

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 603 089**

51 Int. Cl.:

B09C 1/00 (2006.01)

G01N 33/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.10.2006** **E 06425718 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.08.2016** **EP 1914015**

54 Título: **Procedimiento basado en el uso de una mezcla gaseosa para dimensionar sistemas de difusión de gas en aguas subterráneas y evaluar la contaminación del acuífero**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.02.2017

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 2 603 089 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 basado en el uso de una mezcla gaseosa para dimensionar sistemas de difusión de gas en aguas subterráneas y evaluar la contaminación del acuífero

Antecedentes de la invención

5 La legislación sobre rehabilitación de tierras y aguas subterráneas ha estado prestando particular atención a tecnologías *in situ*, dado que estas tecnologías no requieren la eliminación o extracción de suelo y/o agua.

En Italia, lamentablemente, la mayoría de los sistemas de recuperación siguen estando vinculados a la extracción/exportación y eliminación. Estos sistemas son muy caros y producen cantidades de desechos que necesitan transportarse y eliminarse. En particular, en muchos casos, los sistemas de eliminación implican el almacenamiento de tierra contaminada en vertederos autorizados.

Estos sistemas de rehabilitación tienen como resultado un gran impacto ambiental.

Una de las tecnologías de uso muy extendido para tratar aguas subterráneas es *Bombear y Tratar*, que consiste en bombear y tratar el agua subterránea sobre el terreno. Requiere grandes recursos económicos y pueden pasar muchos años antes de ofrecer una reducción significativa de la contaminación. El sistema con frecuencia no alcanza los límites de contaminantes diana porque las sustancias contaminantes no disueltas presentes en el suelo se liberan lentamente y se solubilizan en el agua subterránea, determinando por tanto largas estelas de contaminación difíciles de eliminar a no ser que se usen otras tecnologías, que implican, no obstante, mayores costes.

El tratamiento de agua bombeada normalmente se realiza sobre el terreno y necesita la instalación de grandes plantas descontaminadoras que con frecuencia no permiten dejar el sitio activo.

20 El agua tratada, además, tiene que enviarse para su eliminación como desecho ya que con frecuencia no está permitida su descarga en agua superficial, lo que implica costes adicionales.

Por estos motivos, la aplicación de tecnologías *in situ*, ampliamente difundidas en EE. UU., empieza a ser de interés también en Italia, debido a sus indudables ventajas en términos económicos y de eficiencia.

Entre estas tecnologías la más difundida es la del *Barboteo de Aire*. Este sistema de recuperación consiste en inyectar aire en el suelo usando compresores con un flujo de 40-60 m³/h, para retirar la contaminación de la fracción de tierra saturada e insaturada por procedimientos de degradación biológica y separación.

El *Barboteo de Aire* con frecuencia se combina con un procedimiento de extracción con vapor para recuperar sustancias volátiles separadas y posteriormente someterlas a tratamiento. El sistema de recuperación requiere, por lo tanto, el suministro de un gran número de pozos (de inyección y succión), el uso de compresores y la instalación de un sistema de tratamiento con vapor.

Como tal, además de tener que alimentarse con electricidad, el *Barboteo de Aire* implica obstáculos significativos sobre el terreno y los costes de aplicación con frecuencia no resultan competitivos.

La eficacia del *Barboteo de Aire* depende estrictamente de las características de la tierra y es muy importante prestar atención a un modo preferente que podría evitar la recuperación homogénea de vapores.

35 El *Barboteo de Aire* es aplicable cuando la profundidad del terreno no es superior a 15-20 m desde el nivel piezométrico, dado que aplicaciones más profundas requieren sistemas de compresión más potentes con un alto consumo energético, que hace que el tratamiento no sea económicamente competitivo.

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

En caso de contaminación con sustancias volátiles, como hidrocarburos ligeros, el *bioborboteo* podría implicar también un fenómeno de separación, dado que los flujos de gas permanecen significativos, los sistemas de difusión no son muy eficientes y el uso de aire no optimiza la disolución de oxígeno en agua. Por estos motivos el *bioborboteo* con frecuencia requiere sistemas combinados de tratamiento y extracción con vapor, con el consiguiente aumento de costes económicos y de gestión. Es más, el *Bioborboteo* también requiere el uso de compresores, por lo que necesita energía eléctrica y un lugar en el que instalar las máquinas. El uso de aire permite alcanzar concentraciones de oxígeno en agua subterránea de 8-9 mgO₂/l como máximo por lo que la difusión de oxígeno es lenta y difícil.

