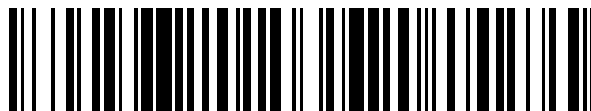


19

OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 552 672**

21 Número de solicitud: 201531013

51 Int. Cl.:

**B09B 1/00** (2006.01)**C09K 17/02** (2006.01)**E02D 31/00** (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**10.07.2015**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**01.12.2015**

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA  
(100.0%)****OTRI. Plaza del Cronista Isidoro Valverde, Edif.  
La Milagrosa  
30202 Cartagena (Murcia) ES**

72 Inventor/es:

**GARCÍA FERNÁNDEZ, Gregorio y  
GÓMEZ ROS, José Manuel**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**54 Título: **Procedimiento de instalación, en un suelo o depósito de residuos, con elementos o compuestos contaminantes, de una barrera física multicapa para interrumpir flujos hídricos verticales**

57 Resumen:

Procedimiento de instalación, en un suelo (1) o depósito de residuos, con elementos o compuestos contaminantes, de una barrera física multicapa para interrumpir flujos hídricos verticales, que supone una optimización de eficiencia y coste. Comprende disponer primera (4), segunda (6), tercera (8), cuarta (10) y quinta (12) capas de áridos (4, 6, 8, 10, 12) consecutivas, de granulometrías alternadas respectivamente, de abajo a arriba, de tipo grava, arenas, grava, arenas y grava, así como intercalar una capa de un material separador (3, 5, 7, 9, 11), inmediatamente antes de cada capa de áridos (4, 6, 8, 10, 12), para evitar mezcla de materiales entre suelo (1) y la primera capa de áridos (4) y entre cada dos capas de áridos (4, 6, 8, 10, 12) consecutivas. Las capas de áridos segunda (6) y cuarta (10) son compactadas para evitar filtración, preferentemente de acuerdo con su valor máximo de compactación Proctor.

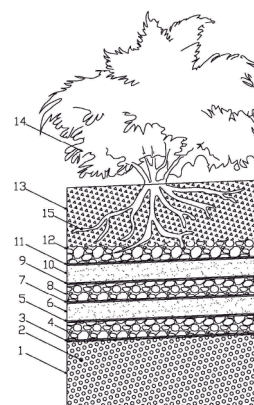


FIG. 1

ES 2 552 672 A1

**PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN, EN UN SUELO O DEPÓSITO DE RESIDUOS,  
CON ELEMENTOS O COMPUESTOS CONTAMINANTES, DE UNA BARRERA  
FÍSICA MULTICAPA PARA INTERRUMPIR FLUJOS HÍDRICOS VERTICALES**

5

**DESCRIPCIÓN**

**OBJETO DE LA INVENCION**

10 La presente invención se puede incluir dentro del sector de la eliminación de residuos  
sólidos y regeneración de suelos contaminados. De manera más particular, la invención  
pertenece al sector de sellado y cobertura de vertederos. En concreto, el objeto de la  
presente invención se refiere a un procedimiento de instalación de una barrera física  
multicapa para interrumpir los flujos hídricos verticales (ascendentes por capilaridad y  
15 descendentes por infiltración a favor de gravedad) en un suelo o depósito de residuos  
con elementos o compuestos contaminantes susceptibles de ser movilizados por el agua.

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

20 Una problemática asociada con las explotaciones mineras y, en general, con las  
explotaciones fabriles o de otros tipos de industrias, viene dada por la contaminación del  
suelo y la generación de depósitos de residuos, que se produce como efecto de las  
mencionadas explotaciones industriales. En particular, las actividades industriales  
referidas implican la incorporación al suelo de vertidos o de residuos que presentan  
determinados contaminantes dotados de cierto carácter móvil. Dichos contaminantes  
25 pueden migrar, en particular, por medio de desplazamientos verticales (o al menos con  
una componente vertical no despreciable), hasta encontrarse con flujos o depósitos  
hídricos o bien generar drenajes ácidos de mina, por lixiviación a favor de gravedad, o  
con los procesos de erosión superficial, en el caso de la ascensión por procesos de  
capilaridad de estos contaminantes.

30

En consecuencia, se generan elevados riesgos ecotoxicológicos en los enclaves en los  
que se localizan los suelos y/o depósitos de residuos, ya sean estos vertidos o  
acumulados, donde dichos riesgos se deben principalmente, tal como se acaba de  
indicar, a los procesos de movilidad vertical, tanto por fenómenos de lixiviación a favor de

5  
10  
15  
20  
25  
30

gravedad que acaban por afectar a los acuíferos, o por generar drenajes ácidos de mina, como por los procesos de ascensión capilar que acaban por poner a estos contaminantes a disposición de los procesos erosivos, hídricos y eólicos, que favorecen el transporte de los contaminantes, como por ejemplo los metales pesados, muy lejos de sus lugares de origen. Por tanto, dichos contaminantes pueden llegar a afectar tanto a las aguas subterráneas, así como a los suelos y los ecosistemas naturales de alto valor ecológico, suponiendo igualmente un alto riesgo para la salud humana de las poblaciones localizadas en su área de influencia, es decir, acarreando un elevado impacto y un problema de salud ambiental sobre los ecosistemas y las poblaciones circundantes.

Actualmente, dentro del manejo de los suelos contaminados, así como de la gestión de los depósitos de residuos en balsas o depósitos ubicados en ambientes naturales, como pueden ser los de la minería metálica entre otros, uno de los aspectos de mayor dificultad a la hora de conseguir la minimización de riesgos asociados a estos suelos contaminados y depósitos de residuos, ha sido el de conseguir una inmovilización efectiva de los contaminantes móviles (metales, sales metálicas, etc.).

En este sentido, la patente estadounidense US5550315 se refiere a un recubrimiento para vertederos de diversa naturaleza entre los que podrían encontrarse balsas de residuos de minería. La efectividad de lo que denominan barrera capilar anisotrópica constituida por dicho recubrimiento se basa en la distinta conductividad y capacidad de saturación frente a la humedad de las distintas capas en función de su naturaleza y en particular de su granulometría y densidad. En concreto, una de las alternativas se propone en la figura 6B donde se alternan las capas que se estimen necesarias para conseguir el efecto deseado respecto a la contención del residuo. Dichas capas tendrán distinta naturaleza (p.ej.: arena, grava, arcillas, etc.) no estando excluidas las geotextiles.

Por otra parte, la solicitud de patente estadounidense US2011135394 se refiere igualmente a un recubrimiento de un depósito de residuos en el que también se aplican diversas capas con el objetivo de contener y aislar el material contenido. Por ejemplo, la figura 17A ilustra la localización sobre el residuo en la que se deposita una capa de arcilla y sobre ella una geomembrana HDPE. Encima de dicha geomembrana se deposita una capa de material de grano más grueso que tendrá una conductividad lateral de la humedad mayor que las anteriores capas.

Finalmente, la solicitud PCT WO9801630 también se refiere a una barrera capilar en la que la naturaleza y concretamente la granulometría de las de las diversas capas conduce a la contención de la contaminación del residuo depositado. En una alternativa, la capa de grano grueso permanece estabilizada mediante una resina epoxy.

## DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

La presente invención describe un procedimiento de instalación, en un suelo o depósito de residuos contaminado con elementos o compuestos tóxicos, de una barrera física multicapa para interrumpir flujos hídricos verticales en dicho emplazamiento (suelo o depósito). Por tanto, su fin es el de establecer un sellado, que impida la penetración o salida de soluciones acuosas que porten elementos contaminantes existentes en los suelos o depósitos de residuos generados como consecuencia de explotaciones industriales, como por ejemplo las mineras.

La barrera que constituye el objeto de la presente invención presenta, tal como se describirá seguidamente, probada eficiencia, resultando ecológicamente satisfactoria y representa, según se explicará más adelante, una mejora de las barreras multicapa dotada de capas de áridos de granulometrías gruesas y finas alternadas, descritas en los antecedentes, con el fin de optimizar la eficiencia de la barrera en relación con los costes de implementación, en particular con la cantidad de material empleado en la elaboración de la barrera.

La instalación de la barrera de la invención resulta aplicable no solo a suelos o depósitos que alojen residuos mineros, sino igualmente a cualquier suelo o emplazamiento que presente un problema ambiental debido a la presencia de sustancias o elementos con capacidad de migrar en el perfil edáfico y por tanto que puedan afectar a su entorno, sea a nivel subterráneo, de los ecosistemas terrestres o al sistema atmosférico.

La barrera es una barrera multicapa elaborada por disposición sucesiva de capas de áridos de distinta granulometría, de tal forma que, al funcionar como una barrera física capilar, actúa interrumpiendo los flujos hídricos con componente vertical, tanto ascendentes como descendentes. Esta barrera actúa sobre el flujo capilar que se

produce entre los suelos y/o residuos contaminantes y las capas de sellado que los cubren, de tal forma que a través de una disposición alterna de materiales de mayor y menor granulometría, se consigue interrumpir dicho flujo y, por tanto, se logra un sellado y un aislamiento efectivos de los elementos y/o compuestos contaminantes, que usualmente están cargados de metales y otras sustancias capaces de tener movilidad vertical asociada a estos flujos capilares.

En particular, para conseguir este objetivo, se ha diseñado una barrera física multicapa que comprende cinco capas de áridos (primera, segunda, tercera, cuarta y quinta, de abajo a arriba) con una disposición alternada de materiales de distinta granulometría, que responde a un esquema "Grueso-Fino-Grueso-Fino-Grueso", más una capa de material separador, por ejemplo, de material geotextil, localizada justo por debajo de cada correspondiente capa de áridos, según se explica más adelante. A lo largo del presente documento, en consistencia con lo que es usual en el campo al que se refiere la invención, se entiende por "todo uno" una mezcla de árido fino y grueso, que puede ser tanto natural como haber sido triturado. A lo largo del presente documento, se entiende como "árido de tipo fino", también conocido como "arena" al que pasa por un tamiz de 4,76 mm, así como se entiende como "árido de tipo grueso" o "grava" al que queda retenido en un tamiz de 4,76 mm.

De acuerdo con lo que se acaba de anticipar, las capas de áridos de orden impar (primera, tercera y quinta) son capas del tipo gravas, por ejemplo de granulometría comprendida entre 20 y 40 mm; mientras que las capas de áridos de orden par (segunda y cuarta) son de arenas principalmente, si bien también puede presentar pequeñas proporciones de limos y arcillas, de granulometría preferentemente inferior a 4 mm. Asimismo, para evitar entremezclado masivo e indiferenciado de materiales entre sí, se dispone, tal como se ha indicado anteriormente, una capa de material separador justo inmediatamente por debajo de cada correspondiente capa de áridos, es decir, se disponen primera, segunda, tercera, cuarta y quinta capas de material separador.

