

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 671 162**

51 Int. Cl.:

E21B 41/00 (2006.01)

E21B 47/01 (2012.01)

E21B 47/06 (2012.01)

E21B 49/08 (2006.01)

G01N 33/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.09.2016 E 16187467 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.03.2018 EP 3141694**

54 Título: **Sonda de medición continua para suelo y subsuelo**

30 Prioridad:

08.09.2015 FR 1558326

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

05.06.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**ROUCHON, VIRGILE;
LANGLOIS, BERNARD;
FERNE, ERIC;
FERNANDES-MARTO, CLAUDIO;
GARCIA, BRUNO;
LOISY, CORINNE;
CEREPI, ADRIAN;
LE ROUX, OLIVIER y
SZABO, ZSUZSANNA**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 671 162 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

Sonda de medición continua para suelo y subsuelo

5 La presente invención se refiere a la supervisión del impacto sobre el suelo y el subsuelo de actividades antrópicas que impliquen o generen fluidos, y principalmente gases.

10 Entre estas actividades se pueden citar el almacenamiento de residuos (por ejemplo residuos nucleares), las redes de transporte de fluidos ("pipelines" en inglés), el almacenamiento de fluidos subterráneos (combustibles, gases), la contaminación accidental de los suelos, la contaminación vinculada a las actividades industriales no accidentales, la producción de fluidos geológicos (hidrocarburos, aguas profundas, geotermia).

15 Más particularmente, la presente invención se puede referir a la supervisión de lugares de almacenamiento geológico de un fluido, tal como el dióxido de carbono (CO₂) o el metano.

La supervisión medioambiental del impacto de las actividades antrópicas sobre el suelo y el subsuelo necesita disponer de herramientas que permitan la realización de mediciones representativas, normalizadas, y con unas duraciones relativamente largas (año, decenios).

20 La medición de los intercambios gaseosos en el suelo y el subsuelo es uno de los aspectos de la supervisión medioambiental, que afecta a la vez al rendimiento de los suelos, y también a la migración del gas posible a través del suelo y subsuelo. En el marco de la medición de los intercambios gaseosos en el suelo y el subsuelo, puede ser deseable disponer de dispositivos de medida que permitan tener en cuenta una cadena de procesos que van desde la toma de señales o de materiales, pasando por la medida de parámetros significativos, hasta el tratamiento de la medida y el análisis de incertidumbres. Con el fin de asegurar la fiabilidad y la representatividad de las medidas, es deseable que la implementación de esta cadena de procesos perturbe lo menos posible al ambiente a caracterizar. La interfaz física del dispositivo de medida es por tanto un elemento crítico que puede concentrar por sí mismo los riesgos de perturbación del medio ambiente así como la representatividad de las informaciones recibidas.

30 Por otro lado, puede ser interesante cruzar las medidas de los intercambios gaseosos con otros tipos de medidas físicas con el fin de, mediante interpretación cruzada, afinar la comprensión de los movimientos de fluidos en una formación subterránea. Idealmente, para garantizar una representatividad de los diferentes parámetros medidos y limitar la perturbación del medio ambiente, estas medidas deben realizarse simultáneamente y en el mismo emplazamiento.

35 Finalmente, idealmente, un dispositivo de medida para la supervisión de una formación subterránea que contenga un fluido debe poder residir en su medio ambiente de medida tan largo tiempo como sea necesario, en enlace continuo o no con unos medios de análisis de estas medidas y/o de alimentación, eventualmente desplazados.

40 Estado de la técnica

Se citarán los documentos siguientes en el curso de la descripción:

45 Noemie Taquet, Jacques Pironon, Philippe De Donato, Herve Lucas, Odile Barres (2013). Efficiency of combined FTIR and Raman spectrometry for online quantification of soil gases: Application to the monitoring of carbon dioxide storage sites. International Journal of Greenhouse Gas Control, 12, 359-371.

50 Thomas M. Christy (1998). A Permeable Membrane Sensor for the Detection of Volatile Compounds in Soil. Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 1998: págs. 65-72.

55 Se conoce el documento (Taquet et al., 2013) que describe un dispositivo dedicado a la recogida de información o relativas a los gases del suelo, realizándose la recogida en un (mini-)pozo de perforación. Más precisamente, este documento describe una cámara de extracción de gas constituida por la base de un pozo, aislado de la atmósfera del pozo por un cojín inflable conocido bajo el término de "packer" en inglés. El gas se extrae de la cámara mediante una bomba, atraviesa una serie de analizadores y de captadores, y posteriormente se reinyecta en la cámara de extracción a través de unos tubos de acero inoxidable. Además, se efectúa una medida de temperatura en la cámara de extracción. Los equipos de superficie permiten hacer unas medidas de la composición del gas, de la presión y del caudal de gas, así como mantener la presión del packer. La cámara de extracción está equipada con una membrana semipermeable que permite admitir en los tubos variedades gaseosas, sin dejar penetrar el agua líquida. El sistema, debido a la instalación y el mantenimiento de la presión de los packers, es difícil de implementar. Por otro lado, este documento no describe ni menciona características que permitan asegurar la no perturbación del ambiente de medida, ni la resistencia a la corrosión con el tiempo.

65 Se conoce igualmente la sociedad GEOPROBE que desarrolla unos sistemas dedicados al muestreo de gases del suelo. Estos sistemas, realizados en acero permiten perforar rápidamente diferentes tipos de suelo y recuperar los gases presentes en el fondo de la perforación. Más particularmente, las sondas Geoprobe MIP (ver por ejemplo

(Christy, 1998)) permiten elevar el gas del suelo por medio de la circulación de un gas vector, y medir la conductividad eléctrica del suelo. Estas sondas, fabricadas en acero y las medidas que se realizan en el transcurso de la perforación, están por tanto destinadas a aplicaciones puntuales, y no están dedicadas a una supervisión a largo término de un lugar de almacenamiento. Además, estas sondas requieren la inyección de un gas vector, distinto que el gas extraído, y no reinyectan el gas extraído, lo que no permite garantizar la no perturbación del ambiente de medida.

Se conoce igualmente la patente CH 486698 A que se refiere a un dispositivo para medir la humedad del suelo, a partir de la medida de la capacidad eléctrica y de la porosidad.

Así, ninguno de los dispositivos y sistemas según la técnica anterior garantiza, a la vez, la no perturbación del ambiente de medida, la medida del contenido en gas, la medida de las propiedades eléctricas de los suelos, y la adaptación, por su funcionamiento y sus materiales, a una supervisión a largo término de una formación que contenga un fluido.

