/o soluciones que contienen elevadas concentraciones de electrólitos.

25

Si bien la bentonita es altamente absorbente, con capacidad para absorber varias veces su masa seca en agua, los fluidos acuosos con compuestos químicos complejos pueden causar efectos adversos sobre su absorción. Estos compuestos químicos complejos a menudo incluyen electrólitos que pueden incluir, sin limitaciones, cationes y aniones tales como calcio, magnesio, potasio, hierro, circonio, plomo, cobalto, cobre, estaño, plata, sulfatos, cloruros, fluoruros, bromuros, y similares. La composición de los electrólitos puede variar, sobre la base del material original de la contención (p.ej., fuente de carbón para un vertedero de cenizas volantes).

30

También se puede usar la bentonita en conjunción con una capa geosintética para formar un revestimiento arcilloso geosintético. Esta técnica permite el transporte y la instalación convenientes de la bentonita, y reduce en gran medida la cantidad requerida de bentonita. El indicador primario de la efectividad de un revestimiento es la "permeabilidad." Tal como se usa en la presente, el término "permeabilidad" se refiere a la velocidad de flujo de un fluido a través de un medio poroso (p.ej., un revestimiento arcilloso) medido en cm/s. Estas composiciones de barrera deberían cumplir las especificaciones de permeabilidad fijadas por las regulaciones (p.ej., estándares locales, internacionales, estatales y federales, etc.). Es deseable que un revestimiento sea menos permeable (es decir, que tenga menor permeabilidad) por lo que menos materiales son transportados a través del revestimiento y al medio ambiente circundante.

35

US4048373 describe un panel de barrera de agua que comprende bentonita y un polímero hidrosoluble seleccionado del grupo de ácido poliacrílico, sales hidrosolubles de ácido poliacrílico, poliacrilonitrilo hidrolizado, acetato de polivinilo, copolímeros de los anteriores y un copolímero de ácido acrílico y anhídrido maleico. WO 2012/025564 A1, que es la tecnología de avanzada de conformidad con el Art. 54(3) EPC, describe el uso de una composición como barrera hidráulica arcillosa que comprende bentonita y un polímero aniónico, en donde dicho polímero aniónico es carboximetilcelulosa de sodio.

40

**Síntesis de la invención**

- 5 La presente invención se refiere a composiciones de barrera de bentonita mejoradas, y más particularmente, al uso de revestimientos de arcilla geosintéticos que comprenden estas composiciones de barrera de bentonita mejoradas que tienen baja permeabilidad incrementada con el paso del tiempo, en aplicaciones de contención.
- 10 De conformidad con un primer aspecto de la presente invención, se provee un método de conformidad con la reivindicación 1 que comprende: proporcionar una composición de barrera de bentonita que comprende: bentonita y un polímero polianiónico de bajo peso molecular, y formar una contención que utiliza la composición de barrera de bentonita para proporcionar al menos la separación parcial en la contención respecto de su medio ambiente.
- 15 El polímero polianiónico de bajo peso molecular comprende un polímero seleccionado del grupo que consiste en: una acrilamida hidrolizada de bajo peso molecular, un poliacrilato, una celulosa polianiónica, poliestireno sulfonato de sodio, pectina, carragenano, un alginato, polivinilpirrolidona y cualquiera de sus combinaciones.
- El polímero polianiónico de bajo peso molecular tiene un peso molecular de 1.000.000 o menos.
- 20 En una forma de realización, la composición de barrera de bentonita también comprende tierra.
- En una forma de realización, la contención está localizada en una laguna decorativa, una laguna de peces, una laguna de irrigación, un sitio de vertedero, un sitio de mineral industrial, un sitio de minería, un sitio de vertedero de cenizas volantes o un sitio de vertedero de cenizas de carbón.
- 25 En una forma de realización, el método también comprende el revestimiento de las paredes de la contención con la composición de barrera de bentonita.
- En una forma de realización, la contención comprende materia retenida que comprende al menos uno seleccionado del grupo que consiste en: una solución acuosa, un lixiviado, una salmuera y cualquiera de sus combinaciones.
- 30 En una forma de realización, la bentonita tiene un contenido de humedad inicial mayor de aproximadamente el 5 %.
- De conformidad con otro aspecto de la presente invención, el método de conformidad con la reivindicación 1 también comprende proporcionar al menos una primera capa geosintética.
- 35 En una forma de realización, la primera capa geosintética es un geotextil o una geomembrana.
- En una forma de realización, la primera capa geosintética comprende una estructura seleccionada del grupo que consiste en: una estructura no tejida, una estructura tejida y cualquiera de sus combinaciones.
- 40 En una forma de realización, la capa geosintética está laminada con una geopelícula o revestida con una cubierta.
- En una forma de realización, la composición de barrera de bentonita está adherida a la capa geosintética mediante un adhesivo y/o por medios mecánicos.
- 45 En una forma de realización, el método también comprende una segunda capa geosintética que es un geotextil, una geopelícula o una geomembrana.
- En una forma de realización, la composición de barrera de bentonita está presente en una cantidad de aproximadamente 0,25 a aproximadamente 3 lb/pie<sup>2</sup> (1,22 kg/m<sup>2</sup> a aproximadamente 14,65 kg/m<sup>2</sup>) del revestimiento arcilloso geosintético.
- 50 El polímero polianiónico de bajo peso molecular comprende un polímero seleccionado del grupo que consiste en: una acrilamida hidrolizada de bajo peso molecular, un poliacrilato, una celulosa polianiónica, poliestireno sulfonato de sodio, pectina, carragenano, un alginato, polivinilpirrolidona y cualquiera de sus combinaciones.
- 55 En una forma de realización, el revestimiento arcilloso geosintético posee una permeabilidad de retención de aproximadamente  $1 \times 10^{-8}$  cm/s o menor.
- 60 En una forma de realización, el revestimiento arcilloso geosintético posee una permeabilidad de retención de aproximadamente  $1 \times 10^{-9}$  cm/s o menor.
- De conformidad con otro aspecto de la presente invención, se provee un método que comprende: proporcionar un revestimiento arcilloso geosintético en emparedado que comprende: una primera capa geosintética, al menos una segunda capa geosintética, y una composición de barrera de bentonita en emparedado entre la primera capa
- 65

geosintética y la segunda capa geosintética, en donde la composición de barrera de bentonita comprende: bentonita y un polímero polianiónico de bajo peso molecular; y forma una contención que utiliza el revestimiento arcilloso geosintético en emparedado para proporcionar al menos separación parcial de una contención respecto del medio ambiente.

5 En una forma de realización, la contención está localizada en un sitio de vertedero, un sitio de mineral industrial, un sitio de minería, un sitio vertedero de cenizas voladoras o un sitio vertedero de cenizas de carbón. Las características y las ventajas de la presente invención serán fácilmente aparentes para los expertos en la técnica después de leer la descripción de los siguientes diversos aspectos de la invención.