En los últimos años, sobre todo en los EE. UU., se han introducido nuevos sistemas de inyección que usan oxígeno puro en lugar de aire. El oxígeno puro permite alcanzar concentraciones superiores a 40-60 mgO₂/l dependiendo de la profundidad de la columna de agua y de la temperatura. El fenómeno de difusión de gas puede aumentarse gracias a elevados gradientes de concentración, además los flujos de gas se pueden reducir con respecto al aire, disminuyendo así los procedimientos de separación de sustancias volátiles presentes en el agua subterránea.

El equipo de difusión tiene una gran importancia sobre la eficiencia de la disolución del gas. En particular, cuanto más aumenta el intercambio superficial de gas-líquido, más eficiente es la disolución de oxígeno en agua subterránea. Cuanto más pequeñas son las burbujas de gas, mejor es la disolución del gas.

5 Uno de los sistemas existentes que aplican este principio es el ISOC™ (Por sus siglas en inglés de *In Situ Submerged Oxygen Curtain* Cortina de Oxígeno Sumergida In Situ). Esta tecnología se ha divulgado, como una en la que se usa una membrana polimérica hueca capaz de difundir el oxígeno sin producir burbujas que salgan fuera del agua. Este sistema, que es muy eficiente en términos de disolución de gas en agua subterránea, resultar estar parcialmente limitada por el fenómeno de bioincrustación (adhesión de biomasa/bacterias), que con el transcurso del tiempo, determina el cegado de la membrana con la pérdida de la eficiencia del sistema. Para evitar la bioincrustación, preferentemente esta tecnología se aplica fuera de zonas contaminadas, dejando que el agua subterránea fluya para transportar el oxígeno dentro de la zona contaminada. Esta forma de operar induce tiempos de recuperación más largos y, en consecuencia, un aumento de los costes dado que la velocidad del flujo de agua subterránea podría ser muy lento.

15 Además de estar caracterizado por los inconvenientes descritos anteriormente (consumo de energía eléctrica, bioincrustación, producción de residuos, etc.), los sistemas usados en el presente se basan en procedimientos de dimensionamiento que pueden mejorarse.

La metodología usada actualmente para definir y dimensionar la rehabilitación *in situ* de agua subterránea implica el suministro de varios pozos en el lugar contaminado y el análisis de muestras de agua subterránea tomadas de los mismos.

20 Tal metodología tiene dos importantes inconvenientes: el primero es que el procedimiento de dimensionado está basado en los datos relacionados con los puntos analizados, mientras que el lugar de rehabilitación es un sistema continuo; el segundo es que los análisis se establecen para buscar solo las sustancias que están presuntamente presentes, dado que es difícil analizar cada tipo de producto.

25 De este modo, solo puede obtenerse una imagen aproximada de la distribución de polución por el lugar, dado que la concentración de sustancias contaminadas presentes en los pozos analizados se deduce por interpolación de los pocos datos recabados. Debe considerarse que normalmente, la malla de muestreo es de aproximadamente 20-100 m²; por lo tanto, los análisis efectuados no pueden ser representativos de toda el área.

30 Por otro lado, los análisis identifican solo algunos de los contaminantes actualmente presentes y, por muy precisos que esos análisis sean, no pueden tomar en cuenta la estructura del terreno y la influencia del suelo en la difusión y consumo de los gases utilizados para la rehabilitación.

35 Estos datos a veces se evalúan por separado con pruebas específicas, en momentos diferentes comparados con análisis químicos. Cabe destacar, sin embargo, que incluso si todos los contaminantes y la estructura del terreno se evaluaran, seguiría siendo difícil, o incluso imposible, determinar la difusión actual del gas de rehabilitación en agua subterránea. Actualmente, la difusión del gas en el acuífero está sujeta a la interferencia ejercida por los mecanismos hidrogeológicos, químicos, físicos y biológicos presentes en el terreno.