La presente invención describe por su parte un dispositivo subterráneo para la supervisión de una formación subterránea que contiene un fluido, permitiendo al menos la extracción y el análisis del fluido presente en la formación, así como la medida de las propiedades eléctricas de la formación estudiada. La sonda según la invención comprende una célula de medida compuesta al menos por dos cámaras: una primera cámara en la que se efectúan realmente las medidas, y una segunda cámara de protección de los medios de enlace entre los instrumentos de medida y unos medios de análisis de estas medidas. Los medios de análisis de las medidas pueden estar separados, en la superficie por ejemplo, y los medios de enlace pueden comprender una funda estanca y resistente a la corrosión.

De ese modo, el dispositivo según la invención está adaptado a una supervisión a largo término de una formación subterránea que contenga un fluido, tal como un sitio de almacenamiento geológico de gas.

El dispositivo según la invención

De ese modo, la presente invención se refiere a un dispositivo para la supervisión de una formación subterránea que contiene un fluido, incluyendo dicho dispositivo al menos una célula de medida, destinado a disponerse en una cavidad formada en dicha formación subterránea, unos medios de análisis destinados a estar en la superficie, uniendo unos medios de enlace a dicha célula de medida con dichos medios de análisis, comprendiendo dicha célula al menos una primera cámara, una segunda cámara estanca a dicho fluido, y al menos tres conectores internos que unen de manera estanca dicha primera cámara a dicha segunda cámara, uniendo dichos medios de enlace de manera estanca dicha célula de medida a dichos

- una pluralidad de orificios que permiten el paso de dicho fluido en dicha primera cámara,
- al menos dos electrodos internos que cooperan con al menos dos de dichos conectores internos, estando unidos dichos electrodos internos a dichos medios de análisis a través de dichos medios de enlace, cooperando dichos medios de enlace con dichos conectores internos,
- unos medios de circulación del fluido, estando unidos dichos medios de circulación del fluido a dichos medios de análisis cooperando con al menos uno de dichos conectores y con dichos medios de enlace.

Según un medio de implementación de la invención, el dispositivo puede incluir además al menos dos electrodos externos, dos conectores internos que unen dichas dos cámaras, dos conectores externos estancos colocados sobre al menos una pared de dicha primera cámara, estando dicha pared en contacto con dicha formación, cooperando dichos electrodos externos con dichos conectores externos, estando unidos dichos electrodos externos a dichos medios de análisis a través de dichos medios de enlace, cooperando dichos medios de enlace con dichos dos conectores internos y dichos dos conectores externos.

Según un modo de implementación de la invención, dichos medios de enlace pueden incluir unos medios de alimentación eléctrica de dichos electrodos, y los medios de protección estancos incluyen una funda estanca que protege al menos dichos medios de circulación y dichos medios de alimentación eléctrica.

Ventajosamente, dicha primera cámara puede estar rellena por un material poroso y permeable del que se conocen unas propiedades petrofísicas y eléctricas.

Preferentemente; dichas propiedades petrofísicas pueden ser al menos la porosidad y la permeabilidad, y dichas propiedades eléctricas puede ser al menos la conductividad eléctrica.

Según un modo de implementación de la invención, dichos medios de enlace, dichas cámaras, y dichos conectores pueden fabricarse en PTFE.

Según un modo de implementación de la invención, dichos medios de análisis pueden incluir al menos un analizador de fluido y/o un resistímetro.

Según un modo de implementación de la invención, dichos medios de circulación del fluido puede comprender al menos una tubería, un sistema de aspiración de fluido, y un sistema de retorno de fluido.

5 Ventajosamente, dichos medios de circulación del fluido puede comprender al menos dos tuberías, un sistema de aspiración de fluido, y un sistema de retorno de fluido.

Además, la invención se refiere a una utilización del dispositivo según la invención para la supervisión de un sitio de almacenamiento geológico de un gas, tal como CO₂ o metano.

10 Preferentemente, puede realizarse una etapa de calibración previamente a la inyección de gas en dicho sitio de almacenamiento geológico durante una utilización del dispositivo según la invención para la supervisión de un sitio de almacenamiento geológico de un gas.

15 Además, la invención se refiere a un procedimiento de supervisión de una formación subterránea que contiene un fluido, en el que se utiliza al menos un dispositivo para la supervisión de una formación subterránea que contiene un fluido según la invención, y en el que se realizan al menos las etapas siguientes:

- se perfora una cavidad destinada a recibir dicha célula de medida de dicho dispositivo;
- se conecta dicha célula de medida a dichos medios de enlace de dicho dispositivo;
- 20 ○ se instala dicha célula de medida en el seno de dicha cavidad así formada, y se instalan dichos medios de análisis de dicho dispositivo en la superficie;
- se conectan dichos medios de análisis a dichos medios de enlace de dicho dispositivo;
- se realizan unas medidas por medio de dicha célula de medida y se analizan dichas medidas por medio de dichos medios de análisis.

25 Surgirán otras características y ventajas del procedimiento según la invención, con la lectura de la descripción que sigue de ejemplos no limitativos de realizaciones, con referencia a las figuras adjuntas y descritas a continuación.

Presentación sucinta de las figuras

30 Las Figuras 1 a 5 ilustran esquemáticamente y en sección, diferentes modos de realización del dispositivo para la supervisión de una formación subterránea que contiene un fluido según la invención.

35 La Figura 6A ilustra una vista externa de un modo de realización de la célula de medida del dispositivo para la supervisión de una formación subterránea que contiene un fluido según la invención. La figura 6B corresponde a una sección vertical a través de la célula de medida del dispositivo según la invención representado en la Figura 6A.

40 La Figura 7A (respectivamente la Figura 7B) presenta la evolución de la resistividad eléctrica medida mediante unos electrodos internos (respectivamente mediante unos electrodos externos) en función de la saturación en agua, para tres configuraciones de montaje diferentes de la célula de medida del dispositivo según la invención.

Descripción detallada del dispositivo

45 La invención se refiere a un dispositivo para la supervisión de una formación subterránea que contiene un fluido. El fluido puede ser gas, tal como CO₂ o metano, o bien un líquido tal como una fase líquida de hidrocarburos. El líquido puede haber sido almacenado, no limitativamente, voluntariamente en la formación estudiada (por ejemplo en el caso de un almacenamiento geológico de CO₂) o bien ser el resultado de la degradación de productos almacenados en la formación estudiada (por ejemplo en el caso de un almacenamiento geológico de residuos), o incluso ser un fluido natural atrapado geológicamente en una formación del subsuelo.