10 **Breve descripción de los dibujos**

Las siguientes figuras se incluyen a fin de ilustrar ciertos aspectos de la presente invención, y no se deben visualizar como formas de realización exclusivas. El objeto descrito puede ser sujeto de considerable modificación, alteración, y equivalentes en forma y función, como se les ocurrirá a los expertos en la técnica, con el beneficio de la presente descripción.

15 La Figura 1 muestra los datos descritos en el Ejemplo 1.

20 La Figura 2 muestra los datos descritos en el Ejemplo 2.

**Descripción detallada**

25 La presente invención se refiere a composiciones de barrera de bentonita mejoradas, y más particularmente al uso de revestimientos de arcilla geosintéticos que comprenden estas composiciones de barrera de bentonita mejoradas que tienen baja permeabilidad incrementada con el transcurso del tiempo, en aplicaciones de contención.

Entre las muchas ventajas de la presente invención, las composiciones de barrera de bentonita y los revestimientos de arcilla geosintéticos de la presente invención presentan protección prolongada contra filtraciones contaminantes al medio ambiente circundante, en aplicaciones de contención que contienen compuestos químicos complejos. Las aplicaciones de contención a menudo contienen electrólitos de composición química compleja, los cuales incluyen electrólitos tales como aniones y cationes como calcio, potasio, magnesio, hierro, circonio, plomo, cobalto, cobre, estaño, plata, sulfatos, cloruros, bromuros, fluoruros y cualquiera de sus combinaciones. Se cree que las composiciones de barrera de bentonita de la presente invención son particularmente útiles en situaciones que involucran electrólitos de composición química compleja porque contienen un polímero polianiónico de bajo peso molecular que, según se cree, fijan (p.ej., por quelación) los electrólitos en la contención. Se cree que esta fijación impide que los electrólitos interactúen con la bentonita en una forma no deseada. Además, cuando se usan en revestimientos de arcilla geosintéticos, las composiciones de barrera de bentonita de la presente invención proveen mayor permeabilidad de retención durante el periodo de uso del revestimiento, lo cual es ventajoso en términos de retardar la velocidad de filtración fuera de la contención y hacia el medio ambiente circundante, con el transcurso del tiempo. El término "permeabilidad de retención" se refiere a la permeabilidad de una barrera o un revestimiento después de al menos 8 días de exposición a una solución que comprende al menos 300 mg/L de electrólito(s). Estas ventajas pueden ser de particular importancia en vista de las rigurosas regulaciones relacionadas con las aplicaciones de contención.

45 Por lo general, las composiciones de barrera de bentonita de la presente invención comprenden bentonita y un polímero polianiónico de bajo peso molecular. Opcionalmente, se pueden incluir otros aditivos, según la conveniencia de incluir tales aditivos. Estas composiciones se pueden usar solas, por ejemplo en aplicaciones de suelos modificados o en aplicaciones de revestimiento arcilloso geosintético. El término "revestimiento arcilloso geosintético" y sus derivados, tal como se usa en la presente, se refiere a barreras hidráulicas fabricadas que comprenden una composición de bentonita y que comprenden al menos una capa geosintética.

55 El componente de bentonita de las composiciones de barrera de bentonita puede comprender una bentonita natural o una bentonita modificada. Pueden ser adecuadas la bentonita granular y en polvo; no obstante, puede preferirse la bentonita granular a la bentonita en polvo por razones de facilidad de fabricación. Pueden ser adecuadas las bentonitas modificadas, que incluyen las modificadas con potasio (K), sodio (Na), calcio (Ca) y aluminio (Al). La bentonita de sodio puede ser especialmente adecuada en las composiciones de barreras de bentonita de la presente invención. En el comercio está disponible la bentonita de alta calidad adecuada "Bentonita estándar y/o Premium NATIONAL<sup>®</sup>" de Bentonite Performance Minerals LLC. La mayor capacidad de hincharse de la bentonita de sodio la torna especialmente útil en las aplicaciones analizadas en la presente.

60 En algunas formas de realización, la bentonita usada en las composiciones de barrera de bentonita de la presente invención pueden ser prehidratadas, si se desea. Por ejemplo, la bentonita puede tener un contenido de humedad

## ES 2 538 841 T3

de aproximadamente un 50 % para algunas aplicaciones. Esta puede ser una opción en la fabricación de revestimiento arcilloso geosintético.

5 La concentración de bentonita en las composiciones de barrera de bentonita de la presente invención puede variar. Por ejemplo, la concentración de bentonita puede ser aproximadamente del 85 % o mayor en peso seco de la composición de barrera. En algunas formas de realización, la concentración de la bentonita puede ser aproximadamente del 90 % o mayor en peso seco de la composición de barrera. En algunas formas de realización, la concentración de la bentonita puede ser aproximadamente del 95 % o mayor en peso seco de la composición de barrera. En algunas formas de realización, la concentración de la bentonita puede ser aproximadamente del 98 % o mayor en peso seco de la composición de barrera. En algunas formas de realización, la concentración de la bentonita puede ser aproximadamente del 99,5 % o mayor en peso seco de la composición de barrera.

15 Respecto de las formas de realización granular, el tamaño de las partículas puede variar y afectar el empaquetamiento de la bentonita y su facilidad de uso. Las bentonitas granulares adecuadas, en referencia a la Tabla 1, pueden tener  $d_{90}$  (que es el diámetro equivalente cuando el 90 de masa- % (de las partículas) del polvo tiene un diámetro menor (y en consecuencia el 10 % restante es más grueso)) para la bentonita de aproximadamente malla 6 a aproximadamente malla 60. El tamaño en micrones correspondiente se muestra en la Tabla 1.

20

TABLA 1

MALLA EE.UU.	PULGADAS	MICRONES	MILÍMETROS
3	0,2650	6730	6,730
4	0,1870	4760	4,760
5	0,1570	4000	4,000
6	0,1320	3360	3,360
7	0,1110	2830	2,830
8	0,0937	2380	2,380
10	0,0787	2000	2,000
12	0,0661	1680	1,680
14	0,0555	1410	1,410
16	0,0469	1190	1,190
18	0,0394	1000	1,000
20	0,0331	841	0,841
25	0,0280	707	0,707
30	0,0232	595	0,595
35	0,0197	500	0,500
40	0,0165	400	0,400
45	0,0138	354	0,354
50	0,0117	297	0,297
60	0,0098	250	0,250
70	0,0083	210	0,210
80	0,0070	177	0,177
100	0,0059	149	0,149
120	0,0049	125	0,125
140	0,0041	105	0,105
170	0,0035	88	0,088
200	0,0029	74	0,074
230	0,0024	63	0,063
270	0,0021	53	0,053
325	0,0017	44	0,044
400	0,0015	37	0,037

25 Para las bentonitas en polvo, cualquier bentonita en polvo adecuada de utilidad para las aplicaciones analizadas en la presente es adecuada para el uso en la presente invención. Los ejemplos pueden tener un  $d_{50}$  de aproximadamente malla 20 a aproximadamente malla 400.  $d_{50}$  es el diámetro equivalente promedio, donde el 50 de masa- % (de las partículas) del polvo tienen un diámetro equivalente mayor, y el 50 de masa- % restante tiene un diámetro equivalente menor. En algunas formas de realización,  $d_{50}$  es aproximadamente malla 200.