Sobre la quinta capa de áridos, de manera preferente, se puede disponer adicionalmente un tecnosuelo, entendiéndose como tal un suelo artificial, también denominado tecnosol en el campo de la técnica al que pertenece la invención, donde el tecnosuelo está elaborado por ejemplo a base una mezcla "todo uno" de residuos de construcción y

demolición triturados todo uno, preferentemente de unos 30 cm de espesor total, y destinado a soportar una cubierta vegetal, preferentemente, a base de herbáceas, arbustos y matorral, que ayude a una integración paisajística.

5 Por otro lado, y con la finalidad de facilitar el drenaje interno de los líquidos que pudiesen atravesar las capas de áridos ubicadas más superiormente en la barrera, toda esta instalación se haría preferentemente aplicando una pequeña pendiente de entre un 2 % y un 6 %.

10 Los materiales empleados para las capas de áridos y para, en su caso, el suelo técnico, son preferentemente residuos de construcción y demolición (RCD), básicamente materiales provenientes del triturado de materiales cerámicos (ladrillos) y hormigón. Estos materiales presentan, además, una cierta capacidad de absorción de metales pesados móviles y, debido a su naturaleza mineralógica, proporcionan un carácter más básico al suelo, lo cual contribuye con carácter general a una disminución de la movilidad  
15 de elementos como son los metales y metaloides. Adicionalmente, la elección de materiales RCD permite reutilizar y valorizar un residuo de escaso valor económico y gran producción.

20 El principio de funcionamiento de la barrera de la invención se basa en la interrupción del flujo capilar que se genera en una columna de suelo como consecuencia de la disposición alterna de capas de materiales de distinta granulometría. La barrera de la invención se basa, por tanto, en la geometría del medio poroso a distintas escalas, desde la microscópica, que regula la retención y transmisión del agua, hasta la macroscópica, que canaliza el flujo con distinta velocidad según la inclinación de la interfaz entre ambas  
25 capas, barrera y suelo/depósito de residuos.

El movimiento del agua en el suelo o en cualquier sustrato poroso, se rige por las diferencias de potencial hidráulico. El sistema "suelo/residuo-barrera multicapa" es un sistema complejo en el que intervienen diferentes tipos de sustratos con diferentes  
30 propiedades físicas. Cada capa de la barrera afecta a los potenciales hídricos para la efectiva interrupción del flujo de agua.

De forma general, se establece que existen tres mecanismos de unión entre el agua y una matriz edáfica:

- 1) adhesión a superficies por las fuerzas de London van der Waals,
- 2) uniones capilares debido a las fuerzas de cohesión y adhesión, y
- 3) las fuerzas osmóticas como diferencia de la concentración de solutos.

5 Debido a estas fuerzas, la matriz del suelo retiene agua en contra de la gravedad y de la evaporación. Consecuencia de que el movimiento del agua en el suelo es un proceso que se da a poca velocidad, la energía cinética se puede considerar despreciable y el estatus energético del agua en el suelo puede caracterizarse por su energía potencial. Por tanto, los componentes más importantes de la energía que permite el movimiento del  
10 agua en el suelo vienen dados por el potencial matricial, potencial osmótico y potencial gravitacional. Generalmente, el potencial osmótico viene dado por el efecto de los iones en la solución del suelo y en la mayor parte de los suelos naturales esta solución no presenta gradientes espaciales y es homogénea, por lo que puede ser eliminada dejando como los potenciales más importantes el matricial y el gravitacional.

15

Sin embargo, en el sistema suelo/residuo-barrera, el potencial osmótico sí puede tener un efecto notable, ya que la conductividad del agua de poro del suelo o residuo puede ser mayor que la de la barrera, estableciendo un flujo de agua para igualar el gradiente osmótico hacia el suelo o residuo. Por otro lado, en las capas de gravas si puede haber  
20 un componente significativo de la energía cinética, siendo despreciable el potencial matricial. El movimiento del agua en las gravas se rige fundamentalmente por el potencial gravitacional.

Una relación muy importante es la curva característica de retención de agua (o curva pF),  
25 que es la relación entre la humedad volumétrica y el potencial matricial. Expresa con qué fuerza retiene la matriz del suelo o residuo el agua. Es sobre esta base donde se apoya el principio físico de la ruptura del flujo capilar. Las gravas no son capaces de retener agua en sus poros más allá de la adhesión a la superficie. La presión atmosférica (o presión de entrada de aire) es suficiente para drenar la totalidad del agua que pueda  
30 hallarse entre los bolos, lo que indica el escaso potencial matricial de las gravas.

Un sustrato microporoso, como una arcilla, contiene una gran proporción de espacios y superficie donde el agua queda adherida, siendo por tanto el potencial matricial elevado. En una situación donde una columna de arcilla seca se pone en contacto por la base con

agua, la diferencia de gradiente matricial entre la base y la parte alta empujará al agua hacia arriba en contra del gradiente gravitacional hasta que se igualen ambos. A mayor potencial matricial, mayor capacidad de ascensión se presentará. Como el potencial matricial de las gravas es prácticamente nulo, el agua no puede superar el potencial gravitacional, por lo que no puede ascender por la columna de gravas. La matriz de gravas no tiene potencial matricial suficiente para retener agua y menos aún para provocar un flujo ascendente ya que la superficie de adhesión es pequeña en comparación con el volumen de poros, por lo que las fuerzas de adhesión y cohesión del agua no pueden actuar. El potencial gravitacional es muchos órdenes superior al potencial matricial de las gravas, con lo que se impide la ascensión capilar.

En cuanto a la disminución de la infiltración se aplica la Ley de Darcy para explicar el transporte de agua a favor del gradiente hidráulico (potencial matricial + potencial gravitacional):

15

$$Q = k[\Theta] \Delta H / \Delta S$$

Donde Q representa el flujo de agua,  $k[\Theta]$  es el valor de conductividad hidráulica en función de la humedad  $\Theta$ ,  $\Delta H$  representa el diferencial del gradiente hidráulico (potencial matricial + potencial gravitacional) y  $\Delta S$  el diferencial del espacio, o lo que es lo mismo las diferentes posiciones espaciales.

20

Cuando el suelo o residuos se encuentra saturado ( $\Theta$  máxima), el valor de la conductividad hidráulica se hace también máximo y se puede considerar constante. En el caso de un suelo o residuo insaturado, la conductividad hidráulica, que es una función de la humedad, es menor cuanto más seco esté el suelo. Por tanto, la conductividad hidráulica varía mucho con el contenido de humedad. Además, la conductancia del poro es proporcional al cuadrado de su diámetro por lo que los poros finos disminuyen mucho su capacidad de conducir agua disminuyendo el flujo de agua.

25

El efecto de la barrera en cuanto a la disminución de los flujos hídricos se descompone, por tanto, en dos procesos: el impedimento de la ascensión capilar y el impedimento de la infiltración.

30



En cuanto a la ascensión capilar, la efectividad de la barrera se debe a que la capa de gravas desconecta el sistema de poros y, al presentar un potencial matricial prácticamente nulo, el flujo de agua sólo responde al potencial gravitacional, por lo que no puede ascender, cortándose así el ascenso capilar.

5

En cuanto a la infiltración, se disminuye con las 2 capas de finos de, así como con la capa intermedia de gravas, que permite el desplazamiento horizontal del agua, y por tanto su drenaje a favor de pendiente. Por este motivo, se ha aplicado a toda la estructura una pendiente de entre el 2 y el 6 % preferentemente. La disminución del tamaño de poro en la capa de finos disminuye el flujo de infiltración de agua, favoreciendo su desplazamiento lateral a favor de la pendiente. Además, la conexión hidráulica y física entre la capa de gravas-más superficial y el tecnosuelo permite que, conforme se va secando el tecnosuelo, se vaya extrayendo humedad de la capa de finos inmediatamente subyacente, por lo que se disminuye su conductividad hidráulica ya que no se va a encontrar saturada. Esta disminución de la conductividad hidráulica de esta capa permite disminuir la infiltración, además de actuar como una pequeña reserva hídrica para el tecnosuelo, y por extensión para la cubierta vegetal que se instaure en el mismo, que se va liberando poco a poco conforme se va produciendo la evaporación del agua de la superficie.

10

15

20

Por tanto, la configuración de capas planteada en esta barrera física capilar, basada en los principios físicos del movimiento del agua en el suelo, permite que la disposición y propiedades de las diferentes capas manejen con efectividad las leyes de movimiento del agua.

25

La configuración anteriormente descrita de cinco capas de árido de acuerdo con una disposición grava-arena-grava-arena-grava se ha determinado como más idónea a partir de experimentos realizados que serán tratados con mayor detalle seguidamente en el apartado de descripción preferente.

30

En particular, la presente invención proporciona una solución a un problema complejo de contaminación tanto de los sistemas superficiales (ecosistemas naturales, campos agrícolas, poblaciones, etc.), como de los acuíferos y de los daños generados por los drenajes ácidos de mina, que resulta satisfactoria en el sentido que conjuga las

siguientes cualidades destacables:

- describe una tecnología que permite confinar de forma efectiva los contaminantes presentes en los suelos y residuos contaminados, en función de las peculiaridades de este tipo de materiales;
- 5 - presenta una configuración optimizada que conjuga alta eficiencia y coste reducido;
- en el caso particular de residuos mineros, contribuye a resolver un problema asociado, según el cual, el volumen de residuos de la minería extractiva resulta, en comparación con otro tipo de industrias, extraordinariamente elevado;
- resuelve un aspecto social relacionado con el hecho de que los suelos y residuos  
10 contaminados, en particular, pero no en exclusiva, los resultantes de explotaciones mineras, se suelen encontrar en zonas de escasa población y de reducido interés económico, una vez que la explotación ha cesado; en este sentido, resultan particularmente bienvenidas soluciones como la descrita en la presente invención, que implican un reducido coste, que puede resultar determinante para que la Administración  
15 competente se pueda decidir a resolver el problema de la contaminación de suelos y depósitos de residuos en zonas de escasa población y/o escaso interés socio-económico.

## DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

20

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se  
25 ha representado lo siguiente:

25

Figura 1.- Muestra una vista esquemática en perfil de una realización preferente de una barrera física multicapa de acuerdo con la presente invención, una vez instalada sobre el suelo o depósito de residuos.

30

Figura 2.- Muestra una gráfica que representa un estudio de movilidad del contaminante cadmio en la barrera objeto de la invención.

Figuras 3A-3E.- Muestran gráficas obtenidas de acuerdo con diversos experimentos

realizados, empleando diferente número de capas y diversas distribuciones de dichas capas.

