



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 330 333**

51 Int. Cl.:  
**B09C 1/06** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04447142 .3**

96 Fecha de presentación : **11.06.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1604749**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **14.12.2005**

54 Título: **Procedimiento y sistema para la limpieza de un suelo que contiene contaminantes.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**09.12.2009**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**09.12.2009**

73 Titular/es: **D2G**  
**rue Anna Boch 34**  
**7100 La Louvière, BE**

72 Inventor/es: **Haemers, Jan;**  
**Zwaan, Harry;**  
**Barbay, John y**  
**Falcinelli, Ugo**

74 Agente: **Zea Checa, Bernabé**

ES 2 330 333 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema para la limpieza de un suelo que contiene contaminantes.

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere al campo de la recuperación del suelo. La invención se refiere a procedimientos y sistemas para la limpieza de suelos que contienen contaminantes, y más concretamente a un procedimiento y a un sistema para volatilizar contaminantes del suelo por conducción térmica y eliminar con eficacia y de manera eficiente estos contaminantes del suelo. El procedimiento y el sistema se caracterizan en particular en que por lo menos parte de la energía térmica que se obtiene tratando los contaminantes del suelo se recupera y se reutiliza en el procedimiento o sistema.

**Antecedentes**

La contaminación del suelo de la superficie y próxima a la superficie ha sido un tema de gran preocupación en muchos lugares. El suelo puede llegar a contaminarse con contaminantes químicos, biológicos, y/o radiactivos. Vertidos de material, fugas en depósitos de almacenamiento, y filtración en vertederos de materiales desechados incorrectamente son sólo algunos ejemplos de las muchas maneras en las que el suelo puede llegar a contaminarse. Si se dejan en el lugar, muchos de estos contaminantes llegarán a acuíferos, al aire, o al suministro de alimentos, y podría ser un peligro de salud pública.

Para la eliminación de los contaminantes subsuperficiales se han propuesto muchos procedimientos tales como excavación seguida de incineración, vitrificación *in situ*, tratamiento biológico, aditivos químicos para la desactivación, calentamiento por radiofrecuencia, etc. Aunque tienen éxito en algunas aplicaciones, estos procedimientos pueden resultar muy costosos y no son prácticos si hay que tratar muchas toneladas de suelo.

Un procedimiento que puede utilizarse para eliminar contaminantes del suelo subsuperficial es un proceso de extracción de vapor del suelo. En dicho procedimiento se aplica vacío al suelo para aspirar aire y vapor a través del suelo subsuperficial. El vacío puede aplicarse en una interfaz suelo/aire, o el vacío puede aplicarse a través de unos pozos de vacío dispuestos dentro del suelo. El aire y el vapor pueden arrastrar y llevar contaminantes volátiles hacia la fuente de vacío. El gas extraído del suelo por el vacío que incluye contaminantes que se encontraban dentro del suelo se transporta entonces a unas instalaciones de tratamiento en las cuales es procesado para eliminar o reducir contaminantes a unos niveles aceptables.

Para aumentar la eficacia de un proceso de extracción de vapor del suelo puede utilizarse la desorción térmica *in situ*. La desorción térmica *in situ* implica el calentamiento *in situ* del suelo para elevar la temperatura del suelo a la vez que se elimina simultáneamente el gas del suelo. El calor que se aplica al suelo contaminado puede elevar la temperatura del suelo por encima de las temperaturas de vaporización de los contaminantes del suelo y provocar que los contaminantes se evaporen. El vacío aplicado al suelo permite extraer el contaminante evaporado del suelo.

Un procedimiento para calentar el suelo que contiene contaminantes comprende la inyección de un fluido caliente al suelo. Dicho procedimiento es, por ejemplo, el que se describe en la patente americana nº 6.000.882. El procedimiento descrito consiste en introducir un sistema de tubos perforados en el suelo. A través de los tubos se envía una corriente de aire caliente. El aire caliente se inyecta al suelo a través de unas perforaciones en los tubos y se elimina en una unidad de tratamiento de gas. Sin embargo, un importante inconveniente de este tipo de procedimiento es que la inyección de aire caliente al suelo es propensa a crear trayectorias de flujo de vapor en el suelo. En consecuencia, el aire caliente no se distribuye homogéneamente en el suelo contaminado, sino que más bien se acumula en su nivel de inyección en el suelo; es decir, en las perforaciones de los tubos y alrededor de las mismas.

Otra manera de calentar el suelo consiste en calentar el suelo por conducción térmica. El calentamiento por conducción térmica del suelo contaminado en combinación con la eliminación de gases contaminantes de suelo utilizando un sistema de extracción de vapor es antiguo en la técnica.

Se han aplicado capas térmicas y/o calefactoras de tierra que se disponen sobre el suelo contaminado para calentar por conducción un suelo. La patente americana US 5.169.263, por ejemplo, describe un sistema de descontaminación en el que el suelo contaminado se cubre con un elemento calefactor. El calor generado en la superficie del suelo se transmite hacia abajo por conducción y convección hacia el suelo. A medida que se eleva la temperatura del suelo, los contaminantes se evaporan y fluyen hacia los tubos perforados dispuestos en el suelo contaminado. El flujo de vapor contaminante a través de los tubos se ve favorecido por medios de reducción de la presión, típicamente una bomba de vacío, que actúan en cooperación con los tubos para reducir la presión en los tubos o alrededor de los mismos. Sin embargo, un inconveniente de dicho procedimiento es que la permeabilidad del suelo puede limitar la eficacia del proceso de calentamiento de modo que el calor no se distribuye homogéneamente en el suelo contaminado.

Alternativamente, se han descrito sistemas en los que el calentamiento térmico por conducción del suelo puede incluir el calentamiento (eléctricamente) resistivo de un revestimiento del pozo, lo que calienta por conducción el suelo de alrededor. Puede aplicarse una fuente de vacío simultánea o separada.

En la patente americana 5.244.310, por ejemplo, se describe un procedimiento y un sistema para la recuperación de suelo contaminado, en el cual se aplica un bastidor al que se conecta una pluralidad de elementos calefactores y unos elementos de recogida de vapor. Los elementos calefactores se calientan por medio de la energía eléctrica suministrada de una fuente de alimentación, y el calor se transmite por conducción y convección al suelo que rodea los elementos.

Un sistema de extracción de vacío se conecta a los elementos de recogida de vapor y pone los elementos bajo presión negativa, de manera que el vapor contaminante puede recogerse y extraerse del suelo a través de los elementos de recogida de vapor.

De US2002/0018697 se conoce un sistema de recuperación de suelos en el que puede transferirse calor al suelo desde unos elementos calefactores metálicos descubiertos calentados por resistencia. Los elementos calefactores pueden disponerse dentro del suelo. El sistema comprende, además, un sistema de recogida de vapor que consiste en una pluralidad de tubos conectados a un sistema de vacío para proporcionar vacío al suelo y para eliminar el gas del suelo.

La patente US 5.318.116 describe sistemas de desorción térmica *in situ* y procesos para tratar suelo subsuperficial contaminado con calentamiento térmico por conducción aplicado al suelo desde unos pozos calefactores calentados eléctricamente dispuestos en una cubierta. Los pozos calentadores se disponen en el suelo contaminado donde calientan el suelo por conducción a altas temperaturas. Los conductos calefactores se conectan a un colector de vacío para la recogida de vapores contaminantes. Los pozos son permeables a los vapores que emanan del suelo al calentarlo y son aspirados hacia los conductos calefactores mediante el vacío aplicado.

WO03/035290 describe un procedimiento y un sistema para la recuperación de suelos que comprende una pluralidad de pozos de extracción de vapor y/o pozos de extracción de calor/vapor. La figura 1 muestra una vista en sección transversal de una realización de un pozo insertado en el suelo. El pozo ilustrado presenta una cubierta exterior no perforada 108 de menor diámetro de modo que se crea un espacio entre la cubierta exterior y la cubierta interior del conducto. El pozo puede conectarse a un sistema de vacío (figura 1, "vacío"). Los pozos, tal como se ilustran en la figura 1 de este documento, proporcionan conductividad térmica por medio de unos calefactores (eléctricos) radiantes contenidos en una cubierta calefactora interior no perforada. La limpieza de un suelo que contiene contaminantes puede llevarse a cabo utilizando el pozo ilustrado introduciendo dicho pozo en el suelo, de manera que dicho pozo se encuentra en unas condiciones de trabajo bajo presión negativa (figura 1, "vacío"), calentando el suelo por calentamiento por radiación obteniéndose de este modo un vapor contaminante, y eliminando el vapor contaminante del suelo.

Sin embargo, un inconveniente común de los procedimientos citados anteriormente es que son relativamente ineficaces desde un punto de vista energético. En estos procedimientos, el suelo contaminado se calienta, los contaminantes evaporados del suelo son extraídos del suelo y descompuestos o destruidos en el lugar, por ejemplo en un sistema de tratamiento térmico. Sin embargo, el calentamiento del suelo así como el tratamiento térmico de los contaminantes extraídos del suelo son ambos procedimientos que requieren la entrada de una importante cantidad de energía. Los procedimientos citados anteriormente requieren así una gran entrada de energía y por lo tanto implican grandes costes operativos.