30 Un ejemplo de una bentonita en polvo adecuada para el uso en la presente invención tiene la siguiente distribución de tamaño de partícula: el 100 % debe pasar por una malla 100, un mínimo del 67 % debe pasar por una malla 200 y el 2 % debe pasar por una malla 325.

- 5 El polímero polianiónico de bajo peso molecular de las composiciones de barrera de bentonita de la presente invención incluye acrilamidas hidrolizadas de bajo peso molecular, poliacrilatos, celulosa polianiónica, poliestireno sulfonato de sodio, pectina, carragenano, alginatos, polivinilpirrolidona y cualquiera de sus combinaciones. Son polímeros orgánicos que se disocian en los aniones en solución. Un ejemplo de un polímero polianiónico de bajo peso molecular adecuado puede estar disponible en el comercio bajo el nombre comercial "PAC-R" de Ashland Aqualon Functional Ingredients, una unidad comercial de Ashland Inc., y otros proveedores.
- 10 El peso molecular es de aproximadamente 1.000.000 o menos. En consecuencia, tal como se usa en la presente, el término "bajo peso molecular" se refiere a un peso molecular promedio en peso de aproximadamente 1.000.000 o menos. En algunas formas de realización, el peso molecular puede variar de aproximadamente 50.000 a aproximadamente 600.000. En algunas formas de realización, el peso molecular puede variar de aproximadamente 200.000 a aproximadamente 300.000. Cabe destacar que si los polímeros tienen un peso molecular demasiado alto, esto podría causar la floculación de las arcillas en la bentonita, lo cual no es conveniente.
- 15 La celulosa polianiónica es un polímero polianiónico de bajo peso molecular de preferencia para el uso en las composiciones de barrera de bentonita de la presente invención. La celulosa polianiónica es un éter de celulosa no iónica que forma especies polianiónica en solución acuosa. Por lo general, la celulosa polianiónica tiene un mayor grado de sustitución carboximetílica y contiene menos NaCl residual que la carboximetilcelulosa de grado técnico, si bien algunas celulosas polianiónicas contienen considerable NaCl. Como polímero hidrosoluble, se disuelve de inmediato en agua fría/caliente y se puede usar como agente espesante, controlador de reología, ligante, estabilizante, agente de suspensión y reductor de filtrado. Las celulosas polianiónicas de bajo peso molecular, tal como se describe para el uso en la presente invención, tienen buenas propiedades de resistencia salina, lo cual es útil en el contexto de la invención.
- 20 La concentración del polímero polianiónico de bajo peso molecular en las composiciones de barrera de bentonita de la presente invención puede ser aproximadamente del 0,1 % a aproximadamente el 15 % en peso seco de la composición de barrera. En algunas formas de realización, la concentración del polímero polianiónico de bajo peso molecular en las composiciones de barrera de bentonita de la presente invención puede ser aproximadamente del 0,4 % a aproximadamente el 1 %. En algunas formas de realización, la concentración del polímero polianiónico de bajo peso molecular en las composiciones de barrera de bentonita de la presente invención puede ser aproximadamente del 0,5 % al 0,7 %. A fin de determinar la cantidad óptima incluida, se debe considerar la composición (p.ej., contenido iónico) y la concentración de cualquier lixiviado presente en la contención.
- 25 Si bien no se desea quedar limitado por ninguna teoría, se cree que los polímeros polianiónicos de bajo peso molecular fijan efectivamente (o quelan) los electrolitos presentes en la contención, lo cual impide su interacción con la bentonita en la composición. Además, los polímeros polianiónicos de bajo peso molecular proveen cierta viscosidad a la solución. Los polímeros polianiónicos de bajo peso molecular también poseen un buen peso molecular para la interacción con la montmorillonita en la bentonita.
- 30 Opcionalmente, las composiciones de barrera de bentonita de la presente invención, también pueden comprender al menos un aditivo. Los aditivos adecuados incluyen carbonato de sodio, óxido de magnesio e hidróxido de magnesio. De estar presentes en algunas formas de realización, pueden estar incluidas en una cantidad de aproximadamente el 1 % a aproximadamente el 8 %, sobre la base del peso seco de la composición. En algunas formas de realización, pueden estar incluidas en una cantidad de aproximadamente el 3 % a aproximadamente el 4 % sobre la base del peso seco de la composición. Una indicación de lo deseable de incluir estos aditivos es el pH del lixiviado en la contención, dado que pueden servir como reguladores de pH. Además, se puede agregar agua a las composiciones de barrera de bentonita, si se desea. Hacerlo puede ser deseable para contribuir a los procesos de fabricación, por ejemplo, tal como el pinchazo de una aguja para formar un revestimiento.
- 35 Las composiciones de barrera de bentonita de la presente invención se pueden usar solas, en una aplicación de suelo modificada, o se pueden usar para formar un revestimiento arcilloso geosintético de conformidad con la presente invención, para formar contenciones de materia contenida (tales como fluidos y sólidos) para proporcionar separación o formar una barrera entre la materia contenida y el medio ambiente circundante.
- 40 La materia contenida puede ser acuosa y/o contener sólidos. En algunas formas de realización, la materia contenida puede contener lixiviados. Por ejemplo, si se desea cumplir con los estándares de regulación, las composiciones de barrera de bentonita de la presente invención se pueden usar para formar lagunas de contención acuosas. El medio ambiente circundante puede contener agua subterránea. En aplicaciones de contención, a menudo es deseable mantener toda la separación posible entre la materia contenida y el agua subterránea en el medio ambiente circundante, a fin de minimizar la posible contaminación del agua subterránea por la materia contenida (p.ej., lixiviados) en la contención.
- 45 En algunas formas de realización, las composiciones de barrera de bentonita de la presente invención también se pueden usar solas (es decir, sin combinarla con tierra o una capa geosintética) para formar contenciones.
- 50
- 55
- 60
- 65