40 Por otro lado, la difusión de gas tiene una velocidad que difiere del movimiento del agua subterránea y por tanto el tiempo actual requerido para obtener la descontaminación completa del lugar resulta difícil de predecir. Por lo tanto, para dimensionar correctamente los sistemas de contaminación basándose en la inyección de gas en agua subterránea, tanto la velocidad de la capa freática como la velocidad del progreso del gas tienen que conocerse simultáneamente.

En la actualidad, estos valores se detectan en momentos diferentes y, en consecuencia, los datos proyectados y los datos reales recabados durante la rehabilitación con frecuencia no concuerdan.

45 Para efectuar una rehabilitación de un lugar contaminado, es por lo tanto necesario conocer las características del lugar. Los parámetros de caracterización tienen que describir la estratigrafía del terreno, su composición, su conductibilidad, la naturaleza y concentración de contaminantes, la velocidad de la capa freática, su temperatura, su profundidad, nivel piezométrico y demás. Tales parámetros se identifican mediante el análisis de la tierra y el agua subterránea y pruebas hidrogeológicas específicas. La caracterización del lugar se obtiene por interpolación y procesamiento de los datos recabados en el punto de muestreo y mediante pruebas hidrogeológicas.

50 A veces, se pueden llevar a cabo pruebas piloto que simulan la aplicación de la tecnología de recuperación elegida, de modo que se obtengan datos realistas. En el caso de inyección de gas, la prueba implica la inyección de gas en un pozo y la monitorización del progreso de la contaminación y parámetros hidroquímicos en pozos/piezómetro colocados alrededor de tal pozo. Las dimensiones del lugar de rehabilitación se deciden basándose en los resultados obtenidos.

55 Aunque con frecuencia se requieren largos tiempos para obtener los resultados anteriores, los últimos no son siempre significativos en lo referente a la difusión actual del gas. Esto puede ser debido a varios factores, tales como la presencia de contaminantes que no se han tenido en cuenta y que determinan un mayor consumo de gas sin permitir la detección del gas en los pozos de monitoreo, la presencia de sustancias que consumen químicamente el gas

inyectado, una conformación hidrogeológica diferente del terreno que frena o acelera la velocidad del gas, etcétera.

Otro inconveniente importante es la fluctuación de la capa freática, que con frecuencia puede hacer que los resultados obtenidos no sean claros. En particular, la fluctuación de la capa freática puede implicar variaciones importantes de concentración de contaminantes y determinar así una sobre o subestimación de la difusión actual del gas.

- 5 Como consecuencia, la identificación del radio de influencia de los pozos de inyección, y por consiguiente la definición de su número para una acción real de rehabilitación, puede ser muy difícil.

Las dificultades encontradas durante la fase de dimensionamiento pueden amplificarse durante la gestión de la recuperación real. De hecho, se puede obtener una fluctuación aparentemente inexplicable del contaminante, de modo que el progreso real de la descontaminación no puede entenderse fácilmente.

- 10 El documento US-A-60003365 divulga un procedimiento que usa trazadores para localizar, identificar y cuantificar la presencia de contaminación por NAPL (por sus siglas en inglés de "Non Aqueous Phase Liquids" Líquidos en Fase no Acuosa) en el suelo y recabar datos para una futura recuperación. Se basa en el uso de sustancias orgánicas e inorgánicas inyectadas en el suelo y en su distinta distribución por la contaminación. Estas sustancias (alcoholes, fluorocarbonos, compuestos fluorosulfuros, ésteres, amidas, hidrocarburos, sulfatos, aldehídos, cetonas y sales de bromuro y yoduro) se usan como trazadores. Debe destacarse que estos trazadores son contaminantes en sí mismos.
15 El uso de trazadores de acuerdo con la patente US-A-60003365 requiere conocer los contaminantes.