La presente invención tiene como objetivo presentar una solución al problema citado anteriormente disponiendo un procedimiento y un sistema para la limpieza de un suelo que contiene contaminantes que es más eficaz desde un punto de vista energético. En particular, la presente invención tiene como objetivo disponer un procedimiento y un sistema de bucle casi cerrado para la limpieza de un suelo que contiene contaminantes en el que la energía que se obtiene por tratamiento térmico de los contaminantes del suelo se recupera y se reutiliza por lo menos parcialmente.

### Descripción resumida de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento y a un sistema para la limpieza de un suelo que contiene contaminantes. Los procedimientos y los sistemas que aquí se describen están destinados a la limpieza de suelos de contaminantes tanto volátiles como no volátiles. Los procedimientos y los sistemas de acuerdo con la presente invención pueden aplicarse para la limpieza de suelos contaminados *in situ* así como *ex situ*. La presente invención se refiere a un sistema de bucle casi cerrado que utiliza el vacío para arrastrar los gases contaminantes de un suelo calentado. El presente procedimiento se caracteriza en particular por el hecho de que la energía que se obtiene por el tratamiento térmico de los contaminantes del suelo se recupera y se reutiliza por lo menos parcialmente.

En un primer aspecto, la presente invención se refiere a un procedimiento para la limpieza de un suelo que contiene contaminantes de acuerdo con la reivindicación 1. El presente procedimiento presenta las características tal como se reivindica en las reivindicaciones 2 a 9.

De acuerdo con la presente invención, dicho suelo se calienta por conducción térmica a una temperatura suficiente para provocar la evaporación de los citados contaminantes del suelo. El suelo se calienta por conducción térmica haciendo circular un fluido caliente a través de dicho suelo. Además de permitir una mayor extracción de contaminantes del suelo, el mayor calor del suelo puede producir la destrucción de contaminantes *in situ*, por ejemplo, contaminantes tales como contaminantes de hidrocarburos y/o hidrocarburos clorados.

De acuerdo con la presente invención, dicho vapor contaminante se extrae de dicho suelo creando una diferencia de presión en el suelo. Una diferencia de presión se obtiene preferiblemente aplicando vacío al suelo para reducir la presión en el suelo y para extraer los contaminantes del suelo contaminado.

La eficacia combinada tanto del calor y como del flujo de vapor ofrece una eficacia de barrido de un 100%, no dejando área sin tratar, y una eficacia de destrucción/extracción que se acerca a un 100%. Esto se produce porque las posiciones más frías de la zona de tratamiento pueden calentarse, si se desea, a los puntos de ebullición de los compuestos, y mantenerse a dichas temperaturas durante muchos días.

Además, el mayor calor del suelo y la diferencia de presión aplicada también permite por lo menos la incineración parcial *in situ* de los contaminantes del suelo. En particular, los contaminantes no solamente se evaporan en el suelo sino que también se encienden parcialmente y llamean automáticamente ya en el suelo, lo que mejora mucho su extracción del suelo.

La presente invención presenta un procedimiento para la limpieza de un suelo contaminado el cual es muy eficaz desde un punto de vista energético. En particular, el procedimiento comprende la recuperación de la energía que se obtiene incinerando los contaminantes del suelo y reutilizando dicha energía en el sistema. La presente invención requiere así una menor entrada de energía en comparación con los procedimientos tradicionales, es por lo tanto más eficaz desde un punto de vista energético, e implica un menor coste operativo. En una realización preferida, la invención se refiere a un procedimiento que comprende incinerar dicho vapor contaminante mediante:

- la incineración de dichos contaminantes del suelo en el citado vapor contaminante obteniendo de este modo gases de incineración y energía térmica,
- la recuperación de dicha energía térmica, y
- la reutilización de dicha energía térmica recuperada para calentar dicho fluido.

De acuerdo con el presente procedimiento el fluido calentado y el vapor contaminante se mezclan entre sí y se tratan juntos con el fin de eliminar por lo menos parcialmente los citados contaminantes del suelo y proporcionar energía térmica. La energía térmica obtenida se recupera y se reutiliza para calentar el suelo en el cual pueden quedar contaminantes. La energía térmica recuperada se reutiliza por lo menos parcialmente para calentar el fluido que se envía a través del suelo para calentar el suelo por conducción. Preferiblemente, el presente procedimiento comprende la recirculación de por lo menos parte del fluido calentado y por lo menos parte de dichos gases de incineración al suelo a tratar. En particular, los gases de incineración obtenidos por incineración del vapor contaminante preferiblemente se hacen recircular por lo menos parcialmente (tanto como sea posible) a través del suelo contaminado. De acuerdo con la presente invención, dicho fluido calentado circula a través del suelo introduciendo un dispositivo intercambiador de calor en el suelo y haciendo circular dicho fluido calentado a través del citado dispositivo intercambiador de calor. El citado vapor contaminante se extrae del suelo haciendo que el vapor contaminante vaya hacia dicho dispositivo intercambiador de vapor, y el vapor contaminante es transportado a través de dicho dispositivo intercambiador de vapor fuera del suelo. El presente procedimiento comprende introducir dicho dispositivo intercambiador de vapor en el suelo roscando el dispositivo intercambiador de vapor en el mismo.

La temperatura que alcanza el suelo es un parámetro importante para la evaluación del potencial de limpieza del presente procedimiento, ya que se trata de un factor determinante para la descomposición de contaminantes. Para ello, la presente invención presenta, en otra realización preferida, un procedimiento que comprende controlar la temperatura en el suelo y en diferentes lugares del sistema de bucle casi cerrado.

Todavía en otra realización preferida, la presente invención se refiere a un procedimiento que comprende cubrir el suelo que contiene contaminantes con una lámina aislante y/o colocar una lámina aislante por debajo del suelo que contiene contaminantes. Una lámina aislante en la superficie del suelo minimiza pérdidas de calor. Una lámina aislante cubre la superficie del suelo y reduce pérdidas de calor desde la superficie del suelo.

En otro aspecto, la invención se refiere a un sistema tal como se reivindica en la reivindicación 10. El presente sistema presenta las características reivindicadas en las reivindicaciones 11 a 14.

En una realización preferida, la invención se refiere a un sistema en el que dichos medios para calentar el suelo comprenden un dispositivo intercambiador de calor en comunicación con un aparato de oxidación. Dicho dispositivo intercambiador de calor comprende uno o más tubos conductores térmicos perforados y roscados.

De acuerdo con la invención, dichos medios para extraer el vapor contaminante del suelo comprenden un sistema de vacío que se encuentra en conexión con el citado dispositivo intercambiador de calor.

En otra realización preferida, la invención se refiere a un sistema en el que dichos medios para incinerar vapor contaminante comprenden un aparato de oxidación que se encuentra en comunicación con el citado dispositivo intercambiador de calor.

Todavía en otra realización preferida, la invención se refiere a un sistema en el que dichos medios para reutilizar la energía térmica obtenida incinerando dicho vapor contaminante comprenden un sistema de tuberías que conectan el citado dispositivo intercambiador de calor con dicho aparato de oxidación.

## ES 2 330 333 T3

De acuerdo con una realización preferida, la invención se refiere a un sistema que comprende, además, medios para la medición de la presión, medios para la medición de la temperatura y/o medios de regulación del flujo.

De acuerdo con otra realización, la invención se refiere a un sistema que comprende, además, una o más láminas aislantes para cubrir y/o quedar colocadas bajo el suelo que contiene dichos contaminantes.

Los objetivos anteriores y otros objetivos, características y ventajas serán llegarán a ser más claros a partir de la siguiente descripción detallada de realizaciones preferidas de la invención las cuales se dan con referencia a los dibujos que se adjuntan.

### Descripción detallada de las figuras

La figura 1 es una ilustración de una realización de un sistema de recuperación de suelos de acuerdo con la presente invención.

La figura 2 es una ilustración de una realización de un sistema de recuperación de suelos de acuerdo con la presente invención, el cual se dispone empotrado en un montículo de suelo contaminado.

La figura 3 es una ilustración de otra realización de un sistema de recuperación de suelos de acuerdo con la presente invención.

La figura 4 es una vista en sección transversal de una realización de un tubo perforado que se ha utilizado en un sistema de recuperación el suelos de acuerdo con la presente invención.

Aunque la invención es susceptible de varias modificaciones y formas alternativas, se muestran realizaciones específicas de la misma a modo de ejemplo en los dibujos y se describirán aquí en detalle. Los dibujos pueden no ser a escala. Debe comprenderse, sin embargo, que el dibujo y la descripción detallada del mismo no pretenden limitar la invención a la forma particular descrita, sino al contrario, se pretende cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que se encuentren dentro del alcance de la presente invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

### Descripción detallada de la invención

Los términos “suelo contaminante” y “suelo que contiene contaminantes” se utilizan aquí como sinónimos y se entiende que incluyen todos los tipos de suelos que puedan contaminarse con contaminantes químicos, biológicos, y/o radiactivos, incluyendo, aunque no limitándose a estos, suelos congelados, suelos muy húmedos, suelos con un alto contenido en arcilla, suelos que contienen residuos de carbón, sedimentos, suspensiones, lodo, desechos contaminados, masas o similares, etc.

El calor por conducción se produce cuando dos medios u objetos materiales se encuentran en contacto directo, y la temperatura de uno es mayor que la temperatura del otro. La conducción del calor consiste en una transferencia de energía cinética del medio más caliente al más frío. El término “conducción” tal como aquí se utiliza pretende hacer referencia por lo tanto a todos los tipos de transferencia de calor en los que el calor se desplaza de un objeto (más caliente) a otro objeto (más frío) por contacto directo. Será entenderá que, en la presente invención, donde se hace referencia a la transferencia de calor por conducción, una pequeña cantidad de calor también se transfiere generalmente al suelo por radiación.