### **REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION**

5

Seguidamente se ofrece, con ayuda de las figuras 1-3E adjuntas anteriormente mencionadas, una descripción en detalle de un ejemplo de realización preferente de la presente invención.

10

La invención se refiere a un procedimiento de instalación, en un suelo (1) o depósito de residuos, ver figura 1, con elementos o compuestos contaminantes (2), de una barrera física multicapa para interrumpir flujos hídricos verticales (ascendentes por capilaridad y descendentes por infiltración a favor de gravedad) en dicho suelo (1), depósito de residuos o emplazamiento similar, actuando a modo de sellado físico del suelo (1) o substrato en cuestión a efectos hídricos, y por tanto evitando una movilización de las sustancias contaminantes (2) solubles o transportables por el agua, como coloides y demás. La barrera está formada por una sucesión de capas de materiales áridos de distintas granulometrías que regulan la retención y la transmisión de agua y actúan canalizando el flujo entre las capas con distinta velocidad, según se describe en detalle seguidamente.

20

La disposición de la barrera de la presente invención, proporciona una reducción en la movilización vertical de metales y sales metálicas, entre otros agentes contaminantes (2), mediante la minimización del flujo de agua capilar. Asimismo, facilita una minimización del drenaje ácido de mina, así como una disminución de la infiltración de agua. Por su parte, la reducción del transporte de elementos iónicos verticalmente, minimiza la aparición de sales metálicas en superficie, lo implica a su vez una disminución del transporte eólico de dichas sales y los elementos tóxicos asociados, lo que a su vez implica una mayor facilidad para el establecimiento de vegetación sobre el suelo (1). Por otra parte, la reducción en la infiltración de agua supone también una minimización tanto de los peligros asociados a los drenajes ácidos de mina, como del riesgo de colapso de los depósitos de residuos, al evitarse los procesos de erosión interna, así como los flujos preferenciales de erosión subsuperficial (también conocida por su término en inglés: "piping"). A su vez, dicho incremento de la estabilidad de los

25

30

depósitos de residuos, en cooperación con la reducción de la formación de sales metálicas y/o tóxicas, implica a su vez una mayor facilidad para el establecimiento de vegetación sobre el suelo (1). Finalmente, todos estos factores, es decir el aumento de la estabilidad de los depósitos de residuos conjuntamente con una mayor instalación  
5 de vegetación en la superficie de los citados depósitos, propician una disminución de la erosión del suelo (1) por acción del agua de escorrentía.

En la figura 1 se muestra la barrera de la invención. El suelo (1) o depósito de residuos con los residuos, elementos o compuestos contaminantes (2) a sellar se disponen en  
10 la parte inferior.

Se dispone encima del suelo (1) o depósito de residuos una primera capa de material separador (3), que impide la mezcla de los residuos, elementos o compuestos contaminantes (2) con el resto de componentes de la barrera. Seguidamente, se  
15 dispone, sobre la primera capa de material separador (3) una primera capa de áridos (4), que es de gravas, con granulometría de por ejemplo entre 20 mm y 40 mm, y un espesor de por ejemplo entre 8 cm y 12 cm, así como dicha primera capa de áridos (4) es sometida a compactación mecánica.

20 Sobre la primera capa de áridos (4), se coloca una segunda capa de material separador (5), y sobre dicha segunda capa de material separador (5) se dispone una segunda capa de áridos (6), que es de arenas básicamente, de una granulometría por ejemplo inferior a 4 mm, y de un espesor de entre 8 y 12 cm, que es posteriormente compactada, preferentemente sometida a su máxima compactación mecánica  
25 conforme a su correspondiente ensayo Proctor.

Sobre la segunda capa de áridos (6), se coloca una tercera capa de material separador (7) y, sobre dicha tercera capa de material separador (7), una tercera capa de áridos (8), esta vez de grava, de preferentemente entre 8 cm y 12 cm de espesor, y  
30 con una granulometría de por ejemplo entre 20 mm y 40 mm, que es posteriormente sometida a compactación mecánica.

Sobre la tercera capa de áridos (8), se dispone una cuarta capa de material separador (9) y, sobre dicha cuarta capa de material separador (9), una cuarta capa de áridos

(10), que es de arenas, con una granulometría por ejemplo menor de 4 mm, con un espesor por ejemplo comprendido entre 8 cm y 12 cm, y que puede ser posteriormente compactada de acuerdo con su correspondiente ensayo Proctor.

5 Sobre la cuarta capa de áridos (10) se dispone una quinta capa de material separador (11), sobre la cual se dispone a su vez una quinta capa de áridos (12), que es de tipo gravas, con una granulometría entre 20 mm y 40 mm, y con un espesor de entre 8 cm y 12 cm. Se compacta ligeramente la quinta capa de áridos (12).

10 Con el fin de conseguir una integración paisajística de la barrera y del suelo (1) o depósito de residuos protegido con dicha barrera, se puede disponer adicionalmente, de manera opcional, sobre la quinta capa de áridos (12), un suelo técnico (13), también denominado tecnosol o tecnosuelo, destinado a soportar una cubierta vegetal (14), preferentemente solo de tipo hierbas y arbustos, debido a que comprenden un  
15 sistema radical de reducido desarrollo, para evitar deterioro de la barrera con sus raíces (15). De manera preferente, el suelo técnico (13) comprende una sexta capa de áridos, de aproximadamente 24 cm a 36 cm de espesor para instalar la mencionada cubierta vegetal (14) que facilite la integración paisajística. La sexta capa de áridos está preferentemente compuesta por residuos triturados todo uno de construcción y  
20 demolición, de tal forma que en dicha sexta capa de áridos coexisten materiales de muy distinta granulometría, básicamente gravas y arenas, conjuntamente con materiales más finos, sometidos a una ligera compactación con la única finalidad de conferirle una mínima estabilidad. Además, la cuarta capa de áridos (10), que es de tipo arenas, cumple una función adicional de actuar tras, su recarga en períodos  
25 lluviosos, como un pequeño reservorio de agua para las raíces (15) de las plantas de la cubierta vegetal (14) instalada en el suelo técnico (13).

De manera opcional, para el caso del recubrimiento de la barrera con un suelo técnico (13) tal como el anteriormente indicado, de unos 30 cm de espesor de materiales áridos  
30 RCD triturados todo uno, se prefiere que la quinta capa de áridos (12) y el suelo técnico (13) comprendan la misma composición, de manera más preferente, que sean configuradas de manera conjunta en un mismo paso. En un caso ejemplar, se trataría de una capa de entre 32 y 48 cm de espesor de materiales todo uno, ya que desde el punto de vista práctico su comportamiento capilar e hidrodinámico es muy similar, a la vez que

incorpora la ventaja de facilitar la utilización de la cuarta capa de áridos (10), dispuesta inmediatamente en la parte inferior, como reservorio de agua para la vegetación instalada sobre el suelo técnico (13).

5 La ejecución de la barrera puede incorporar una etapa previa opcional de nivelar la superficie del suelo (1) o depósito de residuos, en algún momento anterior a disponer la primera capa de material separador, con el fin de obtener un ligero desnivel de entre por ejemplo un 2 % y un 6%, para permitir que las corrientes de agua de las capas de áridos (4, 6, 8, 10, 12) más superficiales se desplacen, en su caso, hacia el contorno exterior del suelo (1) o depósito de residuos y no hacia el interior, permitiendo un drenaje lateral del agua de infiltración a través de las sucesivas capas de gravas, y de este modo disminuir la infiltración hacia el residuos, elementos o compuestos contaminantes (2).

15 Previamente al nivelado, se puede ejecutar una etapa opcional de humedecer el suelo (1) o depósito de residuos para mejorar la cohesión de los componentes del suelo (1).

Una vez nivelado o, en ausencia de nivelación, antes de disponer una primera capa de material separador (3), se procede a compactar la superficie del suelo (1) con medios mecánicos. Si la humedad se hubiese perdido habría que humedecerlo de nuevo para lograr un mayor nivel de compactación. La compactación del residuo es importante ya que se reducen los poros por donde podría circular el agua. Lo más indicado es nivelar y compactar áreas de pequeña extensión. Si no se puede humectar la superficie del residuo previo al nivelado debido a posibles atascamientos de la maquinaria pesada, habría que nivelar, humedecer y compactar. En cualquier caso, se debe minimizar el movimiento de elementos tóxicos, siendo sobre el suelo (1) o depósito de residuos donde se decide la mejor forma de nivelado, así como las extensiones o superficies óptimas sobre las que ejecutar el nivelado.

30 Los espesores aplicados para las capas de áridos (4, 6, 8, 10, 12) primera a quinta se han determinado en función del compromiso entre la eficiencia y el coste económico, según se explicará más adelante, de tal forma que se ha ido buscando la mayor eficiencia con el menor coste económico. El rango de espesores se ha definido a partir de un valor central, en consecuencia con el criterio de eficiencia-coste expresado,

sobre el cual se aplica por arriba y por abajo un margen de seguridad de por ejemplo el 20%.

5 El material separador se emplea para impedir mezcla de las capas de áridos (4, 6, 8, 10, 12) entre sí y de la primera capa de áridos (4) con los residuos (2). El material separador empleado en los experimentos es un material geotextil laminar diseñado para su aplicación en carreteras y otras zonas de tráfico, vías férreas, movimientos de tierra, cimientos y estructuras de contención, control de la erosión, embalses y presas, construcción de canales, túneles y estructuras subterráneas, vertederos de residuos  
10 sólidos y contenedores de residuos líquidos. Los usos previstos para este tipo de material geotextil es el de filtración + separación + refuerzo + protección. El tipo concreto de geotextil utilizado en los experimentos llevados a cabo recibe la denominación PPV 50 / 300 blanco, con el marcado CE 0099/CPD/A42/0051, y fabricado 100% en polipropileno conforme a las normas Normas UNE-EN 13249,  
15 UNE-EN 13250, UNE-EN 13251, UNE-EN 13253, UNE-EN 13254, UNE-EN 13255, UNE-EN 13256, UNE-EN 13257 y UNE-EN 13265. Este material textil presenta las siguientes características técnicas:

#### Características mecánicas

- 20
- gramaje =  $300 \pm 5\%$  g/m<sup>2</sup>
  - resistencia a la tracción =  $15,4 \pm 15\%$  kN/m
  - alargamiento a la rotura en % =  $112 \pm 15\%$
  - punzonamiento estático (CBR) 2.300 - 10% N
  - perforación dinámica (caída de cono) =  $6,5 + 20\%$  mm

#### 25 Características hidráulicas

- Medida de abertura =  $75 \pm 10\%$   $\mu$ m
- permeabilidad al agua =  $10\% \pm 3-57.10$  m/s

Durabilidad prevista para un mínimo de 25 años en suelos con temperatura inferior a 25 °C y un pH comprendido entre 4 y 9.