50 El dispositivo según la invención incluye una célula de medida, destinada a disponerse en una cavidad formada en la formación subterránea considerada. La cavidad puede haberse formado mediante una perforación por ejemplo, del tamaño de la célula de medida, de manera que la célula esté en contacto directo con la formación. Según la invención, la célula de medida está constituida por al menos una primera cámara y una segunda cámara. En la primera cámara se efectúan realmente las medidas, por medio de los instrumentos de medida, y la segunda cámara sirve de protección a unos medios de enlace que unen dichos instrumentos de medida a unos medios de análisis de estas medidas. Los medios de análisis de las medidas pueden estar separados, en la superficie por ejemplo. Según la invención, los medios de enlace unen de manera estanca la célula de medida a los medios de análisis y los medios de enlace incluyen unos medios de protección estancos.

60 Además, al menos tres conectores internos unen de manera estanca dicha primera cámara a dicha segunda cámara, permitiendo estos conectores el paso de la medida.

Además, dicha primera cámara incluye al menos:

- 65 - una primera pluralidad de orificios que permiten el paso de dicho fluido en dicha primera cámara,

- al menos dos electrodos internos que cooperan con al menos dos de dichos conectores internos, estando unidos dichos electrodos internos a dichos medios de análisis a través de dichos medios de enlace, cooperando dichos medios de enlace con dichos conectores internos, permitiendo a los electrodos realizar una medida eléctrica relativa al fluido presente en la primera cámara,
- unos medios de circulación del fluido, estando unidos dichos medios de circulación del fluido a dichos medios de análisis en cooperación con al menos uno de dichos conectores y con dichos medios de enlace.

La Figura 1 presenta un ejemplo de realización no limitativo del dispositivo según la invención, pudiendo disponerse los diferentes elementos del dispositivo según la invención entre ellos y en sentido absoluto de manera diferente. Las Figuras 2 a 5 representan de manera no limitativa y no exhaustiva otras variantes de realización del dispositivo según la invención. Las Figuras 1 a 5 corresponden a una sección según un plano vertical del dispositivo para la supervisión de una formación subterránea que contiene un fluido.

El dispositivo según la invención incluye una célula de medida CM, destinada a disponerse en una cavidad formada en la formación subterránea considerada. La cavidad puede haberse formado mediante una perforación por ejemplo, del tamaño de la célula de medida CM, de manera que la célula CM esté en contacto directo con la formación. Según la invención, la célula de medida CM está constituida por al menos una primera cámara CH1 y una segunda cámara CH2. Ventajosamente, dicha segunda cámara CH2 se dispone por encima de dicha primera cámara CH1 como se presenta no limitativamente en la Figura 1.

Según la invención, el dispositivo está equipado con medios de análisis MA que pueden estar separados, por ejemplo en la superficie, y de medios de enlace ML que unen de manera estanca dicha célula de medida CM a los medios de análisis MA. Según la invención, los medios de enlace están a su vez protegidos mediante unos medios de protección estancos.

Según la invención, la pared de la primera cámara CH1 está perforada por una pluralidad de orificios OR que permiten la extracción del fluido, presente en la formación, en el volumen interno de la primera cámara CH1. Según la invención, la segunda cámara CH2 es por su parte estanca al fluido. Por otro lado, según la invención, al menos tres conectores internos CI unen de manera estanca la primera cámara CH1 a la segunda cámara CH2.

Según la invención, la primera cámara CH1 incluye además al menos dos electrodos internos EI, que cooperan con al menos dos de los conectores internos CI de dicha célula, estando unidos los electrodos internos EI a los medios de análisis MA a través de los medios de enlace ML, cooperando los medios de enlace ML a su vez con los conectores internos CI.

Según la invención, la primera cámara CH1 incluye además unos medios de circulación MC del fluido extraído en la primera cámara CH1, estando unidos los medios de circulación MC del fluido extraído en la primera cámara CH1 a dichos medios de análisis MA en cooperación con al menos uno de dichos conectores CI y con dichos medios de enlace ML.

Según la invención, los medios de enlace aseguran un enlace estanco entre la célula de medida y los medios de análisis, permitiendo así la transmisión sin pérdida de las medias realizadas por la célula de medida a los medios de análisis. Además los medios de enlace están protegidos por unos medios de protección estancos. Esto permite garantizar la no alteración con el tiempo de los medios de enlace en sí mismos, y contribuir así a la longevidad del dispositivo según la invención, y a la adaptación del dispositivo según la invención a una supervisión a largo término de una formación subterránea que contiene un fluido.

La estanquidad de la segunda cámara permite proteger la parte de los elementos del dispositivo según la invención situada en esta segunda cámara (al menos los medios de enlace ML como se muestra en la Figura 1), y contribuir así a la no alteración con el tiempo de la parte de los elementos en cuestión, y por lo mismo a la adaptación del dispositivo según la invención a una supervisión a largo término de una formación subterránea que contiene un fluido.

La estanquidad de los conectores internos está dirigida a impedir el paso de una parte del fluido extraído en la primera cámara hacia la segunda cámara, y de ese modo una transmisión errónea de la cantidad de fluido extraído a los medios de análisis, pero también a preservar la integridad de la segunda cámara y de la parte de los elementos de medida del dispositivo según la invención (al menos los medios de enlace ML como se muestra en la Figura 1) que contiene.

Según un modo de implementación de la invención, los medios de enlace incluyen unos medios de alimentación eléctrica de los electrodos, y los medios de protección estancos incluyen una funda estanca se protege al menos los medios de circulación del fluido y los medios de alimentación eléctrica. La Figura 2 representa de manera no limitativa una variante de este modo de implementación. Para esta variante, los medios de protección estancos incluyen una funda estanca GA, que une el techo de la célula de medida CM a los medios de análisis MA, y los medios de alimentación eléctrica corresponden a unos cables eléctricos CEL, cooperando los cables eléctricos CEL con los conectores internos CI, cooperando los conectores internos CI con dos electrodos internos EI. Según este

modo de implementación, una primera parte de los cables eléctricos CEL atraviesa la segunda cámara CH2, y una segunda parte (no representada), insertada en la funda GA, une el techo de la segunda cámara a los medios de análisis MA. Según este modo de implementación de la invención, se practica una abertura en el techo de la segunda cámara CH2, cooperando esta abertura con la funda GA. Según este mismo modo de implementación de la invención representado en la Figura 2, el fluido extraído en la primera cámara CH1 de la célula de medida CM es asumido por los medios de circulación del fluido MC, de los que una primera parte está situada en la primera cámara CH1, una segunda parte atraviesa al menos uno de dichos conectores internos CI, una tercera parte atraviesa la segunda cámara CH2, y una cuarta parte (no representada), insertada en la funda GA, une el techo de la segunda cámara CH2 a los medios de análisis MA. Según un modo de implementación de la invención, los cables eléctricos están aislados por una funda de silicona y la funda está constituida en polímero armado por una espiral de acero.