- 20 En el documento WO-A-2006/004567 se informa del uso de trazadores para medir el volumen de un vacío, relleno con agua, en un residuo sólido depositado en un vertedero, usando al menos dos trazadores, uno reactivo al agua (difluorometano) y otro no reactivo (helio). Este procedimiento por lo tanto se aplica en un campo particular (eliminación de residuos) y con un objetivo particular, los trazadores tienen el propósito de individualizar la porosidad (volumen de espacios vacíos) y para este fin usa dos trazadores; los trazadores se usan junto con el gas necesario para la recuperación (en el documento WO-A-2006/004567 no hay un gas para la recuperación) y los gases se seleccionan basándose en su diferencia de difusividad con el gas usado en la recuperación de agua subterránea.

- 25 El documento US A 5992213 divulga un procedimiento para determinar la contaminación de un suelo poroso, mediante una prueba de tasa de generación basada en el uso de gases. En particular el procedimiento sugerido, usa gases trazadores (que en este caso pueden ser oxígeno) para definir el logro del equilibrio de la prueba de generación. Los trazadores constituyen un elemento de una metodología de muestreo para identificar el nivel de contaminación de suelo poroso, pero no está relacionado con la tecnología de recuperación.

Sumario de la invención

- 30 El ámbito de la invención consiste en superar los inconvenientes anteriores.

Tal ámbito se obtiene mediante las características indicadas en la reivindicación independiente 1 adjunta. En las realizaciones dependientes se describen realizaciones ventajosas de la invención.

La invención se refiere a un procedimiento de dimensionado y monitorización de sistemas de difusión de gas en aguas subterráneas mediante el uso de una mezcla gaseosa.

- 35 Este procedimiento se basa en la diferencia de propagación entre un gas útil para la recuperación y otro gas y/o gases, que no reaccionan ni química ni biológicamente con el acuífero y con sustancias y la biomasa presentes en el acuífero.

- 40 La mezcla gaseosa puede usarse tanto durante las pruebas piloto como durante la rehabilitación actual. En el primer caso, se pueden obtener datos importantes para dimensionar correctamente el sistema. En el segundo caso, el progreso de la rehabilitación puede controlarse identificando la presencia de sustancias contaminantes localizadas en la tierra que no se tomaron previamente en consideración, con una estimación relevante de concentración, o la variación del movimiento de la capa freática, etcétera.

- 45 Se obtiene un uso mejorado de las mezclas de gases cuando se combinan con pruebas de laboratorio. Tales pruebas son útiles para encontrar cuál es el consumo del gas de recuperación, es decir, el gas usado para una reacción química o biológica con contaminantes del acuífero. Las pruebas se realizan en una o más muestras de tierra y/o agua subterránea saturada tomadas de puntos representativos del lugar.

- 50 La mezcla gaseosa usada para pruebas piloto y/o la recuperación depende del tipo de sustancias presentes en el lugar contaminado. El gas principal que constituye la mezcla está representado por un gas "útil" para la rehabilitación. Tal gas puede ser un gas oxidante o un gas de reducción, o en cualquier caso, un gas que reaccione con sustancias y biomasa presentes en el lugar y/o con la tierra. Los otros gases de la mezcla están representados por gases inertes, que no reaccionan ni con la tierra ni con el agua subterránea y no se usan biológicamente.

Los gases usados para la rehabilitación, que por lo tanto son constituyentes potenciales de la mezcla, pueden ser:

- gases oxidantes: oxígeno, ozono y aire;
- gases de reducción: hidrógeno, metano y propano;

- gases que pueden reaccionar con la tierra y/o pueden disolverse en agua y/o en cualquier caso son útiles para la recuperación: dióxido de carbono, nitrógeno;
- gases nobles que no reaccionan ni biológica ni químicamente: helio neón, argón, criptón, xenón y radón.

Descripción detallada de la invención

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de dimensionado y monitorización de sistemas de difusión de gas en aguas subterráneas mediante el uso de una mezcla gaseosa.

Tal procedimiento se basa en la diferencia de propagación entre un gas útil para la recuperación y otro gas y/o gases, que no reaccionan ni química ni biológicamente con el acuífero y con sustancias y la biomasa presentes en el acuífero.