30

Las capas de áridos (4, 8, 12) de orden impar, es decir, la primera (4), la tercera (8) y la quinta (12), que son de tipo grava, son compactadas mecánicamente, de manera preferente únicamente hasta que presentan una estabilidad adecuada, pero el empaquetamiento no debe ser tan compacto como para que los poros de los

materiales queden bloqueados. Por el contrario, las capas de áridos (6, 10) de orden par, que son del tipo arenas, y en particular la segunda (6) y la cuarta (10), son compactadas en mayor medida, para dificultar el filtrado. De manera preferente, las capas de áridos segunda (6) y cuarta (10) se compactan hasta al menos el 90% (preferentemente hasta el 100%) de un valor máximo de compactación resultante del correspondiente ensayo Proctor, según se aclarará más adelante.

Una parte muy importante de la barrera es la elección del material árido empleado, así como el sustrato que va a formar el tecnosuelo (13). En este sentido, y por cuestiones ecológicas, económicas y de comportamiento, se han elegido como materiales más idóneos para la ejecución de la barrera los denominados residuos de construcción y demolición (RCD). En la elección del material de la barrera se han tenido en cuenta propiedades del material como la conductividad hidráulica o la propia mineralogía del material. Para estudiar esas características se han llevado a cabo los ensayos que se indican a continuación; las características empleadas en el ejemplo de realización se muestran tras la información de los ensayos:

- ensayo PROCTOR: puesto que el material utilizado para las capas de áridos segunda (6) y cuarta (10), de finos, compactado presenta una menor porosidad y, por tanto presenta un menor volumen de espacios por donde circula el agua, dicha compactación reduce su conductividad hidráulica. A su vez, el grado de compactación que puede alcanzar este material depende del contenido de agua que el propio material utilizado presenta. Por tanto, se ha realizado un ensayo Proctor modificado para determinar cuál es la humedad óptima de compactación del material utilizado para las capas de áridos segunda (6) y cuarta (10), de finos, para alcanzar la máxima densidad seca. Así, se ha obtenido que la densidad máxima de compactación para los materiales de las capas de áridos segunda (6) y cuarta (10), de finos, procedentes de los residuos de construcción y demolición (RCD) es de en torno a 2.02 g/cc a una humedad de 11.98 %;
- medida de parámetros físicos de conductividad hidráulica de capas compactadas: tras conocer la compactación óptima para alcanzar la máxima densidad, hay que estimar el valor de la conductividad hidráulica en estas condiciones, para poder comprobar si se alcanza un valor del orden de  $1 \times 10^{-9} \text{m/s}$ , que es lo establecido por la normativa europea para las barreras hidráulicas. Los valores obtenidos son de



entre  $(6-56) \times 10^{-9} \text{m/s}$  para los residuos de la construcción, lo que da un idea de su potencial para ser utilizados como barreras hidráulicas que limiten la infiltración de agua al residuo. Esta característica es importante ya que la entrada de agua puede ocasionar problemas de desmoronamiento además de generar lixiviados con elevadas concentraciones de metales pesados, tales como por ejemplo, plomo, cinc y cadmio, así como de metaloides como el arsénico;

- mineralogía determinada mediante Difracción de Rayos X: el conocimiento de la mineralogía de los materiales que forman la barrera es un aspecto muy importante ya que el tipo y cantidad de minerales presentes van a determinar la capacidad de adsorción de los elementos traza. Además, proporciona información sobre la presencia de arcillas expansivas que pueden causar roturas en la propia barrera. En este sentido, en los residuos de construcción y demolición utilizados se ha constatado la ausencia de arcillas expansivas. No obstante, se realizó una prueba adicional de determinación de la presión de hinchamiento (UNE 103 602 - 96) para cuantificar la presión alcanzada por el material cuando se humecta. Los resultados fueron de 0 kPa para los residuos de construcción y demolición. Por lo tanto, estos residuos de construcción y demolición presentan características idóneas para ser usados en la fabricación de la barrera física multicapa planteada.

Características de los materiales RCD empleados en los experimentos:

- Grava (balasto de  $20 \text{ mm} < \varnothing > 40 \text{ mm}$ )
- Arenas, también denominado "Fino" ( $\varnothing < 4 \text{ mm}$ )
- Todo uno (residuos construcción y demolición, básicamente gravas y arenas con un  $\varnothing$  medio de  $4 \text{ mm}$ )
- Densidad de grava (balasto de  $20 \text{ mm} < \varnothing > 40 \text{ mm}$ ) =  $1.85 \text{ (g / cm}^3\text{)}$
- Densidad de compactación (capa de finos) =  $1.9 \text{ (g / cm}^3\text{)}$
- Densidad de todo uno (residuos construcción y demolición, básicamente gravas y arenas con un  $\varnothing$  medio de  $4 \text{ mm}$ ) =  $1.87 \text{ (g / cm}^3\text{)}$
- Masa de grava (balasto de  $20 \text{ mm} < \varnothing > 40 \text{ mm}$ )=  $1.85 \times 0.30 = 555 \text{ kg / m}^2 = 0.56 \text{ ton / m}^2$
- Masa de fino ( $\varnothing < 4 \text{ mm}$ )=  $1.90 \times 0.2 = 380 \text{ kg / m}^2 = 0.38 \text{ ton / m}^2$
- Masa de todo uno (residuos construcción y demolición, básicamente gravas y arenas con un  $\varnothing$  medio de  $4 \text{ mm}$ )=  $1.87 \times 0.3 = 561 \text{ kg / m}^2 = 0.56 \text{ ton / m}^2$

- Agua: 45.6 l / m<sup>2</sup> (para compactar sobre la base del Proctor) Geotextil 1 m<sup>2</sup> \* 5 capas = 5 m<sup>2</sup> de geotextil / m<sup>2</sup> suelo.

5 Para evaluar la idoneidad de la barrera y de su aplicación a suelos (1) o depósitos de  
residuos recuperados empleando esta barrera, se efectuaron ensayos donde se  
adquirieron datos de flujos hídricos, tales como temperatura, humedad y conductividad  
eléctrica en la barrera, durante algo más de un año (desde febrero de 2011 hasta  
marzo de 2012). Los resultados de dichos ensayos muestran que las capas de áridos  
10 (4, 6, 8, 10, 12) más superficiales están sometidas a fuertes oscilaciones diarias,  
mientras que las temperaturas de los residuos, elementos o compuestos  
contaminantes (2) y de las capas de áridos (4, 6, 8, 10, 12) más profundas son más  
estables. La característica más notable es que se observan correlaciones en las  
oscilaciones de temperatura en todo el perfil, independientemente de la profundidad.  
Sin embargo, este hecho no ocurre con la humedad.

15

Se ha obtenido asimismo que, en las condiciones de los ensayos, el agua ha  
percolado por alguna de las capas de áridos (4, 6, 8, 10, 12) más superiores de la  
barrera sólo tras episodios de lluvia superiores a 25 mm/día, quedando desde  
mediados de marzo hasta la finalización del proyecto aislada de las precipitaciones. Es  
20 destacable que la barrera ha evitado la infiltración de agua incluso en otoño. Mientras  
que las capas de áridos (4, 6, 8, 10, 12) más superficiales registran valores de  
contenido de humedad menor del 5% y una tendencia a disminuir mientras avanza el  
verano, las capas de áridos (4, 6, 8, 10, 12) más profundas y el propio residuo se  
mantienen húmedos, lo cual pone de manifiesto la desconexión hidráulica entre los  
25 residuos, elementos o compuestos contaminantes (2) y las capas de áridos (4, 6, 8,  
10, 12) más superiores, con lo que se comprueba que el flujo de metales disueltos o  
arrastrados por el agua se ha cortado.

De este modo, se ha comprobado que, empleando la barrera descrita, los residuos,  
30 elementos o compuestos contaminantes (2), y en particular los metales, no disponen  
de mecanismo de transporte hacia la superficie ni hacia el suelo (1) o depósito de  
residuos subyacente, lo cual se percibe por la ausencia de costras de sales metálicas  
en la superficie del suelo técnico (13), además de por la falta de humedad en las

capas inferiores de áridos (4, 6, 8, 10, 12). Por tanto, se ha comprobado que la barrera ejerce una disminución del flujo de agua hacia los residuos, elementos o compuestos contaminantes (2) y una ruptura completa del flujo ascendente y descendente de agua tanto en primavera y verano, como en otoño e invierno.

5

De acuerdo con la figura 2, como medida de control de la efectividad de la barrera física capilar diseñada, se ha aplicado un criterio de estudiar la movilidad de un determinado elemento a través de las barreras aplicadas. En concreto, la figura 2 representa las isotermas de adsorción de Freundlich (20) y Langmuir (21), asociadas al material RCD, para el caso de un contaminante seleccionado, en particular el cadmio. En las isotermas de Freundlich (20) y Langmuir (21) se representan las cantidades de cadmio adsorbidas (en microgramos) frente a la concentración de equilibrio de cadmio (en microgramos por litro).

10

15

En este sentido, conviene destacar que el cadmio es uno de los elementos con mayor movilidad potencial, de tal forma nos puede servir como control de las medidas adoptadas. A este respecto, en restauraciones de antiguas explotaciones de minería metálica se ha comprobado, tras el análisis sobre la red trófica, que existe una transferencia real a la fauna y flora incluso en zonas reforestadas años atrás, lo cual prueba la falta de efectividad de las soluciones aplicadas anteriormente, que contemplaban una única capa, cuanto más espesa mejor, de materiales de tipo calizo. Los datos de adsorción de un compuesto a una matriz se requieren para propósitos como el estudio de la atenuación de los contaminantes y los cálculos de los parámetros requeridos en ecuaciones de transporte. En este sentido, se ha realizado un ensayo para estimar la capacidad de retención que presentan los RCD utilizados para la fabricación de la barrera física capilar, utilizando para ello la isoterma ambiental conservativa de adsorción siguiendo las recomendaciones de la EPA.

20

25

30

La figura 2 también muestra un detalle ampliado para la zona en que la concentración de equilibrio de cadmio está por debajo de 400 µg/l, para la cual las isotermas de Freundlich (20) y Langmuir (21) prácticamente coinciden.

Se aprecia en la figura 2 un ajuste no lineal de la isoterma de adsorción de Freundlich (20), que proporciona un valor para  $K = 6:586 \text{ l/gr}$  y para  $n = 1.142$  con un  $r^2 = 0.977$ ,

de lo que se deduce que la isoterma es no lineal. Los parámetros que aporta el ajuste de los datos al modelo de Langmuir son  $K = 0.00058 \text{ l}/\mu\text{g}$  y  $M = 6655.002 \mu\text{g/g}$  con un  $r^2 = 0.997$ . Este modelo también implica un comportamiento de adsorción no lineal, pero en este modelo el parámetro M actúa como una asíntota, lo que equivale a decir que los RCD podrían llegar a retener un máximo de 6655  $\mu\text{g}$  de Cd por g de RCD. Por tanto los RCDs pueden llegar a retener una cantidad de Cd elevada y evitar su movilidad al quedarse adsorbidos en la barrera.

