

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 554 922**

51 Int. Cl.:

B09C 1/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.10.2006 E 06425719 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.09.2015 EP 1914016**

54 Título: **Sistema de descontaminación de aguas subterráneas mediante la inyección in situ de gases oxidantes y/o reductores**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.12.2015

73 Titular/es:

**SOCIETA' ITALIANA ACETILENE E DERIVATI
S.I.A.D. S.P.A. IN ABBREVIATED FORM SIAD
S.P.A. (100.0%)
VIA S. BERNARDINO 92
24126 BERGAMO, IT**

72 Inventor/es:

**BISSOLOTTI, GIORGIO;
PASINETTI, ELEONORA y
PERONI, MICHELA**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 554 922 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

Sistema de descontaminación de aguas subterráneas mediante la inyección *in situ* de gases oxidantes y/o reductores

Antecedentes de la invención

5 La legislación acerca de la regeneración de suelos y aguas subterráneas ha prestado especial atención a las tecnologías *in situ*, ya que estas tecnologías no requieren la eliminación o la extracción del suelo y/o el agua.

En Italia, desafortunadamente, la mayor parte de los sistemas de restauración siguen estando vinculados a la extracción/exportación y eliminación. Estos sistemas son muy caros y producen enormes cantidades de residuos que necesitan transportarse y eliminarse. En particular, en muchos casos, el sistema de eliminación utilizado implica almacenar el suelo contaminado en vertederos de basura autorizados.

Estos sistemas de restauración tienen un elevado impacto ambiental.

Una de las tecnologías ampliamente utilizadas para tratar las aguas subterráneas es el *Bombeo y Tratamiento*, que consiste en el bombeo y el tratamiento del agua subterránea en el propio emplazamiento. Esto requiere grandes recursos económicos y puede tardar muchos años antes de proporcionar una reducción significativa de la contaminación. El sistema no alcanza a menudo los límites objetivo de los contaminantes ya que las sustancias contaminantes sin disolver presentes en el suelo se liberan y solubilizan lentamente en el agua subterránea, determinando de esta manera colas largas de contaminación difíciles de eliminar a no ser que se utilicen otras tecnologías, que implican sin embargo costes más elevados.

El tratamiento del agua bombeada se hace usualmente en el propio emplazamiento, y requiere la instalación de grandes plantas de descontaminación que a menudo no permiten abandonar el sitio activo.

El agua tratada, además, ha de enviarse para su eliminación como residuo debido que a menudo no está permitida la descarga en cursos de agua superficial, lo que implica costes adicionales.

Por este motivo, la aplicación de tecnologías *in situ*, ampliamente extendidas en EE.UU., comienza a ser de interés también en Italia, debido sin duda alguna a ventajas económicas y de eficacia.

25 Entre estas tecnologías, la más ampliamente extendida es la *aireación*. Este sistema de restauración consiste en inyectar aire al suelo utilizando compresores con un flujo de 40-60 m³/h, para eliminar la contaminación de la parte saturada y no saturada del suelo mediante procedimientos de degradación biológica y de arrastre.

La *aireación* se combina usualmente con un procedimiento de extracción con vapor para recuperar las sustancias volátiles arrastradas y someterlas posteriormente a tratamiento. Los sistemas de restauración requieren, por lo tanto, la provisión de un gran número de pozos (inyección y succión), el uso de compresores y la instalación de un sistema de tratamiento de vapores.

De este modo, además de requerir alimentación eléctrica, la *aireación* implica significativos obstáculos físicos en el emplazamiento y los costes de aplicación no son a menudo competitivos.

La eficacia de la *aireación* depende estrictamente de las características del suelo y resulta muy importante prestar atención al camino preferente que podría evitar la recuperación homogénea de vapores.

La *aireación* es aplicable cuando la profundidad del suelo no es mayor de 15-20 m a partir del nivel piezométrico, ya que las aplicaciones más profundas requieren potentes sistemas de compresión con un elevado consumo de energía, lo que hace que el tratamiento no sea económicamente competitivo.

40 Para reducir los procedimientos de arrastre y mejorar los procedimientos biológicos, la descontaminación de la fracción subterránea saturada podría implicar la reducción de la inyección de aire hasta 8-15 m³/h: en este caso la tecnología se denomina *bioaireación*.

En el caso de contaminación por sustancias volátiles, como hidrocarburos ligeros, la *bioaireación* podría implicar también fenómenos de arrastre, ya que el flujo de gas sigue siendo significativo, los sistemas de difusión no son muy eficaces y el uso de aire no optimiza la disolución de oxígeno en agua. Por estos motivos, la *bioaireación* requiere a menudo sistemas combinados de extracción y tratamiento de vapores, con el consiguiente aumento de los consecuentes costes económicos y de gestión. Además, la *bioaireación* requiere también el uso de compresores, de tal manera que necesita energía eléctrica y un lugar donde instalar las máquinas. El uso de aire permite alcanzar concentraciones de oxígeno en el agua residual de 8-9 mg de O₂/l como máximo y, por tanto, la difusión del oxígeno es lenta y difícil.