- Por ejemplo, en aplicaciones de suelo modificadas se pueden mezclar las composiciones de barrera de bentonita de la presente invención con tierra para impartir una particular permeabilidad al suelo, por ejemplo, en lagunas decorativas, lagunas de peces y lagunas de irrigación. Dichos procesos se pueden denominar aplicaciones de "suelo modificado". La proporción de bentonita y tierra puede variar en cualquier aplicación de suelo modificado dada. En algunas formas de realización, la proporción de bentonita y tierra puede ser 50/50. En otras, la proporción puede ser 60/40. En otras, la proporción puede ser 30/70. En otras, la proporción puede ser 25/75. En otras, la proporción puede ser 1/99. Luego, la composición se compacta mediante procesos de compactación conocidos para formar la contención deseada.
- En algunas formas de realización, las composiciones de barrera de bentonita de la presente invención también se pueden usar para formar revestimientos de arcilla geosintéticos. En algunas formas de realización, los revestimientos de arcilla geosintéticos de la presente invención pueden ser especialmente adecuados para aplicaciones de contención a fin de separar la materia contenida que comprende electrólitos de composición química compleja, del medio ambiente circundante.
- Los revestimientos de arcilla geosintéticos de la presente invención comprenden al menos una capa geosintética y una composición de barrera de bentonita de la presente invención. Las capas geosintéticas de la presente invención incluyen, sin limitaciones, geotextiles, geopelículas y geomembranas. Las capas geosintéticas de preferencia tienen resistencia a la punción extremadamente buena. Para formar un revestimiento arcilloso geosintético, se coloca una composición de bentonita de la presente invención sobre una capa geosintética, de preferencia en una distribución uniforme a través de la capa geosintética. A menudo, la composición de bentonita se adhiere a la geosintética, p.ej., mediante un adhesivo o por medios mecánicos. Los medios mecánicos adecuados incluyen punción con agujas, técnicas de compresión y unión con puntadas.
- Los geotextiles adecuados para el uso en la presente invención son telas permeables que tienen la capacidad para separar, filtrar, reforzar, proteger y/o drenar. Los geotextiles retienen la bentonita en la configuración deseada. Los geotextiles pueden ser adecuados para formar revestimientos de arcilla geosintéticos en emparedado (es decir, un revestimiento arcilloso geosintético en donde la composición de bentonita está localizada entre al menos dos capas geosintéticas) descritos en la presente o para formar revestimientos de arcilla geosintéticos de capa única tal como se describe en la presente.
- Los geotextiles adecuados comprenden polipropileno, poliéster o las mezclas de ellos, y pueden ser tejidos o no tejidos. Los tipos de geotextiles punzados con agujas y ligados por calor son ejemplos de geotextiles no tejidos. En consecuencia, los ejemplos más específicos de geotextiles adecuados incluyen, sin limitaciones, geotextiles no tejidos y tejidos de polipropileno ("PP"), geotextiles tejidos y no tejidos de tereftalato de polietileno ("PET"), geotextiles tejidos y no tejidos que comprenden una mezcla de PP o PET. Los geotextiles adecuados están disponibles en el comercio de GSE Lining Technology, LLC, en Houston, TX, en [www.gseworld.com](http://www.gseworld.com).
- En algunas formas de realización de la presente invención, los geotextiles pueden ser revestidos por un revestimiento o laminados con una geopelícula. Las cubiertas adecuadas pueden incluir, sin limitaciones, cubiertas de PP y cubiertas de poliuretano. Además, en algunas formas de realización de la presente invención, una geopelícula (descrita más adelante) puede ser laminada sobre un geotextil mediante un proceso de laminación adecuado. Los ejemplos de técnicas de laminación adecuadas incluyen procesos de calor y unión adhesiva. El uso de cubiertas o laminaciones puede mejorar la durabilidad del revestimiento arcilloso geosintético.
- Las geopelículas adecuadas para el uso en la presente invención son películas durables que pueden ser usadas en una aplicación de contención. Un ejemplo de geopelícula es una película impermeable que tiene un espesor de al menos aproximadamente 3 mil a aproximadamente 10 mil. Las geopelículas adecuadas pueden comprender polietileno de alta densidad ("HDPE"), polietileno de baja densidad ("LDPE"), revestimiento de polietileno de baja densidad ("LLDPE"), PP, cloruro de polivinilo ("PVC"), elastómeros olefínicos termoplásticos ("TPO"), monómeros de etilenpropilendieno ("EPDM") y las mezclas de ellos. Un ejemplo de una geopelícula adecuada puede ser el disponible en el comercio con el nombre comercial "INTEPLUS®" de Inteplast Group, Livingston, Nueva Jersey.
- Las geomembranas adecuadas para el uso en la presente invención son un tipo de película geosintética que es una película más gruesa (p.ej., 10 mil o más gruesa). Las geomembranas están fabricadas de diversos materiales, incluso sin limitaciones, HDPE, LDPE, LLDPE, PP, PVC, TPO, EPDM y mezclas de ellos. En algunas formas de realización, estas geomembranas pueden ser reforzadas con un geotextil.
- En algunas formas de realización, una composición de barrera de bentonita de la presente invención se puede ligar a una geomembrana para formar un revestimiento arcilloso geosintético. En algunas formas de realización, la composición de barrera de bentonita y el adhesivo se pueden aplicar en capas alternadas hasta un espesor o peso deseado de bentonita por pie cuadrado del revestimiento arcilloso geosintético. Cuando se usa un adhesivo, se puede usar el adhesivo en una cantidad de aproximadamente el 2 % a aproximadamente el 25 % en peso de la bentonita. En algunas formas de realización, se puede usar el adhesivo en una cantidad de aproximadamente el 8 % a aproximadamente el 12 % en peso de la bentonita. En algunas formas de realización, se puede usar el adhesivo

en una cantidad de aproximadamente el 10 % en peso de la bentonita. Los ejemplos de adhesivos adecuados para el uso incluyen, sin limitaciones, los que comprenden un polímero acrílico (por ejemplo, el disponible en el comercio del fabricante Rohm and Haas Company bajo el nombre comercial "ROBOND™ PS-90"), acetato de polivinilo (por ejemplo, el disponible en el comercio del fabricante Forbo Adhesives, LLC bajo el nombre comercial "PACE@383") o dispersiones de poliuretano portados por agua (por ejemplo, los disponibles en el comercio del fabricante Momentive Specialty Chemicals Inc. bajo el nombre comercial "SNOWTACK 765A").