La presente invención se refiere a un sistema de bucle casi cerrado de uno o más tubos conductores térmicos perforados empotrados en el suelo. Por motivos de claridad la siguiente descripción irá dirigida a un sistema que comprende por lo menos dos tubos. Sin embargo, será claro que el presente sistema también puede comprender el uso de un solo tubo. Los tubos perforados se encuentran en comunicación con una fuente de calor que hace circular un fluido caliente a través de los tubos. El procedimiento comprende las etapas de colocar los tubos perforados en el suelo contaminado, hacer circular un fluido caliente a través de los tubos, elevar la temperatura del suelo circundante a una temperatura suficiente para provocar la evaporación de los contaminantes del suelo; arrastrar los contaminantes evaporados del suelo hacia los tubos perforados; y tratar los contaminantes evaporados del suelo para eliminar los contaminantes del suelo. Los contaminantes se extraen hacia los tubos aplicando una presión negativa en los tubos perforados, por ejemplo conectando los tubos a un sistema de vacío.

El presente procedimiento se caracteriza en particular por el hecho de que los contaminantes evaporados del suelo y el fluido caliente se mezclan entre sí en el sistema de tuberías y son aspirados juntos fuera del suelo para un tratamiento adicional. El mezclado con el fluido caliente mejora la eliminación de contaminantes evaporados del suelo: los contaminantes son arrastrados al flujo de fluido y transportados calientes fuera del suelo. El presente procedimiento también se caracteriza en particular por el hecho de que la energía obtenida tratando térmicamente los contaminantes evaporados se recupera y se reutiliza por lo menos parcialmente. En particular, el presente procedimiento comprende un sistema de bucle casi cerrado en el que la energía que se obtiene incinerando los contaminantes del suelo se reutiliza por lo menos parcialmente para calentar el fluido que se envía a través del sistema de tuberías para calentar por

## ES 2 330 333 T3

conducción el suelo contaminante. Los gases de incineración que resultan de la incineración del vapor contaminante pueden también hacerse recircular y reintroducir por lo menos parcialmente en el suelo contaminado. Una parte de los gases de incineración puede eliminarse del sistema de bucle casi cerrado.

Los tubos quedan dispuestos en un patrón en el suelo contaminado para conseguir un calentamiento más uniforme por todo el patrón. Puede utilizarse un patrón de tubos regular, por ejemplo triangular, cuadrado, rectangular, hexagonal, etc. seleccionado para cubrir substancialmente la zona contaminada. Son preferibles los patrones triangulares dado que proporcionan el mejor rendimiento térmico y, en la práctica, son fáciles de colocar en la superficie del suelo o en un montículo del suelo. La temperatura del suelo se eleva haciendo circular un fluido caliente a través de los tubos. Un frente térmico se aleja de los tubos hacia el suelo circundante por conducción térmica, evaporando así el agua y los contaminantes en el suelo circundante. La superposición del flujo de calor de todos los tubos produce una elevación más uniforme de la temperatura en el patrón.

Será claro que el número de tubos aplicados en el montículo del suelo, la separación, la posición relativa de tubos, la distancia entre la base y los tubos y la distancia entre los tubos y los laterales de un montículo del suelo pueden variar en función del nivel de contaminación y/o el tiempo deseado para completar el procedimiento y/o el tipo de suelo y/o consideraciones económicas. En una realización preferida, la distancia entre la base del montículo del suelo y los tubos está comprendida entre 0,25 y 1 m, y preferiblemente entre 0,35 y 0,6 m. En otra realización preferida, la distancia entre dos tubos adyacentes en una capa está comprendida entre 0,5 y 2 m, y preferiblemente entre 0,7 y 1,2 m. En otra realización preferida, la distancia entre los tubos en dos capas superpuestas está comprendida entre 0,5 y 2 m, y preferiblemente entre 0,7 y 1,2 m.

Los tubos comprenden preferiblemente tubos fabricados en un material resistente al calor tal como, pero sin limitarse a estos, acero, metal, o cerámica. Los tubos pueden presentar una sección transversal de cualquier forma deseada, incluyendo, pero sin limitarse a éstas, triangular, rectangular, cuadrada, hexagonal, elipsoidal, redonda, u ovalada. Preferiblemente, los tubos presentan una sección transversal de forma substancialmente elipsoidal, redonda, u ovalada. En una realización particularmente preferida, los tubos presentan una sección transversal de forma substancialmente redonda y tienen un diámetro que está comprendido entre 50 y 200 mm y preferiblemente entre 80 y 180 mm. Los tubos tienen preferiblemente una longitud comprendida entre 3 y 30 m, y preferiblemente entre 6 y 18 m.

En una realización, los tubos se pueden estar formados por una un área de sección transversal variable con el fin de obtener una mayor disipación de calor en determinadas partes de los tubos (secciones que presenten una área de sección transversal menor) que en otras partes de los tubos. Una sección del tubo de alta disipación térmica local puede situarse adyacente a un suelo que requiera una disipación térmica adicional, tal como suelo húmedo o secciones de suelo adyacentes a la parte superior y a la parte inferior del tubo. Las zonas adyacentes a la parte superior y a la parte inferior de un tubo pueden requerir un calentamiento adicional para contrarrestar efectos de pérdidas de calor. Las partes del tubo seleccionadas pueden estar formadas por secciones que presenten una mayor área de sección transversal. Las secciones de área de sección transversal del tubo más grandes pueden disponerse adyacentes a capas del suelo con sobrecarga y/o no contaminadas.

En otra realización, en un suelo contaminado pueden introducirse tubos que tengan distintos diámetros. Por ejemplo, una primera capa de tubos puede tener un diámetro que sea mayor que el diámetro de los tubos de una segunda capa. Idealmente, los tubos de mayor diámetro se disponen en la parte inferior de un montículo del suelo para generar una conductividad térmica mayor en la base del montículo del suelo.

En otra realización, pueden también introducirse uno o más tubos en posición substancialmente vertical en un suelo contaminado. Sin embargo, de acuerdo con otras realizaciones, el tubo puede disponerse en cualquier orientación deseada de 0° (horizontal) a 90° (vertical) respecto a la superficie del suelo. Por ejemplo, en una realización del sistema de recuperación de suelos, puede disponerse un tubo orientado a aproximadamente 45° para la recuperación de un suelo adyacente en una capa geológica que tenga una inclinación de aproximadamente 45°. La orientación puede seleccionarse para obtener una recuperación del suelo con un coste relativamente reducido, rápida y eficaz. El tubo puede disponerse también en el suelo de modo que una parte del tubo quede bajo el suelo contaminado, y una parte del tubo quede por encima del suelo contaminado. Al calentar una sección de suelo no contaminado por debajo del suelo contaminado puede impedirse que descienda la temperatura en la superficie intermedia. El área de sección transversal del tubo adyacente a las superficies intermedias de contaminación puede ser pequeña, o puede realizarse en material diferente, para difundir más calor al suelo adyacente a las superficies intermedias. La difusión de más calor adyacente a las superficies intermedias puede favorecer una distribución de la temperatura más uniforme por todo el suelo contaminado. El tubo puede perforarse en el suelo contaminado a profundidades que se extiendan ligeramente por debajo de la zona contaminada. Alternativamente, el tubo puede insertarse en el suelo mediante técnicas convencionales de percusión tales como martillos o dispositivos ultrasónicos. No es necesario que los tubos vayan cementados y por lo tanto pueden extraerse y reutilizarse una vez se ha completado el procedimiento de recuperación. En función de la geometría de las zonas contaminadas, no es necesario que el tubo perforado sea vertical si no que podría perforarse direccionalmente horizontal, o el tubo perforado podría consistir en una combinación de secciones verticales y horizontales. Alternativamente, el tubo perforado podría comprender secciones rectas perforadas en un ángulo inclinado.

Será claro para los expertos en la técnica que el número de tubos puede variar dependiendo de sus dimensiones y la cantidad y el estado del suelo que ha de limpiarse de contaminantes.

## ES 2 330 333 T3

Las perforaciones en los tubos pueden ser, aunque no se limitan a éstas, orificios y/o ranuras. Preferiblemente, entre un 5% y un 50% de la superficie de un tubo lleva orificios y/o ranuras. Es particularmente preferible que el tubo incluya una gran cantidad de pequeñas perforaciones. Los tubos pueden tener varias zonas perforadas en distintas posiciones a lo largo de un tramo del tubo. Cuando los tubos se encuentran insertados en el suelo, las zonas perforadas pueden disponerse adyacentes a las capas de suelo contaminado. Alternativamente, las perforaciones pueden disponerse a lo largo de toda la longitud de los tubos.

En otra realización preferida, los tubos van provistos de medios para ampliar la superficie, tales como, aunque no limitados a éstos, aletas, palas de hélice o similares. Los tubos pueden presentar varias zonas roscadas en distintas posiciones a lo largo de un tramo del tubo o alternativamente pueden ser roscados en toda su longitud. Estas roscas ofrecen la ventaja de facilitar la introducción y la extracción de los tubos en el suelo. Además, una mayor zona de contacto puede favorecer la disipación del calor producido en el suelo circundante y mejora una distribución homogénea del calor en el suelo.