50 En los últimos años, especialmente en los EE.UU., se han introducido nuevos sistemas de inyección que utilizan oxígeno puro en vez de aire. El oxígeno puro permite alcanzar concentraciones mayores de 40-60 mg de O₂/l dependiendo de la profundidad de la columna del agua y la temperatura. Los fenómenos de difusión de gases

pueden aumentar gracias a los elevados gradientes de concentración, además, puede reducirse el flujo de gas con respecto al aire, disminuyendo de esta forma los procedimientos de arrastre de las sustancias volátiles presentes en el agua residual.

5 El equipo de difusión tiene una gran importancia sobre la eficacia de disolución de gases. En particular, cuanto más aumenta la superficie de intercambio gas-líquido, más eficaz es la disolución del oxígeno en el agua subterránea. Cuanto más pequeñas sean las burbujas de gas, mejor es la disolución del gas.

10 Uno de los sistemas existentes que aplica este principio es ISOC™ (*In Situ Submerged Oxygen Curtain* por sus siglas en inglés). Se ha descrito que esta tecnología utiliza membranas poliméricas huecas capaces de difundir oxígeno sin dar lugar a que las burbujas salgan del agua. Este sistema, que es muy eficaz en términos de disolución de gases en agua subterránea, da como resultado el estar parcialmente limitado por los fenómenos de formación de bioincrustaciones (adhesión de biomasa/bacterias) que, en el curso del tiempo, determinan la obturación de la membrana con la pérdida de la eficacia del sistema. Para evitar bioincrustaciones, esta tecnología se aplica preferentemente fuera de la zona contaminada, haciendo que el flujo de agua subterránea transporte oxígeno al interior de la zona contaminada. Esta manera de funcionar induce tiempos de regeneración más largos y, en consecuencia, un aumento de costes debido a que la velocidad del flujo de agua subterránea puede ser muy lenta.

15 Otro sistema que permite aumentar mucho la concentración de oxígeno en el agua subterránea se basa en la introducción de sustancias químicas en el acuífero, normalmente MgO_2 , que pueden liberar oxígeno cuando entran en contacto con agua. Entre estos sistemas, el ORC (*Oxygen Release Compounds*) es el más conocido. El sistema ORC consiste en la introducción de sustancias oxigenadas en forma de suspensión o "mangueras de aire" que se sumergen en el agua subterránea. En el caso anterior, se han de excavar trincheras que alcancen la profundidad del acuífero para distribuir los productos de una manera uniforme. En el último caso, las mangueras introducidas en los pozos han de cambiarse periódicamente y, además, la difusión de oxígeno se bloquea por el crecimiento de biomasa en su superficie.

20 El documento US 2003/155309 se refiere a un sistema de regeneración basado en el uso de peróxido de hidrógeno líquido inyectado en agua subterránea mediante un sistema de regulación basado en el análisis del gas del suelo y un mecanismo neumático.

25 Se basa en el uso de un sistema de inyección de oxidante líquido o de un agente liberador de oxígeno como peróxido de hidrógeno almacenado en un tanque. Para regular el flujo de este líquido se usa un gas presurizado almacenado en otro tanque. Los dos tanques se usan para alimentar muchos puntos de inyección.

30 El documento EP-1774197A se refiere a un sistema de regeneración basado en el uso de aire-ozono combinado con peróxido de hidrógeno líquido inyectado al agua subterránea a través de un compresor y una bomba. El uso de ozono y peróxidos líquidos necesita energía para alimentar el generador, los compresores y las bombas y necesita espacio para los instrumentos y reactivos almacenados.

35 El documento WO 03/0443755 se refiere a un sistema de regeneración basado en el uso de inyección de aire comprimido a diferentes profundidades, que se produce con un molino de viento, con dosificación de nutrientes y control en línea del progreso de regeneración y registradores de datos. La inyección de aire se caracteriza por flujos de $3 \text{ Nm}^3/\text{h}$ y los cabezales de venteo están constituidos por estructuras cilíndricas huecas fabricadas de material de acero o plástico. Este tipo de inyección es normalmente un sistema de bioaireación y se caracteriza por una eficacia baja de disolución del oxígeno y efectos de arrastre.

40 De todas formas, el principio de difusión de estos sistemas es muy diferente del utilizado en la inyección directa de gas.

Sumario de la invención

45 Se ha descubierto ahora un nuevo sistema de inyección de gas que opera en agua subterránea contaminada que supera los problemas de las tecnologías actualmente utilizadas y es el objeto de la invención.

