

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 747 935**

51 Int. Cl.:

E21B 41/00 (2006.01)

B65G 5/00 (2006.01)

E21B 47/10 (2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.04.2016 PCT/EP2016/059316**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.11.2016 WO16177606**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.04.2016 E 16719067 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2019 EP 3292268**

54 Título: **Instalación para el seguimiento de sitios de almacenamiento geológico de gases**

30 Prioridad:

05.05.2015 FR 1553999

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

12.03.2020

73 Titular/es:

**IFP ENERGIES NOUVELLES (100.0%)
1 & 4 avenue de Bois-Préau
92500 Rueil-Malmaison, FR**

72 Inventor/es:

**GARCIA, BRUNO;
ROUCHON, VIRGILE;
CEREPI, ADRIAN;
LOISY, CORINNE;
LE ROUX, OLIVIER;
RILLARD, JEAN;
BERTRAND, CLAUDE y
WILLEQUET, OLIVIER**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 747 935 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

Instalación para el seguimiento de sitios de almacenamiento geológico de gases

5 La presente invención se refiere al campo de la exploración y explotación de depósitos de petróleo, o sitios geológicos de almacenamiento geológico de gases, tales como dióxido de carbono (CO₂) o metano. Más particularmente, la presente invención puede referirse al seguimiento de sitios de almacenamiento geológico de gases.

10 El volumen de gas inyectado en una formación geológica subterránea se conoce fácilmente midiendo el flujo de gas en la boca del pozo de inyección. Sin embargo, el destino del gas una vez inyectado es mucho más difícil de controlar: este gas puede migrar verticalmente fuera de la formación de almacenamiento (en capas geológicas más superficiales, o incluso a la superficie) o lateralmente en la formación del huésped en áreas no predichas originalmente.

15 En el caso del almacenamiento geológico de CO₂, la Directiva Europea 2009/31/CE requiere un almacenamiento permanente y seguro para el medio ambiente, evitando y controlando el aumento de CO₂ y sustancias relacionadas a la superficie, al tiempo que limita las perturbaciones del medio subterráneo. Por lo tanto, de acuerdo con esta directiva como máximo se tolera una tasa de fuga de CO₂ del 0,01%/año en un sitio de secuestro geológico de CO₂.

20 Para cumplir con las regulaciones vigentes, y también para contribuir a la aceptación social de esta tecnología, parece necesario establecer herramientas y sistemas para el seguimiento de los sitios de almacenamiento geológico de gases para detectar posibles fugas, evaluar su importancia y avisar a quien corresponda. Estas herramientas de "seguimiento" ("vigilancia" en francés) deben ser económicas, altamente fiables, operadas con una participación humana mínima y adaptadas para permanecer instaladas durante largos períodos de tiempo.

25 Para controlar la evolución de los fluidos inyectados en un medio poroso, los fabricantes han desarrollado muchas técnicas.

30 Entre estas técnicas, en la industria (petrolera o ambiental) se usa la sísmica repetitiva, denominada sísmica 4D. Dicha técnica consiste en llevar a cabo diferentes campañas sísmicas en diferentes momentos (en general, las campañas están separadas por al menos un año, pero existen dispositivos de adquisición permanentes). Por lo tanto, el especialista puede seguir la evolución de los movimientos y las presiones de los fluidos del sitio de almacenamiento geológico. Esta técnica ha sido explotada en el campo ambiental para estimar, a partir de los datos sísmicos, el volumen total y la masa total de gas en el lugar en el subsuelo. Sin embargo, este método, suficientemente largo como para implementarlo y sufrir una fuerte indeterminación a poca profundidad, no es adecuado para la detección de fugas de gas en la superficie cercana y en tiempo real. Además, esta técnica se limita a la detección de la fase libre, es decir el gas, y no a la fase disuelta.

40 El objeto de la patente EP 12290058 se refiere a un proceso de almacenamiento de gas, tal como dióxido de carbono (CO₂) o metano, que comprende una fase de seguimiento del destino del gas, para cuantificar la masa de gas disuelto, posiblemente la cantidad de gas precipitado, y para anticipar una fuga de este gas en el sitio de almacenamiento. El método se basa en el ajuste de un modelo que describe la evolución de la concentración de gas en función del tiempo, mediante análisis geoquímicos in situ de gases nobles contenidos en fases fluidas de muestras del subsuelo.

45 También se conoce la patente FR 2984510, que se refiere a una instalación para el análisis y determinación de flujos de CO₂, en particular para discriminar el flujo de CO₂ de origen profundo del CO₂ biológico natural, generado cerca de la superficie. Esta instalación se caracteriza por una estación meteorológica de superficie equipada con una cámara de recolección de gas en la superficie, tres medios de muestreo a tres profundidades diferentes en el suelo, medios para medir la concentración de CO₂, N₂ y O₂ a tres profundidades, medios para medir la concentración de CO₂ contenido en el gas recogido en la cámara de recolección. Esta instalación tiene la ventaja de tener en cuenta una línea base (o "base line" en inglés) representativa de la emisividad natural de CO₂.

50 El documento "STRAZISAR, BR., WELLS, AW., DIEHL, JR., 2009. Near surface monitoring for the ZERT shallow CO₂ injection project. Int J Greenhouse Gas Control 3(6):736-744." demuestra que una fuga de CO₂ puede causar una disminución local en la resistividad eléctrica a nivel de la fuga causada por el CO₂. Esta disminución se interpreta como relacionada con una disminución en la resistividad eléctrica del agua intersticial, causada por la disolución de CO₂ en este agua intersticial.

60 También se conoce el documento "Schütze, C., Dietrich, P., Sauer, U., ,2013. Diagnostic monitoring to identify preferential near-surface structures for CO₂ degassing into the atmosphere: tools for investigations at different spatial scales validated at a natural analogue site. Int. J. Greenh. Gas Control 18, 285-295", que se refiere al seguimiento de fugas de CO₂ a la atmósfera.

65 Por lo tanto, los métodos, dispositivos e instalaciones según la técnica anterior están limitados a un solo tipo de

mediciones (sísmicas, geoquímicas o eléctricas) para la detección de fugas de gas. Además, ninguno de estos documentos describe ningún medio para automatizar estas mediciones, ni medios para el seguimiento remoto a largo plazo de un sitio de almacenamiento geológico de gases.

5 La presente invención describe una instalación para el seguimiento de sitios de almacenamiento geológico de gases que combina, de manera totalmente integrada, dos tipos de mediciones, en concreto mediciones geoquímicas y eléctricas. Además, la instalación de acuerdo con la invención está totalmente automatizada y comprende un sistema para transmitir la información recopilada por dicha instalación. La instalación de acuerdo con la invención puede permitir así el seguimiento continuo y posiblemente remoto de los sitios de almacenamiento geológico de gases.

La instalación de acuerdo con la invención

15 En general, el objeto de la invención se refiere a una instalación para el seguimiento de un sitio de almacenamiento geológico de gases, como CO₂ o metano. La instalación comprende en combinación al menos los siguientes elementos:

- un dispositivo de medición geoquímica, que comprende una pluralidad de sondas de muestreo de gases, estando dichas sondas conectadas a un analizador de gases, dichas sondas que están situadas en los primeros metros debajo de la superficie del suelo de dicho sitio;
- un dispositivo de medición eléctrica que comprende una pluralidad de electrodos, estando dichos electrodos conectados a un medidor de resistividad, dicho dispositivo de medición eléctrica que está destinado a mediciones eléctricas en el subsuelo;
- una estación meteorológica de superficie para medir parámetros ambientales asociados con dicho sitio,

25 dichos dispositivos de medición geoquímica y eléctrica que están controlados por un autómatas, dicho dispositivo de medición geoquímica, dicho dispositivo de medición eléctrica y dicha estación meteorológica que están conectados a un colector de datos, dicho colector que está conectado a los medios de transmisión de dicho dispositivo datos, dichas sondas de muestreo de que gas se instalan por encima de la zona vadosa y por debajo de la zona de producción de gas biogénico.

De acuerdo con una realización de la invención, dichas sondas de muestreo de gas están conectadas a un analizador de gas a través de medios de transferencia de gas.