Los tubos se calientan enviando y haciendo circular un fluido caliente tal como aire y/o gas a alta temperatura a través de tuberías. Preferiblemente, el aire/gas a alta temperatura se calienta a una temperatura comprendida entre 300 y 800°C, y preferiblemente comprendida entre 500 y 750°C. Puede emplearse también una temperatura extremadamente alta principalmente en función de las limitaciones de la temperatura de los tubos perforados. De este modo, en casos en los que se utilizan tubos perforados que puede resistir temperaturas extremadamente altas, es decir, de 1000 hasta 1500°C puede utilizarse correspondiente aire/gas a temperatura extremadamente alta. El calor es transferido al suelo por conducción térmica y eleva progresivamente la temperatura del suelo. Una cantidad muy pequeña de calor también se transferirá al suelo por radiación. La elevada temperatura del suelo provoca que los contaminantes situados en el suelo contaminado se volatilicen produciendo así vapor contaminado.

De acuerdo con la presente invención, el suelo se calienta por conducción, lo cual resulta particularmente ventajoso dado que las temperaturas que pueden obtenerse a través de dicho calentamiento no están limitadas por la cantidad de agua presente en el suelo. En el suelo pueden obtenerse temperaturas substancialmente por encima del punto de ebullición del agua utilizando calentamiento por conducción térmica. En el suelo pueden obtenerse temperaturas de por lo menos aproximadamente 100°C, 125°C, 150°C, 200°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C o más utilizando calentamiento por conducción térmica.

De acuerdo con la presente invención, el procedimiento comprende regular la dirección de flujo de dicho fluido caliente en el citado suelo. Para ello, puede disponerse un sistema de tuberías adicional en conexión con los tubos para adaptar la dirección de flujo del fluido caliente en los tubos perforados. Las secciones de suelo adyacente a la entrada de los tubos pueden experimentar un calentamiento adicional en comparación con la sección de suelo adyacente al extremo de los tubos. Para contrarrestar estos efectos de pérdida de calor el presente sistema prevé medios para adaptar por lo menos temporalmente, y en particular para invertir por lo menos temporalmente, el flujo de fluido caliente a través de los tubos. De este modo, a las secciones de suelo adyacentes al extremo de los tubos se les proporciona temporalmente calor adicional. Por consiguiente, se obtiene una conducción de calor más uniforme por toda la sección del suelo tratado. Para ello, el presente sistema puede ir provisto de un sistema de tuberías adicional que comprende preferiblemente por lo menos dos tubos que se entrecruzan cuyos extremos están dotados de válvulas de regulación. Adaptando la posición de las válvulas, el fluido caliente puede fluir en sentido horario o antihorario por todo el sistema de tubos.

Un sistema de vacío se conecta a los tubos para someter a los tubos a presión negativa. El sistema de vacío debe ser capaz de producir un vacío apropiado para la combinación particular de permeabilidad del suelo y tubos perforados en un sistema de tratamiento. El sistema de vacío puede ser capaz de producir un vacío en el intervalo de 50 Pa a 5000 Pa. El sistema de vacío puede ser un ventilador o una bomba sellada de agua.

Como resultado de la diferencia de presión aplicada al suelo, el fluido caliente que se envía a través de los tubos no se inyectará al suelo a través de las perforaciones del tubo sino que permanecerá en el sistema de tuberías. Consecuentemente, no se producirá mezcla del fluido caliente con el vapor contaminante en el suelo y la formación de trayectorias de flujo de vapor en el suelo se minimiza. A diferencia de la inyección de fluido en el suelo, el calentamiento por conducción será muy uniforme en su arrastre vertical y horizontal y resultará en una dispersión homogénea del calor a través del suelo. Esto se debe a que la energía térmica inyectada al suelo por los tubos es uniforme en cada tubo. Además, el calentamiento por conducción crea permeabilidad como resultado de secar y contraer el suelo sobrecalentado (es decir, >100°C) lo que se desarrolla alrededor de cada tubo. Incluso en capas compactas de cieno y arcilla se crean trayectorias del flujo de vapor poco separadas.

Sometiendo los tubos perforados bajo presión negativa los contaminantes evaporados son aspirados del suelo al sistema de tuberías. Los vapores contaminados no se desplazan a través del suelo a la parte superior del sino que más bien a los tubos perforados y hacia abajo hacia los tubos en una unidad de tratamiento del gases. Sin embargo, puede desplazarse alguna cantidad de vapor a la superficie del suelo hacia una cámara de mantenimiento de vapor que está formada entre el suelo y un recubrimiento, aplicado por encima de la superficie del suelo.

El vacío se mantiene en todo el período de calentamiento y durante un período de tiempo suficiente tras el calentamiento para evitar pérdidas o dispersión de contaminantes. El vacío reducirá la presión de vapor del agua en el suelo y provocará que hierva a una temperatura menor que el punto de ebullición normal a presión atmosférica. Al mismo

## ES 2 330 333 T3

tiempo, los contaminantes de alto punto de ebullición se eliminan por destilación con vapor en presencia de vapor de agua a una temperatura del pozo por debajo del punto de ebullición normal de los contaminantes. Esto se producirá para todos los contaminantes que sean casi inmiscibles en agua, ya que el punto de ebullición de la mezcla de dos fluidos inmiscibles será siempre menor que el punto de ebullición de cualquier componente por sí mismo.

En los tubos perforados, los contaminantes evaporados se entremezclarán con el fluido caliente que circula a través de los tubos. Ventajosamente, la mezcla de fluido caliente con contaminantes evaporados no solamente favorecerá el transporte de contaminantes evaporados del suelo a una unidad de tratamiento de gases, tal como un aparato de oxidación, tal como se describe en lo sucesivo.

Ventajosamente, una mayor temperatura del suelo, el vacío aplicado y la mezcla con un fluido caliente inicia la incineración por lo menos parcialmente de los contaminantes del suelo *in situ*. Los contaminantes del suelo en el vapor contaminante pueden encenderse por lo menos parcialmente y llamear automáticamente ya en el suelo.

En una realización preferida, la superficie del suelo se sella mediante una lámina aislante. Al crearse un vacío bajo la lámina puede provocar que la lámina sea aspirada hacia la superficie del suelo pero en cualquier caso se reducirá la cantidad de aire/gas que va al sistema de tuberías desde la atmósfera. De este modo, a través de los tubos perforados empotrados en el suelo solamente se evacuará substancialmente aire, humedad del suelo, y contaminantes del suelo. Al llevar la humedad y contaminantes hacia los tubos se reduce drásticamente el riesgo de que los contaminantes se propaguen. La lámina aislante también permite reducir pérdidas de calor. Puede disponerse también una lámina aislante bajo el montículo del suelo que se ha de tratar para reducir pérdidas de calor al suelo subyacente.

Cuando el vapor contaminado se extrae del suelo, el nivel de humedad en el suelo contaminado se reduce substancialmente, preferiblemente a un nivel de humedad promedio de menos de aproximadamente un 5% en peso, preferiblemente a un nivel de humedad promedio de menos de aproximadamente un 2% en peso, y preferiblemente a un nivel de humedad promedio de menos de aproximadamente un 1% en peso.

Los contaminantes se extraen del suelo mediante una combinación de evaporación, descomposición térmica *in situ* y oxidación en un aparato de oxidación. Los tubos perforados y el suelo cercano se encuentran a una temperatura extremadamente elevada y la mayoría de los contaminantes aspirados hacia los tubos perforados se descompondrán con un tiempo de permanencia del orden de segundos. Puede emplearse un aparato de oxidación adicional para recoger y/o destruir (incinerar) los contaminantes evaporados. El sistema de la presente invención puede incluir, además, medios para controlar la cantidad del vapor contaminado que fluye desde los tubos perforados hacia el aparato de oxidación. En el aparato de oxidación, los contaminantes son destruidos en CO<sub>2</sub> y agua. Preferiblemente, la temperatura en el aparato de oxidación oscila entre 600°C a 1200°C y más preferiblemente entre 700°C y 900°C. El tiempo de permanencia varía preferiblemente de 1 a 5 segundos, y preferiblemente de 1 a 2 segundos.

En otra realización preferida, el presente sistema comprende un sistema de tuberías de introducción de fluido que transporta un fluido caliente al sistema de tubos perforados en el suelo. Además, la invención preferiblemente también comprende tuberías de suministro para conectar los tubos perforados introducidos en el montículo del suelo con el sistema de tuberías de introducción de fluido. Estas tuberías de suministro son preferiblemente tubos flexibles.

El presente sistema también comprende un sistema de tuberías de recogida de vapor que transporta el fluido caliente junto con contaminantes evaporados fuera del suelo hacia unas instalaciones de tratamiento. Además, la invención preferiblemente también comprende tuberías de suministro para conectar los tubos perforados introducidos en el montículo del suelo con el sistema de tuberías de recogida. Estas tuberías de suministro son preferiblemente tubos flexibles. El sistema de tuberías de recogida se encuentra en conexión con el sistema de tubos perforados empotrados en el suelo y puede conectarse a un sistema de vacío. En una realización, las tuberías pueden ser tuberías sin calentar y/o tuberías sin aislar. En un principio, el vapor que contiene contaminantes evaporados producidos en el suelo puede elevarse verticalmente y después avanzar hacia abajo hacia unas instalaciones de tratamiento (por ejemplo, un aparato de oxidación). La elevación inicial y el posterior avance hacia abajo permite que cualquier cantidad de vapor contaminante condensado pase hacia un condensador de líquidos o a un separador del sistema de tratamiento sin bloquear las líneas del sistema de recogida. En realizaciones alternativas, las tuberías están aisladas térmicamente y se calientan. Las tuberías aisladas y calientes inhiben la condensación del vapor contaminante dentro de las tuberías. Disponer un sistema de recogida no aislado y no calentado puede reducir mucho los costes, tiempo de instalación, y la complejidad de un sistema de la recuperación de suelos.