Dicho sistema se caracteriza por los rasgos de la reivindicación 1 independiente adjunta.

Se muestran realizaciones ventajosas de la invención en las reivindicaciones dependientes.

50 El sistema de la invención utiliza una membrana porosa para la microdifusión en el agua subterránea de gases oxidantes y/o reductores, y se caracteriza en que no requiere energía eléctrica, se aplica *in situ*, no es invasivo permitiendo de esta manera dejar operativa y libre de obstáculos la zona de operación.

El sistema permite alcanzar elevadas concentraciones de gas en los pozos de aplicación, de tal manera que la velocidad de difusión es muy elevada y se reducen los tiempos de regeneración.

El sistema permite purificar las sustancias contaminantes presentes en el agua subterránea mediante procedimientos de oxidación o reducción.

En comparación con el resto de tecnologías usadas actualmente, el sistema de la invención permite obtener varias ventajas: un impacto en el sitio muy bajo; flexibilidad de aplicación elevada; ausencia de arrastre de sustancias volátiles; ausencia de bioincrustaciones sobre la superficie de difusión del gas; sin producción de residuos.

5 Los gases usados preferentemente son oxígeno puro, aire, ozono para los procedimientos de oxidación; hidrógeno, metano, propano para los procedimientos de reducción; dióxido de carbono para los procedimientos químicos; nitrógeno para algunos procedimientos biológicos.

10 Un objeto particular de la presente invención es un sistema de inyección de oxígeno en agua subterránea a través de una membrana porosa microestructurada adecuada que evitan o al menos reducen las bioincrustaciones, de tal manera que no interfiere con la microdifusión y la utilización del oxígeno durante largos periodos. Un objeto particular de la invención es también la concepción/implementación del sistema que permite dejar la totalidad de la zona de regeneración libre de obstáculos.

Descripción detallada de la invención

La invención se describirá ahora con referencia a una de sus realizaciones ilustrativas no limitantes como se muestra en los dibujos adjuntos:

- 15 - La Fig. 1 representa esquemáticamente, en su totalidad, el sistema de difusión de gases de acuerdo con la invención;
- La Fig. 2 es una vista esquemática del equipo de alimentación de gases;
- La Fig. 3 es una vista esquemática de un difusor de gases;
- 20 - La Fig. 4 es un gráfica del progreso de las especies contaminantes registradas en un pozo situado 5 metros corriente abajo del pozo de inyección de acuerdo con un ejemplo de aplicación de la invención;
- La Fig. 5 es una gráfica que indica los resultados obtenidos en un ensayo de difusión con un trazador de gases.

Con referencia particular a la Fig. 1, el sistema de la presente invención consiste sustancialmente en:

- 25 - un equipo de alimentación de gases, indicado generalmente por el número de referencia 1, situado en el cabezal 3 de un pozo de inyección 4;
- 30 - una línea de alimentación 2 que se extiende a lo largo del pozo 4;
- un equipo de difusión 5.

Con referencia a la Fig. 2, el equipo de alimentación de gases 1 está constituido por:

- 35 - al menos, un cilindro de gases comprimidos 6 (oxígeno y/o trazador de gases y/o una mezcla de gases oxidantes o reductores);
- un reductor de presión 7;
- un regulador de flujo 8;
- una línea de conexión y un adaptador para manguera 9.

Dependiendo de la dimensión de la tubería del pozo, esta parte del sistema puede alojarse en una caja portátil 10. Esta caja puede colocarse subterránea próxima al pozo de inyección o sobre el cabezal del pozo. En cualquier caso, se introduce bajo la línea del suelo, dejando el sitio completamente libre de bloques y obstáculos y útil para camiones. La caja puede protegerse por una tapa de registro o una rejilla, dimensionada adecuadamente para soportar el peso de los vehículos. Debe prestarse atención a los sistemas de evacuación de agua de la parte inferior de la carcasa. De esta forma, se pueden evitar la inundación y el daño del equipo.

Con referencia a la Fig. 3, el equipo de difusión 5 está constituido por:

- 40 - tubería de gases y accesorio de manguera 9;
- cuerpo del difusor 11;
- membrana de difusión microporosa 12.

De acuerdo con la invención, el sistema consiste esencialmente en las siguientes etapas:

- 45 - almacenamiento de gas comprimido en cilindros y/o en paquetes de cilindros;
- dispositivo de reducción de la presión del gas comprimido hasta 1-5 bares (100-500 kPa);
- regulación del flujo de gas a 0,5-1,5 l/h;
- inyección de gas oxidante y/o gas reductor y/o una mezcla de gases en el agua subterránea a través de un difusor microestructurado poroso.

50 Se puede llevar a cabo una reducción de la presión mediante reductores de doble etapa y/o multietapa y/u orificios calibrados.