10 La mezcla gaseosa puede usarse bien durante las pruebas piloto o bien durante la rehabilitación real. En el primer caso, se pueden obtener datos importantes para dimensionar correctamente el sistema. En el último caso, el progreso de la rehabilitación puede controlarse mediante la identificación de la presencia de sustancias contaminantes localizadas que no se consideraron anteriormente junto con una estimación de su concentración o la variación del movimiento de la capa freática, etc.

15 El uso de la mezcla gaseosa se vuelve más efectivo si se combina con pruebas de laboratorio. Tales pruebas son útiles para encontrar cuál es el consumo del gas de recuperación, es decir, el gas usado para una reacción química o biológica con contaminantes del acuífero. Tales pruebas se realizan en una o más muestras de tierra y/o agua subterránea saturada tomadas de puntos representativos del lugar.

20 La mezcla gaseosa usada para las pruebas piloto y/o la recuperación depende del tipo de sustancias presentes en el lugar contaminado. El gas principal de la mezcla está representado por un gas útil para la rehabilitación. Tal gas puede ser un gas oxidante o un gas de reducción, o en cualquier caso, un gas que reacciona con las sustancias y la biomasa presentes en el lugar y/o con la tierra. Los otros gases de la mezcla están representados por gases inertes, que no reaccionan ni con la tierra ni con el agua subterránea y no se usan biológicamente.

25 La mezcla gaseosa contiene hasta un 99,99 % vol. de un gas útil para la rehabilitación y la parte restante consiste en gases inertes. Preferentemente, durante las pruebas piloto *in situ*, la concentración de gas útil para la recuperación puede ser de hasta un 90 %, mientras que durante la rehabilitación se puede aumentar hasta un 95 %.

Los gases usados para la rehabilitación, que por lo tanto son constituyentes potenciales de la mezcla, pueden ser:

- gases oxidantes: oxígeno, ozono y aire;
- gases de reducción: hidrógeno, metano y propano;
- gases que pueden reaccionar con la tierra y/o pueden disolverse en agua y/o ser útiles para la recuperación de alguna forma: dióxido de carbono, nitrógeno;
- gases nobles que no reaccionan ni biológica ni químicamente: helio neón, argón, criptón, xenón y radón.

La mezcla gaseosa usada en el procedimiento de acuerdo con la invención está constituida por al menos un gas "útil" para la recuperación, por ejemplo oxígeno, y, al menos dos gases trazadores. Un gas "inerte" a efectos de la recuperación es por ejemplo el neón. El gas inerte actúa como gas trazador.

35 Al menos dos gases trazadores son necesarios para interpretar mejor los datos de las pruebas piloto o la aplicación real. Cuando dos gases trazadores están presentes, las velocidades del gas en agua subterránea y su propagación alrededor del punto de inyección se pueden estimar mejor.

La difusión depende del tipo de gas, y por lo tanto se usan al menos dos gases como gases trazadores que tengan una velocidad de difusión en agua respectivamente inferior y superior a la del al menos un gas "útil".

40 La velocidad de propagación de los gases en el terreno obviamente depende de la porosidad del terreno y la velocidad de transporte de la capa freática: mientras que las concentraciones de los gases trazadores suministran información directa sobre la velocidad, la concentración del al menos un gas "útil" consumido por la reacción con la tierra suministra información sobre la cantidad usada de este gas. Comparando la información obtenida con las concentraciones de gas medidas en los pozos de monitoreo alrededor del pozo de inyección y considerando el consumo teórico de gas "útil" identificado durante las pruebas de laboratorio, es posible deducir: la presencia de contaminantes no considerados inicialmente, o, en cualquier caso, reacciones que consumen el al menos un gas "útil"; velocidad del agua subterránea; fluctuación del agua subterránea; tiempo necesario por el al menos un gas "útil" para alcanzar cierta área en ausencia de contaminantes no considerados inicialmente.

50 Esta información es esencial tanto para dimensionar correctamente el sistema como para entender si se necesitan análisis adicionales del lugar antes de la recuperación final.