35 De acuerdo con una realización de la invención, dichos medios de transferencia de gas de dicho dispositivo de medición geoquímica pueden comprender una válvula solenoide de tres vías, una primera vía conectada a una de dichas sondas de muestreo de gas, una segunda vía que conduce a un sistema de purga de dicho dispositivo de medición geoquímica, y una tercera vía conectada a una bomba, con la intención de que dicha bomba aspire dicho gas tomado por dichas sondas de muestreo y permita la distribución de dicho gas retirado a dicho analizador de gases.

De acuerdo con una realización de la invención, dicho analizador de gases puede comprender al menos un detector de dicho gas almacenado y al menos un detector de gases nobles.

45 De acuerdo con una realización de la invención, dicho medidor de resistividad de dicho dispositivo de medición eléctrica puede enviar una corriente eléctrica continua en el subsuelo a través de dos de dichos electrodos y puede registrar una diferencia de potencial eléctrico entre otros dos de dichos electrodos.

50 De acuerdo con una realización de la invención, el controlador puede activar mediciones eléctricas a través del dispositivo de medición eléctrica y mediciones geoquímicas a través del dispositivo de medición geoquímica regularmente a lo largo del tiempo.

De acuerdo con una realización de la invención, dichos electrodos pueden colocarse en la superficie del suelo, y/o a lo largo de las paredes de una cavidad subterránea, y/o a lo largo de un pozo.

55 De acuerdo con una realización de la invención, dicha estación meteorológica puede proporcionar seguimiento continuo de al menos la temperatura, presión, pluviometría e higrometría.

60 De acuerdo con una realización de la invención, la fuente de alimentación de dicha instalación puede ser proporcionada por un panel solar conectado a una batería.

De acuerdo con una realización de la invención, dichos medios de transmisión de dichos datos pueden ser proporcionados por un módem 3G.

65 Además, la invención se refiere a un uso de la instalación de acuerdo con la invención para controlar un sitio de almacenamiento geológico de gases, como CO₂ o metano.

De acuerdo con una realización del uso de la instalación de acuerdo con la invención, se realiza una etapa de calibración antes de la inyección de gas en el sitio de almacenamiento geológico de gases.

- 5 Otras características y ventajas del método de acuerdo con la invención serán evidentes al leer la siguiente descripción de ejemplos no limitantes de realizaciones, con referencia a las figuras adjuntas y que se describen a continuación.

Breve presentación de las figuras

- 10 – La Figura 1 muestra un diagrama ilustrativo de la inyección de un gas en un sitio de almacenamiento geológico de gases.
- 15 – La Figura 2 muestra una realización no limitante ejemplar de la instalación de acuerdo con la invención.
- La Figura 3 presenta un plano de superficie de un sitio geológico de almacenamiento de CO₂, así como la ubicación de los diversos elementos que constituyen una realización de la instalación de acuerdo con la invención.
- 20 – La Figura 4 presenta los resultados de la tomografía de resistividad eléctrica obtenida antes de la inyección de CO₂ y del ejemplo de implementación de la instalación de acuerdo con la invención presentada en la Figura 3.
- 25 – La Figura 5 muestra las variaciones de las concentraciones de CO₂ en función de las variaciones relativas en la resistividad eléctrica obtenidas después de la inyección de CO₂ y del ejemplo de implementación de la instalación de acuerdo con la invención presentada en la Figura 3.
- 30 – La Figura 6 muestra la evolución en el tiempo de la variación relativa de la resistividad eléctrica obtenida después de la inyección de CO₂ y del ejemplo de implementación de la instalación de acuerdo con la invención presentada en la Figura 3.

Descripción detallada de la instalación

Uno de los objetos de la invención se refiere a una instalación para el seguimiento de sitios de almacenamiento geológico de gas, como dióxido de carbono (CO₂) o metano, que permite la detección de fugas de este gas, de forma cuantitativa, integrada, permanente y sin intervención humana.

El almacenamiento geológico de gas comprende una fase de inyección de dicho gas en una formación del subsuelo y una fase de seguimiento del destino de las especies que se almacenarán en el subsuelo. El gas inyectado contiene esencialmente una especie para ser almacenada (dióxido de carbono (CO₂), metano...), pero muy a menudo, también está presente al menos un gas noble (del tipo helio, argón, etc.), coinyectado simultáneamente con la especie a almacenar.

La Figura 1 muestra un ejemplo de inyección de un gas, a través de un pozo inyector (PI), en una roca de depósito (RR) de una formación del subsuelo, el gas que contiene esencialmente la especie a almacenar, CO₂ y roca de depósito que contiene un fluido, incluyendo agua.

Cuando se inyecta el CO₂, primero migra hacia la formación principalmente en forma gaseosa (CO₂G) por gravedad y/o debido a un gradiente de presión existente, hasta que se detiene por las siguientes razones: desaparición del gradiente de presión por flujo, retención del gas residual por capilaridad, retención del gas de manera estructural. Una vez que la fase gaseosa se estabiliza en los poros, la columna de CO₂ finalmente tiene una gran superficie horizontal en relación con su espesor.

El segundo fenómeno de migración que tiene lugar es la difusión con o sin inestabilidad gravitacional. Este tipo de migración se origina en la interfaz gas/agua (INT), por lo tanto, por debajo de la columna de gas CO₂ (CO₂G) en la roca del depósito, pero también por encima de la columna de CO₂ a través de la cubierta de roca. Bajo esta interfaz, encontramos CO₂ en forma disuelta en agua (CO₂D) y transportado por difusión hacia abajo (flechas en la Figura 1).

La Figura 2 muestra un ejemplo de realización no limitante de la instalación de acuerdo con la invención; los diversos elementos de la instalación de acuerdo con la invención pueden disponerse de manera diferente.

La instalación de acuerdo con la invención comprende un dispositivo de medición geoquímica DMG. El dispositivo de medición geoquímica DMG comprende una pluralidad de sondas de muestreo de gas SPG, las sondas están conectadas a un analizador de gases AG. Preferiblemente, las sondas de muestreo de gas SPG están conectadas a través de medios de transferencia de gas MTG al analizador de gas AG. Las sondas de muestreo de gas SPG se colocan en la superficie cercana, es decir, en los primeros metros debajo de la superficie de un sitio. El dispositivo

para mediciones geoquímicas de gas DMG según la invención permite una recolección de gas presente localmente, es decir, cerca de la ubicación de las sondas de muestreo SPG. El analizador de gases AG permite la detección y cuantificación (estimación de la concentración, por ejemplo) de al menos un tipo de gas. Preferiblemente, el analizador de gases permite la detección y cuantificación del gas inyectado en el sitio de almacenamiento geológico.

5 La instalación de acuerdo con la invención también comprende un dispositivo de medición eléctrica DME, este dispositivo está destinado a mediciones eléctricas en el subsuelo. Este dispositivo comprende una pluralidad de electrodos ELEC conectados a un medidor de resistividad RES. Los electrodos del dispositivo de medición eléctrica DME pueden instalarse total o parcialmente en la superficie del suelo, a lo largo de las paredes de una cavidad subterránea o a lo largo del pozo. El medidor de resistividad RES del dispositivo de medición eléctrica DME comprende un generador de corriente eléctrica continua (por ejemplo, entre 5 y 200 mA) y un voltímetro para medir una diferencia de potencial eléctrico. De acuerdo con una realización de la presente invención ilustrada en la Figura 2, dichos electrodos ELEC son al menos cuatro, el medidor de resistividad RES envía dicha corriente eléctrica al subsuelo a través de al menos dos de dichos electrodos ELEC y mide dicha diferencia de potencial eléctrico, inducida en el subsuelo por la corriente inyectada, a través de al menos otros dos de dichos electrodos ELEC.

Además, la instalación comprende una estación meteorológica SM de superficie, que permite el acceso a parámetros ambientales (como la temperatura, presión, pluviometría, velocidad del viento, etc.) asociados con el sitio.