Se consigue la regulación del flujo de gas a través de medidores de flujo y/o dispositivos calibrados.

La presente invención puede aplicarse principalmente a la descontaminación de aguas subterráneas. Los gases usados preferentemente son oxígeno puro, aire, ozono para los procedimientos de oxidación; e hidrógeno, metano, propano para los procedimientos de reducción; dióxido de carbono para los procedimientos químicos; nitrógeno para algunos procedimientos biológicos.

5 En el caso de purificación de la fracción contaminada de la parte subterránea saturada, el gas usado principalmente es oxígeno, que puede estimular el procedimiento de degradación aerobia. El oxígeno estimula la actividad biológica aerobia de los microorganismos autóctonos del sitio, permitiendo la biodegradación de sustancias contaminantes. Con este sistema, se pueden alimentar gases reductores, tales como hidrógeno, para activar la biodegradación reductora de la contaminación de las aguas subterráneas.

10 En casos concretos, el sistema de la presente invención permite la alimentación de ozono o dióxido de carbono. Se puede usar ozono en el caso de que se requiera una fuerte oxidación, mientras que se usa dióxido de carbono cuando se ha de modificar el pH del agua subterránea y el suelo.

15 La inyección de gas no requiere el uso de energía eléctrica ya que utiliza la energía potencial del gas comprimido. El sistema no utiliza energía eléctrica en ninguna parte del mismo. De esta forma, el sistema se puede aplicar en cualquier sitio, incluso cuando están presentes hidrocarburos y/o se requieren procedimientos de seguridad concretos.

20 Los cilindros utilizados en la inyección de gas deben sustituirse periódicamente, pero a la luz del bajo flujo necesario, la sustitución se puede realizar al cabo de algunos meses. Las sustituciones pueden ser coincidentes con los controles normales del emplazamiento (muestreo de agua, medida del nivel del agua subterránea, etc.), y de esta manera no requiere mano de obra adicional, con efectos positivos sobre los costes de gestión.

El sistema permite alcanzar una alta eficacia de disolución del gas en el estrato que contiene el agua utilizando una membrana microporosa. Esta membrana concreta puede ser tanto plana como curvada y las bacterias o la biomasa presente en el agua subterránea apenas se unen a la misma, incluso aunque su crecimiento esté favorecido por la inyección de gas. La membrana microporosa representa el núcleo de todo el sistema de inyección de gas.

25 El sistema de regeneración de la presente invención se caracteriza por:

- eficacia
- compacidad
- impacto muy bajo en el sitio de regeneración, que sigue siendo completamente transitable
- posibilidad de llevar a cabo la regeneración manteniendo a la vez el sitio operativo
- 30 - ausencia de fenómenos de arrastre
- ausencia de contacto entre los operarios y las sustancias tóxicas/irritantes/carcinogénicas
- ausencia de los fenómenos de bioincrustaciones en la membrana de difusión
- gestión fácil
- equipo rápido, instalación y extracción del sistema de difusión
- 35 - ausencia de producción de residuos
- competitividad de costes en comparación con los sistemas tradicionales
- facilidad y rapidez de dimensionamiento mediante el uso de oxígeno y mezclas de gases trazadores.

40 El gas se difunde a través de la membrana porosa microestructurada 12 colocada en un soporte 11 adecuado, fabricado de acero inoxidable, material polimérico o vidrio. En particular, el tamaño de los poros de la membrana es menor de 16 micrómetros, permitiendo la formación de burbujas con dimensiones micrométricas y una alta capacidad de disolución en agua.

El gas se suministra usualmente a presiones de aproximadamente 2,5 bares (250 kPa) y fluye igual a aproximadamente 10-15 cm³/min que equivale a 0,6-0,9 NI/h. Sin embargo, es posible configurar otra presión y/o flujo en función del consumo de gases del agua subterránea.

45 La membrana consiste preferentemente en una superficie plana con forma redondeada. Esta conformación permite la difusión de gases a través de una superficie horizontal, para minimizar los fenómenos de coalescencia y mantener la tasa de disolución elevada. En algunas aplicaciones, sin embargo, la membrana puede tener también un perfil curvado.

50 La membrana se fabrica de vidrio de silicato de boro, constituido por arena silícea, óxido bórico y algunos otros minerales. Este material es particularmente resistente al calor, la corrosión química, cambios súbitos de temperatura, fenómenos de unión a la biomasa (bioincrustaciones). Dichas propiedades permiten mantener la superficie de la membrana completa y limpia durante largo tiempo, garantizando de esta manera una alimentación constante de gas en términos de dimensión de las burbujas y de flujo de gas.