Los procedimientos usados en la actualidad no son capaces de definir con precisión los parámetros enunciados anteriormente, dado que, como ya se ha explicado, están basados en datos detectados en algunos puntos, en las mediciones de los contaminantes efectuadas en distintos momentos con respecto a las mediciones de la velocidad de agua subterránea, en la imposibilidad de controlar continuamente los movimientos del agua subterránea.

Cabe destacar que, si bien los procedimientos tradicionales intentan dimensionar los sistemas de inyección de gas usando mediciones discretas, el nuevo procedimiento considera el efecto de inyección de forma "integral" y coherente tanto temporal como espacialmente.

5 El procedimiento propuesto es, además, muy útil durante la rehabilitación. El uso de la mezcla gaseosa como se ha descrito anteriormente, proporciona información esencial para la identificación de cualquier contaminante localizado no encontrado inicialmente.

También en este caso, se pueden comprobar anomalías en la misma muestra mediante la comparación de concentraciones de gases trazadores y la concentración del al menos un gas "útil".

10 Para aplicar correctamente el procedimiento propuesto, las etapas secuenciales a llevar a cabo en un lugar contaminado son:

- primera caracterización convencional del lugar para definir los presuntos contaminantes presentes en el mismo, con la provisión de pozos para el muestreo de agua subterránea;
- definición de al menos un gas "útil" para la rehabilitación;
- 15 - ejecución de pruebas de laboratorio en muestras de tierra y/o agua subterránea saturada, representativas de la contaminación del lugar y de las condiciones hidrogeológicas, mediante el tratamiento con el al menos un gas "útil" identificado;
- repetición preferentemente de al menos tres pruebas de laboratorio en muestras de tierra y/o agua subterránea saturada tomadas de la zona contaminada;
- 20 - establecimiento de las pruebas piloto *in situ* mediante la identificación de un pozo que sea característico del área de rehabilitación e iniciar la inyección de una mezcla gaseosa. La mezcla gaseosa tiene que contener el al menos un gas "útil" y al menos dos gases trazadores que tengan una difusividad en agua similar a la del al menos un gas "útil"; la difusividad de los al menos dos gases trazadores debería ser respectivamente superior e inferior a la del al menos un gas "útil";
- 25 - establecimiento de los pozos de monitoreo alrededor del punto de inyección de la mezcla gaseosa;
- inicio de la inyección en el área seleccionada y muestreo en los pozos de monitoreo para medir la concentración de la mezcla de gases en agua subterránea y su progreso con el tiempo;
- muestreo simultáneo para analizar la concentración de contaminantes en agua subterránea y su progreso con el tiempo;
- 30 - monitorización del progreso de parámetros hidroquímicos fundamentales (pH, conductividad, temperatura, redox potencial, oxígeno disuelto);
- monitorización del progreso de los niveles piezométricos del agua subterránea;
- cuando todos los gases presentes en la mezcla gaseosa alcanzan los pozos de monitoreo, la primera evaluación puede llevarse a cabo usando los resultados de los análisis de los gases, contaminantes, parámetros hidroquímicos y pruebas de laboratorio. El procesamiento de los datos permite definir el consumo actual del al menos un gas "útil" por unidad de volumen y tiempo; velocidad aparente de difusión de los gases; presencia de contaminantes distintos a los de la hipótesis original (en términos de tipo y concentración) o, cualquier otro posible consumo del al menos un gas "útil";
- 35 - determinación del radio de influencia del sistema de inyección de gas en función de la difusión específica del gas trazador en el lugar;
- 40 - dimensionar el sistema de inyección para la rehabilitación actual e identificación de los pozos de monitoreo para el control del progreso de la recuperación;
- instalación del sistema de inyección como la definición del dimensionamiento en el lugar de rehabilitación;
- inyección de la mezcla gaseosa constituida al menos por un gas útil y al menos dos gases trazadores en los pozos;
- medición de los gases de la mezcla en los pozos de monitoreo a intervalos regulares;
- 45 - evaluación del progreso de recuperación mediante la comparación de los resultados del análisis de gases, contaminantes, pruebas de laboratorio y prueba piloto *in situ*; cualquier anomalía que pueda demostrar la presencia de cantidades mayores o menores de contaminantes, y/o una configuración hidrogeológica diferente de la definida originalmente, puede ponerse de manifiesto.