Además, los dispositivos de medición geoquímica DMG y eléctrica DME están controlados por un autómata AUT. Este autómata AUT permite la preprogramación de las mediciones a realizar, ya sean eléctricas o geoquímicas. El autómata AUT, por ejemplo, puede permitir definir una secuencia de las mediciones geoquímicas, activando, sucesivamente en el tiempo, de acuerdo con una periodicidad dada, el muestreo de sonda de gas tras sonda, así como la transferencia y el análisis de este gas. Del mismo modo, el autómata AUT puede permitir la activación de mediciones eléctricas con cierta periodicidad, de acuerdo con ciertos parámetros (número de electrodos involucrados en la medición, corriente eléctrica inyectada, etc.).

Además, el dispositivo de medición geoquímica DMG, el dispositivo de medición eléctrica DME y la estación meteorológica SM están conectados a un colector de datos COLL. El colector de datos COLL permite recopilar, centralizar y almacenar todas las mediciones realizadas por la instalación de acuerdo con la invención.

Además, dicho colector COLL está conectado a los medios de transmisión de dichos datos MTD. Los medios de transmisión de dichos datos MTD permiten una transferencia de la información recopilada por el colector COLL.

La instalación de la invención se puede colocar en línea con el sitio de almacenamiento geológico de gases. Ventajosamente, las sondas de muestreo SPG del dispositivo de medición geoquímica DMG y los electrodos ELEC del dispositivo de medición eléctrica DME se distribuyen de acuerdo con los resultados del modelado predictivo de la evolución (evolución en tamaño, pero también desplazamiento lateral y vertical) de la columna de gas. Dicho modelado predictivo puede realizarse usando un simulador de flujo digital en un medio poroso.

Por lo tanto, la instalación de acuerdo con la invención, entre otras cosas, permite recolectar, automáticamente y preprogramada a través del autómata AUT, muestras de gas a través de sondas SPG y analizar el gas muestreado. Cuando las sondas se colocan en la superficie o cerca de la superficie del sitio de almacenamiento geológico de gases, la instalación de acuerdo con la invención permite detectar la llegada de gas a la superficie (cercana) de un sitio de almacenamiento geológico, para calificar y cuantificar este gas. Al realizar dichas mediciones geoquímicas repetidamente a lo largo del tiempo a través del autómata AUT, el dispositivo de medición geoquímica DMG permite el seguimiento de cualquier fuga de CO₂ que llegue a la superficie (cercana).

Además, la instalación de acuerdo con la invención permite realizar mediciones eléctricas, automáticamente y preprogramadas, a través del autómata AUT. En general, las mediciones eléctricas proporcionan, de manera no invasiva, un mapeo de la respuesta eléctrica del subsuelo por encima del cual está dispuesto un dispositivo eléctrico. La profundidad de la investigación de los métodos eléctricos varía de diez a cientos de metros, dependiendo de los parámetros de los dispositivos de medición eléctrica implementados. Al realizar dichas mediciones eléctricas repetidamente a lo largo del tiempo a través del autómata AUT, el dispositivo de medición eléctrica permite detectar los cambios en las propiedades eléctricas en el subsuelo investigado. Al combinar estos cambios con otros tipos de información, el especialista puede interpretar estos cambios como debidos o no debidos a la fuga del gas almacenado en el sitio de almacenamiento geológico de gases.

De acuerdo con la invención, la estación meteorológica puede hacer posible garantizar un control continuo a lo largo del tiempo de los parámetros ambientales (por ejemplo, temperatura, velocidad y dirección del viento, higrometría, presión, índice de luz solar, pluviometría). Estos parámetros permiten tener en cuenta los eventos climáticos que ocurren en la superficie de un sitio de almacenamiento geológico de gases al interpretar las mediciones de dispositivos de medición eléctrica y geoquímica. Por ejemplo, gracias a estas mediciones, el especialista puede tener en cuenta la medición de la pluviometría para corregir las mediciones de las propiedades eléctricas del subsuelo de un aumento o un déficit de la cantidad de agua en el subsuelo cercano. Del mismo modo, un aumento

de agua en el subsuelo cercano tendrá un impacto en la concentración de gases recogidos en la superficie (cercana), impacto que el especialista puede cuantificar. En general, las mediciones continuas de los parámetros ambientales llevadas a cabo por la estación meteorológica de acuerdo con la invención pueden permitirle al especialista establecer una línea base representativa de los efectos climáticos en las mediciones geoquímicas y eléctricas. En el caso de una fuga de gas, los efectos de esta fuga en las mediciones eléctricas y las mediciones geoquímicas se añadirán a la línea de base representativa de los efectos climáticos en las mediciones geoquímicas y mediciones eléctricas.

De acuerdo con una realización de la presente invención, dicha estación meteorológica proporciona un control continuo de al menos la temperatura, presión, higrimetría y pluviometría.

De acuerdo con la invención, el colector de datos COLL permite recopilar todos los datos medidos de forma automática y periódica mediante el dispositivo de medición geoquímica DMG, el dispositivo de medición eléctrica DME y la estación meteorológica SM. Estos datos se transmiten en tiempo real por un sistema de transmisión de datos MTD.

Por lo tanto, la instalación de acuerdo con la invención permite, entre otras cosas, el acoplamiento de dispositivos de medición de diferentes tipos (eléctricos, geoquímicos y meteorológicos) en una única instalación consistente. Además, la instalación de acuerdo con la invención está totalmente automatizada, lo que incluye la automatización de las mediciones pero también la transmisión de la información recopilada. Esta automatización de dicho sistema acoplado permite una sincronización de diferentes tipos de mediciones, lo que no es factible para un sistema no integrado o un sistema no automatizado. En general, una instalación de este tipo permite detectar de manera fiable fugas de gas que pueden ocurrir como resultado de la inyección de gas en un sitio de almacenamiento geológico de gases. La fiabilidad de la detección está garantizada por el hecho de que los diferentes tipos de información (eléctrica, geoquímica y meteorológica) pueden recopilarse de manera concertada (entre otros, la instalación de acuerdo con la invención permite la sincronización de los diferentes tipos de mediciones) en la misma ubicación (el área de cobertura del dispositivo de medición geoquímica DMG puede cubrir el área de cobertura del dispositivo de medición eléctrica DME), de manera regular (permitiendo el seguimiento continuo de un sitio) y de manera automatizada (evitando así errores humanos). Además, la instalación de acuerdo con la invención permite proporcionar al especialista diferentes tipos de información (eléctrica, geoquímica y meteorológica), este último que, después del análisis cruzado de dicha información, puede discernir si las anomalías en la medición detectadas por uno o más de dichos dispositivos se refieren a fugas del gas inyectado o no.

Descripción del dispositivo de medición geoquímica

De acuerdo con la presente invención, las sondas de muestreo de gas SPG se instalan por encima de la zona vadosa (de modo que las muestras están en forma de gas libre y no en forma de gases disueltos) y por debajo de la zona de producción de gas biogénico (de modo que las mediciones de gas no estén contaminadas por la producción de gas natural, vinculada a la degradación de la materia orgánica en la superficie cercana). En caso de que el gas inyectado en el sitio de almacenamiento geológico sea CO₂, esto permite en particular que el muestreo de gas se realice por debajo de la zona de producción biogénica de CO₂. De hecho, la actividad biológica bacteriana y vegetal que se desarrolla en la superficie cercana del subsuelo es un sistema emisor de CO₂. Al ubicarse por debajo de la zona de producción de CO₂ biogénico, las mediciones realizadas por las sondas de muestreo de gas SPG se ven menos afectadas por la emisión natural de CO₂ y, por lo tanto, son más fiables.

De acuerdo con una realización de la presente invención, los medios de transferencia de gas MTG de dicho dispositivo de medición geoquímica DMG comprenden una válvula solenoide de tres vías, una primera vía conectada a una de dichas sondas de muestreo de gas SPG, una segunda vía que conduce a un sistema de purga de todo el dispositivo de medición de gases geoquímicos DMG, y una tercera vía conectada a una bomba. El uso de una válvula solenoide permite que los flujos de gas tomados por las sondas SPG sean controlados por el autómata AUT. En cuanto a la bomba, es posible aspirar el gas recogido y distribuirlo al analizador de gases AG. El sistema de purga consiste, por ejemplo, en dejar escapar, en un sistema auxiliar y durante unos minutos, el gas presente en los medios de transferencia de gas MTG. De acuerdo con otra realización de la presente invención, el sistema de purga consiste en inyectar (bajo presión) un gas neutro en todo el dispositivo de medición geoquímica DMG. De acuerdo con una realización de la presente invención, el gas neutro es aire atmosférico. De acuerdo con otra realización de la presente invención, el gas neutro es nitrógeno. En general, el sistema de purga permite garantizar que la próxima medición no se vea afectada por los residuos de gas de la medición anterior.