En cualquier caso, hay que destacar que si bien el efecto más importante de la barrera planteada es el de minimizar los flujos hídricos, no hay que desdeñar tampoco la utilidad de este diseño experimental a la hora de reaccionar con algunos elementos móviles como el cadmio, según se acaba de comentar, a los que por virtud de su mineralogía y propiedades físico-químicas asociadas pueden llegar a inmovilizar de forma efectiva y en grandes cantidades.

15

#### EXPLICACIÓN DE LOS EXPERIMENTOS

Como paso previo a la construcción de la barrera en campo se ha llevado a cabo la comprobación experimental de su efectividad mediante experimentos en columnas, cuyos resultados se comentan a continuación con ayuda de las figuras 3A a 3E.

20

A este respecto, se refieren ensayos efectuados sobre cuatro tipos diferentes de barreras, dos de ellas con tres capas (figuras 3B y 3D) y otras dos con cinco capas (figuras 3A y 3C), más un control (figura 3E) en el que se utilizó una única capa de áridos finos, sin capas intermedias de gravas o materiales gruesos, en la que se tomaron medidas a dos distancias sobre lo que se correspondería sobre la superficie del suelo (1) o depósito de residuos.

25

En las figuras 3A-3E se puede observar el comportamiento de los distintos experimentos que se han llevado a cabo para establecer la disposición de capas más óptima dentro de la barrera. El experimento ha consistido, en todos los casos, en la saturación con agua desde la parte inferior de la columna con una serie de capas alternadas de materiales finos y gruesos, en diferentes disposiciones de forma paralela separadas por correspondientes láminas de material separador. Se ha ensayado

30

asimismo una columna control, sin barrera, al objeto de poder evaluar la ascensión capilar en ausencia de la citada barrera capilar, que se representa en la figura 3E.

5 En las figuras 3A-3E se puede observar el comportamiento de las diversas configuraciones de capas ensayadas. El eje X representa el tiempo en horas, mientras que el eje Y representa la humedad volumétrica en porcentaje. La humedad volumétrica representa el volumen de agua presente en relación al volumen total de poros. Así, una humedad de un 100% indica que el 100% de los espacios porosos están saturados de agua, mientras que un 0% indicaría la ausencia total de agua en  
10 los espacios porosos.

La línea horizontal (16) que aparece en cada gráfico representa la humedad volumétrica media ( $\Theta = 0,37\%$ ) que alcanza el material RCD por capilaridad en el grado de compactación máximo (máxima densidad proctor). Las figuras 3A a 3E  
15 comprenden gráficas que representan la variación de humedad experimentada por cada una de las capas de áridos segunda (6) y cuarta (10), de finos, de tipo arena, en la configuración correspondiente, donde dicha variación de humedad se ha detectado por medio de las correspondientes sondas hidraprobe (no mostradas) (ubicados en la capa correspondiente. Así, se aprecia lo siguiente en las figuras 3A a 3E:

20 - primeras gráficas (17), que muestran, en todas las figuras 3A-3D, el comportamiento del grado de saturación, o humedad de la sonda ubicada en la capa de finos más cercana a la lámina de agua inferior, es decir, a la capa de áridos finos dispuesta más inferiormente. En la figura 3D, esta representación se corresponde con la única capa de finos presente en la configuración correspondiente;

25 - segundas gráficas (18), que muestran, en las figuras 3B, 3C y 3E, el comportamiento del grado de saturación, o humedad de la sonda ubicada en la capa de finos más alejada a la lámina de agua inferior, es decir, a la capa de áridos finos dispuesta más superficialmente. Para el caso de la gráfica 3A esta representación se corresponde con la capa intermedia de áridos finos dispuesta en la configuración correspondiente.

30 - por su parte, una tercera gráfica (19) muestra en la figura 3A el comportamiento del grado de saturación, o humedad de la sonda ubicada en la capa de finos más alejada a la lámina de agua inferior, es decir, a la capa de áridos finos dispuesta más

superficialmente, teniendo en cuenta que en esta configuración hay 3 capas de áridos finos.

5 Dentro de las distintas configuraciones, las correspondientes a la figura 3A “5 capas con 3 de material fino”, la figura 3B “3 capas con 2 de material fino” y la figura 3E “sin barrera”) muestran que la primera capa que se encuentra en contacto con la lámina de agua, se satura rápidamente, alcanzando el valor máximo medio de humedad. En el control (“sin barrera”), se puede ver que la primera capa y la segunda se van saturando con agua.

10

Igualmente, se ha observado cómo en las configuraciones correspondientes a las figuras 3A y 3B, es decir respectivamente “5 capas con 3 de material fino” y “3 capas con 2 de material fino”, la segunda capa de finos permanece con humedad constante, por lo que se puede comprobar que se ha dado una ruptura del flujo capilar de agua.

15

A su vez, en la configuración correspondiente a la figura 3A “5 capas con 3 de material fino”, si bien la tercera capa presenta mayor humedad, lo importante es que no se produce ningún incremento. En este caso, la mayor humedad observada se debe, muy probablemente, a que en el momento de la compactación a su máxima densidad (proctor) se ha debido emplear una mayor cantidad de agua. En cualquier caso, lo que se quiere probar es la ausencia de un aumento en la humedad y en este sentido los resultados han probado ser satisfactorios.

20

Por otro lado, las configuraciones correspondientes a la figura 3C “5 capas con 2 de material fino” y 3D “3 capas con 1 de material fino” representan las columnas cuya primera capa está constituida por una capa de grueso. La primera observación muestra cómo esta configuración dificulta más la ascensión del agua. Sin embargo, cuando sólo hay una capa de finos, es decir, en la figura 3D “3 capas con 1 de material fino”, con el paso del tiempo la humedad consigue ascender, si bien a menor tasa, pero es de suponer que durante largos periodos de tiempo podría incluso a llegar al punto de saturación.

25

30

Al comparar la configuración de la figura 3A “5 capas con 3 de material fino” (FGFGF) y la figura 3C “5 capas con 2 de material fino” (GFGFG), se observa cómo las capas centrales de la barrera permanecen aisladas, si bien resulta preferible la opción de la figura 3C “5 capas con 2 de material fino” ya que los movimientos totales de agua son menores.

Por tanto, a la luz de todo lo anterior, se puede concluir que la configuración más eficiente desde el punto de vista del aislamiento frente a la saturación y penetración hídrica, es decir en la que se dan menos cambios en el contenido de humedad de la barrera, es la que coincide con la configuración representada en la figura 3C “5 capas con 2 de material fino”, en donde la disposición de capas es GFGFG. En consecuencia, esta ha sido la configuración elegida como disposición final al ser la más óptima para los fines propuestos.

15

**REIVINDICACIONES**

1.- Procedimiento de instalación, en un suelo (1) o depósito de residuos, con elementos o compuestos contaminantes (2), de una barrera física multicapa para interrumpir flujos hídricos verticales, procedimiento caracterizado por que comprende las siguientes etapas:

5 - disponer, sobre el suelo (1) o depósito de residuos, una primera capa de material separador (3);

10 - disponer, sobre la primera capa de material separador (3), una primera capa de áridos (4), que comprende gravas;

- disponer, sobre la primera capa de áridos (4), una segunda capa de material separador (5);

- disponer, sobre la segunda capa de material separador (5), una segunda capa de áridos (6), que comprende arenas;

15 - compactar la segunda capa de áridos (6), para dificultar filtraciones;

- disponer, sobre la segunda capa de áridos (6), una tercera capa de material separador (7);

- disponer, sobre la tercera capa de material separador (7), una tercera capa de áridos (8), que comprende gravas;

20 - disponer, sobre la tercera capa de áridos (8), una cuarta capa de material separador (9);

- disponer, sobre la cuarta capa de material separador (9), una cuarta capa de áridos (10), que comprende arenas;

- compactar la cuarta capa de áridos (10), para dificultar filtraciones;

25 - disponer, sobre la cuarta capa de áridos (10), una quinta capa de material separador (11); y

- disponer, sobre la quinta capa de material separador (11), una quinta capa de áridos (12), que comprende gravas;

30 donde el material separador está configurado para evitar mezcla de materiales entre el suelo (1) o depósito de residuos y la primera capa de áridos (4), así como entre cada par de capas de áridos (4, 6, 8, 10, 12) consecutivas.

2.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que comprende adicionalmente una etapa previa de nivelar el suelo (1) o depósito de residuos para



proporcionar una pendiente descendente hacia el contorno exterior del suelo (1) o depósito de residuos.

5 3.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado por que la pendiente está comprendida entre el 2 y el 6%.

4.- Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, caracterizado por que comprende una etapa adicional de compactar el suelo (1) o depósito de residuos antes de aplicar la primera capa de separador (3).

10

5.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que comprende etapas adicionales de compactar la primera capa de áridos (4), la tercera capa de áridos (8) y la quinta capa de áridos (12) para mejorar su estabilidad.

15

6.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que la compactación de la segunda capa de áridos (6) y de la cuarta capa de áridos (10) es llevada a cabo hasta un valor no inferior al 90% del valor máximo de compactación resultante del correspondiente ensayo Proctor.

20

7.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que comprende adicionalmente las siguientes etapas:

- disponer, sobre la quinta capa de áridos (12), un suelo técnico (13); y
- disponer sobre el suelo técnico (13) una cubierta vegetal (14).

25

8.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizado por que el suelo técnico (13) comprende una sexta capa de áridos triturados de tipo todo uno.

30

9.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que los áridos de las capas de áridos (4, 6, 8, 10, 12) se obtienen a partir de residuos de construcción y demolición (RCD).

10.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el espesor conjunto de la primera capa de áridos (4), la segunda capa de áridos (6), la tercera capa de áridos (8), la cuarta capa de áridos (19), y la quinta capa de áridos

(12) está comprendido entre 40 y 60 cm.

5 11.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado por que el espesor individual de la primera capa de áridos (4), la segunda capa de áridos (6), la tercera capa de áridos (8), la cuarta capa de áridos (19), y la quinta capa de áridos (12) está comprendido entre 8-12 cm.

10 12.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que las capas de material separador comprenden láminas de material geotextil.

13.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que al menos una de la la segunda capa de áridos (6) y la cuarta capa de áridos (10) adicionalmente comprende limos y/o arcillas.