55 La eficacia de la disolución del gas es mayor del 90 %; tras 6 meses de uso continuo, la eficacia es mayor del 60 %. Esto es debido a: bajo flujo suministrado; dimensión de burbujas micrométricas; disposición de difusión superficial y características fisicoquímicas del material de membrana. Dicha eficacia elevada evita posibles fenómenos

indeseados tales como el arrastre de sustancias volátiles presentes en el agua subterránea.

El sistema de inyección se caracteriza por una elevada flexibilidad de aplicación. Las dimensiones del difusor pueden variar de 3 a 15 cm de diámetro (de todos modos, las dimensiones no limitan el procedimiento y pueden ser mayores). Esto permite aplicar el sistema en pozos con diferentes dimensiones y no requiere la realización de pozos específicos porque se pueden usar pozos ya existentes. El nivel de inmersión del difusor es un parámetro también flexible. Cuanto mayor es la profundidad de inmersión, mayor es la concentración del gas disuelto, pero el difusor solamente puede introducirse hasta pocos centímetros del nivel piezométrico. A modo de ejemplo, un difusor colocado 2 metros bajo el nivel piezométrico, con una temperatura del agua de aproximadamente 15°C, puede alcanzar una concentración de oxígeno de aproximadamente 45 mg/l a lo largo de toda la columna de agua del pozo.

Para promover y aumentar la velocidad de difusión a través del agua subterránea, se puede utilizar una recirculación forzada del agua subterránea de corriente arriba a corriente abajo. Cuando se usan gases concretos, se pueden instalar dispositivos de seguridad adecuados para el control de presiones y/o los niveles explosivos en el interior de los pozos de inyección.

Un elemento adicional de flexibilidad de la aplicación consiste en la posibilidad de usar cilindros de gas pequeños (1-9 litros) o normales (10-50 litros y más) para el sistema de suministro.

En el caso anterior, se puede construir un sistema de suministro portátil alojado en la caja 10 adecuada (Fig. 1 y 2), dicha caja se puede introducir en los laterales de un orificio subterráneo o en la parte superior de cada pozo de inyección, si existe suficiente espacio. Esta solución permite no tener impacto visual sobre el sitio. Incluso si los volúmenes de los cilindros son pequeños, considerando el bajo flujo de alimentación, la duración de los cilindros es mayor de 30 días, dependiendo del consumo de gas subterráneo.

El uso de cilindros más grandes puede inducir gastos mayores para su colocación, pero, de todos modos, se pueden alojar subterráneamente cerca del pozo de tal manera que la zona se deje libre de obstáculos.

Los difusores se pueden alimentar también por paquetes. En este caso, los paquetes pueden alojarse en una estructura externa rodeados por un cerramiento adecuado. Puede construirse un sistema de estanterías para suministrar más pozos al mismo tiempo.

Aunque se pueden aplicar las tres soluciones descritas en el presente documento, la primera es la mejor debido a que se reduce el trabajo requerido para alojar los cilindros de gas, lo que da lugar a que la totalidad de la zona esté completamente libre y no tenga impacto visual del sitio de regeneración.

Entre las diversas aplicaciones posibles, el sistema de inyección permite, además, usar pozos abiertos o herméticamente cerrados. En el primer caso, el sistema no requiere controles adicionales concretos. En el último caso, se requiere un sistema de control de la presión proporcionado por un dispositivo de seguridad adecuado en el pozo. El uso de pozos cerrados permite aumentar la presión de la atmósfera de la pared interna sobre el nivel piezométrico, lo que determina un aumento de la concentración de oxígeno alcanzable.

El dimensionamiento del sistema de inyección puede implicar un ensayo piloto utilizando gases trazadores inertes que no interactúan con la actividad quimicobiológica del suelo y, así, permitir identificar rápida y unívocamente el radio de influencia específico de la tecnología específicamente aplicada en el sitio investigado. De esta manera, se pueden identificar las condiciones particulares de difusión del sitio en función de sus características hidrológicas.

El uso de este procedimiento se reivindica en una solicitud de patente presentada a nombre del solicitante con la misma fecha de presentación de la presente solicitud.

Entre los gases inertes existentes, se ha encontrado que el neón es la mejor solución en términos de conveniencia económica y detección analítica.

En el ensayo piloto se puede usar una mezcla de gases trazadores y oxígeno y/o se pueden utilizar gases reductores para obtener el radio de influencia y la cinética del consumo de gas del agua subterránea.