De acuerdo con otra realización de la presente invención, los medios de transferencia de gas MTG de dicho dispositivo de medición geoquímica DMG comprenden una válvula solenoide de dos vías, una primera vía conectada a una de dichas sondas de muestreo de gas SPG, y una segunda vía conectado a una bomba para dispensar el gas tomado del analizador de gas AG.

De acuerdo con una realización de la presente invención, se coloca una válvula de restricción de flujo entre la bomba de uno de los medios de transferencia y el analizador de gases. La válvula de restricción de flujo garantiza un flujo de gas bajo y constante en la entrada del analizador de gases AG.

De acuerdo con una realización de la presente invención, el analizador de gases comprende al menos un detector (que permite la detección y cuantificación) del gas almacenado en el sitio de almacenamiento geológico y al menos un detector (que permite la detección y cuantificación) de un gas noble.

De acuerdo con una realización de la presente invención, el detector de gases nobles es un detector de radón, helio, neón, argón, criptón o xenón.

De acuerdo con un ejemplo particular de implementación de la invención, el número de sondas de muestreo de gas SPG está entre 20 y 40. Ventajosamente, las sondas de muestreo de gas SPG están distribuidas equitativamente para cubrir un área del orden de 1000 m². Las sondas de muestreo de gas SPG también se pueden distribuir de acuerdo con los resultados del modelado predictivo de la evolución de la columna de gas. Por lo tanto, al multiplicar el número de sondas de muestreo SGP y distribuir las en una gran área del sitio geológico de almacenamiento de CO₂, se mejora el seguimiento del sitio.

Descripción del dispositivo de medición eléctrica

De acuerdo con la invención, el dispositivo de medición eléctrica DME permite estimar la resistividad del subsuelo. La resistividad eléctrica del subsuelo depende esencialmente del contenido de agua de la roca (función de la porosidad y la saturación), la salinidad del agua intersticial (y, por lo tanto, la cantidad de gas disuelto en este agua intersticial) y el contenido de arcilla de las rocas. El principio del método se basa en la medición de las diferencias de potencial eléctrico asociadas con la inyección de una corriente eléctrica continua. Mediante la ley de Ohm, se puede calcular la denominada resistividad eléctrica aparente, una función de las características geométricas del dispositivo eléctrico DME. Este valor resulta de la contribución de todas las porciones del medio que son atravesadas por la corriente emitida en la superficie. Por lo tanto, la medida representa un valor que integra las resistividades en un cierto volumen del subsuelo. La técnica de adquisición consiste en realizar mediciones (a lo largo de varios perfiles de adquisición 1D o según dispositivos de adquisición 2D) aumentando regularmente el espacio entre los electrodos. Las mediciones de campo permiten obtener una imagen (2D o 3D, donde una de las dimensiones es la profundidad) de la resistividad eléctrica aparente del subsuelo. A partir de un software de inversión de datos (esto se denomina tomografía de resistividad), por ejemplo, basado en el método de mínimos cuadrados, podemos acceder a una imagen (2D o 3D, donde una de las dimensiones es la profundidad) de la verdadera resistividad eléctrica del subsuelo. Clásicamente, la profundidad de investigación de los métodos eléctricos es del orden de diez a cien metros, dependiendo de los parámetros de los dispositivos de medición eléctrica utilizados (longitudes de los perfiles, intensidad eléctrica inyectada, etc.).

De acuerdo con la invención, el dispositivo de medición eléctrica DME también permite estimar la capacidad de carga del subsuelo. Para hacer esto, se inyecta una corriente eléctrica continua en el subsuelo a través del medidor de resistividad RES, y se mide la disminución con el medidor de resistividad RES, de la evolución del voltaje en el subsuelo con el tiempo, una vez que se ha detenido la inyección de corriente. De la misma manera que para la resistividad eléctrica, es necesario un proceso de inversión para obtener una imagen 2D o 3D de la capacidad de carga del medio.

De acuerdo con una realización de la presente invención, dichos electrodos ELEC están conectados al medidor de resistividad RES mediante un multiplexor. El multiplexor permite hacer referencia a cada uno de los electrodos y seleccionar, entre todos los electrodos desplegados, los electrodos necesarios para una medición dada. El multiplexor también permite comunicar al medidor de resistividad una secuencia de mediciones a realizar.

De acuerdo con una realización de la presente invención, el medidor de resistividad utilizado es el modelo TERRAMETER SAS4000 comercializado por la empresa ABEM.

De acuerdo con la invención, se puede elegir una configuración de adquisición del dispositivo eléctrico DME adaptada a un objetivo dado. Por configuración de adquisición elegida de acuerdo con la presente invención se entiende el número de electrodos ELEC requeridos para una medición dada, el número de electrodos ELEC desplegados, el espacio entre los electrodos ELEC y su disposición espacial. De acuerdo con una realización de la presente invención, los electrodos ELEC desplegados para una medición están dispuestos en línea recta (esto se denomina perfil de adquisición 1D), en la superficie del suelo (esto se denomina perfil de adquisición 2D) o a lo largo de al menos dos pozos de perforación (y esto también se conoce como adquisición de pozos). Además, el especialista favorecerá una configuración de tipo cuadrupolo (dos electrodos de emisión y dos electrodos de recepción, denominados electrodos Wenner-Schlumberger) en el caso de un perfil de adquisición 1D, dipolo-dipolo y polo-polo (con 2 electrodos en el infinito) en el caso de perfiles de adquisición 2D. El especialista determina la cantidad de electrodos ELEC desplegados y el espacio entre estos electrodos en función de la profundidad de penetración deseada, la resolución esperada y el ruido ambiental de fondo. Por lo tanto, si D es el espacio entre los electrodos y N el número de electrodos, entonces la profundidad de investigación de dicho dispositivo es aproximadamente $(N-1)*D/5$ (también depende del dispositivo utilizado y la resistividad del suelo), y la resolución de la imagen que se puede obtener por tomografía de resistividad superficial es D.

De acuerdo con una realización de la presente invención para la cual los electrodos ELEC del dispositivo de medición eléctrica DME se colocan en la superficie del suelo, a partir de estas mediciones y después de realizar una tomografía de resistividad, se obtiene una imagen de la resistividad debajo de la superficie del suelo y hasta una profundidad que es función de la configuración del dispositivo de medición eléctrica.

5 De acuerdo con otra realización de la presente invención para la cual los electrodos ELEC del dispositivo de medición eléctrica DME se distribuyen en al menos dos pocillos, a partir de estas mediciones y después de realizar una tomografía de resistividad, es posible obtener una imagen de la resistividad entre los pozos en los que se colocan los electrodos.

10 De acuerdo con una realización de la presente invención, el autómata AUT activa una medición eléctrica por el dispositivo de medición eléctrica DME cada 3 horas. De esta manera, es posible seguir la evolución temporal de la resistividad y/o capacidad de carga del subsuelo investigado.

15 De acuerdo con un ejemplo particular de implementación de la invención, el número de electrodos ELEC es 64 y los electrodos están separados 25 cm.

Descripción de los elementos auxiliares

20 De acuerdo con una realización preferida de la presente invención, el colector de datos COLL corresponde al modelo DT85GLM comercializado por la compañía DIMELCO.

25 De acuerdo con una realización preferida de la presente invención, la instalación comprende tres detectores de gas: un detector de CO₂ (por ejemplo, el detector LI-820 comercializado por LI-COR), un detector de radón (por ejemplo, la muestra de aerosol EAS 70K comercializada por la empresa ALGADE) y un detector de gases nobles (por ejemplo, un espectrómetro de masas). Preferiblemente, el detector de gases nobles permite la detección y cuantificación de la cantidad de radón, helio, neón, argón, criptón o xenón presente en la atmósfera.