En las formas de realización de revestimiento arcilloso geosintético en emparedado de la presente invención, una composición de barrera de bentonita de la presente invención puede ser colocada en emparedado entre al menos dos capas geosintéticas para formar un revestimiento arcilloso geosintético en emparedado que puede ser especialmente adecuado para el uso en aplicaciones de contención acuosas que comprenden compuestos químicos complejos. En algunas de estas formas de realización de revestimiento arcilloso geosintético en emparedado, pueden ser preferidos los geotextiles para el uso como al menos una de las capas geosintéticas. En otras formas de realización de revestimiento arcilloso geosintético en emparedado, pueden usarse mezclas de capas geosintéticas, es decir, un geotextil es una primera capa geosintética y una geomembrana como segunda capa geosintética, o viceversa. También se pueden incorporar geopelículas y geomembranas en revestimientos de arcilla geosintética en emparedado de la presente invención. En ciertas formas de realización, se puede laminar una geopelícula o una geomembrana sobre un geotextil, para formar una capa geosintética para el revestimiento arcilloso geosintético.

En las formas de realización de revestimiento arcilloso geosintético en emparedado de la presente invención, la capa de emparedado entre las capas geosintéticas comprende una composición de barrera de bentonita de la presente invención. Por ejemplo, la cantidad de composiciones de barrera de bentonita en la capa de emparedado del revestimiento puede ser de aproximadamente 0,25 lb/pie<sup>2</sup> (1,2 kg/m<sup>2</sup>) a aproximadamente 3 lb/pie<sup>2</sup> (15 kg/m<sup>2</sup>) del revestimiento arcilloso. En algunas formas de realización, la cantidad de composiciones de barrera de bentonita en la capa de emparedado puede ser de aproximadamente 0,50 lb/pie<sup>2</sup> (2,4 kg/m<sup>2</sup>) a aproximadamente 1 lb/pie<sup>2</sup> (4,9 kg/m<sup>2</sup>) del revestimiento arcilloso. El espesor de la capa en emparedado también puede variar. En algunas formas de realización, el espesor de la capa en emparedado puede ser de aproximadamente 0,01 pulgadas (0,254 cm) a aproximadamente 2 pulgadas (5,1 cm) de espesor.

En algunas formas de realización, se puede agregar un adhesivo a la composición de barrera de bentonita. Más arriba se han descrito ejemplos de adhesivo.

En algunas formas de realización, se puede agregar humedad a la composición de bentonita, para que cuando se compriman las capas de emparedado (p.ej., mediante rodillos adecuados), la bentonita se fije efectivamente a las capas geosintéticas y forme un revestimiento arcilloso geosintético en emparedado.

En otras formas de realización, se puede formar un revestimiento arcilloso geosintético en emparedado mediante el uso de una técnica de punzado de aguja o unión por puntadas.

Se describen ejemplos de fabricación e instalación de revestimientos de arcilla geosintética en la Patente de los Estados Unidos N.º 6.303.204.

El examen de la permeabilidad de retención de un revestimiento arcilloso geosintético es una indicación mucho mejor del rendimiento del revestimiento, comparado con el examen de la permeabilidad inicial de cualquiera de dichos revestimientos. La permeabilidad inicial no es un indicador verdadero de la compatibilidad o el rendimiento de un revestimiento en aplicaciones de contención que involucran lixiviado y/o soluciones que contienen altas concentraciones de electrólitos.

La permeabilidad de un revestimiento geosintético de la presente invención se puede medir mediante el uso del Estándar de Ingeniería Geotécnica ASTM D5084-10, "Métodos estándar de prueba para la medición de la conductividad hidráulica de materiales porosos saturados mediante el uso de un permeámetro de pared flexible". Esta prueba puede ser más adecuada para una prueba de aplicación en suelo modificado o la propia composición de bentonita. ASTM D-5887, titulada "Método estándar de prueba de la medición de velocidad de flujo a través de muestras de revestimiento arcilloso geosintético saturado mediante el uso de un permeámetro de pared flexible", puede ser usado específicamente para estudiar revestimientos de arcilla geosintéticos en condiciones de agua dulce. Además, se puede usar ASTM D-6766, titulada "Método estándar de prueba para la evaluación de las propiedades hidráulicas de revestimientos de arcilla geosintéticos permeados con líquidos potencialmente incompatibles". Esta prueba describe la medición en laboratorio del flujo y la conductividad hidráulica de muestras de revestimiento arcilloso geosintético mediante el uso de un permeámetro de pared flexible. El método de prueba mide el flujo laminar unidimensional de compuestos químicos, lixiviado de vertederos o agua contaminada, mediante una muestra de revestimiento arcilloso geosintético saturado/hidratado bajo un conjunto de condiciones, tales como una prueba de velocidad. La especificación GRI-GCL3, titulada "Métodos de prueba, propiedades requeridas y frecuencias de prueba de revestimientos de arcilla geosintéticos (GCL)", se puede usar con el protocolo D-6766 para demostrar el rendimiento de la bentonita en cloruro de calcio o soluciones de electrólitos similares. Esta prueba puede ser útil para estudiar lixiviados específicos de sitio.

5 Los revestimientos de arcilla geosintéticos de la presente invención exhiben permeabilidades retenidas incrementadas, que se pueden mantener durante periodos más prolongados (p.ej., en algunas formas de realización, 30 días o más; en algunas formas de realización, 170 días o más). Además, al menos en algunas formas de realización, se cree que los revestimientos de arcilla geosintéticos de la presente invención pueden retener estas permeabilidades para la vida útil del revestimiento, según la aplicación.

10 Además, en muchas formas de realización, los revestimientos de arcilla geosintéticos de la presente invención tienen una permeabilidad de retención superior a  $1 \times 10^{-8}$  cm/s. En algunas formas de realización, la permeabilidad de los revestimientos de arcilla geosintéticos de la presente invención tienen una permeabilidad de retención que es superior a  $1 \times 10^{-9}$  cm/s, que presenta un incremento de un orden de magnitud en permeabilidad de retención. En algunas formas de realización, se cree que la permeabilidad de retención de los revestimientos de arcilla geosintéticos de la presente invención puede ser de aproximadamente  $1 \times 10^{-10}$  cm/s.

15 Sin estar limitados por cualquier teoría particular, se cree que las composiciones de barrera de bentonita de la presente invención exhiben propiedades de permeabilidad incrementada en ambientes con electrólitos complejos (p.ej., cenizas volantes, ambientes de cenizas de carbón, lixiviado, etc.) debido a su elevada resistencia de electrólitos. En composiciones de bentonita convencionales, se cree que la presencia de electrólitos reduce significativamente la estabilidad de la hidratación de la bentonita, lo cual puede alterar la estructura de mineral de arcilla de la bentonita. Se cree que las fuerzas electroquímicas de polímero polianiónico de bajo peso molecular juegan un papel importante en la quelación de los electrólitos en la solución, por lo que preserva la capacidad de la bentonita para hincharse en la composición.

25 A fin de facilitar una mejor comprensión de la presente invención, se proveen los siguientes ejemplos de formas de realización de preferencia. De ninguna manera se deben entender los siguientes ejemplos como límite o definición del alcance de la invención.