50 El procedimiento implica el uso de mezclas gaseosas de manera que, junto con el gas usado actualmente para la recuperación, hay al menos dos gases trazadores que no se usan ni biológica ni químicamente.

Este sistema permite obtener, durante la prueba piloto, datos muy importantes para el dimensionamiento del procedimiento de rehabilitación real.

55 Tal procedimiento, de hecho, permite entender la difusión actual del gas en agua subterránea mediante la comparación del progreso de los gases trazadores y la concentración del gas de recuperación usado o consumido por el terreno, biomasa, reactivos químicos, etcétera.

El uso de una mezcla gaseosa que contiene al menos un gas de reacción y al menos dos gases trazadores permite determinar si hay contaminantes no identificados anteriormente, presentes o si están presentes en cantidades inesperadas, y/o si se ha producido algún cambio en lo referente a características hidrogeológicas (por ejemplo, variación del gradiente de conductibilidad hidráulica debido a la presencia de barreras y/o volúmenes subterráneos de

relleno).

El procedimiento de la invención puede aplicarse en los siguientes casos no limitadores:

- sistemas de inyección de aire en agua subterránea mediante el uso de compresores (borboteo de aire/bioborboteo);
- 5 - sistemas de inyección de aire en agua subterránea basados en tecnologías de difusión pura de gas en tierra saturada (ISOC^R, ORC, gas comprimido gorgoteando en agua subterránea);
- sistema de rehabilitación para el que se desea encontrar las dimensiones y/o modelo de difusión/dispersión de un gas en un terreno saturado, contaminado por sustancias orgánicas;
- 10 - sistema de rehabilitación para el que se desea encontrar las dimensiones y/o modelo de difusión/dispersión de un gas en un terreno saturado, contaminado por sustancias inorgánicas;
- sistema de rehabilitación para el que se desea encontrar las dimensiones y/o modelo de difusión/dispersión de un gas en un terreno saturado, contaminado por sustancias de hidrocarburos;
- sistema de rehabilitación para el que se desea encontrar las dimensiones y/o modelo de difusión/dispersión de un gas en un terreno saturado, contaminado por sustancias halogenadas;
- 15 - sistema de rehabilitación para el que se desea encontrar las dimensiones y/o modelo de difusión/dispersión de un gas en un terreno saturado, contaminado por iones metálicos;
- sistema de rehabilitación para el que se desea encontrar las dimensiones y/o modelo de difusión/dispersión de un gas en un terreno saturado, contaminado por sustancias que son biodegradables por oxidación;
- 20 - sistema de rehabilitación para el que se desea encontrar las dimensiones y/o modelo de difusión/dispersión de un gas en un terreno saturado, contaminado por sustancias que son biodegradables por reducción;
- sistema de rehabilitación para el que se desea encontrar las dimensiones y/o modelo de difusión/dispersión de un gas en un terreno saturado, contaminado por sustancias oxidables;
- sistema de rehabilitación para el que se desea encontrar las dimensiones y/o modelo de difusión/dispersión de un gas en un terreno saturado, contaminado por sustancias reducibles químicamente;
- 25 - sistema de rehabilitación para el que se desea encontrar las dimensiones y/o modelo de difusión/dispersión de un gas en un terreno saturado para lugares con una configuración estratigráfica/hidrogeológica/geológica;
- en general, cualquier sistema de rehabilitación para el que se desea encontrar las dimensiones y/o modelo de difusión/dispersión de un gas en un terreno saturado.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de dimensionado y monitorización de la difusión de gases presentes en una mezcla gaseosa inyectada en agua subterránea para promover procedimientos de descontaminación,

- 5 - estando la mezcla gaseosa constituida por al menos un gas útil para una recuperación y al menos dos gases trazadores, en el que
- dicho al menos un gas útil para la recuperación se consume biológica o químicamente para purificar el agua subterránea de contaminación orgánica o inorgánica y dichos al menos dos gases trazadores tienen una difusividad en agua respectivamente superior e inferior a la difusividad en agua del al menos un gas útil para la recuperación, y son completamente inertes, no reaccionan con la tierra y las sustancias presentes en la misma ni con el agua subterránea y no introducen polución alguna,

estando el procedimiento basado en la diferencia de propagación entre dicho al menos un gas útil para la recuperación y los gases trazadores, y consistiendo en:

- 15 - definir el radio de influencia de dicho al menos un gas inyectado útil para la recuperación;
- identificar, mediante la elaboración de la concentración de gases trazadores detectados en pozos de monitoreo, la presencia y cantidad de contaminantes en agua subterránea, incluso cuando tales contaminantes no se hubieran considerado inicialmente.