30 De acuerdo con una realización de la presente invención, los medios de transmisión de datos MTD permiten la transmisión de los datos recopilados a medios in situ para analizar los datos recopilados. Por lo tanto, puede ser una conexión por cable o una conexión inalámbrica (bluetooth, wi-fi, etc.), lo que permite, por ejemplo, una conexión in situ de un ordenador a la instalación y, por lo tanto, al análisis de los datos recopilados por un especialista.

35 De acuerdo con una realización de la presente invención, los medios de transmisión de los datos MTD recopilados son medios de teletransmisión (módem que permite una conexión a Internet, por ejemplo). Preferiblemente, los medios de transmisión de datos MTD recopilados por el colector COLL son proporcionados por un módem 3G.

40 Por lo tanto, la instalación de acuerdo con la invención permite que los datos recopilados en el sitio se transmitan automáticamente y en tiempo real a un especialista, que de este modo puede tomar decisiones ad hoc en caso de detección de fuga de gas.

45 De acuerdo con una realización de la presente invención, el colector de datos COLL permite tener en cuenta los umbrales de activación de alertas y puede activar una alerta. Por lo tanto, si se detecta una cantidad de CO₂ mayor que un determinado umbral establecido por el especialista al nivel de al menos una sonda de muestreo, el colector de datos puede emitir una alerta, por ejemplo a un especialista o a las autoridades públicas, a través de un mensaje electrónico, una alerta sonora, etc.

50 De acuerdo con una realización de la presente invención, una vez que el detector de gases (DG) realiza la cuantificación del gas, la información resultante se procesa mediante software para transformar la medición (por ejemplo, en mV) a valores digitales, y a continuación son registrados por el colector de datos. El software puede ser un simple software de hoja de cálculo o ser específico para el analizador de gases.

55 De acuerdo con una realización de la presente invención, la fuente de alimentación de dicha instalación es proporcionada por un panel solar, y está conectada a una batería.

De acuerdo con otra realización de la presente invención, el autómata AUT, el analizador de gases AG, el colector de datos y el medidor de resistividad están protegidos en un refugio sellado.

60 De acuerdo con una realización de la presente invención, la instalación puede comprender un medio para medir la humedad del suelo. Dichas mediciones permiten corregir las mediciones eléctricas realizadas con el dispositivo de medición eléctrica DME de los efectos causados por las variaciones en el contenido de humedad en el suelo.

65 Por lo tanto, la presente invención describe una instalación basada en el acoplamiento de varios tipos de dispositivos de medición en una instalación única, coherente, controlada por un autómata para el seguimiento automático, permanente y fiable de los sitios de almacenamiento geológico de gases.

Uso de la invención

La invención también se refiere al uso de la instalación de acuerdo con la invención para el seguimiento de un sitio de almacenamiento geológico de gas, como dióxido de carbono (CO₂) o metano, para detectar posibles fugas de este gas.

Preferiblemente, el uso de la instalación de acuerdo con la invención para el seguimiento de un sitio de almacenamiento geológico de gases puede requerir realizar una etapa de calibración de la instalación antes de la fase de seguimiento real. Alternativamente, la instalación de acuerdo con la invención puede usarse para controlar un sitio de almacenamiento geológico en el que el gas ya está inyectado.

Calibración

De acuerdo con una realización de la presente invención, la calibración de la instalación de acuerdo con la invención se lleva a cabo antes de la inyección del gas en el sitio de almacenamiento geológico de gases.

De acuerdo con una realización de la presente invención, la calibración de la instalación de acuerdo con la invención consiste en realizar mediciones durante un período predefinido a través de la instalación de acuerdo con la invención. Más precisamente, las mediciones se realizan durante un período de tiempo predefinido con dichos dispositivos eléctricos DME y geoquímicos DMG antes de la inyección de gas en dicho sitio de almacenamiento geológico, para establecer

- Un nivel de referencia para mediciones geoquímicas, que refleja la actividad geoquímica natural del sitio (relacionada con la degradación de la materia orgánica, los cambios climáticos a lo largo del tiempo, etc.);
- Un nivel de referencia para mediciones eléctricas, que refleja las variaciones en las propiedades eléctricas propias del sitio (relacionadas con los cambios climáticos principalmente a lo largo del tiempo).

Preferiblemente, las mediciones realizadas para la calibración de dicha instalación se llevan a cabo durante un período de entre uno y tres años.

De acuerdo con una realización de la presente invención, es posible calibrar el dispositivo eléctrico DME de la instalación de acuerdo con la invención a través de experimentos realizados en el laboratorio con muestras de roca del sitio de almacenamiento geológico de gases de interés. Por lo tanto, de acuerdo con una realización particular de la presente invención, después de secar la muestra, se satura al vacío con agua a 1 g/l de NaCl y a continuación se coloca en una celda "Hassler" (por ejemplo Ergotech tipo Mk4). Este equipo permite desaturar progresivamente la muestra de roca aplicando una presión capilar y realizar mediciones de la resistividad eléctrica entre 20 Hz y 2 MHz mediante un medidor de impedancia (por ejemplo, del tipo Agilent E4980A). La desaturación se puede llevar a cabo utilizando dos gases diferentes, el gas a inyectar es, por ejemplo, un gas inerte como el nitrógeno, para resaltar la influencia del gas a inyectar en los parámetros eléctricos (índice de resistividad, frecuencia crítica, potencial espontáneo). Específicamente, los valores de resistividad obtenidos de estos experimentos de laboratorio se pueden usar para determinar un umbral por encima del cual un cambio de resistividad medido por el dispositivo de medición eléctrica DME se puede interpretar como debido a la presencia a nivel del dispositivo de mediciones eléctricas DME, de gas inyectado.

De acuerdo con una realización de la presente invención, la calibración de la instalación de acuerdo con la invención comprende mediciones realizadas in situ mediante la instalación de acuerdo con la invención por simulación de una o más fugas de gas. Estas simulaciones de fugas de gas se pueden realizar inyectando gas en un pozo, por ejemplo entre 3 y 5 m de profundidad. Por ejemplo, se puede simular una fuga repentina (inyectando gas a alta presión) o una fuga difusa. Las mediciones realizadas por el DMG y los dispositivos de medición geoquímica DME eléctricos durante estas pruebas de fugas hacen posible, por un lado, calibrar las mediciones eléctricas con respecto a las mediciones geoquímicas, pero también, definir los umbrales de detección de fugas de gas, en comparación con los niveles de referencia previamente establecidos.

La calibración entre las mediciones geoquímicas y las mediciones eléctricas consiste en determinar la ley de correlación entre las cantidades de gas medidas por el dispositivo de medición geoquímica DMG y las variaciones de resistividad eléctrica medidas por el dispositivo de medición eléctrica DME. De acuerdo con una realización de la presente invención, se establece una gráfica que representa, en la abscisa, las cantidades de gas medidas por el dispositivo de medición geoquímica DMG y en la ordenada las variaciones de resistividad eléctrica medidas por el dispositivo de medición eléctrica DME. Luego, por ejemplo, mediante regresión lineal, determinamos una ley experimental representativa de la correlación entre estos dos tipos de medición. La ley experimental así definida entre estos dos grupos de datos hace posible verificar las mediciones de los dos dispositivos. Por lo tanto, si uno de los dispositivos detecta una medición anormal y si la medición realizada por el otro dispositivo está por debajo de la predicción obtenida por la ley experimental, es probable que la medición anormal sea una anomalía puntual, no relacionada con una fuga de gas

De acuerdo con una realización de la presente invención, los umbrales de detección de fugas de gas así definidos se suministran al colector de datos para activar una alerta remota en caso de una fuga de gas.

5 De acuerdo con una realización de la presente invención, la etapa de calibración de la instalación de acuerdo con la invención continúa durante la fase de inyección y durante los primeros años después de la inyección de gas.

Seguimiento

10 Durante la etapa de seguimiento de un sitio de almacenamiento geológico de gases a través de la instalación de acuerdo con la invención, es necesario el seguimiento de la evolución de las mediciones realizadas por la instalación de acuerdo con la invención. La instalación de acuerdo con la invención permite un seguimiento temporal de las características eléctricas, geoquímicas y ambientales de un sitio de almacenamiento geológico de gases.