Los flujos de fluido caliente y vapor contaminante pueden ser procesados mediante instalaciones de tratamiento para reducir contaminantes en los flujos a unos niveles aceptables. Las instalaciones de tratamiento pueden comprender un sistema de transferencia de masas tales como un lecho de carbono activo, un sistema reactor tal como un aparato de oxidación térmica, o una combinación de los mismos. Preferiblemente las instalaciones de tratamiento son un aparato de oxidación térmica.

La energía térmica que se obtiene incinerando los contaminantes del suelo en el aparato de oxidación se recupera y se reutiliza por lo menos parcialmente, en particular para calentar el fluido que ha de enviarse a través de los tubos perforados. La presente invención dispone así un procedimiento energéticamente eficaz para limpiar suelos contaminantes: en particular el presente procedimiento comprende un sistema casi cerrado en el que por lo menos parte de la energía para calentar el fluido viene proporcionada por la incineración de los contaminantes del suelo.



En otra realización particularmente preferida, el fluido caliente y el vapor en el aparato de oxidación son reutilizados para circular a través de los tubos. Para ello, se recogen preferiblemente a la salida del aparato de oxidación, y se aspiran a la entrada de los tubos perforados. De este modo, el aire/gas caliente inyectado se envía a través del bucle y vuelve al aparato de oxidación para el recalentamiento y la reinyección al suelo. En particular, la presente invención también comprende un sistema de tuberías para recircular por lo menos parcialmente el vapor contaminante tratado, y en particular los gases de incineración obtenidos tras la incineración del vapor contaminante, al suelo contaminado. Parte de los gases de incineración puede reintroducirse en el sistema de bucle casi cerrado a través de un sistema de tuberías o circuito adicional. Parte de los gases de incineración obtenidos puede eliminarse del sistema, por ejemplo a través de un tubo de escape en un colector.

En otra realización preferida, la presente invención se refiere a un procedimiento que comprende mejorar la incineración de dichos contaminantes del suelo proporcionando residuos muy energéticos y/o un gas y/o sólido combustible. Para tener un procedimiento de incineración óptimo puede proporcionarse al aparato de oxidación material combustible adicional tal como residuos muy energéticos, por ejemplo coque, carbón, etc. y/o gases y/o líquidos combustibles.

En una realización preferida, la presente invención se refiere a un procedimiento que comprende acelerar la incineración de los citados contaminantes del suelo proporcionando un material catalizador que mejora la ruptura térmica de contaminantes y acelera la descomposición a alta temperatura en moléculas más simples. El catalizador puede ser un metal, un óxido metálico, u otro tipo de catalizador que mejore la pirólisis o la oxidación de los contaminantes. En una realización, el catalizador es alúmina.

El presente sistema está diseñado para permitir el tratamiento de suelos en un volumen de 20 a 10000 m<sup>3</sup>. Todo el sistema puede cargarse en un remolque para ser transportado de un sitio a otro.

La figura 1 es una ilustración de un sistema de recuperación de suelos. Esta realización no forma parte de la invención sino que representa un ejemplo de un sistema de recuperación de suelos que es útil para comprender la invención.

Haciendo ahora referencia a la figura 1, se dispone un sistema de bucle casi cerrado indicado por "1" para la recuperación de un suelo contaminado extraído de un sitio. El sistema 1 comprende una pluralidad de tubos perforados 3 que se extienden substancialmente paralelos los cuales se han introducido en el suelo contaminado 2. Los tubos 3 se enviaron hacia el montículo del suelo 2 y después se extrajeron del mismo. Los tubos se encuentran situado entre capas adyacentes de suelo contaminado. Los tubos son perforados 4 y van provistos de unas palas de hélice 5. Un extremo de los tubos se conecta a un tubo de introducción de fluido 6 que envía un fluido caliente a través del sistema de tubos perforados 3 en el suelo. El otro extremo del tubo se conecta a un tubo de recogida de vapor 7 que transporta vapor contaminante del suelo a un aparato de oxidación 8. El tubo de recogida 7 se conecta a un sistema de vacío 9 y al sistema de los tubos perforados 3 empotrados en el suelo. El sistema de vacío 9 puede comprender una bomba de vacío que se disponga en el extremo exterior del tubo de recogida 7. Esta bomba permite aplicar presión negativa a los tubos perforados para que los contaminantes evaporados que se han formado en el suelo puedan ser aspirados del montículo del suelo hacia los tubos perforados y descender hacia un aparato de oxidación 8. Además, el tubo de introducción de fluido 6 y el tubo de recogida de vapor 7 están conectados entre sí por medio de un sistema de tubos. En la figura 1 el tubo designado por 20 es una representación esquemática de dicho sistema de tubos. Preferiblemente, el citado sistema comprende un par de tubos entrecruzados, que van ambos provistos de una válvula de regulación 21 en cada uno de sus extremos exteriores. Regulando la posición de las válvulas 21 puede hacerse pasar el fluido caliente en sentido horario o en sentido antihorario a través del sistema de tubos perforados 3. Opcionalmente, en un extremo del tubo de recogida 7 hay formada una abertura de aire fresco 10 para permitir el flujo de aire ambiente en el sistema de bucle casi cerrado. En el aparato de oxidación 8 hay formada otra abertura de aire fresco 24 para permitir el flujo de aire ambiente en el aparato de oxidación. Será claro que podrán disponerse, además, aberturas de aire adicionales en otros sitios del sistema de bucle casi cerrado. A través de las aberturas de aire 10, 24 el aire exterior se introduce a los vapores desprendidos para diluir el vapor según sea necesario con el fin de proporcionar una llama pura y caliente al aparato de oxidación 8. El sistema incluye, además, unas tuberías de suministro 11 para conectar los tubos perforados 3 al tubo de introducción de fluido 6 y el tubo de recogida 7. Preferiblemente, las tuberías de suministro 11 son tuberías flexibles, no aisladas, de acero inoxidable.

En funcionamiento, tal como se muestra en la figura 1, a través del tubo de introducción de fluido 6 se introduce aire/gas caliente a las tuberías de suministro 11 las cuales, a su vez, alimentan de aire/gas caliente a los tubos perforados 3. Debido a la presión negativa en los tubos perforados 3, el aire/gas caliente no sale de los tubos perforados y no se introduce en el suelo contaminado. El calor se aplica por conducción al suelo contaminado, a saber, volatilizando los contaminantes que hay en el suelo contaminado. Debido a la presión negativa en los tubos perforados, los contaminantes evaporados se hacen pasar por los tubos 3 donde se entremezclan con el aire/gas caliente. Los contaminantes llameados son por lo menos parcialmente y son incinerados *in situ* por lo menos parcialmente y/o transportados además a un aparato de oxidación 8. En el aparato de oxidación los contaminantes son (adicionalmente) incinerados. Los gases de incineración calientes recogidos a la salida de la chimenea del aparato de oxidación utilizando por ejemplo parte de un colector 12. Los gases de incineración calientes pueden volverse a aspirar a la entrada del montículo del suelo 2 a través del tubo de introducción 6. Alternativamente o adicionalmente los gases de incineración también pueden volverse a aspirar a la entrada del montículo del suelo 2 a través de un sistema de tuberías adicional (no mostrado) que conecte el colector 12 al tubo de introducción 6 y cuyos gases de incineración sean transportados a la entrada del montículo del suelo 2. La energía térmica obtenida como resultado del proceso de incineración se recupera. El colector

## ES 2 330 333 T3

12 está provisto adicionalmente de un tubo de escape 25 para permitir la eliminación por lo menos parcialmente de los gases de incineración.

Para medir las temperaturas alcanzadas por el suelo se introducen unos termopares 13 en distintos lugares en el montículo del suelo 2. Los termopares también se disponen en diferentes lugares del sistema de bucle 1 para registrar las temperaturas del gas. Estos termopares se disponen en la entrada y la salida del aparato de oxidación 8, en el tubo de introducción 6 y el tubo de recogida 7 y en la parte delantera y el extremo de un tubo perforado dispuesto centralmente 3. Las mediciones de los termopares se registran.