El sistema descrito se puede aplicar en los siguientes casos no limitantes:

- Agua subterránea contaminada por sustancias orgánicas
- Agua subterránea contaminada por sustancias inorgánicas
- Agua subterránea contaminada por sustancias de hidrocarburos
- Agua subterránea contaminada por sustancias halogenadas
- Agua subterránea contaminada por iones metálicos
- Agua subterránea con contaminación que se puede biodegradar mediante oxidación
- Agua subterránea con contaminación que se puede biodegradar mediante reducción
- Agua subterránea con contaminación químicamente oxidante
- Agua subterránea con contaminación químicamente reducible

- Agua subterránea de sitios con cualquier configuración estratigráfica/hidroológica/geológica
- En general, en todos los suelos saturados que necesitan regenerarse

Ejemplo de aplicación

5 Se describirá en las siguientes páginas un ejemplo de aplicación del sistema de regeneración de la presente invención.

10 El sistema se aplicará en la reconstrucción del emplazamiento de una gasolinera, en el que se produjo contaminación debido a fugas en los tanques. La elección del sistema de regeneración de la presente invención se debió a la necesidad del propietario del emplazamiento de adoptar un sistema que no produjera ningún impedimento sobre las actividades de reconstrucción. Hidrogeológicamente, el sitio estaba constituido principalmente de arenas y sedimentos con una conductibilidad hidráulica muy baja ($k=10^{-5}$ m/s) y una consiguiente velocidad del agua subterránea de 0,8 cm/d.

El nivel de contaminación era particularmente elevado y estaba difundido por la totalidad del emplazamiento, con una concentración de hidrocarburos totales de hasta 50000 $\mu\text{g}_{\text{n-hexano}}/\text{l}$, una concentración del compuesto aromático de hasta 2500 $\mu\text{g}/\text{l}$ y una concentración de MTBE de hasta 8000 $\mu\text{g}/\text{l}$.

15 La aplicación del sistema implicó una primera fase de factibilidad del procedimiento de regeneración mediante un ensayo piloto *in situ*. El ensayo se llevó a cabo utilizando el sistema anteriormente descrito mediante un cilindro de oxígeno subterráneo en el equipo de suministro de gas. La alimentación del gas se ajustó a 0,6 $\text{l}_{\text{O}_2}/\text{h}$ (en condiciones normales) y la presión a 2,5 bares (250 kPa).

20 El ensayo implicó la inyección en un pozo situado en el centro de la zona contaminada y la vigilancia de una serie de piezómetros alrededor del pozo de inyección.

En un plazo de 20 días se pudo obtener la eliminación completa de la contaminación en el pozo de inyección. En la proximidad de los piezómetros, se pudo registrar una reducción gradual del nivel de contaminación en un máximo de 5 metros a partir del pozo de inyección.

25 La Fig. 4 muestra el progreso de la descontaminación registrada en el pozo 5 metros corriente abajo del pozo de inyección.

A la luz de la elevada contaminación del sitio derivada del consumo de oxígeno por las bacterias, se registró un retraso en el aumento del oxígeno disuelto durante el ensayo piloto, en comparación con la velocidad de difusión real del gas en el agua subterránea.

30 Para evaluar correctamente la regeneración realmente requerida, se llevó a cabo un ensayo de difusión utilizando un gas trazador inerte (neón). Los resultados obtenidos se muestran en la Fig. 5.

El ensayo con el gas trazador inerte permitió estimar la velocidad de difusión del gas en el agua subterránea del sitio específico, que era de 15 cm/d, que es mayor que la velocidad del estrato de agua.