15 De acuerdo con una realización de la presente invención, la etapa de monitorización de un sitio de almacenamiento geológico de gases mediante la instalación de acuerdo con la invención se implementa utilizando la instalación de acuerdo con la invención a fin de realizar mediciones automáticas, regulares y remotas.

20 A partir de las mediciones realizadas por el dispositivo de medición eléctrica DME de la instalación de acuerdo con la invención, el especialista puede determinar, mediante tomografía de resistividad, una imagen (en 2D o 3D según la configuración de adquisición) de la difusión del gas inyectado en el subsuelo. Además, dado que las mediciones pueden repetirse con el tiempo, el especialista puede obtener la evolución temporal de esta resistividad. Los cambios en la resistividad observados a lo largo del tiempo pueden ser un indicador de los movimientos del gas inyectado. Cuando estos cambios de resistividad medidos por el dispositivo de medición eléctrica DME se correlacionan con los cambios en la concentración de gas medidos por el dispositivo de medición geoquímica DMG, entonces la probabilidad de una fuga de gas es grande. El especialista puede emitir una alerta. Cuando los cambios en la resistividad medida por el dispositivo de medición eléctrico DME no están correlacionados con un cambio en la concentración de gas medida por el dispositivo de medición geoquímico DMG, y se observan cambios en la resistividad en la profundidad de investigación del dispositivo de medición geoquímico DMG, el especialista puede concluir, por ejemplo, que se trata de una anomalía en la medición puntual. Cuando los cambios de resistividad medidos por el dispositivo de medición eléctrica DME no están correlacionados con un cambio en la concentración de gas medido por el dispositivo de medición geoquímica DMG, y se observan cambios de resistividad a una mayor profundidad de investigación que desde el dispositivo de medición geoquímica de DMG, entonces el especialista puede estimar que una fuga de gas es próxima o inminente, y posiblemente pueda alertar a quien corresponda.

35 Así, la presente invención en particular hace posible combinar, en una instalación única, coherente e integrada, la información obtenida por un dispositivo de medición geoquímica DMG con la información obtenida por un dispositivo de medición eléctrica DME y así producir un seguimiento fiable de un sitio de almacenamiento geológico de gases. De hecho, esta información cruzada permite detectar mejor las fugas de gas que pueden ocurrir como resultado de la inyección de gas en un sitio de almacenamiento geológico de gases, o incluso anticipar estas fugas gracias a las diferentes profundidades de investigación de los dos tipos de medidas. Además, la instalación de acuerdo con la invención puede estar totalmente automatizada y controlada de forma remota, lo que permite el seguimiento permanente de un sitio de almacenamiento geológico de gases.

45 Ejemplo de aplicación

Las Figuras 3 a 6 ilustran un ejemplo de aplicación de la instalación de acuerdo con la invención para el seguimiento de un sitio de almacenamiento geológico de CO₂. El sitio en cuestión es una cantera de piedra caliza. Se inyectó CO₂ en una cavidad dentro de esta cantera.

50 La Figura 3 muestra un plano de superficie de la zona de inyección. Las áreas sombreadas corresponden a los pilares de piedra caliza de la cantera y la cámara de inyección corresponde a la zona central enmarcada en negrita. Esta figura presenta la ubicación de dos perfiles de mediciones de resistividad eléctrica de superficie (AA 'y BB'), así como tres perfiles de mediciones de resistividad eléctrica en la cavidad (TL, TT y L-CO), la ubicación de detectores de CO₂ (CN, CO, CT, L) y la ubicación de la estación meteorológica en la superficie (representada por una estrella).

55 La Figura 4 muestra el resultado de una tomografía de resistividad eléctrica realizada a lo largo del perfil BB' antes de la inyección de CO₂, para lo cual se ha superpuesto un resultado de la tomografía de resistividad realizada a lo largo del perfil TL (en el techo de la cavidad), así como la ubicación de los detectores CT y CN de CO₂. La línea punteada representa el límite entre arcillas y piedra caliza. Estos mapas de variación de resistividad en el subsuelo del sitio de almacenamiento de CO₂ geológico elegido constituyen la referencia contra la cual se analizarán los mapas de variación de resistividad que se realizarán durante y después de la inyección de CO₂.

60 La Figura 5 representa (a través de signos "+") las variaciones de concentración de CO₂ medidas por los sensores CN y CT de CO₂ en función de las variaciones relativas de la resistividad eléctrica medidas a lo largo de la sección B-B', obtenidas en el transcurso del tiempo, durante una fase de calibración realizada antes y durante la inyección. Se puede observar que las mediciones geoquímicas y eléctricas están muy relacionadas entre sí. A partir de este

gráfico, podemos obtener una ley de correlación entre estos dos tipos de mediciones, por ejemplo, mediante una regresión lineal.

5 La Figura 6 muestra la evolución en el tiempo de la variación relativa de la resistividad eléctrica a lo largo del perfil TL (en el techo de la cavidad), después de la inyección de CO₂ ((a) t = 0,1 día, (b) t = 0,2 días, (c) t = 0,4 días, (d) t = 1 día, (e) t = 10 días, (f) t = 40 días y (g) t = 100 días después del inicio de la inyección). Estos mapas de variación de la resistividad en el subsuelo se obtuvieron de una tomografía de resistividad realizada en cada instante t, tomando como referencia las variaciones con respecto al mapa que se muestra en la Figura 4. Se puede ver en esta

10 Figura que las variaciones de resistividad son máximas a t = 0,4 días.

15 Así, la correlación entre las mediciones geoquímicas y las mediciones eléctricas observadas en la Figura 5 confirma el interés de una instalación que permita un acoplamiento coherente, en una sola instalación, entre un dispositivo de medición geoquímica DMG y un dispositivo de medición eléctrica DME. Además, la instalación de acuerdo con la invención está completamente automatizada, y es posible el seguimiento continuo, durante la inyección, como se muestra en la Figura 6, pero también después de la inyección. Por lo tanto, la instalación de acuerdo con la invención puede permitir detectar los signos precursores de una fuga, identificando anomalías en los mapas de resistividad relativa tal como se presentan en la Figura 6, y/o detectando concentraciones anormales de gas. Al acoplar la información eléctrica y geoquímica, la instalación de acuerdo con la invención permite ayudar a eliminar cualquier ambigüedad con respecto a la interpretación para realizar mediciones anormales (geoquímicas y/o

20 eléctricas), pero también para contribuir a una localización más fiable de posibles fugas de gas.