Las Figuras 3 a 5, ilustrativas de otros modos de realización de la presente invención, se representan en lo que sigue de manera no limitativa y no exhaustiva según unos medios de enlace que comprenden una funda GA, unos cables eléctricos CEL y unos medios de análisis MA separados, insertándose en la funda GA la parte de los cables eléctricos y la parte de los medios de circulación MC situados en el exterior de la célula de medida CM. Es posible sin embargo cualquier otra constitución y configuración de los medios de enlace que permita unir la célula de medida CM a los medios de análisis MA, pudiendo estar por otro lado los medios de análisis MA separados o no.

Según un modo de implementación de la presente invención, los orificios de la primera cámara pueden estar:

- (1) recubiertos de una membrana semipermeable/hidrófoba (por ejemplo de tipo polipropileno hidrófobo, de diámetro 0,2 μm), de manera que se impida la extracción de agua en la primera cámara, y la elevación del agua en los medios de circulación de fluido y hacia los medios de análisis. Este modo de implementación está adaptado en particular cuando el fluido de interés es un gas y en el caso de una zona en la que se concibe la inundación (zona inundable, fuerte movimiento de la capa, fuertes lluvias y malas condiciones de drenaje); o bien
- (2) recubiertos con un geotextil, teniendo los geotextiles la propiedad de ser hidrofílicos (lo que permite asegurar un buen acoplamiento hídrico y eléctrico entre el volumen interno de la primera cámara y la formación) y anti-partículas (lo que permite impedir que las partículas finas penetren en el volumen interno de la primera cámara). Este modo de implementación puede favorecerse en las zonas bien drenadas, lejos de los cursos de agua, fuera del alcance de la capa freática, y lejos de riesgos de inundación; o bien
- (3) libres, es decir no recubiertas por ningún material. Esta última implementación permite tener una conectividad máxima del volumen interno de la primera cámara con el medio externo, y permite por tanto medir unas fluctuaciones rápidas de las composiciones de gas.

Según un modo particular de realización de la presente invención, la primera cámara así como la segunda cámara están constituidas por politetrafluoroetileno (PTFE), con el fin de asegurar una buena longevidad de la célula de medida CM así como una influencia química mínima sobre el ambiente próximo.

Según un modo de implementación no limitativo de la presente invención representado en la Figura 3, los medios de circulación del fluido comprenden al menos un tubo T, un sistema de aspiración ASP, y un sistema de retorno REF. El sistema de aspiración ASP permite aspirar el fluido extraído en la primera cámara CH1, hacerle pasar a al menos un conector interno CI y posteriormente en el tubo T, y transferir así este fluido a los medios de análisis MA. El sistema de retorno REF permite refluir el fluido, una vez extraído y posteriormente analizado por los medios de análisis MA, hacia dicha formación, volviendo a pasar por dicho tubo T, dicho conector interno CI, dicha primera cámara CH1, y posteriormente dichos orificios OR de dicha primera cámara CH1. Este modo de implementación permite, extrayendo el fluido y reinyectándolo en la formación, limitar grandemente la perturbación del ambiente de medida, lo que es apropiado para una supervisión a largo término del sitio que contiene un fluido. Preferentemente, los sistemas de aspiración ASP y de retorno REF están separados, por ejemplo en la superficie de la formación. El ejemplo de realización de la invención representado en la Figura 3 incluye unos medios de enlace que comprenden una funda GA, unos cables eléctricos CEL y unos medios de análisis MA separados, insertándose en la funda GA la parte de los cables eléctricos CEL así como la parte del tubo T en el exterior de la célula de medida CM. Son posibles sin embargo cualquier otra constitución y configuración de los medios de enlace, y cualquier otro modo de cooperación de estos medios de enlace con los medios de circulación del fluido, pudiendo estar por otro lado los medios de análisis separados o no.

Según un modo de implementación no limitativo de la invención representado en la Figura 4, los medios de circulación del fluido comprenden dos tubos TA y TR, estando unido el tubo TA al sistema de aspiración ASP, y estando unido el tubo TR al sistema de retorno REF. Preferentemente, el tubo TR penetra profundamente en el interior del volumen interior de la primera cámara CH1, mientras que la terminación del tubo TA en la primera cámara CH1 corresponde sustancialmente a la base del conector CI con el que coopera. Esta configuración permite maximizar la distancia D entre el punto de aspiración y el punto de retorno, y maximizar así la mezcla del gas entre los dos tubos. De ese modo, serán más finamente detectables las variaciones de composición del gas en la célula. Preferentemente, la distancia D corresponderá al 70 % de la altura de la primera cámara CH1. El ejemplo de realización de la invención representado en la Figura 4 incluye unos medios de enlace que comprenden una funda

GA, unos cables eléctricos CEL, unos medios de análisis MA separados, insertándose en la funda GA la parte de los cables eléctricos CEL así como las partes de los tubos TA y TR en el exterior de la célula de medida CM. Son posibles sin embargo cualquier otra constitución y configuración de los medios de enlace, y cualquier otro modo de cooperación de estos medios de enlace con los medios de circulación del fluido, pudiendo estar por otro lado los medios de análisis separados o no.

Según un modo de implementación de la invención, los medios de análisis comprenden al menos un analizador de fluido, que puede estar separado o no en la superficie. El analizador de fluido permite la detección y la cuantificación (estimación de la concentración por ejemplo) de al menos un tipo de fluido. Preferentemente, el analizador de fluido permite al menos la detección y la cuantificación del fluido inyectado en la formación.

Según un modo de implementación de la invención, los electrodos internos pueden utilizarse para unas medidas de resistividad eléctrica del medio. Según este mismo modo de implementación, al menos una parte del volumen interno de la primera cámara se rellena ventajosamente por un material poroso (y preferentemente permeable al fluido extraído por los orificios) de referencia, de manera que al menos una parte de los electrodos internos EI estén en contacto con el material poroso. Por material poroso de referencia, se puede entender un material cuyas propiedades petrofísicas y eléctricas sean conocidas. Preferentemente, las propiedades petrofísicas del medio poroso de referencia son al menos la porosidad y la permeabilidad. Preferentemente, las propiedades eléctricas del medio poroso de referencia son al menos la conductividad eléctrica. Ventajosamente, el material poroso puede ser arena de cuarzo. De ese modo el fluido extraído en la primera cámara podrá alojarse en los poros del material poroso, y se podrá efectuar una medida de la resistividad, por medio de los electrodos internos, en contacto con este material al menos parcialmente saturado de fluido.