EJEMPLOS

30 Los siguientes ejemplos representativos se proveen a fin de demostrar la efectividad de los revestimientos de arcilla geosintéticos de la presente invención y las composiciones de barrera de bentonita de la presente invención. Incluyen las pruebas de los revestimientos de arcilla geosintéticos de la presente invención y las composiciones de barrera de bentonita de la presente invención en ejemplos de soluciones que comprenden electrólitos de compuestos químicos complejos.

35 EJEMPLO 1

40 A fin de demostrar la efectividad del revestimiento arcilloso geosintético de la presente invención, se midieron los parámetros de permeabilidad de los revestimientos de arcilla geosintéticos en soluciones que comprenden electrólitos de compuestos químicos complejos, con el transcurso del tiempo. Muestras de lixiviado minero ácido, un lixiviado sintético (Solución 1 tal como se describe en la Tabla 2), y lixiviado de cenizas volantes, un lixiviado in situ obtenido de vertederos del mundo real (Solución 2 tal como se describe en la Tabla 2) fueron analizadas por un laboratorio independiente de un tercero. La composición de estos lixiviados se da en la Tabla 2 siguiente. Las pruebas de los revestimientos se realizaron con estos lixiviados. Además, se analizaron diferentes contenidos de humedad inicial de la bentonita en la composición de barrera de bentonita en el revestimiento, a fin de determinar el efecto del contenido de humedad inicial sobre la permeabilidad de retención observada con las composiciones químicas variables de la solución con una presión de retención de 5,0 psi (34 kPa).

50 TABLA 2

Análisis de líquido con elevada concentración iónica		
	Drenaje de minería ácido (sintético)	Lixiviado de cenizas volantes (mundo real)
	Solución 1	Solución 2
	(mg/L)	(mg/L)
Electrólitos		
Cationes		
Calcio	660	820
Magnesio	4.000	340
Potasio	660	30
Sodio	670	82
Aniones		
Cloruro	8.600	1.300
Sulfato	10.000	1.900

Como muestra control y como comparación, se midieron los parámetros de permeabilidad para un revestimiento de bentonita no modificado (es decir un revestimiento que comprende una composición de bentonita que no contiene un polímero polianiónico de bajo peso molecular incluido en la composición) para determinar su permeabilidad de retención en la Solución 1. La muestra control de bentonita no modificada fue un revestimiento PP geotextil en emparedado que tiene una composición de bentonita natural de sodio en la capa intermedia, que tiene un contenido de humedad "tal como se recibió" de aproximadamente el 10 %. El revestimiento "estd. de bentonita" en la Figura 1 muestra los resultados.

La Figura 1 muestra que la muestra control de bentonita estándar en la Solución 1 exhibe un rápido incremento de permeabilidad dentro de los días siguientes de entrar en contacto con el lixiviado. Los parámetros de permeabilidad se midieron durante al menos 25 días, a fin de determinar las características de la permeabilidad de retención. Las pruebas sobre esta muestra se terminaron a los 25 días, dado que se estableció una tendencia de permeabilidad creciente. En esta prueba particular, el incremento indeseable de la permeabilidad de retención del revestimiento de bentonita no modificado de la Solución 1 parece particularmente problemático después del día 11.

Como comparación, se realizaron varias pruebas usando muestras de un revestimiento arcilloso geosintético que comprende una composición de barrera de bentonita de la presente invención. La muestra de revestimiento arcilloso geosintético provenía de un revestimiento arcilloso geosintético en emparedado que incluyó dos capas de geotextil PP con una composición de barrera de bentonita de la presente invención que comprende aproximadamente un 99 % de bentonita y aproximadamente un 1 % de celulosa polianiónica a aproximadamente 0,75 lb/ft<sup>2</sup> (3,7 kg/m<sup>2</sup>). Las muestras de un revestimiento arcilloso geosintético fueron analizadas según el protocolo ASTM D6766 para demostrar los parámetros de permeabilidad en las Soluciones 1 y 2 (ver Tabla 2 para las composiciones de las Soluciones 1 y 2). Los parámetros de permeabilidad se midieron con el transcurso del tiempo durante al menos 25 días o más, según se indica en la Figura 1, después de que los revestimientos de arcilla geosintéticos entraron por primera vez en contacto con la solución de electrolitos. Ver Figura 1 para las especificaciones de cada solución y muestra de revestimiento.

En la primera prueba, se estudió un revestimiento arcilloso geosintético en emparedado de la presente invención que tiene una composición de barrera de bentonita tal como se describe en la presente y que tiene aproximadamente un 10 % de contenido de humedad, en la Solución 1. El contenido de humedad inicial era del 10 % debido al contenido inherente de humedad tal como se recibió de bentonita en el revestimiento. Con el transcurso del tiempo, esta muestra de revestimiento arcilloso geosintético mostró incremento de la permeabilidad de retención mientras estaba en contacto con la Solución 1 con el transcurso del tiempo, respecto de la muestra control, rotulada "est. de bentonita" en la Figura 1. Tal como se muestra en la Figura 1, esta muestra de revestimiento arcilloso geosintético exhibió permeabilidades de retención durante más de 171 días mejor de  $5 \times 10^{-9}$  cm/s.

De modo similar, en la segunda y la tercera prueba se estudiaron muestras adicionales de un revestimiento arcilloso geosintético en emparedado de la presente invención que tiene una composición de barrera de bentonita tal como se describe en la presente. El contenido de humedad inicial de las muestras era del 50 % debido a la adición de humedad a la bentonita para simular las potenciales condiciones de campo. Estas muestras de revestimiento arcilloso geosintético fueron expuestas a las Soluciones 1 y 2 en pruebas separadas. Respecto de la Figura 1 y respecto de la prueba con Solución 1, esta muestra de revestimiento demostró permeabilidad de retención de menos de aproximadamente  $5 \times 10^{-9}$  cm/s (ver la línea de triángulos en la Figura 1). Respecto de la Figura 1 y respecto de la prueba con Solución 2, esta muestra de revestimiento arcilloso geosintético también demostró una permeabilidad de retención inferior a aproximadamente  $5 \times 10^{-9}$  cm/s. En ambas muestras de revestimiento arcilloso geosintético, la permeabilidad de retención aparece incrementada respecto de la muestra control.

Por lo tanto, el Ejemplo 1 ilustra que los revestimientos de arcilla geosintéticos que contienen composiciones de barrera de bentonita de la presente invención pueden exhibir, entre otros conceptos, excelente permeabilidad de retención en presencia de compuestos químicos de electrolitos complejos. El componente expuesto en estos experimentos es la composición de barrera de bentonita; y en consecuencia, el experimento ilustra la eficacia de las composiciones de barrera de bentonita de la presente invención en cualquier aplicación de contención que utiliza composiciones de barrera de bentonita de la presente invención.