REIVINDICACIONES

1. Instalación para el seguimiento de un sitio de almacenamiento geológico de gases, como CO₂ o metano, caracterizada por que dicha instalación comprende en combinación al menos los siguientes elementos:
- un dispositivo de medición geoquímica (DMG), que comprende una pluralidad de sondas de muestreo de gas (SPG), dichas sondas que se conectan a un analizador de gases (AG) y dichas sondas (SPG) que se colocan en los primeros metros debajo de la superficie del suelo de dicho sitio;
 - un dispositivo de medición eléctrica (DME), que comprende una pluralidad de electrodos (ELEC), dichos electrodos que están conectados a un medidor de resistividad (RES), dicho dispositivo de medición eléctrica (DME) que está destinado a mediciones eléctricas en el subsuelo;
 - una estación meteorológica de superficie (SM) para medir parámetros ambientales asociados con dicho sitio,
- dichos dispositivos de medición geoquímica (DMG) y eléctrica (DME) que son accionados por un autómatas (AUT), dicho dispositivo de medición geoquímica (DMG), dicho dispositivo de medición eléctrica (DME) y dicha estación meteorológica (SM) que están conectados a un colector de datos (COLL), dicho colector (COLL) que está conectado a los medios de transmisión de dichos datos (MTD), y en cuya instalación, dichas sondas de muestreo de gas (SPG) están instaladas por encima de la zona vadosa y por debajo de la zona de producción de gas biogénico.
2. Instalación de acuerdo con la reivindicación 1, en la que dichas sondas de muestreo de gas están conectadas a un analizador de gas (AG) a través de medios de transferencia de gas (MTG).
3. Instalación de acuerdo con la reivindicación 2, en la que dichos medios de transferencia de gas (MTG) de dicho dispositivo de medición geoquímica comprenden una válvula solenoide de tres vías, una primera vía conectada a una de dichas sondas de muestreo de gas (SPG), una segunda vía que conduce a un sistema de purga de dicho dispositivo de medición geoquímica (DMG), y una tercera vía conectada a una bomba, con la intención de que dicha bomba aspire dicho gas tomado por dichas sondas de muestreo (SPG) y que permita la distribución de dicho gas retirado a dicho analizador de gases (AG).
4. Instalación de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en la que dicho analizador de gases (AG) comprende al menos un detector de dicho gas almacenado y al menos un detector de gases nobles.
5. Instalación de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en la que dicho medidor de resistividad (RES) de dicho dispositivo de medición eléctrica (DME) envía una corriente eléctrica continua en el subsuelo a través de dos de dichos electrodos (ELEC) y registra una diferencia de potencial eléctrico entre otros dos de dichos electrodos (ELEC).
6. Instalación de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en la que el autómatas (AUT) dispara mediciones eléctricas a través del dispositivo de medición eléctrica (DME) y de medición geoquímica a través del dispositivo de medición geoquímica (DMG) de forma regular a lo largo del tiempo.
7. Instalación de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos electrodos (ELEC) se colocan en la superficie del suelo, y/o a lo largo de las paredes de una cavidad subterránea, y/o a lo largo de un pozo.
8. Instalación de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en la que dicha estación meteorológica (SM) proporciona seguimiento continuo de al menos la temperatura, presión, pluviometría e higrometría.
9. Instalación de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en la que la fuente de alimentación de dicha instalación es proporcionada por un panel solar conectado a una batería.
10. Instalación de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos medios de transmisión de dichos datos (MTD) son proporcionados por un módem 3G.
11. Uso de la instalación de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores para el seguimiento de un sitio de almacenamiento geológico de gases, como CO₂ o metano.
12. Uso de acuerdo con la reivindicación 11, en el que se realiza una etapa de calibración antes de la inyección de gas en el sitio de almacenamiento geológico de gases.