Sobre la base de los datos recogidos, se estimó un radio de influencia de aproximadamente 45 m en 30-40 días.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de descontaminación de sitios contaminados mediante la inyección de gas en al menos un pozo de inyección/piezómetro (4) que comprende:
- 5
- un equipo (1) de alimentación de gas situado en el cabezal (3) del pozo (4) de inyección;
 - una tubería (2) de suministro, extendida a lo largo de la totalidad del pozo (4);
 - un equipo (5) de difusión;
- caracterizado porque;**
- 10
- el equipo (1) de alimentación de gas comprende al menos un recipiente (6) de gas comprimido,
 - el equipo (5) de difusión consiste en al menos una membrana (12) de vidrio microporosa introducida en el agua subterránea y, en uso, la inyección del gas se lleva a cabo utilizando la energía potencial del gas comprimido, sin implicar ninguna energía externa del sistema.
2. El sistema de la reivindicación 1, en el que dicha membrana (12) microporosa para la difusión de gases se fabrica de vidrio de silicato de boro resistente a la corrosión fisicoquímica y a la adhesión de la biomasa (bioincrustaciones).
- 15
3. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que los poros de la membrana (12) tienen menos de 16 micrómetros.
4. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1, 2 o 3, en el que dicha membrana microporosa es plana o curvada, y su tamaño es tal que se puede insertar en el pozo/piezómetro con un diámetro que varía de 3 a 20 cm.
- 20
5. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha membrana (12) microporosa se ajusta a un soporte (11) del cuerpo fabricado de acero, material polimérico o vidrio.
6. El sistema de la reivindicación 1, y una cualquiera o más de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho recipiente (6) de gas comprimido es un cilindro u otro recipiente presurizado, preferentemente con una capacidad de agua que varía de 1 a 50 litros.
- 25
7. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que cada pozo (4) está provisto de al menos un recipiente de gas comprimido que contiene el gas que se va a difundir en el agua subterránea.
8. El sistema de la reivindicación 1, y una cualquiera o más de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho equipo de alimentación (1) se introduce en una caja (10) de alojamiento colocada en un orificio subterráneo próximo o sobre el pozo de inyección, de tal manera que el orificio, y por tanto el sitio de regeneración completo permaneciendo practicable para vehículos.
- 30
9. El sistema de la reivindicación 1 y una cualquiera o más de las reivindicaciones anteriores, en el que el control del dispositivo (7) de presión y un regulador (8) del flujo se ensamblan corriente abajo del recipiente (6) de gas comprimido.
10. El sistema de la reivindicación 9, en el que el control del dispositivo (7) de presión es un reductor de dos etapas o multietapa o tiene uno o más orificios calibrados.
- 35
11. El sistema de la reivindicación 9, en el que el regulador (8) del flujo consiste en un flujómetro o en dispositivos calibrados.
12. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se proporcionan dispositivos de seguridad para controlar la presión y/o los niveles de explosión en el interior de los pozos de inyección.
- 40
13. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el gas comprimido usado en la descontaminación del sitio e inyectado en el agua subterránea es un gas oxidante, puro y/o mezclado con otros gases.
14. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que el gas comprimido usado en la descontaminación del sitio e inyectado en el agua subterránea es un gas reductor, puro y/o mezclado con otros gases.
- 45
15. El sistema de la reivindicación 13, en el que el gas comprimido oxidante es oxígeno puro o mezclado, u ozono mezclado con oxígeno u aire.
16. El sistema de la reivindicación 14, en el que el gas comprimido reductor es hidrógeno puro o mezclado, o metano puro o mezclado, o propano puro o mezclado.
- 50
17. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que el gas comprimido es dióxido de carbono puro o mezclado.

ES 2 554 922 T3

18. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la presión del gas, o mezcla de gas, en el difusor (5) varía de 100 a 1000 kPa (absoluto), preferiblemente 250 - 500 kPa.
19. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el suministro de flujo del gas, o mezcla de gas, varía de 0,5 a 20 l/h, preferentemente 0,6-0,9 l/h para cada difusor (5).
- 5 20. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el gas, o la mezcla, se inyecta a una profundidad mayor de 0,1 m, preferentemente mayor de 1 m, en comparación con el nivel piezométrico.
21. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la eficacia de disolución es de aproximadamente el 90 % y se mantiene por encima del 60 % tras 6 meses de trabajo continuo.
- 10 22. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se proporciona un recipiente (6) de gas comprimido para cada punto de inyección.
23. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 21, en la que cada recipiente (6) de gas comprimido alimenta más de un punto de inyección mediante líneas subterráneas que salen de sitio de regeneración completamente transitable por vehículos.
- 15 24. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los pozos de inyección/piezómetros (4) están abiertos.
25. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 23, en el que los pozos/piezómetros están (4) herméticamente cerrados.
26. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que implica una recirculación forzada del agua subterránea de corriente arriba a corriente abajo.
- 20 27. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la inyección de gas se ejecuta en varios puntos, colocados en el interior de la zona de contaminación y/o aguas arriba y/o aguas debajo de la zona de contaminación.
- 25 28. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el diseño del sistema de regeneración se realiza usando una mezcla de gas, donde un gas es el agente útil para la regeneración y el otro, u otros, son gases trazadores útiles para identificar el radio de influencia de la inyección.
29. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 27, en el que la vigilancia del progreso de la regeneración se realiza inyectando una mezcla de gas durante la propia regeneración, siendo un gas el agente útil para la descontaminación y uno o más gases diferentes que son gases trazadores.
- 30 30. El sistema de las reivindicaciones 28 y 29, en el que los gases trazadores son gases nobles, tales como: helio, neón, argón, kriptón, xenón, preferentemente neón.