## EJEMPLO 2

El objetivo de la presente prueba era explorar la permeabilidad de una composición de bentonita no modificada, es decir, una que no contiene un polímero polianiónico de bajo peso molecular de conformidad con la presente invención, sin un revestimiento. Se usó el protocolo estándar de ASTM D6766 para GRI-GCL3 con una presión de contención de 5,0 psi (34 kPa). La salmuera sintética del experimento contenía CaCl<sub>2</sub> 0,1N (o aproximadamente 12.000 mg/L).

La Figura 2 demuestra que se observó un abrupto incremento de permeabilidad después de aproximadamente 220 horas (~9 días) en la salmuera sintética. En consecuencia, los datos de la Figura 2 confirman la falta de

permeabilidad de retención de una bentonita estándar no modificada en condiciones de electrolitos tal como se muestra en la Figura 1 con un margen razonable de error.

### EJEMPLO 3

- 5 En este ejemplo, se usó el protocolo de ASTM D5084 para evaluar la permeabilidad de retención de ciertas composiciones de barrera de bentonita que comprenden aproximadamente el 99 % de bentonita y aproximadamente el 1 % de celulosa polianiónica (no incorporada en un revestimiento arcilloso geosintético) de la presente invención en lixiviado de cenizas volantes (Solución 2 en la Tabla 2). Esto se refiere como bentonita modificada en la Tabla 3.
- 10 Este experimento involucró medir la permeabilidad de la muestra de la composición de barrera de bentonita en una solución de lixiviado con una presión de contención de 5,0 psi (34 kPa). La permeabilidad se midió después de 11 días de estar en contacto con la solución de lixiviado. El resultado del experimento se resume en la Tabla 3 más adelante.
- 15 La Tabla 3 muestra que la composición de barrera de bentonita presentó una permeabilidad de retención de aproximadamente  $6 \times 10^{-10}$  cm/s, lo cual indica que la composición de barrera de bentonita de la presente invención es capaz de mantener una permeabilidad de retención aumentada. En consecuencia, este Ejemplo sugiere que la composición de barrera de bentonita de la presente invención es efectiva para proporcionar incremento de permeabilidad de retención en compuestos químicos de electrolitos complejos.

TABLA 3

Muestra	Presión de contención efectiva (psi)	Permeabilidad (cm/s)
Bentonita modificada	5,0	$6,0 \times 10^{-10}$

- 25 En consecuencia, la presente invención está bien adaptada para alcanzar los objetivos y las ventajas mencionadas, además de los inherentes a la presente. Las formas de realización particulares descritas con anterioridad son solo ilustrativas, dado que la presente invención puede ser modificada y puesta en práctica en formas diferentes pero equivalentes, aparentes para los expertos en la técnica que tienen el beneficio de las enseñanzas de la presente. Además, no se pretenden limitaciones a los detalles de construcción o de diseño mostrados en la presente, distintos de los descritos en las reivindicaciones de más adelante. Por lo tanto, es evidente que las formas de realización
- 30 ilustrativas particulares descritas con anterioridad pueden ser alteradas, combinadas o modificadas, y todas dichas variaciones se consideran dentro del alcance de la presente invención. Si bien las composiciones y los métodos se describen en términos de "que comprenden", "que contienen", o "que incluyen" diversos componentes o pasos, las composiciones y los métodos también pueden "consistir esencialmente de" o "consisten de" los diversos componentes y pasos. Todos los números y rangos antes descritos pueden variar en algún valor. Siempre que se describe un rango numérico con un límite inferior y un rango superior, se describe específicamente cualquier número
- 35 y cualquier rango incluido que cae dentro del rango. En particular, se entiende que cada rango de valores (de la forma, "de aproximadamente a aproximadamente b", o, equivalentemente, "de aproximadamente a hasta b", o equivalentemente, "de aproximadamente a-b") descrito en la presente fija cada número y rango abarcado dentro del rango más amplio de valores. Además, los términos de las reivindicaciones tienen su significado llano y común, a menos que el propietario de la patente defina otra cosa en forma explícita y clara. Además, los artículos indefinidos "un" o "una", tal como se usa en las reivindicaciones, se definen en la presente con el significado de uno o más del elemento que presenta.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método que comprende: proporcionar una composición de barrera de bentonita que comprende: bentonita; y un polímero polianiónico de bajo peso molecular, donde el polímero polianiónico de bajo peso molecular tiene un peso molecular promedio en peso de aproximadamente 1.000.000 o menos y donde el polímero comprende un polímero seleccionado del grupo que consiste en: una acrilamida hidrolizada de bajo peso molecular, un poliacrilato, una celulosa polianiónica, poliestireno sulfonato de sodio, pectina, carragenano, un alginato, polivinilpirrolidona y cualquier combinación de ellos; y formar una contención que utiliza la composición de barrera de bentonita para proporcionar al menos una separación parcial de una contención respecto del medio ambiente.
- 10 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, que además comprende: revestir las paredes de la contención con la composición de barrera de bentonita.
- 15 3. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la contención comprende materia contenida que comprende al menos uno seleccionado del grupo que consiste en: una solución acuosa, un lixiviado, una salmuera y cualquiera de sus combinaciones.
- 20 4. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la bentonita tiene un contenido de humedad inicial mayor de aproximadamente el 5 %.
- 25 5. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el método también comprende proporcionar al menos una primera capa geosintética.
- 30 6. Un método de acuerdo con la reivindicación 5, donde la primera capa geosintética es un geotextil o una geomembrana, y donde la primera capa geosintética comprende una estructura seleccionada del grupo que consiste en: una estructura no tejida, una estructura tejida y cualquiera de sus combinaciones.
- 35 7. Un método de acuerdo con las reivindicación 5 o 6, donde la capa geosintética está laminada con una geopelícula o revestida con una cubierta.
- 40 8. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, donde la composición de barrera de bentonita está adherida a la capa geosintética mediante un adhesivo y/o por medios mecánicos.
- 45 9. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 8, que además comprenden una segunda capa geosintética que es un geotextil, una geopelícula o una geomembrana.
- 50 10. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 9, donde la composición de barrera de bentonita está presente en una cantidad de aproximadamente 0,25 a aproximadamente 3 lb/pie<sup>2</sup> (1,23 a 14,80 kg/m<sup>2</sup>) del revestimiento arcilloso geosintético.
11. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 10, donde el revestimiento arcilloso geosintético tiene una permeabilidad de retención de aproximadamente  $1 \times 10^{-8}$  cm/s o inferior, o  $1 \times 10^{-9}$  cm/s o inferior.
12. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 11, donde el revestimiento arcilloso geosintético es un revestimiento arcilloso geosintético en emparedado que comprende: una primera capa geosintética, al menos una segunda capa geosintética, y donde la composición de barrera de bentonita está en emparedado entre la primera capa geosintética y la segunda capa geosintética.
13. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 5 a 12, donde la contención está localizada en un sitio de vertedero, un sitio de mineral industrial, un sitio de minería, un sitio de vertedero de cenizas volantes o un sitio de vertedero de cenizas de carbón.