Haciendo referencia a la figura 2, se ilustra una vista en sección transversal por todo un montículo del suelo contaminado 2 en el cual se ha clavado una pluralidad de tubos perforados 3. El montículo del suelo se cubre por lo menos parcialmente con una lámina aislante 14 para reducir la pérdida de calor. Además, se dispone una lámina aislante 15 por debajo del montículo de suelo contaminado 2. El tubo perforado superior 16 no se dispone en el montículo del suelo sino encima del mismo, para posibilitar aspirar los gases de la cámara de mantenimiento de vapor 17 entre el montículo de suelo contaminado 2 y la lámina aislante 14. Este tubo 16 no se conecta al tubo de introducción 6 sino únicamente al tubo de recogida 7 (no mostrado). Los termopares 13 se disponen en distintos lugares del montículo del suelo para registrar las temperaturas del suelo. En la realización representada en la figura 2, se dispone una primera capa de suelo en la parte superior de la base. En el suelo se dispone una primera capa que comprende cuatro tubos, la cual se cubre después con una capa de suelo adicional. Sobre la segunda capa de suelo se dispone una segunda capa de tres tubos, la cual va seguida después de una tercera capa de suelo. Sobre la tercera capa de suelo se dispone una tercera capa de dos tubos, la cual va seguida después de una cuarta capa de suelo. Finalmente, encima de la cuarta capa de suelo, en la cámara de mantenimiento de vapor 17 formada entre la lámina aislante impermeable 14 y la parte superior del montículo del suelo 2, se dispone un tubo perforado 16. En principio, puede formarse un número ilimitado de capas de tubos 3 y de suelo 2. Entre las capas de tubos pueden disponerse tubos adicionales (no mostrados). Estos tubos forman parte del sistema de tuberías para introducir por lo menos parte de los gases de incineración en el montículo del suelo. Estos gases de incineración han sido recuperados del proceso de incineración en el aparato de oxidación 8 y han sido recogidos en el colector 12 antes de ser reintroducidos en el montículo del suelo. Para medir las temperaturas alcanzadas por el suelo se introducen unos termopares 13 en distintos lugares en el montículo del suelo 2. El presente sistema resulta más eficaz con un montículo de hasta 50 m de alto.

En la figura 3 se dispone un sistema 1 para la recuperación de suelos contaminados *in situ* de acuerdo con la presente invención. En esta realización, el sistema 1 comprende un tubo perforado 3 que se ha perforado substancialmente vertical en el suelo contaminado 2. El tubo está provisto con unas palas de hélice 5, lo que facilita la introducción y la extracción del tubo del suelo. Entre la rosca de las palas de hélice se disponen unos conductos 4. El tubo perforado 3 queda bloqueado en su lado inferior por un cuerpo de forma substancialmente cónica 18. Este cuerpo puede fijarse al tubo por medio de soldadura, soldadura fuerte o por roscado. El extremo del tubo 3 se conecta a un tubo de introducción de fluido 6 que envía un fluido caliente a través del tubo perforado 3 en el suelo. El tubo perforado también va conectado además a un tubo de recogida de vapor 7 que transporta vapor contaminante del suelo al aparato de oxidación 8. Además, pueden disponerse unas válvulas (no mostradas) en la parte superior del tubo perforado para regular la circulación y la dirección de flujo del fluido caliente y el vapor contaminante en el tubo. El tubo de recogida 7 se conecta a un sistema de vacío 9 y al tubo perforado 3 empotrado en el suelo. El sistema de vacío 9 puede comprender una bomba de vacío, por ejemplo un ventilador, que se disponga en el extremo exterior del tubo de recogida 7. Esta bomba permite aplicar una presión negativa al tubo perforado 3 de manera que los contaminantes evaporados que se han formado en el suelo puedan ser aspirados del montículo del suelo al tubo perforado 3 y hacia abajo a un aparato de oxidación 8. Opcionalmente, se forma una abertura de aire fresco 10 en un extremo del tubo de recogida 7 para permitir el flujo de aire ambiental hacia el sistema de bucle casi cerrado. A través de esta abertura de aire 10 puede introducirse aire exterior a los vapores desprendidos para diluir el vapor según sea necesario para proporcionar una llama pura y caliente en el aparato de oxidación 8. Para medir las temperaturas alcanzadas en el suelo se introducen unos termopares en distintos lugares en el montículo del suelo (no mostrado). Los termopares 13 también se disponen en diferentes lugares del sistema de bucle 1 para registrar temperaturas del gas; es decir, a la entrada y la salida del aparato de oxidación 8, en el tubo de introducción 6 y el tubo de recogida 7. Se disponen además dos termopares 13 en la parte delantera del tubo para registrar la temperatura del fluido caliente de entrada y la temperatura fluido y el vapor contaminante que sale del suelo.

La figura 4 es una vista en sección transversal de una realización de un tubo perforado utilizado en un sistema de recuperación de suelo tal como el representado en la figura 3. El tubo 3 comprende un tubo exterior 27 perforado 4 y uno roscado 5 que está provisto de un tubo interior no perforado 26. El tubo exterior 27 está bloqueado en su lado inferior por un cuerpo substancialmente cónico 18. En el interior del tubo exterior perforado 27, un tubo interior no perforado 26 tiene un diámetro que es menor que el diámetro del tubo exterior de modo que se crea un espacio 28 entre el tubo interior 26 y el tubo exterior 27. El extremo del tubo interior 26 queda abierto. El tubo 3 se conecta a un tubo de introducción de fluido 6 que envía un fluido caliente a través del tubo perforado 3. El tubo 3 está también conectado además a un tubo de recogida de vapor 7 que transporta vapor contaminante del suelo a unas instalaciones de tratamiento (no mostradas). El tubo 3 se somete a presión negativa conectando el tubo a un sistema de vacío (no mostrado).

En una realización, se envía fluido caliente a través del tubo interior 26. El fluido caliente se hace pasar a través del extremo abierto del tubo interior 26 al espacio 28 que hay entre el tubo interior 26 y el tubo exterior 27 (véase las flechas). Debido al vacío aplicado, este fluido no se inyectará al suelo 2 a través de las perforaciones del tubo 4 del

## ES 2 330 333 T3

tubo exterior 27 sino que permanecerá en el tubo 3. El fluido caliente no se entremezcla con el vapor contaminante en el suelo. Al someter el tubo 3 a presión negativa los contaminantes evaporados son aspirados 19 del suelo (flechas) hacia el tubo 3, y en particular al espacio 28 entre el tubo interior 26 y el tubo exterior 27, donde se entremezclan con el fluido caliente y son extraídos del tubo 3 junto con el fluido caliente.

Alternativamente (no se muestra) en el tubo 3 también puede introducirse fluido caliente a través del espacio 28 entre el tubo interior 26 y el tubo exterior 27. Los contaminantes y el fluido caliente pueden hacerse pasar a través del tubo interior 26 de nuevo hacia arriba a la superficie del suelo y fuera del suelo.

Además, para regular la dirección de flujo del fluido caliente y el vapor contaminante en el tubo exterior o bien en el tubo interior, se disponen unas válvulas (no mostradas) en la parte superior del tubo, preferiblemente donde el tubo se conecta al tubo de introducción 6 y al tubo de recogida 7.

El fluido caliente se entremezcla con el vapor contaminante en el interior del tubo 3. Los vapores contaminados no se desplazan a través del suelo a la parte superior del suelo sino más bien hacia los tubos perforados 3 y hacia abajo a los tubos 3 hacia otra unidad de tratamiento de gases de escape. Sin embargo, alguna cantidad de vapor puede desplazarse hacia la superficie del suelo hacia una cámara de mantenimiento de vapor (no mostrada) que está formada entre el suelo 2 y un recubrimiento 14, aplicado en la parte superior de la superficie del suelo.

### Ejemplo

El siguiente ejemplo ilustra la limpieza de un montículo de 15-20 toneladas (métricas) de suelo contaminado utilizando un procedimiento y un sistema de acuerdo con la presente invención. El suelo contaminado contenía entre otros contaminantes HAPs (2000 ppm), aceites (5000 ppm), y carbón.

Se hace referencia a la figura 1 para el sistema aplicado. Se utilizó un aparato de oxidación "Dragon 15" para quemar vapor contaminante y calentar el pilote del suelo. La temperatura del aparato de oxidación se programó para que fuera de unos 900-1000°C. Los gases calientes fueron recogidos a la salida de la chimenea del aparato de oxidación utilizando parte de un colector no aislado y aspirados a la entrada del pilote del suelo a través de un tubo de introducción de acero de 8 metros de largo y 273 mm de diámetro, aislado con 40 mm de aislamiento. Se conectaron nueve tubos flexibles no aislados de acero inoxidable de 1,5 m de largo y 88,9 mm de diámetro a este tubo de acero y se suministraron nueve tubos roscados de acero enterrados en el pilote del suelo. Los tubos roscados de 6 m de largo tenían un diámetro de 88,9 mm y un diámetro de hélice de 200 mm. Se perforaron orificios 4 de 15 mm en los tubos 3 cada 200 mm en dos líneas diametralmente opuestas y alternadas. Los tubos 3 se conectaron en su extremo a nueve tubos flexibles 11 de acero inoxidable que llevaban el vapor contaminante a un tubo de acero parcialmente aislado 7 de 273 mm de diámetro. Después, el vapor contaminante fue aspirado a través de este tubo 7 hacia el aparato de oxidación 8. El ventilador original del Dragon 15 se colocó en este tubo 7 para aspirar gases del pilote del suelo.

Los tubos se introdujeron en un montículo del suelo en un patrón tal como se ilustra en la figura 2. El tubo superior no se introdujo en el pilote del suelo sino que permaneció en la parte superior de éste con el fin de permitir arrastrar el vapor contaminante presente entre el pilote del suelo contaminado y una cubierta de aislamiento dispuesta en la parte superior del suelo. El montículo del suelo tenía una altura de 130 cm, la distancia entre los tubos y la base del montículo era de 20 cm. La anchura del pilote del suelo era de 220 a 250 cm, la distancia entre los dos tubos (medidos de centro a centro) era de 50 cm mientras que la distancia entre dos capas de tubos era de 45 cm (medidos de centro a centro). El pilote fue cubierto con una lámina aislante de 40 mm de hoja de aluminio, excepto en ambos extremos del montículo del suelo. Bajo del montículo del suelo se dispuso una lámina aislante. La preparación del pilote del suelo tardó unas 4 horas dos hombres trabajando con la pala, colocando tornillos y termopares, y un hombre llevando una excavadora.