2. El procedimiento según la reivindicación 1 aplicado durante la rehabilitación, para controlar el progreso de la recuperación.

3. El procedimiento según la reivindicación 1 o 2 en el que el gas útil para la recuperación en la mezcla gaseosa es uno de los siguientes: oxígeno, ozono, aire, hidrógeno, metano, propano, nitrógeno y dióxido de carbono.

4. El procedimiento de las reivindicaciones 1, 2 o 3 en el que cada gas trazador en la mezcla gaseosa es uno de los siguientes: helio, neón, argón, criptón, xenón y radón.

5. El procedimiento según la reivindicación 1 aplicado durante unas pruebas piloto *in situ*, en el que la composición de la mezcla gaseosa está constituida solo por gases trazadores con distinta difusividad en agua.

25 6. El procedimiento según la reivindicación 1 aplicado durante unas pruebas piloto *in situ*, en el que la composición de la mezcla gaseosa está constituida por al menos un gas útil para la rehabilitación con una concentración de hasta un 99,99 % y la parte restante está constituida por gases trazadores.

30 7. El procedimiento según la reivindicación 2 aplicado durante la rehabilitación, en el que la composición de la mezcla gaseosa está constituida por al menos un gas útil para la rehabilitación con una concentración de hasta un 99,99 % y la parte restante está constituida por gases trazadores.

8. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la difusión de gases se evalúa en función de las características específicas del lugar:

- 35 - velocidad de la capa freática;
- naturaleza y concentración de contaminantes;
- presencia de sustancias que consumen químicamente el al menos un gas útil;
- variación de conductibilidad hidráulica;
- presencia de barreras hidráulicas.

9. Procedimiento según la reivindicación 1, que comprende las siguientes etapas:

- 40 - primera caracterización del lugar para definir los presuntos contaminantes presentes a través de un análisis del agua subterránea tomada desde determinado número de pozos;
- definición del al menos un gas que se va a usar para la rehabilitación;
- ejecución de pruebas de laboratorio usando el gas definido y una tierra o agua subterránea saturada, representativos de la contaminación y conformación hidrogeológica del lugar;
- repetición de las pruebas de laboratorio en las muestras tomadas del área de rehabilitación;
- 45 - identificación de un pozo característico, en términos de contaminación y conformación hidrogeológica del área de rehabilitación, e inyección de una mezcla gaseosa preparada de acuerdo con las reivindicaciones 1-7 en tal pozo;
- preparación de pozos de monitoreo situados alrededor del punto de inyección;
- inicio de la inyección de mezcla gaseosa en el punto seleccionado y ejecución de la toma de muestras planeada en los pozos de monitoreo a fin de medir la concentración de los gases presentes en la mezcla gaseosa y el progreso de la contaminación;
- 50 - monitoreo de parámetros hidroquímicos fundamentales: pH, temperatura, conductividad, redox potencial, oxígeno disuelto;
- monitorización de niveles piezométricos;
- evaluación de los resultados obtenidos;

ES 2 603 089 T3

- dimensionamiento del sistema de inyección en el área de rehabilitación y definición de los pozos de monitoreo;
 - instalación de un sistema de inyección en el lugar de rehabilitación;
 - inyección de la mezcla gaseosa constituida por al menos un gas útil y al menos dos gases trazadores en los pozos;
- 5
- medición a intervalos regulares de los gases de la mezcla en los pozos de monitoreo;
 - evaluación del progreso de la rehabilitación, comparando las concentraciones de gases y contaminantes en los pozos de monitoreo y los resultados de laboratorio y pruebas *in situ*.