Muy preferentemente, los medios de análisis comprenden al menos un resistímetro que puede estar o no separado en la superficie. Los medios de enlace pueden comprender entonces unos cables eléctricos que permiten unir los conectores internos que cooperan con los electrodos internos al resistímetro.

Según un modo de implementación no limitativo de la invención ilustrado en la Figura 5 (los medios de circulación del fluido no están representados en esta Figura por razones puras de simplificación de la Figura), se colocan al menos dos conectores externos CE estancos en una de las paredes de la primera cámara CH1 en contacto con el exterior de la célula de medida CM, cooperando los conectores externos CE con al menos dos electrodos externos EE. Además, según este mismo modo de implementación, el dispositivo incluye además al menos dos conectores internos CI adicionales, permitiendo dichos conectores internos CI adicionales el paso de los medios de enlace (tales como los cables eléctricos CEL representados en la Figura 5) entre dichos conectores externos CE y dichos medios de análisis MA. Ventajosamente, la pared en la que se colocan los conectores externos CE está en contacto con la formación de interés. De ese modo, los electrodos externos EE que atraviesan esta pared a través de los conectores externos CE permiten realizar unas medidas eléctricas en el seno de la formación estudiada. Ventajosamente, los medios de análisis MA comprenden al menos un resistímetro y las medias eléctricas realizadas por medio de los electrodos externos EE se refieren a una medida de la resistividad eléctrica en la formación de interés. Según un modo particular de implementación de la presente invención, se realizan unas medidas de resistividad eléctrica por medio de los al menos dos electrodos internos EI y de los al menos dos electrodos externos EE colocados tal como se ha descrito anteriormente. De esta manera, los electrodos internos EI permiten calibrar la medida de resistividad sobre un medio poroso conocido y simple (tal como arena de cuarzo), y servir de ese modo de referencia con relación a las medidas de resistividad realizadas por los electrodos externos EE que estarán sometidos a más incógnitas con respecto al medio poroso en el que están insertados (composición mineralógica, porosidad, granulometría). Particularmente, este modo de implementación puede ser útil para cuantificar y supervisar un potencial derivado de las medidas de resistividades vinculadas a una alteración de las propiedades de los electrodos internos y/o externos. El ejemplo de realización de la invención representado en la Figura 5 incluye unos medios de enlace que comprende una funda GA, unos cables eléctricos CEL, unos medios de análisis MA separados, siendo insertada en la funda GA la parte de los cables eléctricos CEL en el exterior de la célula de medida CM. Son posibles cualquier otra constitución y configuración de los medios de enlace, y cualquier cooperación de estos medios de enlace con unos medios de circulación del fluido, pudiendo estar por otra parte los medios de análisis separados o no. Según otro modo de implementación de la invención, los electrodos internos y/o los electrodos externos se utilizan para realizar unas medidas en reflectometría temporal (medidas denominadas TDR, por "Time Domain Reflectometry" en inglés). Según este modo de implementación, los medios de análisis comprenden un reflectómetro temporal y los electrodos internos y/o externos están conectados a través de los medios de enlace (preferentemente unos cables eléctricos) al reflectómetro temporal. Un modo de implementación así permite cuantificar la constante dieléctrica de la formación estudiada, a su vez proporcional a la saturación de agua de la formación estudiada.

Según un modo de realización de la presente invención, el dispositivo incluye además una sonda de temperatura que comunica con el volumen interno de dicha primera cámara a través de un conector interno. De ese modo, el dispositivo permite además medir la temperatura en el seno de la formación estudiada. Esta medida de la temperatura puede ser útil para determinar las conductividades térmicas en la formación estudiada, en comparación con una medida de temperatura en la superficie, así como para corregir las medidas de resistividad eléctrica

realizadas por los electrodos internos y/o externos de los efectos de la temperatura sobre la conductividad del medio.

5 Según un modo de realización de la presente invención, el dispositivo según la invención incluye además un medio de medida de la humedad del suelo. Dichas medidas pueden permitir en efecto calibrar las medidas eléctricas realizadas por los electrodos internos y externos con respecto a las variaciones de la tasa de humedad en el suelo.

Variantes

10 Se ofrecen a continuación unas variantes de la presente invención, que incluyen unos elementos que permiten unas medidas automatizadas en el tiempo. Las variantes descritas a continuación pueden combinarse, solas o en combinación, con uno cualquiera de los modos de realización descritos anteriormente.

15 Según un modo de implementación de la presente invención, dicho dispositivo comprende además un autómata, que permite preprogramar las medidas a realizar, tanto si son de tipo eléctrico, geoquímico como de temperatura. El autómata puede permitir por ejemplo definir una secuencia de las medidas geoquímicas, activando, sucesivamente en el tiempo, según una periodicidad dada, la extracción de fluido, así como la transferencia y análisis de este fluido. Igualmente, el autómata puede permitir activar unas medidas eléctricas con una cierta periodicidad, según ciertos parámetros (número de electrodos implicados en la medida, corriente eléctrica inyectada, etc.).

20 Según un modo de implementación de la presente invención, dicho dispositivo comprende igualmente un colector de datos (como por ejemplo el modelo DT85GLM comercializado por la sociedad DIMELCO) y unos medios de transmisión de los datos. El colector de datos permite recoger las medias analizadas en los medios de análisis y transmitir las, en tiempo real, por los medios de transmisión de datos.

25 Según un modo de realización de la presente invención, los medios de transmisión de los datos recogidos son unos medios de teletransmisión (módem que permite una conexión por internet por ejemplo). Preferentemente, los medios de transmisión de los datos recogidos por el colector se aseguran mediante un módem 3G.

30 De esta manera, el dispositivo según la invención permite que los datos recogidos en el sitio se transmitan de manera automática y en tiempo real a un especialista, que podrá estar así en condiciones de tomar las decisiones ad hoc en caso de medidas anormales realizadas in situ por el dispositivo.

35 Según un modo de realización de la presente invención, el colector de datos permite la toma en consideración de umbrales de activación de alerta y está en condiciones de activar una alerta. De ese modo, si se detecta una calidad del fluido superior a cierto umbral fijado por el especialista a través del analizador de fluido, el colector de datos está en condiciones de lanzar una alerta, por ejemplo a un especialista o a los poderes públicos, a través de un mensaje electrónico, una alerta sonora, etc.

40 Según un modo de realización de la presente invención, la alimentación eléctrica del dispositivo según la invención se asegura por un panel solar, y se conecta a una batería.

45 Según otro modo de realización de la presente invención, al menos los medios de análisis, así como el colector de datos y el autómata si es necesario, están protegidos en la superficie en un refugio estanco.