Durante la prueba se registró la temperatura del suelo y las temperaturas del gas. Durante la prueba se analizó la concentración de hidrocarburos, O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> en los gases que entran y salen del pilote del suelo utilizando un analizador de gases. Estas mediciones indicaron que mientras se calentaba el suelo, los hidrocarburos se desorbieron y se aspiraron hacia los tubos. Estas mediciones revelaron también una importante producción de CO en el interior del pilote mientras se quemaban los contaminantes. La tabla 1 da un resumen de estos resultados.

TABLA 1

	Principio prueba	Final prueba
Material seco %	82,5 a 84,3%	99,8 a 100%
Total hidrocarburos (C <sub>10</sub> -C <sub>40</sub> ) ppm	3200 a 5300 ppm	< 10 a 13 ppm
Total HAPs (16 EPA) ppm	1800 a 2200 ppm	n.d. a 8,9 ppm

## ES 2 330 333 T3

Los resultados muestran que el presente sistema es particularmente adecuado para la limpieza de suelos contaminados. En particular, en el suelo contaminado había carbón, lo que permitió quemar los contaminantes *in situ* y alcanzar temperaturas elevadas de hasta 800°C.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la limpieza un suelo (2) que contiene contaminantes, que comprende las etapas de:

- introducir por lo menos un tubo conductor térmico roscado (3) en dicho suelo, de manera que dicho tubo se encuentre en condiciones de trabajo bajo presión negativa y comprende un tubo exterior (27) perforado (4) que está provisto de un tubo interior no perforado (26) de menor diámetro de manera que se crea un espacio (28) entre el tubo interior (26) y el tubo exterior (27), en el citado suelo,
- calentar dicho suelo (2) por conducción térmica haciendo circular un fluido caliente a través de dicho tubo conductor térmico e invertir temporalmente el flujo de dicho fluido caliente a través del tubo obteniéndose de este modo un vapor contaminante, haciendo pasar dicho vapor contaminante hacia dicho tubo conductor térmico (3) a través de presión negativa presente en el mismo, y entremezclar dicho fluido caliente que está con el vapor contaminante en el interior de dicho tubo (3),
- en el que dicho fluido caliente se hace circular a través del tubo interior (26) y se hace pasar a través del extremo abierto de dicho tubo interior hacia el espacio (28) que hay entre el tubo interior (26) y el tubo exterior (2), o
- en el que dicho fluido caliente se hace circular a través del espacio (28) que hay entre el tubo exterior (27) y el tubo interior (26) y dicho vapor contaminante se hace pasar hacia el tubo interior (26),
- transportar además dicho vapor contaminante entremezclado con dicho fluido caliente en el citado tubo conductor térmico (3) fuera del suelo,
- incinerar dicho vapor contaminante para eliminar por lo menos parcialmente dichos contaminantes del suelo, y
- reutilizar la energía térmica obtenida por la incineración de dicho vapor contaminante para calentar el suelo (2) con el fin de evaporar los contaminantes que quedan en dicho suelo.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, que comprende incinerar dicho vapor contaminante:

- incinerando dichos contaminantes del suelo en el vapor contaminante obteniéndose de este modo gases de incineración y energía térmica,
- recuperando dicha energía térmica, y
- reutilizando dicha energía recuperada para calentar dicho fluido.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, que comprende recircular por lo menos parte de dicho fluido caliente y por lo menos parte de los citados gases de incineración al suelo (2) a tratar.

4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende acelerar la incineración de dichos contaminantes del suelo proporcionando un catalizador.

5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende, además, mejorar la incineración de dichos contaminantes del suelo proporcionando un residuo muy energético y/o un gas y/o un líquido combustible.

6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende introducir el citado tubo conductor térmico (3) en dicho suelo (2) roscando dicho tubo conductor térmico en el citado suelo.

7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende, además, la etapa de controlar la temperatura.

8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende, además, la etapa de cubrir dicho suelo que contiene contaminantes con una lámina aislante.

9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende, además, la etapa de colocar una lámina aislante debajo de dicho suelo que contiene contaminantes.

10. Sistema para la limpieza de suelos que contienen contaminantes que comprende

- medios para calentar dicho suelo (2) a una temperatura suficiente para provocar la evaporación de dichos contaminantes del suelo obteniéndose así un vapor contaminante, comprendiendo dichos medios por lo

## ES 2 330 333 T3

menos un tubo conductor térmico roscado (3) que, en condiciones de trabajo, se encuentra bajo presión negativa, y que comprende un tubo exterior (27) perforado (4) que está provisto de un tubo interior no perforado (26) de menor diámetro de manera que se crea un espacio (28) entre el tubo interior (26) y el tubo exterior (27),

- medios para hacer pasar dicho vapor contaminante fuera del suelo (2) hacia dicho tubo conductor térmico (3) que comprenden un sistema de vacío (9) que se encuentra en conexión con dicho tubo conductor térmico,
- medios para invertir temporalmente el flujo de fluido caliente a través del tubo,
- medios para incinerar dicho vapor contaminante con el fin de eliminar por lo menos parcialmente dichos contaminantes del suelo, y
- medios para reutilizar la energía térmica obtenida por la incineración de dicho vapor contaminante para calentar el suelo con el fin de evaporar los contaminantes que quedan en dicho suelo.

11. Sistema según la reivindicación 10, **caracterizado** por el hecho de que dichos medios para calentar el citado suelo (2) comprenden por lo menos un tubo conductor térmico (3) en comunicación con un aparato de oxidación (8).

12. Sistema según las reivindicaciones 10 o 11, **caracterizado** por el hecho de que dichos medios para incinerar dicho vapor contaminante comprenden un aparato de oxidación (8) que está en comunicación con dicho un tubo conductor térmico.

13. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, **caracterizado** por el hecho de que dichos medios para reutilizar la energía térmica obtenida por la incineración de dicho vapor contaminante comprenden un sistema de tuberías (6, 7) que conectan dicho tubo conductor térmico (3) con el citado aparato de oxidación (8).

14. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, **caracterizado** por el hecho de que comprende, además, una o más láminas aislantes para recubrir y/o para quedar dispuestas bajo dicho suelo que contiene los citados contaminantes.