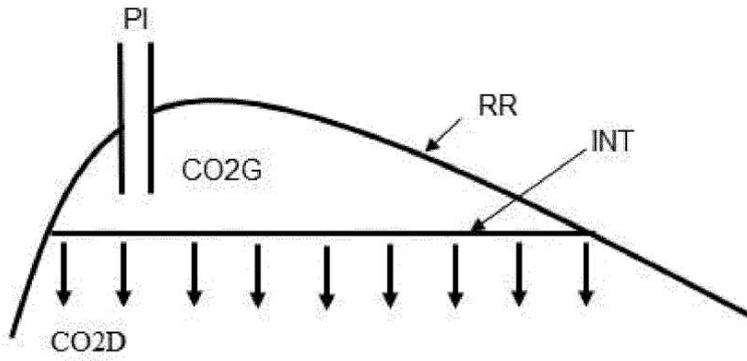


Figura 1

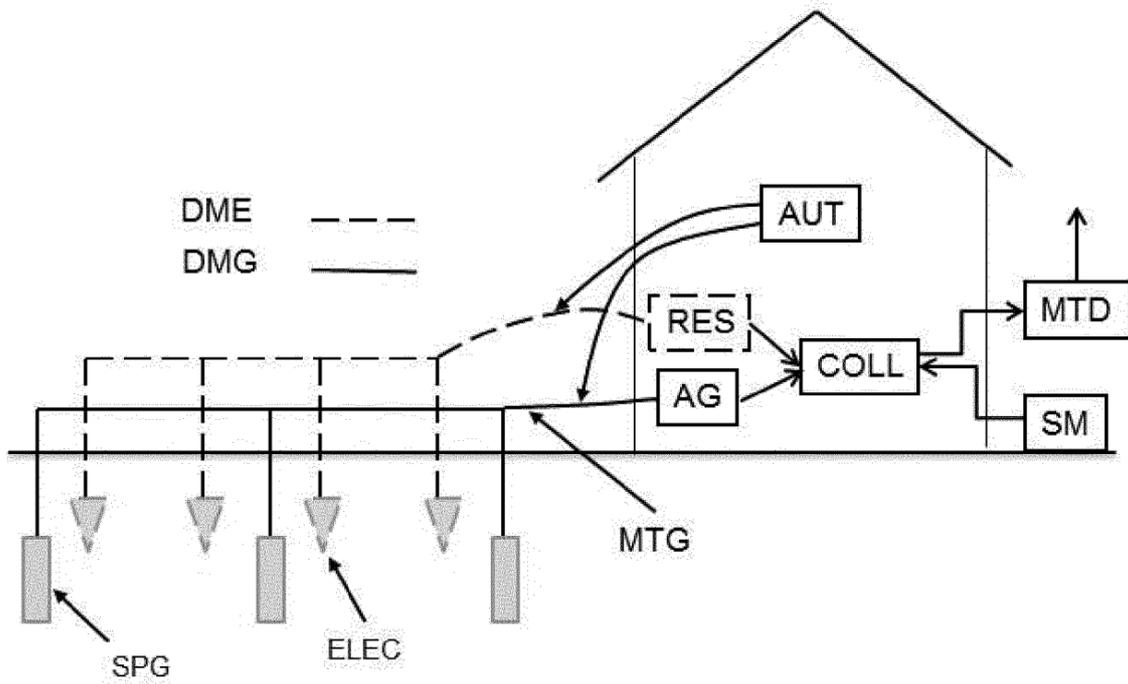


Figura 2

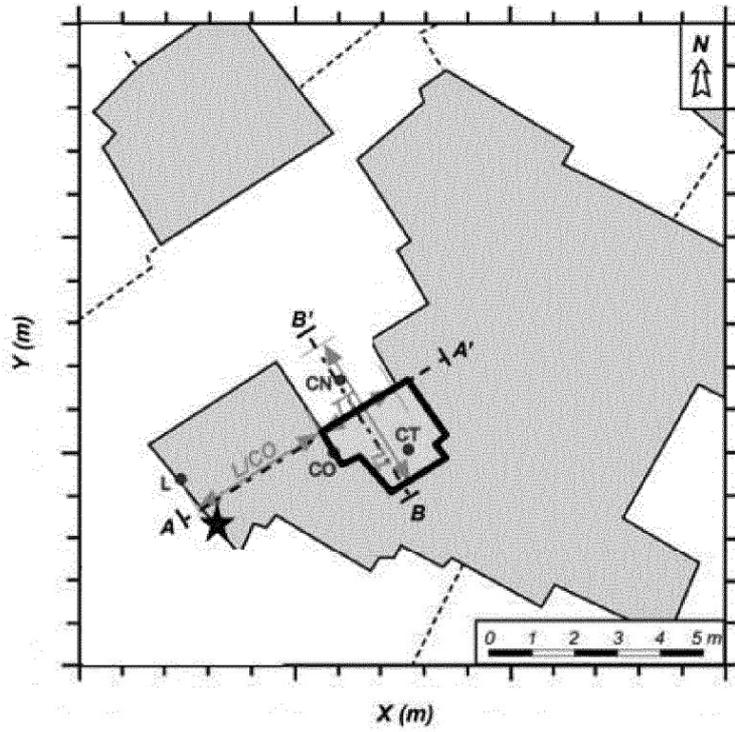


Figura 3

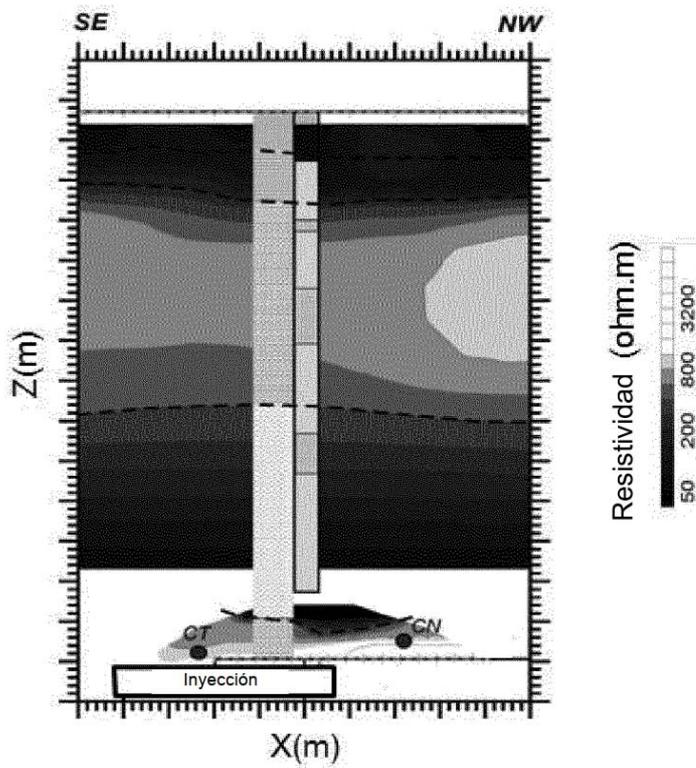


Figura 4

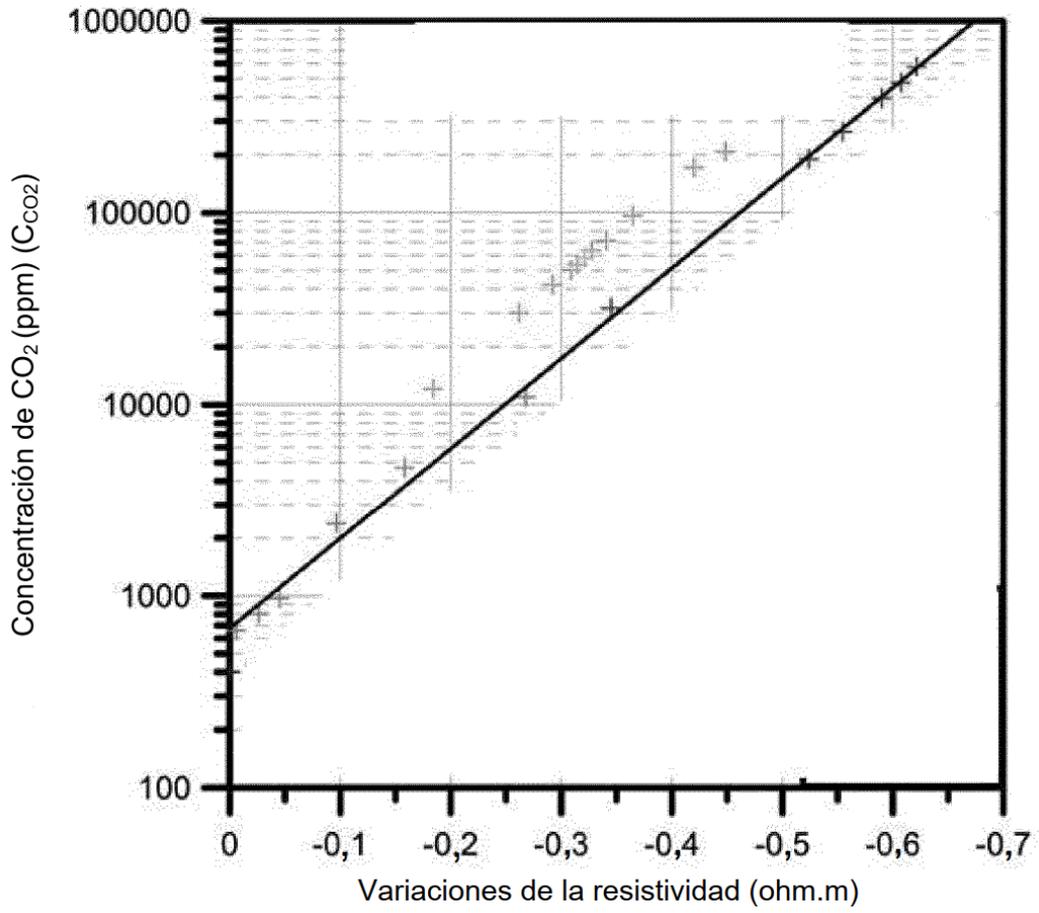


Figura 5

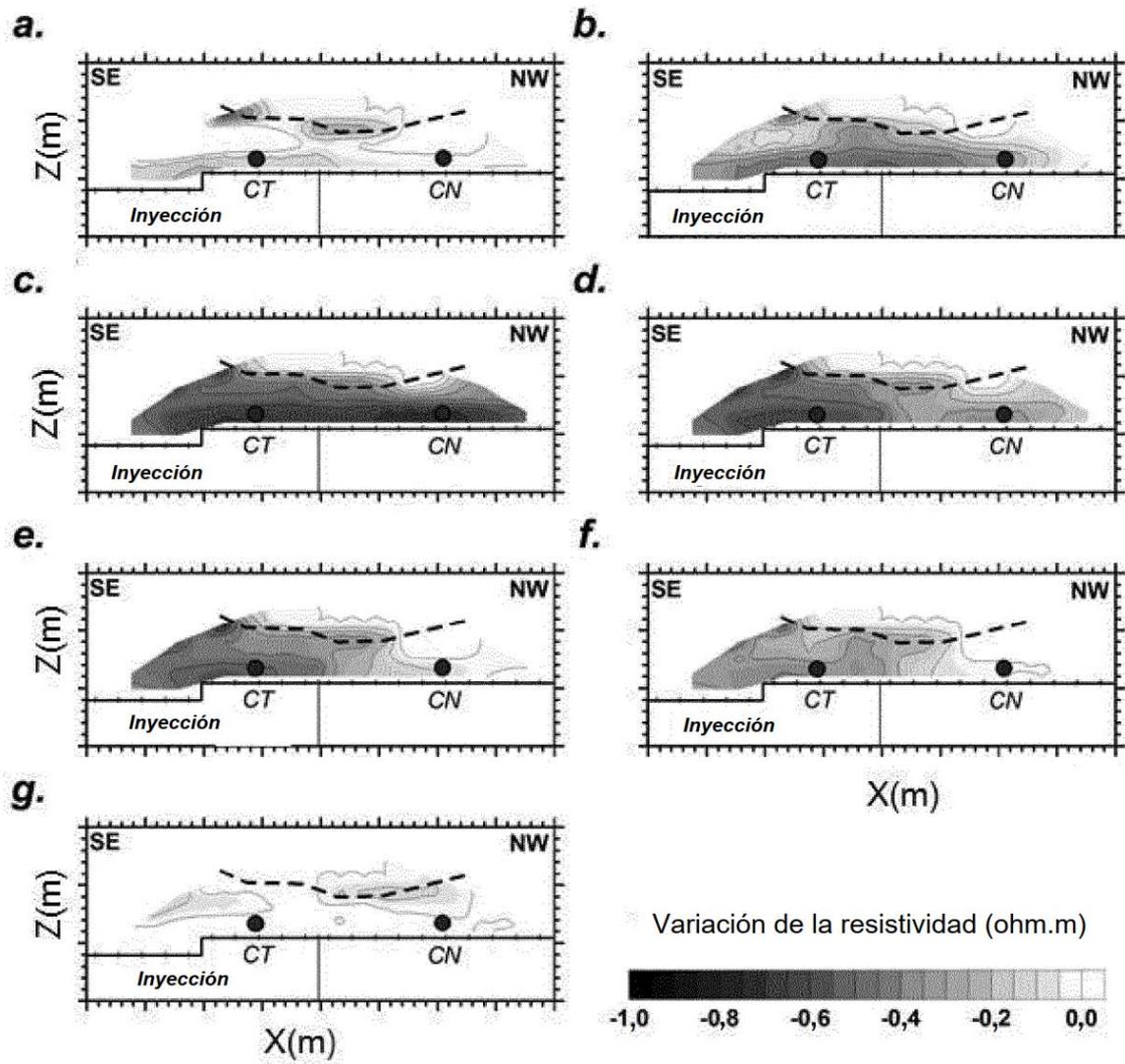


Figura 6