15 14.- Barrera física multicapa para interrumpir flujos hídricos verticales en un suelo o depósito de residuos con elementos o compuestos contaminantes susceptibles de ser movilizadas por el agua, caracterizada por que es directamente obtenible por medio del procedimiento descrito en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

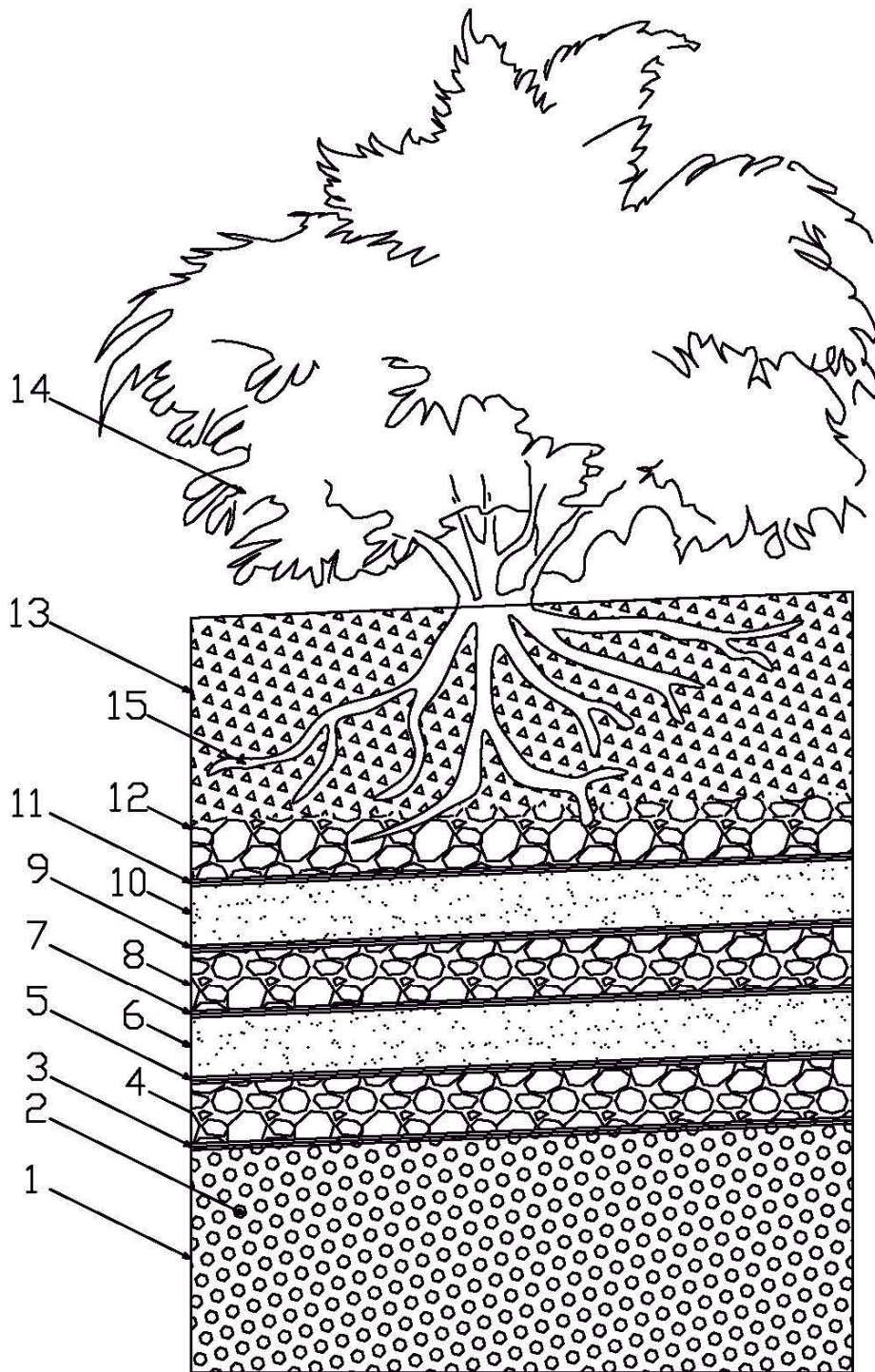


FIG. 1

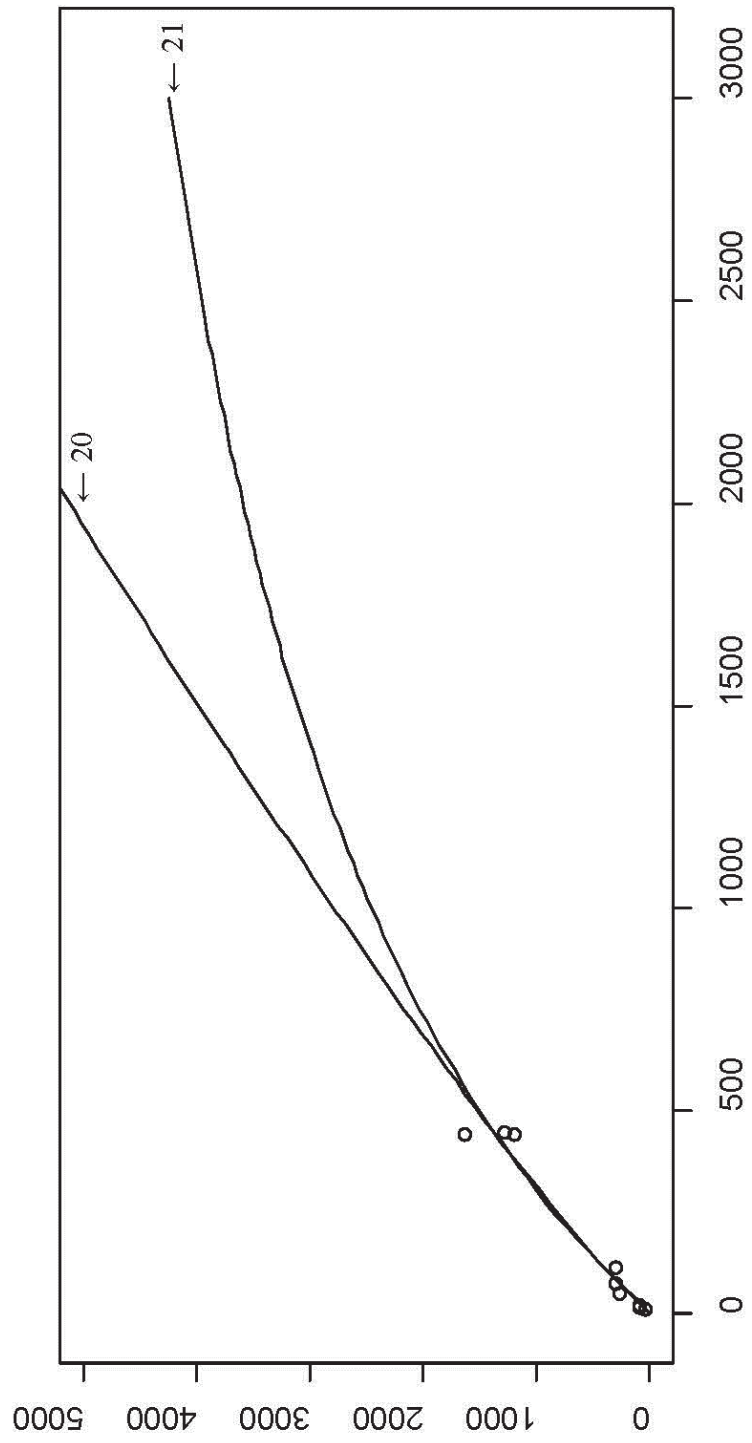


FIG. 2

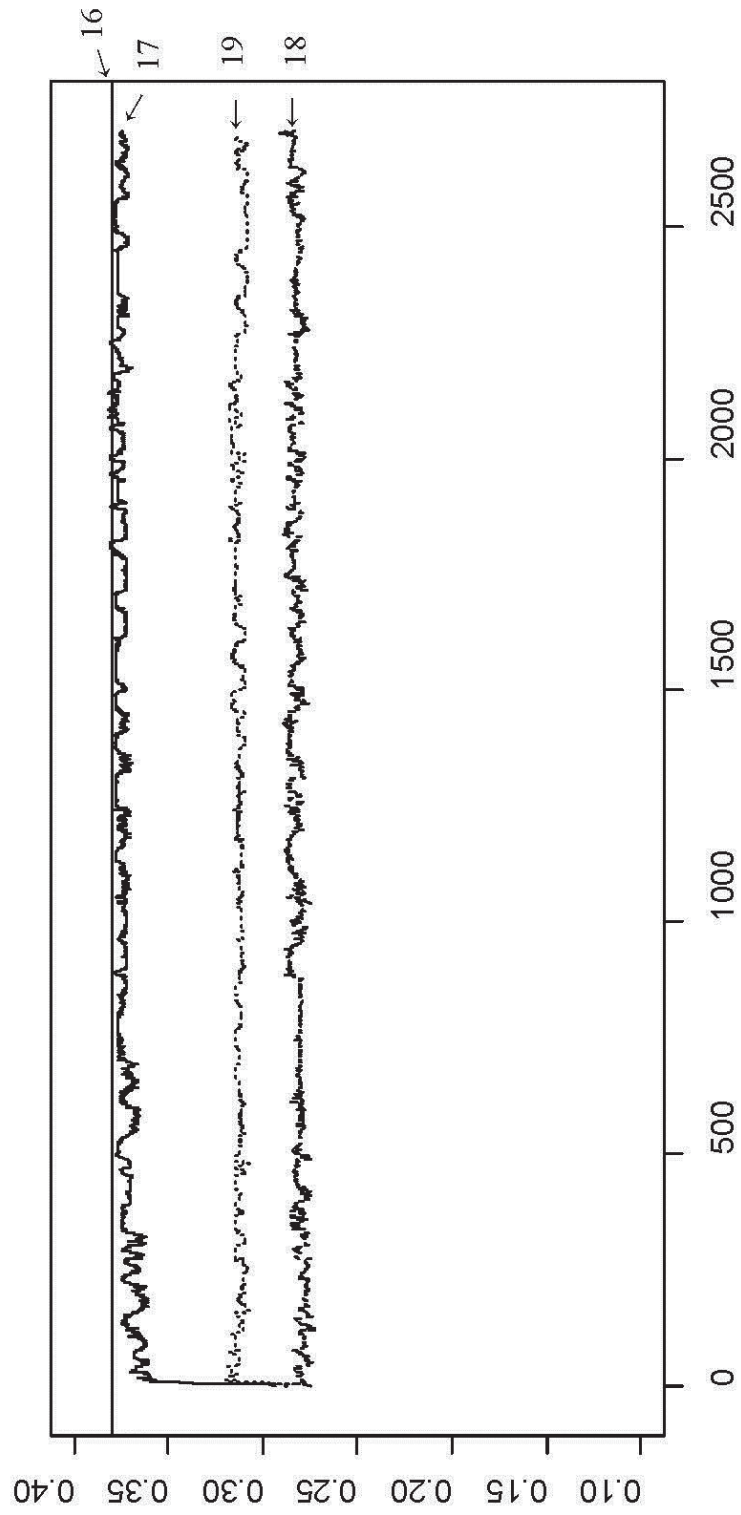


FIG. 3A

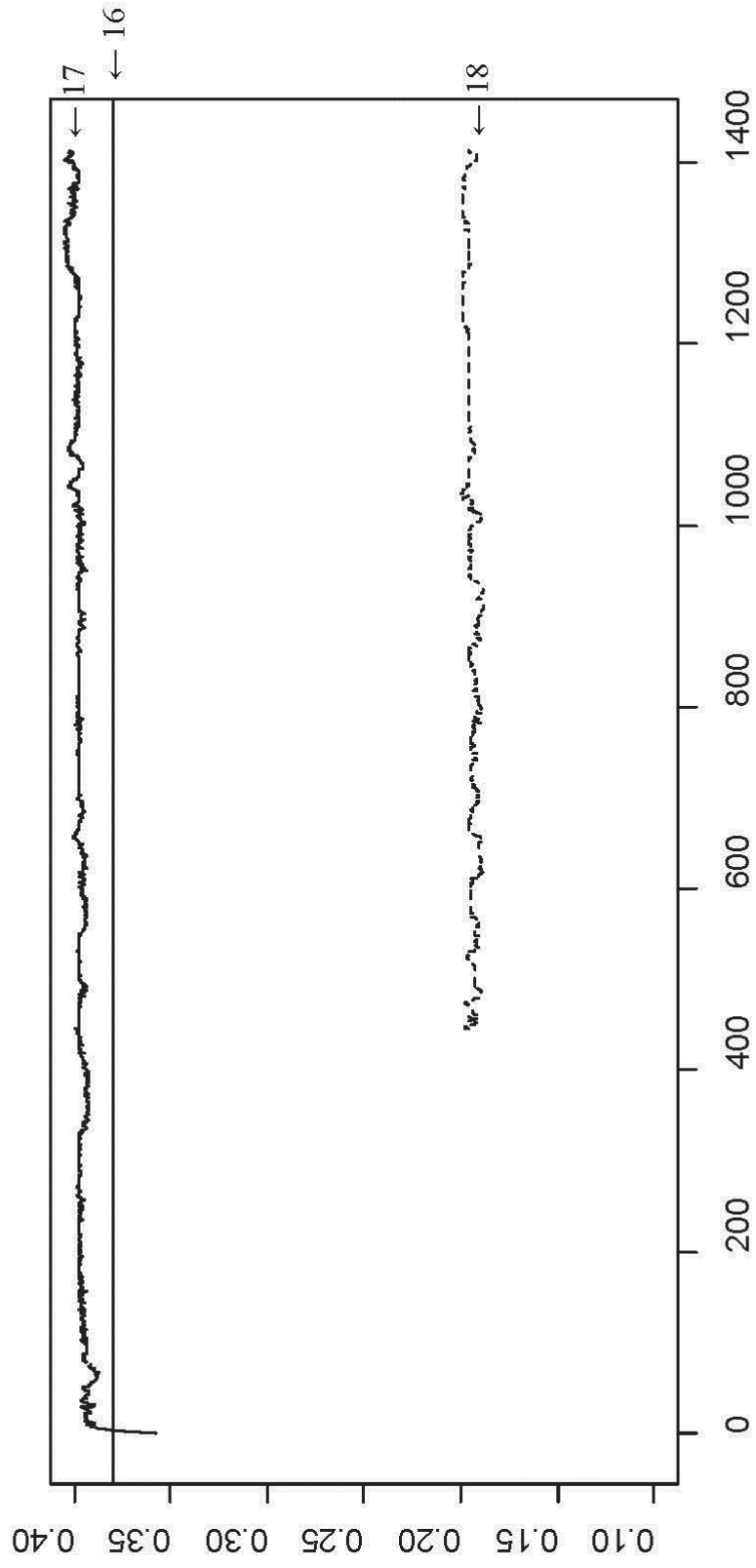


FIG. 3B

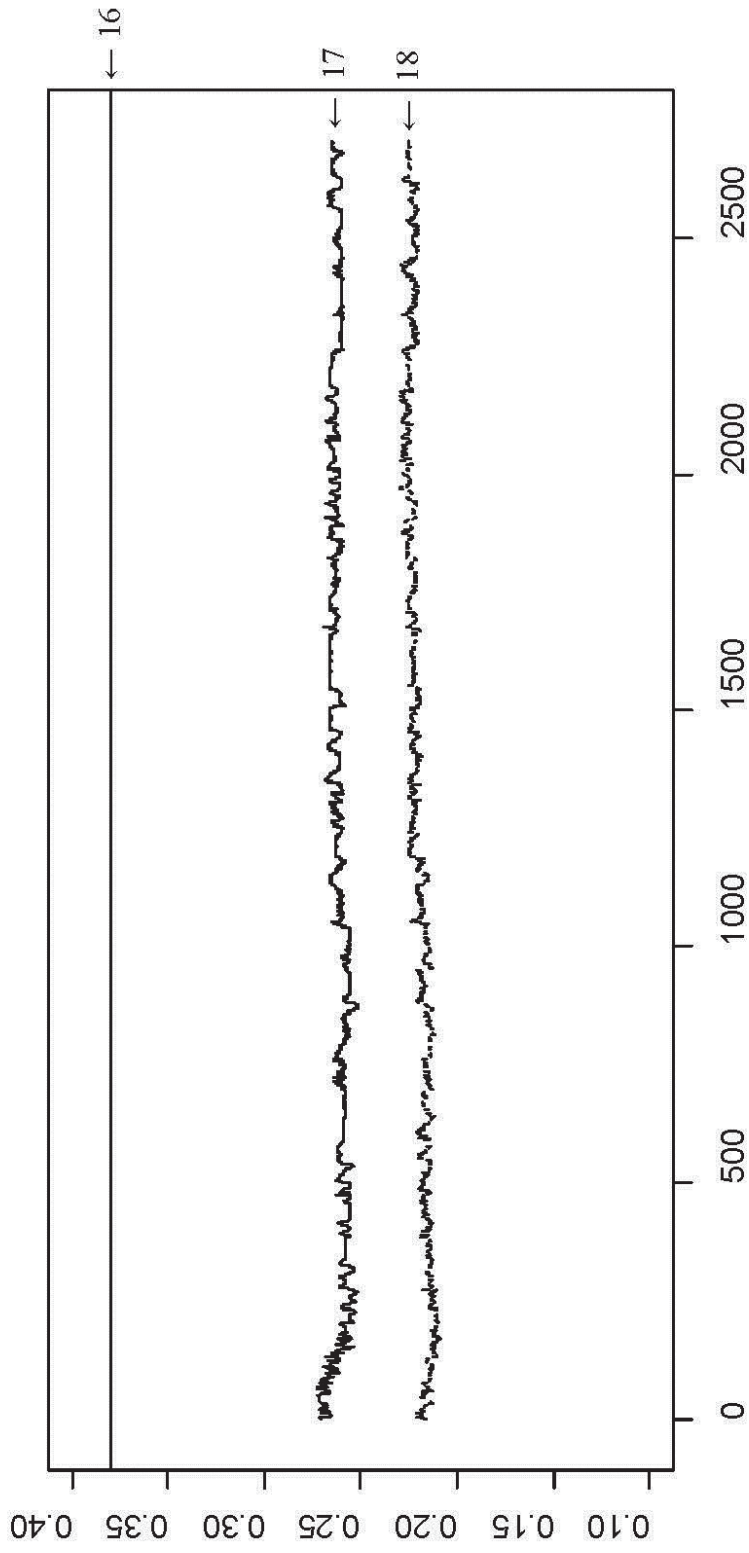


FIG. 3C

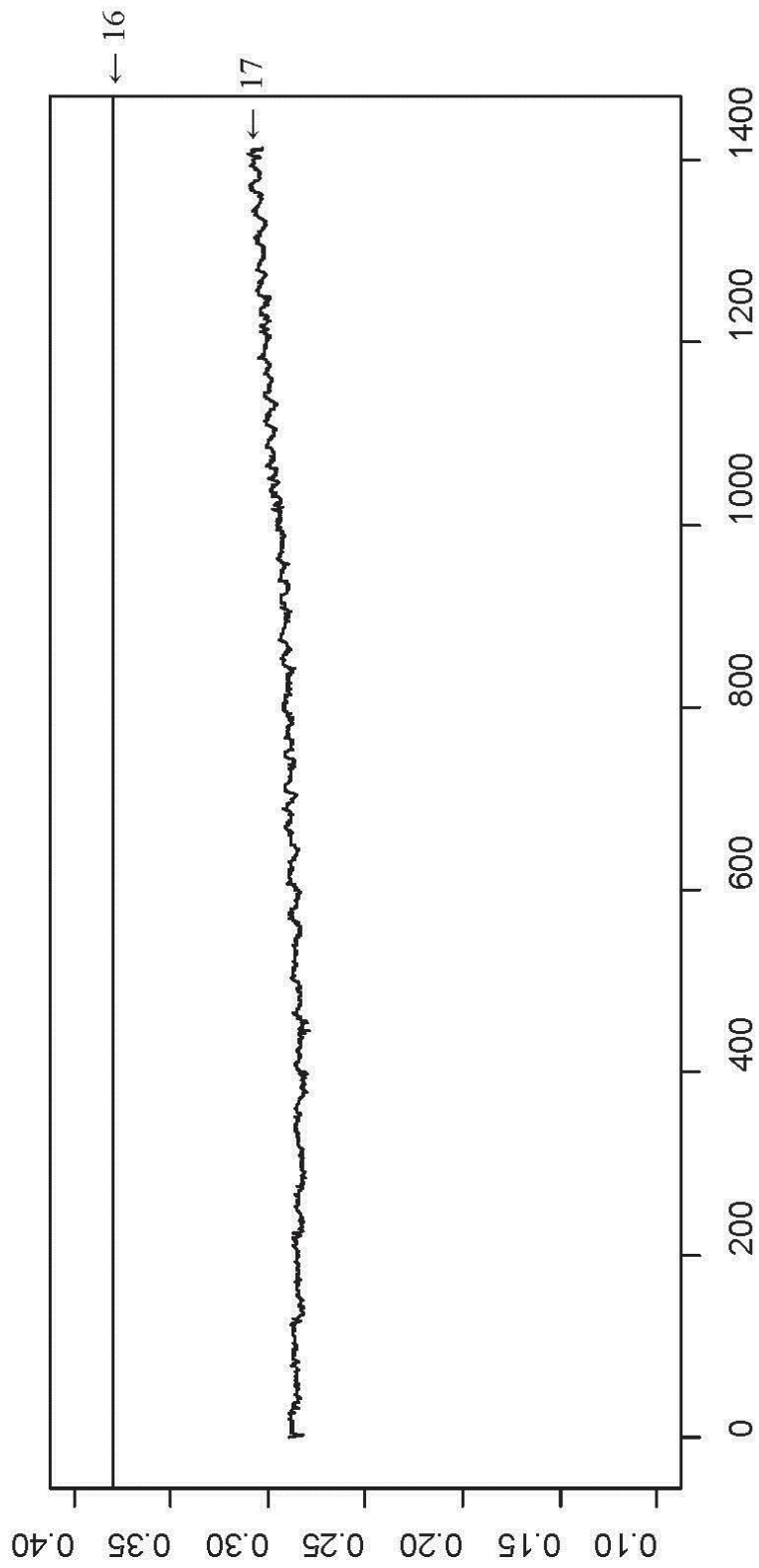


FIG. 3D



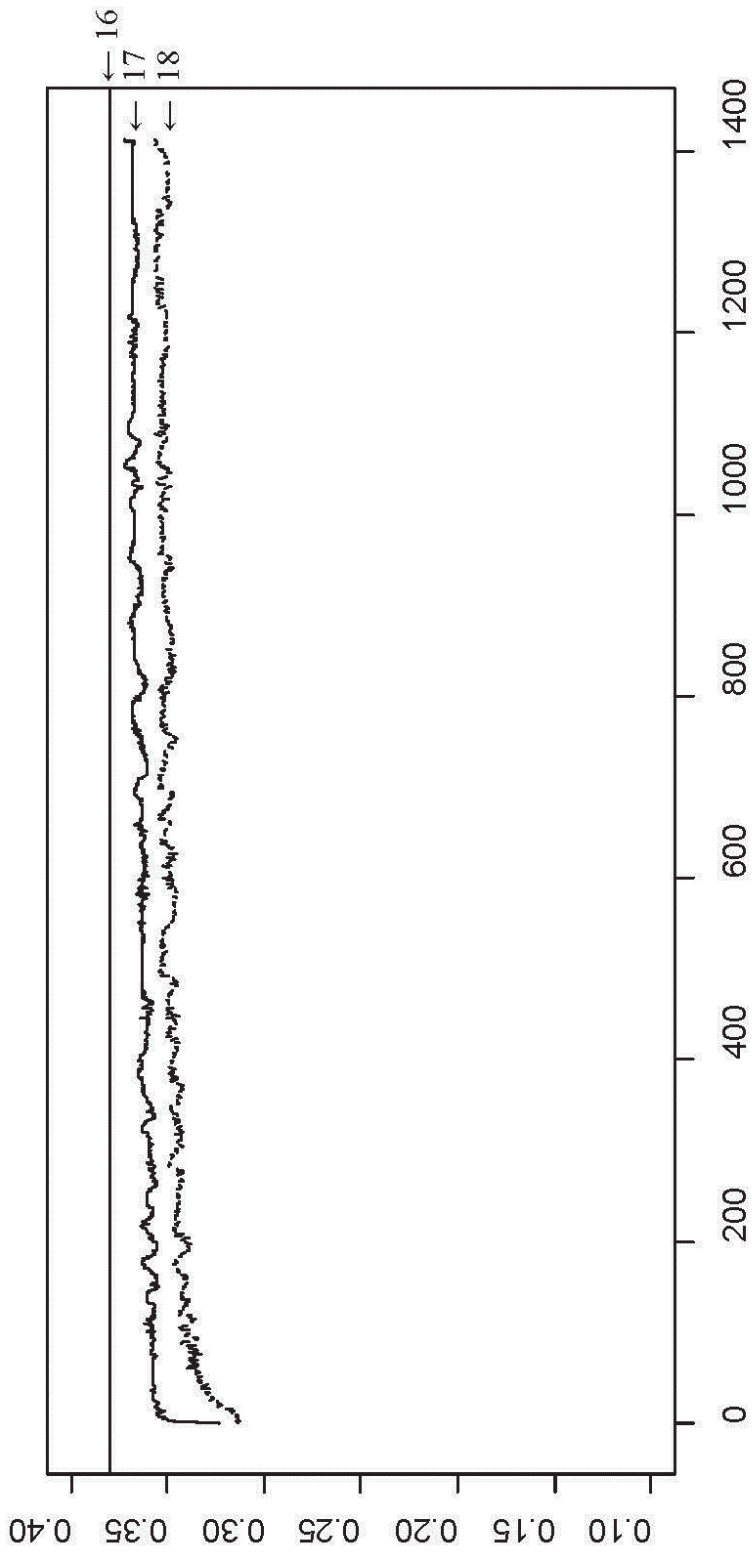


FIG. 3E



- ②① N.º solicitud: 201531013  
②② Fecha de presentación de la solicitud: 10.07.2015  
③② Fecha de prioridad:

### INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

#### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 5915881 A (WILLIAMS JERALD R) 29.06.1999, todo el documento.	1-14
A	CN 202849891 U (CHINA RAILWAY 21ST BUREAU GROUP CO LTD) 03.04.2013, todo el documento.	1-14
A	JP 2006021117 A (KAJIMA CORP) 26.01.2006, todo el documento.	1-14
A	DE 29807878 U1 (SRS DEPONIEBAU GMBH) 20.08.1998, todo el documento.	1-14

**Categoría de los documentos citados**

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

**Fecha de realización del informe**  
23.11.2015

**Examinador**  
C. Alonso de Noriega Muñiz

**Página**  
1/4

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

**B09B1/00** (2006.01)

**C09K17/02** (2006.01)

**E02D31/00** (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

B09B, C09K, E02D

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 23.11.2015

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-14	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-14	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 5915881 A (WILLIAMS JERALD R)	29.06.1999
D02	CN 202849891 U (CHINA RAILWAY 21ST BUREAU GROUP CO LTD)	03.04.2013
D03	JP 2006021117 A (KAJIMA CORP)	26.01.2006
D04	DE 29807878 U1 (SRS DEPONIEBAU GMBH)	20.08.1998

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

La solicitud se refiere a un procedimiento de instalación, en un suelo o depósito de residuos contaminado con elementos o compuestos tóxicos, de una barrera física multicapa para interrumpir flujos hídricos verticales en dicho emplazamiento.