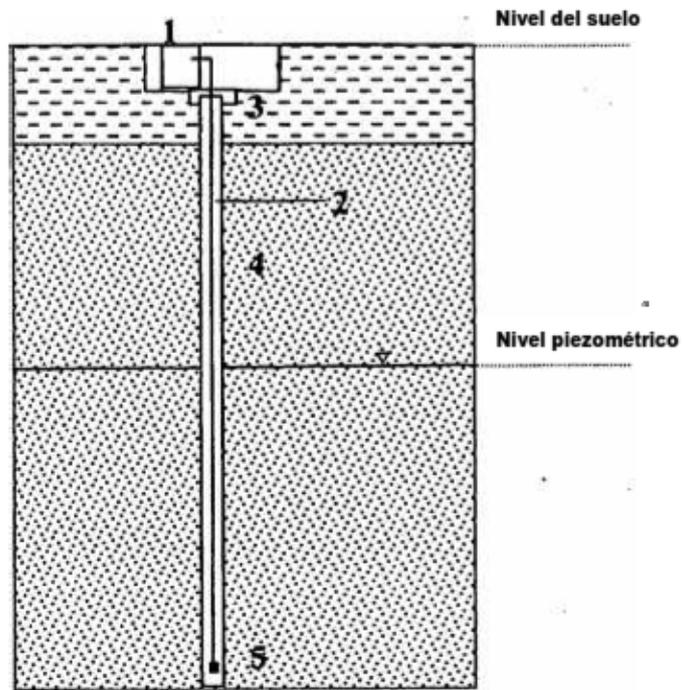


Figura 1

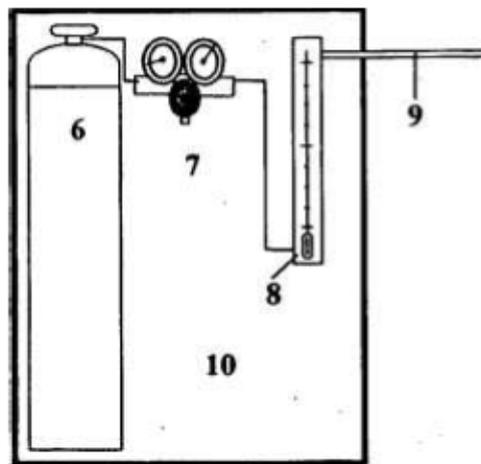


Figura 2

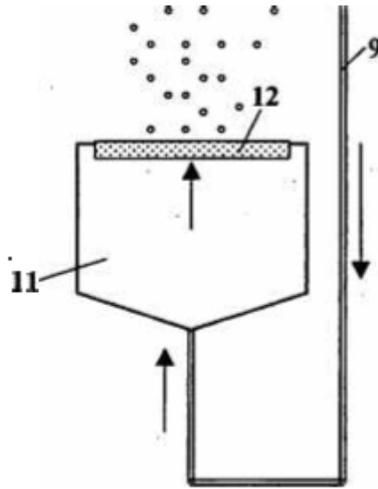


Figura 3

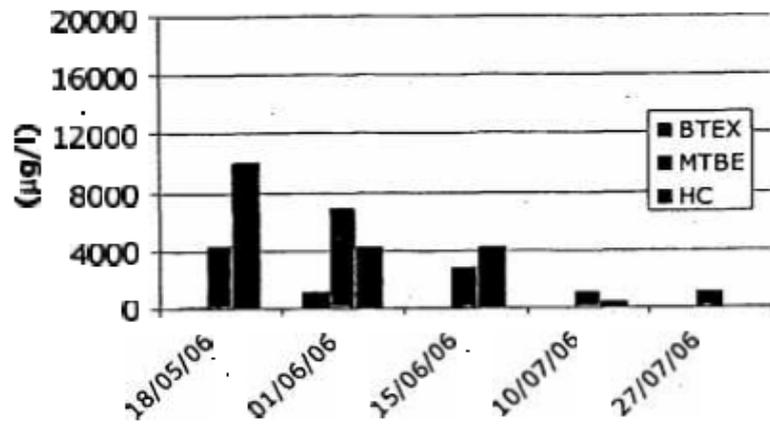


Figura 4

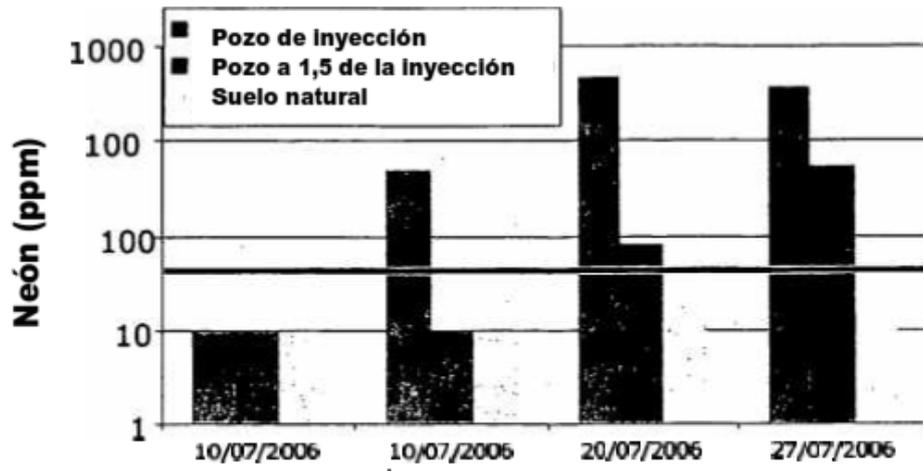


Figura 5