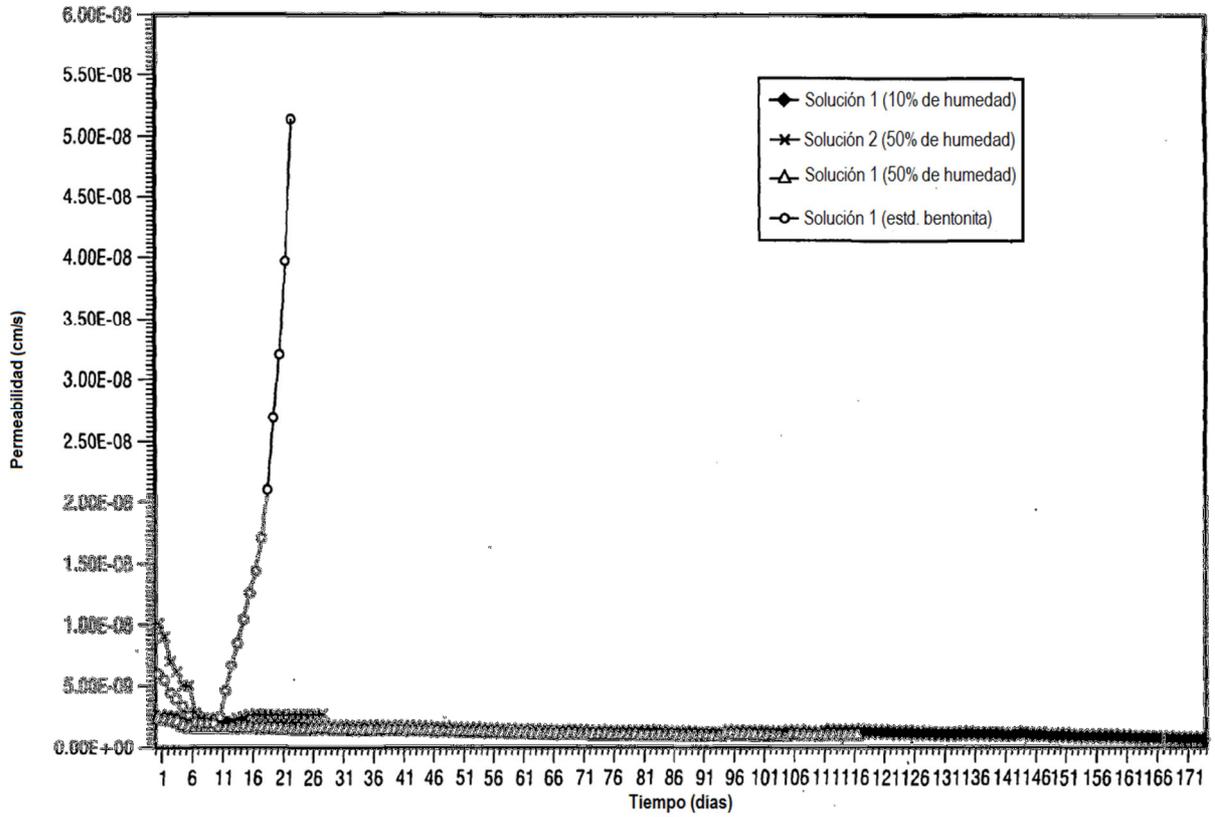


FIG. 1

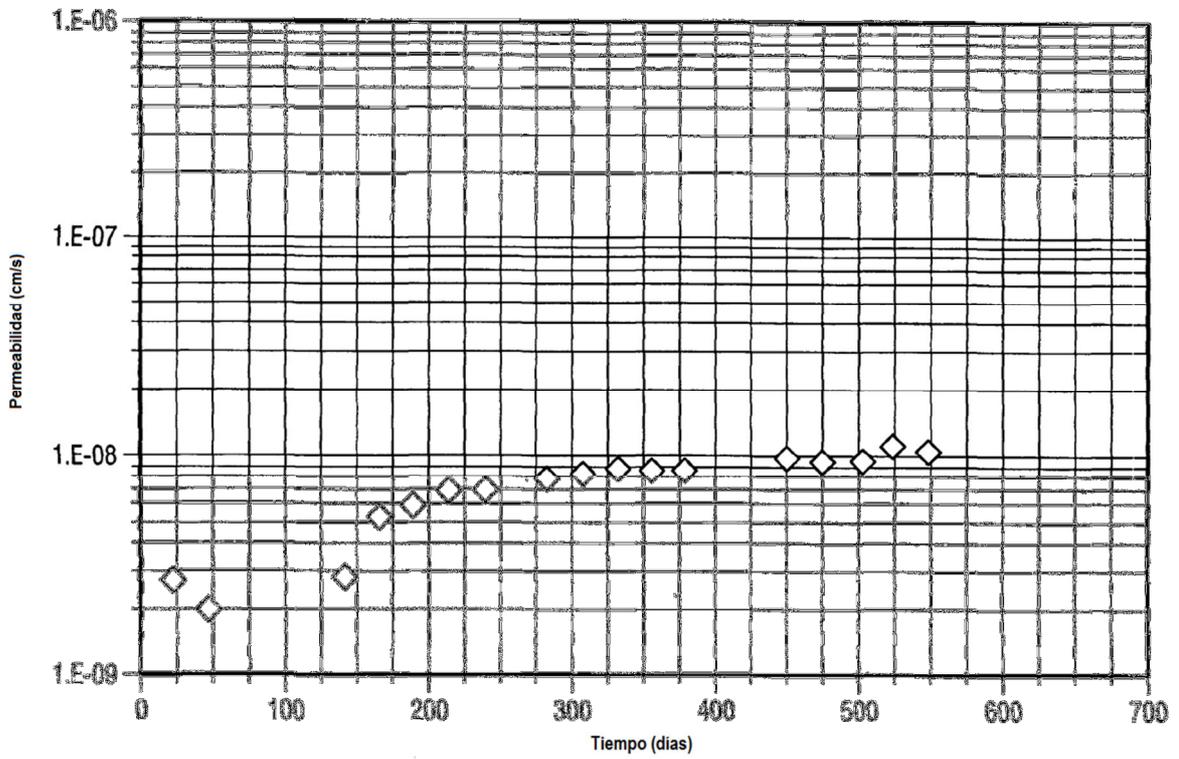


FIG. 2