El objeto técnico que pretende resolver es establecer un sellado, que impida la penetración o salida de soluciones acuosas que porten elementos contaminantes existentes en los suelos o depósitos de residuos generados como consecuencia de explotaciones industriales, como por ejemplo las mineras. Para ello La barrera es una barrera multicapa elaborada por disposición sucesiva de capas de áridos de distinta granulometría, de tal forma que, al funcionar como una barrera física capilar, actúa interrumpiendo los flujos hídricos con componente vertical, tanto ascendentes como descendentes.

Esta barrera actúa sobre el flujo capilar que se produce entre los suelos y/o residuos contaminantes y las capas de sellado que los cubren, de tal forma que a través de una disposición alterna de materiales de mayor y menor granulometría, se consigue interrumpir dicho flujo y, por tanto, se logra un sellado y un aislamiento efectivos de los elementos y/o compuestos contaminantes, que usualmente están cargados de metales y otras sustancias capaces de tener movilidad vertical asociada a estos flujos capilares.

El documento D01 divulga un método de creación de una cubierta protectora útil para tapar un agregado de materiales que se encuentran en los vertederos sanitarios, sitios de desechos tóxicos, y las áreas de residuos minerales con el propósito de impedir que esos materiales contaminen el medio ambiente circundante. La cubierta puede estar compuesta de un material básico a partir de la mezcla de cantidades diversas de material arenoso con una solución hidratada de una arcilla hinchable en agua (bentonita de sodio). La cubierta instalada puede estar configurada para formar una estructura única y / o un estructura multicapa en la que las capas individuales tienen diferentes formulaciones de la mezcla descrita.

El documento D02 describe una estructura de drenaje de barrera capilar de material compuesto geotextil que comprende de arriba a abajo y en secuencia una capa de transporte, una capa de barrera capilar y una capa de aislamiento, donde la capa de transporte y la capa de aislamiento son geotextiles no tejidos de diferentes especificaciones. La capa de barrera capilar es una geomalla; que evita que las filtraciones en el suelo por encima de la capa de barrera capilar entren