50 Según un modo de implementación en el que el dispositivo según la invención incluye un autómata, un colector de datos, y unos medios de teletransmisión de los datos recogidos, el dispositivo así constituido puede permitir realizar unas medidas de manera automática y preprogramada a través del autómata, analizar estas medidas a través de los medios de análisis, recoger los resultados de estas medidas a través del colector, y posteriormente transmitir las a un especialista situado potencialmente a distancia a través de los medios de teletransmisión. Un dispositivo que incluye dichos elementos está de hecho adaptado a una supervisión permanente, a largo término, de un sitio que contiene un fluido cuya evolución (química y/o en el espacio) se ha de supervisar.

Utilización de la invención

55 La invención se refiere igualmente a la utilización del dispositivo según la invención para la supervisión de una formación subterránea que contiene un fluido.

60 La invención puede referirse más particularmente a la utilización del dispositivo según la invención para la supervisión de un sitio de almacenamiento geológico de gas, tal como el dióxido de carbono (CO₂) o el metano.

65 Preferentemente, la utilización del dispositivo según la invención para la supervisión de la formación subterránea que contiene un fluido requiere realizar una etapa de calibración del dispositivo, previamente a la fase de supervisión propiamente dicha. Con el fin de garantizar la caracterización del impacto sobre el ambiente del suelo y del subsuelo de un almacenamiento geológico, debe hacerse una caracterización previa de la actividad industrial en cuestión para definir el estado de referencia del medio ambiente (también denominado "línea base"). Las herramientas de

supervisión medioambiental deben por tanto prever la caracterización del medio natural, sus heterogeneidades espaciales y su variabilidad temporal. Las herramientas de supervisión deben poder ponerse en servicio a continuación para medir el impacto de la actividad sobre la base del estado de referencia previamente definido.

5 Una vez instalado en el sitio, el dispositivo según la invención puede ponerse en servicio en adquisición continua y/o permanente, o bien ser el objeto de medidas crónicas. En el caso de medidas permanentes, los medios de análisis MA podrán conectarse a la célula de medida CM mediante unos medios de enlace permanentes. En el caso de medidas crónicas, los medios de enlace podrán ser extraíbles, y permitir separar los medios de análisis MA de la célula de medida CM de manera temporal, de manera que esté en condiciones de proteger estos medios de análisis MA entre dos medidas.

Además, la invención se refiere a un procedimiento de supervisión de una formación subterránea que contiene un fluido, por medio de un dispositivo para la supervisión de una formación subterránea que contiene un fluido según una cualquiera de las variantes descritas anteriormente, y que comprende al menos las etapas siguientes:

- se perfora una cavidad destinada a recibir la célula de medida del dispositivo;
- se conecta la célula de medida a los medios de enlace del dispositivo;
- se instala la célula de medida en el seno de la cavidad así formada, y se instalan los medios de análisis del dispositivo en la superficie;
- se conectan los medios de análisis a los medios de enlace del dispositivo;
- se realizan unas medidas por medio de dicha célula de medida y se analizan dichas medidas por medio de dichos medios de análisis.

Ejemplo de aplicación

Surgirán más claramente las características y ventajas del procedimiento según la invención con la lectura del ejemplo de aplicación de la invención que sigue.

El ejemplo de aplicación en cuestión se refiere a la supervisión de una formación subterránea en la que se ha inyectado CO₂, siendo realizada la supervisión mediante una variante particular del dispositivo según la invención ilustrado en las Figuras 6A, 6B. Más precisamente, la Figura 6A presenta una vista externa de la célula de medida CM según el modo de implementación de la invención en cuestión, y la Figura 6B presenta una sección vertical a través de dicha célula de medida CM según este mismo modo de implementación. Debido a que la Figura 6B corresponde a una sección en el volumen de la célula de medida CM, no se representa el conjunto de los elementos que constituyen el modo de implementación en cuestión.

Así, el dispositivo tal como se implementa para esta aplicación del dispositivo según la invención está caracterizado por:

- una célula de medida CM formada por un primer cuerpo 01 semiabierto, de revolución cilíndrica, estando orientada la abertura de dicho primer cuerpo hacia arriba, estando coronado dicho primer cuerpo por una cubierta 02 de manera que forme una primera cámara CH1 cerrada, estando a su vez la cubierta 02 coronada por un segundo cuerpo semiabierto 03, de revolución cilíndrica, estando orientada la abertura de dicho segundo cuerpo hacia abajo, de manera que forme, con dicha cubierta 02 una segunda cámara CH2 cerrada. De ese modo, según este ejemplo de implementación, la cubierta 02 constituye a la vez la pared superior de la primera cámara CH1 y la pared inferior de la segunda cámara CH2 de la célula. Según este ejemplo de implementación, el primer cuerpo 01, la cubierta 02 y el segundo cuerpo 03 están encajados unos en otros de manera estanca a través de unas juntas tóricas de silicona, y posteriormente unidos mediante unas clavijas inoxidables 04 insertadas forzosamente en unos orificios previstos con este fin. Según este mismo modo de implementación, la pared vertical de la primera cámara está perforada por orificios OR alargados y la pared basal está perforada por orificios OR circulares, de manera que permita el paso del gas presente en la formación de interés hacia el volumen interno de la primera cámara CH1. Por otro lado el techo de la segunda cámara CH2 incluye una abertura 06 con el fin de permitir al menos el paso de los medios de enlace ML. Según este mismo modo de implementación, los dos cuerpos y la cubierta se fabrican en PTFE, con el fin de garantizar una buena longevidad de la célula de medida CM. Las cámaras así formadas tienen un diámetro de 100 mm y una altura de aproximadamente 100 mm cada una.
- cinco orificios perforados en la cubierta 02 de la célula de medida CM, correspondiendo la cubierta 02 a la vez a la pared superior de la primera cámara CH1 y a la pared inferior de la segunda cámara CH2, de manera que permita la comunicación entre las dos cámaras a través de los conectores internos CI;
- dos orificios perforados sobre la pared inferior de la primera cámara CH1, con el fin de permitir el paso de electrodos externos EE a través de los conectores externos CE;
- un volumen interno de la primera cámara CH1 relleno al 90 % mediante arena de cuarzo de granulometría 300 µm. Este relleno permite dejar en la cima del volumen interno de la primera cámara CH1 un cielo de gas de una altura de 2 cm;
- recubiertas unas paredes externas de la célula de medida CM (lo que incluye los orificios perforados sobre las paredes de la primera cámara CH1) con un geotextil adherido con un adhesivo a base de silicona. Además de

asegurar un buen acoplamiento químico y eléctrico entre el interior de la primera cámara CH1 y la formación, así como impedir el paso de partículas al volumen interno de la primera cámara CH1, la utilización del geotextil permite además mantener la arena de cuarzo en el interior de la primera cámara CH1;