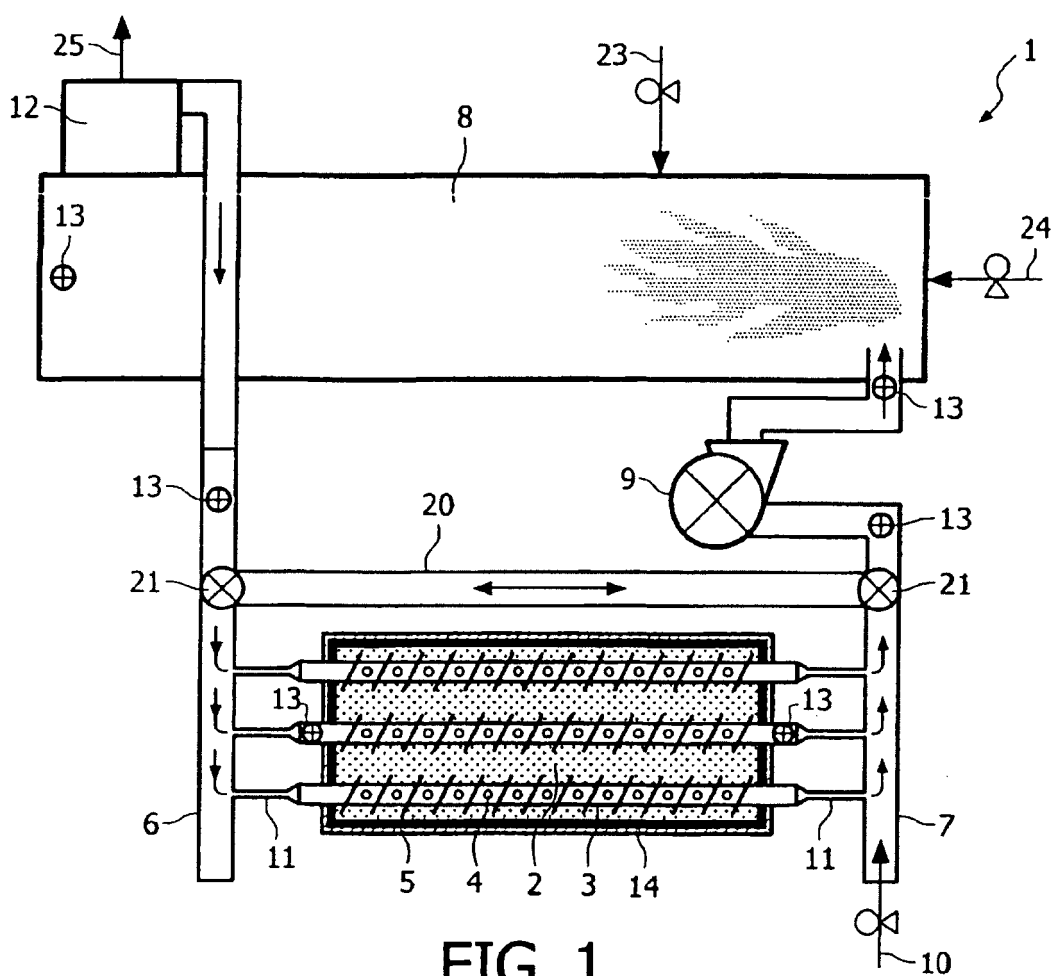


FIG. 1

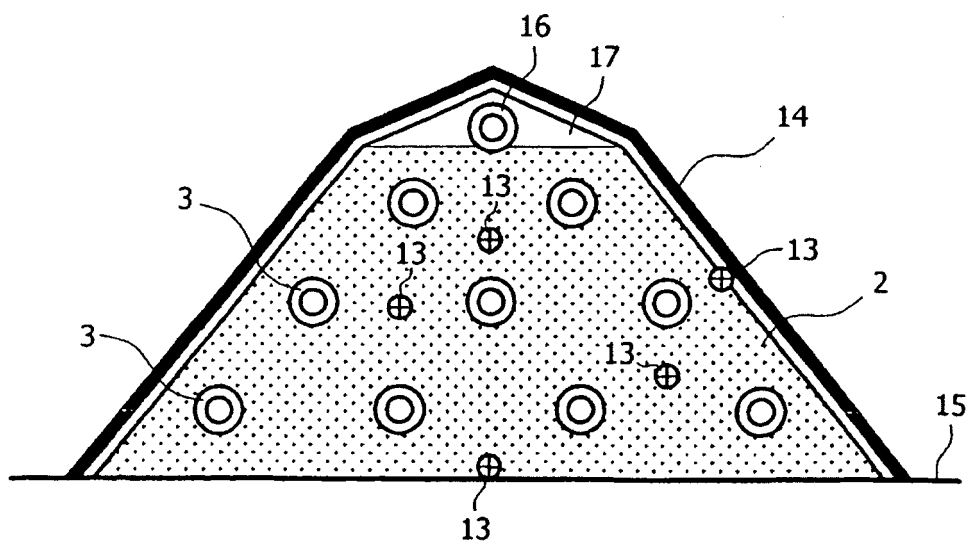


FIG. 2

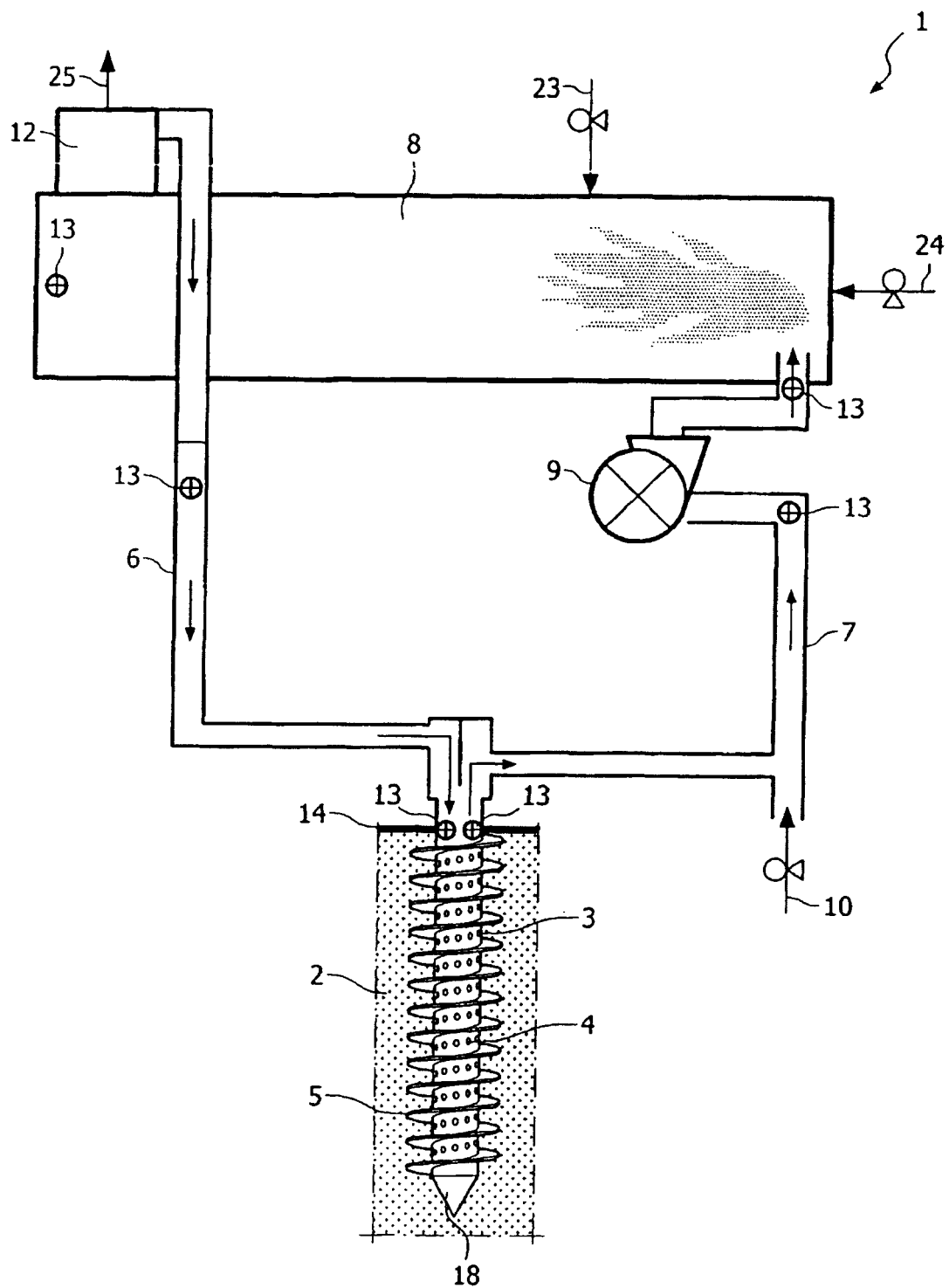


FIG. 3



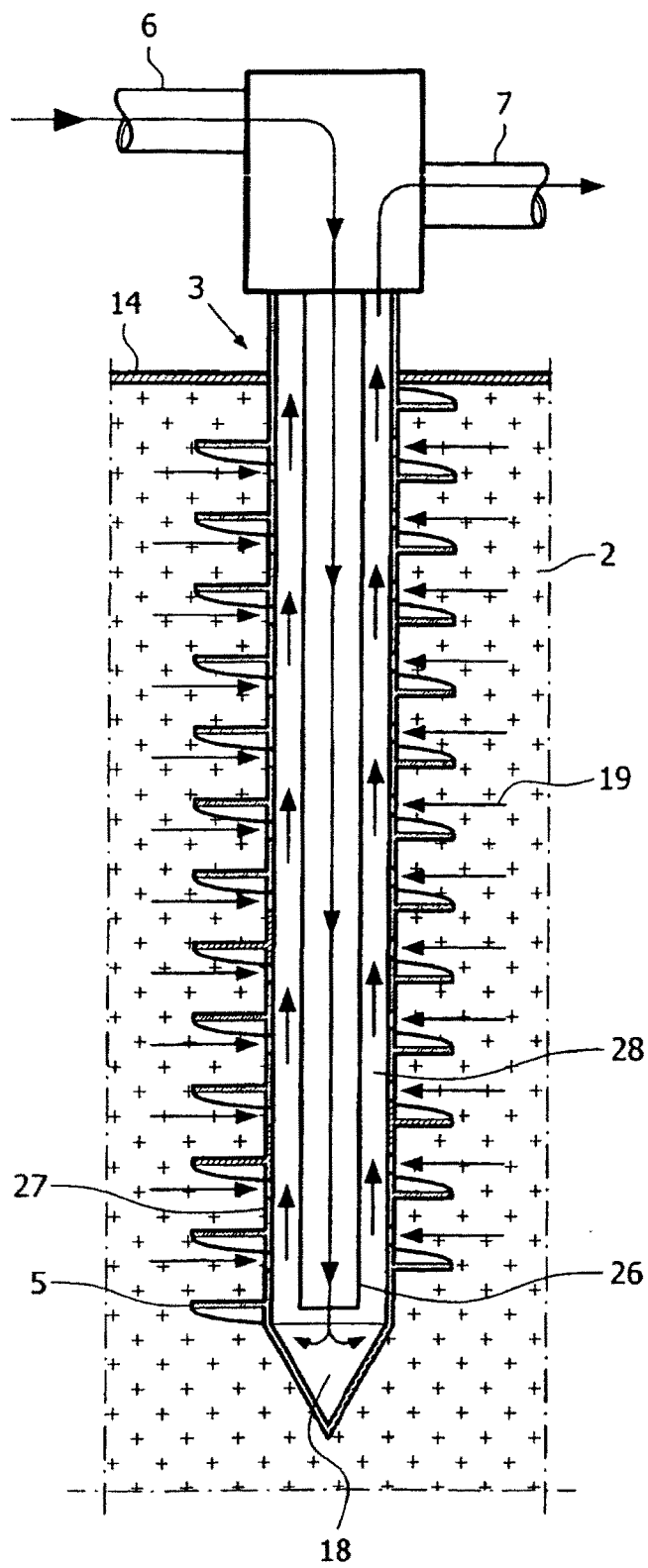


FIG. 4