en el suelo de cimentación situado por debajo; el agua recogida en la capa de transporte se drena a lo largo de la pendiente; y la capa de aislamiento se usa principalmente para prevenir que el suelo por debajo de la barrera entre en los agujeros en la capa de barrera capilar y al mismo tiempo para drenar el agua capilar ascendente en el suelo de cimentación.

El documento D03 divulga una estructura de recubrimiento del suelo en una planta de eliminación final de los residuos capaz de lograr la permeabilidad al aire e impermeabilidad al agua mediante una estructura simple, en la que solamente se coloca una capa con función de barrera capilar. La estructura está formada con un lecho de revestimiento de suelo o similar, de modo que incluya una parte permeable al agua y una parte de barrera de agua, donde el lecho está constituido por una capa de tierra de grano grueso formada sobre un lecho de desechos a fin de proporcionar un gradiente, una lámina o capa resistente al agua pero permeable al aire encima de la capa de suelo de grano grueso y provisto de una parte que permite el paso del agua formada de un gran número de pequeños agujeros tachonados y una capa de suelo de grano fino formada sobre la lámina impermeable al agua y permeable al aire

El documento D04, divulga un sistema de sellado de la superficie de un vertedero de residuos que consiste en una capa de sellado de suelo ligado, consolidado e inmovilizado que cubre una capa de nivelación, preferiblemente de material del suelo, aplicada sobre el vertedero de residuos. El material del suelo puede incluir al menos parcialmente suelo contaminado y está ligado preferiblemente de forma hidráulica con cal y / o cemento o ligado con ceniza, escoria, polvo de arcilla, vidrio soluble, una emulsión, cera, resina y/o residuos de reciclado de metales.

Ninguno de los documentos encontrados en el estado de la técnica reúne las características de la primera reivindicación de la invención. Por otro lado, no sería obvio para una persona experta en la materia aplicar las características de los documentos citados para llegar a la invención tal como se revela en las reivindicaciones R1 a R14. Por lo tanto, el objeto de estas reivindicaciones cumple los requisitos de novedad, actividad inventiva de acuerdo con **los Artículos 6 y 8 de la Ley de Patentes 11/86**