- 5 - cuatro electrodos (no representados) de tungsteno, con el fin de garantizar una buena conductividad eléctrica y una excelente resistencia a la corrosión. Más particularmente, los electrodos se han engarzado sobre unos adaptadores formados por un lado por un conector de 3,175 mm (1/8") de tipo Swagelok® de doble anillo, y por el otro lado por un conector de tipo NPT macho de 3,175 mm (1/8"). Dos de entre ellos (se denominan entonces electrodos internos) se han atornillado en dos de los orificios en Teflón® taladrados que permiten la comunicación entre la primera y la segunda cámaras CH1, CH2. Los otros dos electrodos (se denominan entonces electrodos externos) se han atornillado en los dos orificios que permiten la comunicación de la primera cámara CH1 con la formación estudiada. Un conector interno CI o un conector externo CE según la invención se forma por tanto mediante un conector de 3,175 mm (1/8") de tipo Swagelok® de doble anillo y un conector de tipo NPT macho de 3,175 mm (1/8"). Los conectores internos CI y externos CE asociados respectivamente a unos electrodos internos y a unos electrodos externos comprenden unos conectores eléctricos en estaño que permiten la conexión (por apriete de abrazadera) de dichos electrodos a cables eléctricos que cooperan respectivamente con dichos conectores CI, CE. Al menos la parte de los cables eléctricos situada en la primera cámara CH1 y los conectores eléctricos de los conectores externos CE están aislados eléctricamente del volumen interno de la primera cámara CH1 por medio de una funda termo-retráctil. Los cables eléctricos asociados a los electrodos externos suben a través de los medios de análisis pasando a la segunda cámara CH2 por medio de dos de los orificios perforados en la cubierta de la célula de medida CM, haciéndose estanco el paso a través de un adhesivo a base de silicona.
- 10 - unos medios de circulación del fluido (no representados) comprenden un medio de aspiración y un medio de retorno del fluido, comprendiendo cada uno dos tubos, respectivamente de aspiración y de retorno. Los tubos de los medios de circulación del fluido son unos tubos estándar de 3,175 mm (1/8") en inoxidable del borde fino (de diámetro interior 1 mm (0,04")). Están engarzados sobre unos conectores internos CI formados por un lado por un conector de 3,175 mm (1/8") de tipo Swagelok® de doble anillo, y por el otro lado por un conector de tipo NPT macho de 3,175 mm (1/8"), posteriormente atornillados directamente a los orificios de Teflón® taladrados que permiten la comunicación entre las dos cámaras. El tubo de aspiración se detiene en el techo de la primera cámara CH1. El tubo de retorno atraviesa la cubierta y la primera cámara CH1, hasta un centímetro por encima de la pared basal de la cámara CH1.
- 15 - una sonda de temperatura (no representada) de tipo PT100 (comercializada por la sociedad Prosensor), engarzada a través de un conector interno CI formado por un lado por un conector de 3,175 mm (1/8") de tipo Swagelok® de doble anillo, y por el otro lado por un conector de tipo NPT macho de 3,175 mm (1/8"), atornillado directamente en un orificio de Teflón® taladrado que permite la comunicación entre las dos cámaras. Esta sonda de temperatura es pasante y desciende hasta la mitad de la primera cámara CH1. Está alimentada por un cable eléctrico.
- 20 - unos medios de enlace (no representados) que comprenden una funda de protección, armada y flexible, conectados al techo de la segunda cámara CH2 mediante dos agujeros de un lado y otro. La funda gira libremente sobre su eje principal, a la altura de la conexión al techo de la segunda cámara CH2, con el fin de limitar las sollicitaciones sobre esta. Los cuatro cables eléctricos de los electrodos, el cable eléctrico de la sonda de temperatura y los dos tubos de los medios de circulación pasan por la abertura O6 practicada en el techo de la segunda cámara CH2 y la funda antes de reunirse con los medios de análisis separados. La longitud de la funda es de cinco metros. Los cables eléctricos y tubos tienen una longitud de seis metros, permitiendo un enlace directo con los medios de análisis separados en la superficie.
- 25 - unos medios de análisis separados, que comprenden un resistímetro de tipo Syscal junior 24 (Iris Instruments®), y un analizador de gas que permite detectar y cuantificar el CO₂, por ejemplo el detector LI-820 comercializado por la sociedad LI-COR.

50 El dispositivo según la invención tal como se ha descrito anteriormente se ha instalado en una cavidad formada por perforación en la formación estudiada.

55 Se realizaron unas perforaciones de 100 mm con taladro manual y las muestras de suelo se recuperaron cuidadosamente en cada intervalo de profundidad de 10 cm. Se realizaron tres perforaciones a unas profundidades de: (1) 180 cm (2) 120 cm (3) 60 cm. Las muestras de suelo se analizaron en laboratorio para definir su contenido en carbono orgánico total, en carbono mineral, el reparto en minerales principales (arcillas, tecto-silicatos y carbonatos), la porosidad, la distribución granulométrica.

60 Una fracción del suelo que corresponde a la base de la perforación se tamiza gruesamente con el fin de retirar las piedras y las raíces. Este suelo tamizado se introduce en el fondo de la perforación destinado a recibir el dispositivo según la invención con el fin de rellenar de nuevo los 20 últimos centímetros restantes. La célula de medida CM se desciende manualmente empujándola a través de la funda armada GA, así como guiándola en la verticalidad de la célula de medida CM gracias a una pértiga. Una vez efectuado el contacto con la base de la perforación, se hunde la célula de medida CM gracias a la pértiga, asegurando que los electrodos externos EE penetren bien en la base de la perforación mediante el control de la distancia de hundimiento. Una vez en su lugar la célula de medida CM, se rellena la perforación con arena (de 100 µm de diámetro) hasta recubrir la célula, y esto, con el fin de garantizar un buen acoplamiento mecánico de los medios porosos entre el interior de la célula de medida CM y la formación

estudiada. La perforación se inunda a continuación con agua dulce con el fin de modificar el medio poroso, rellenar cualquier espacio dejado no relleno, y maximizar el acoplamiento hídrico entre la célula de medida CM y la formación estudiada. La perforación se rellena finalmente con el suelo extraído respetando su zonación vertical. Posteriormente, las terminaciones de los tubos TA, TR y de los cables CEL se conectan a los medios de análisis MA colocados en la superficie de la instalación.

Una etapa de calibración del dispositivo según la invención se ha realizado previamente a la etapa de supervisión propiamente dicha. Más precisamente:

- 10 - se realizan unas medidas de resistividad eléctrica a través de un ensayo de drenaje, saturando la perforación destinada a recibir la célula de medida CM con agua dulce, y midiendo la evolución de las resistividades, durante su secado por drenaje natural y por evapo-transpiración. Deben obtenerse unas medidas comparables a las adquiridas en laboratorio. La Figura 7A (respectivamente la Figura 7B) presenta por ejemplo unas curvas de calibración de la resistividad R medida por los electrodos internos EI (respectivamente por los electrodos externos EE) en función de la saturación de agua SW para tres configuraciones diferentes del montaje de la
- 15 célula de medida CM;
- se controlan unas medidas de temperatura a través de la sonda de temperatura, en comparación con las temperaturas recogidas en la superficie de la instalación del dispositivo según la invención;
- 20 - la validación de los medios de circulación del fluido se efectúa inyectando un gas de referencia en el tubo de retorno TR, hasta obtener una medida de su composición de referencia en el tubo de aspiración TA. A continuación se detiene la inyección y los medios de circulación del fluido se ponen en circulación en un bucle cerrado. Las velocidades de intercambio medidas deben corresponder a las medidas en laboratorio para unas saturaciones de agua equivalentes (indicadas por las resistividades).
- 25 Las medidas realizadas por medio del dispositivo así implantado en la formación y así calibrado consisten en unas medidas de resistividad, unas medidas de temperatura y en unos análisis de gas. El sistema se instala de manera permanente y se realizan medidas cada minuto en el momento de la inyección del gas, y cada 30 minutos después de la inyección.
- 30 Un dispositivo de ese tipo, constituido por elementos estancos a los fluidos y que comprende unos medios de circulación del fluido que permiten refluir el fluido extraído en la formación, está adaptado para una supervisión a largo término de la formación, y además sin perturbación en la medida. Por otro lado, la posibilidad de realizar, en una única célula de medida, diferentes tipos de medidas físicas (eléctricas, geoquímicas, de temperatura) permite evitar multiplicar las instalaciones en el sitio, y reducir así los costes de instalación y la perturbación del medio
- 35 ambiente de medida. Las medidas de diferentes tipos, realizadas simultáneamente y en un único y mismo punto de medida, permiten además una interpretación cruzada más fiable de los diferentes tipos de medidas físicas.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para la supervisión de una formación subterránea que contiene un fluido, incluyendo dicho dispositivo al menos una célula de medida (CM), destinada a disponerse en una cavidad formada en dicha formación subterránea, unos medios de análisis (MA) destinados a estar en la superficie, conectando unos medios de enlace (ML) a dicha célula de medida (CM) con dichos medios de análisis (MA), caracterizado por que:
- dicha célula (CM) comprende al menos una primera cámara (CH1), una segunda cámara (CH2) estanca a dicho fluido, y al menos tres conectores (CI) internos que unen de manera estanca dicha primera cámara (CH1) a dicha segunda cámara (CH2),
 - dichos medios de enlace (ML) unen de manera estanca dicha célula de medida (CM) a dichos medios de análisis (MA), y dichos medios de enlace incluyen unos medios de protección estancos;
 - dicha primera cámara (CH1) incluye al menos:
 - una pluralidad de orificios (OR) que permiten el paso de dicho fluido en dicha primera cámara (CH1),
 - al menos dos electrodos internos (EI) que cooperan con al menos dos de dichos conectores internos (CI), estando unidos dichos electrodos internos (EI) a dichos medios de análisis (MA) a través de dichos medios de enlace (ML), cooperando dichos medios de enlace (ML) con dichos conectores internos (CI),
 - unos medios de circulación del fluido (MC), estando unidos dichos medios de circulación del fluido (MC) a dichos medios de análisis (MA) cooperando con al menos uno de dichos conectores (CI) y con dichos medios de enlace (ML).
2. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que dicho dispositivo incluye además al menos dos electrodos externos (EE), dos conectores internos (CI) que unen dichas dos cámaras (CH1, CH2), dos conectores externos (CE) estancos colocados sobre al menos una pared de dicha primera cámara, estando dicha pared en contacto con dicha formación, cooperando dichos electrodos externos (EE) con dichos conectores externos (CE), estando unidos dichos electrodos externos (EE) a dichos medios de análisis (MA) a través de dichos medios de enlace (ML), cooperando dichos medios de enlace (ML) con dichos dos conectores internos (CI) y dichos dos conectores externos (CE).
3. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos medios de enlace (ML) incluyen unos medios de alimentación eléctrica (CEL) de dichos electrodos (EI, EE), y dichos medios de protección estancos incluyen una funda estanca (GA) que protege al menos dichos medios de circulación (MC) y dichos medios de alimentación eléctrica (CEL).
4. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha primera cámara (CH1) puede estar rellena por un material poroso y permeable del que se conocen unas propiedades petrofísicas y eléctricas.
5. Dispositivo según la reivindicación 4 en el que dichas propiedades petrofísicas son al menos la porosidad y la permeabilidad, y dichas propiedades eléctricas son al menos la conductividad eléctrica.
6. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos medios de enlace (ML), dichas cámaras (CH1, CH2), y dichos conectores (CE, CI) se fabrican en PTFE.
7. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos medios de análisis (MA) incluyen al menos un analizador de fluido y/o un resistivímetro.
8. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos medios de circulación (MC) del fluido comprenden al menos una tubería (T), un sistema de aspiración de fluido (ASP), y un sistema de retorno de fluido (REF).
9. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos medios de circulación (MC) del fluido comprenden al menos dos tuberías (TA, TR), un sistema de aspiración de fluido (ASP), y un sistema de retorno de fluido (REF).
10. Utilización del dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores para la supervisión de un sitio de almacenamiento geológico de un gas, tal como CO₂ o metano.
11. Utilización según la reivindicación 10, en la que se realiza una etapa de calibración previamente a la inyección de gas en dicho sitio de almacenamiento geológico.
12. Procedimiento de supervisión de una formación subterránea que contiene un fluido, en el que se utiliza al menos un dispositivo para la supervisión de una formación subterránea que contiene un fluido según una de las reivindicaciones 1 a 9, y en el que se realizan al menos las etapas siguientes:
- se perfora una cavidad destinada a recibir dicha célula de medida (CM) de dicho dispositivo;
 - se conecta dicha célula de medida (CM) a los medios de enlace (ML) de dicho dispositivo;

ES 2 671 162 T3

- se instala dicha célula de medida (CM) en el seno de dicha cavidad así formada, y se instalan dichos medios de análisis (MA) de dicho dispositivo en la superficie;
- se conectan dichos medios de análisis (MA) a dichos medios de enlace (ML) de dicho dispositivo;
- se realizan unas medidas por medio de dicha célula de medida (CM) y se analizan dichas medidas por medio de dichos medios de análisis (MA).

5

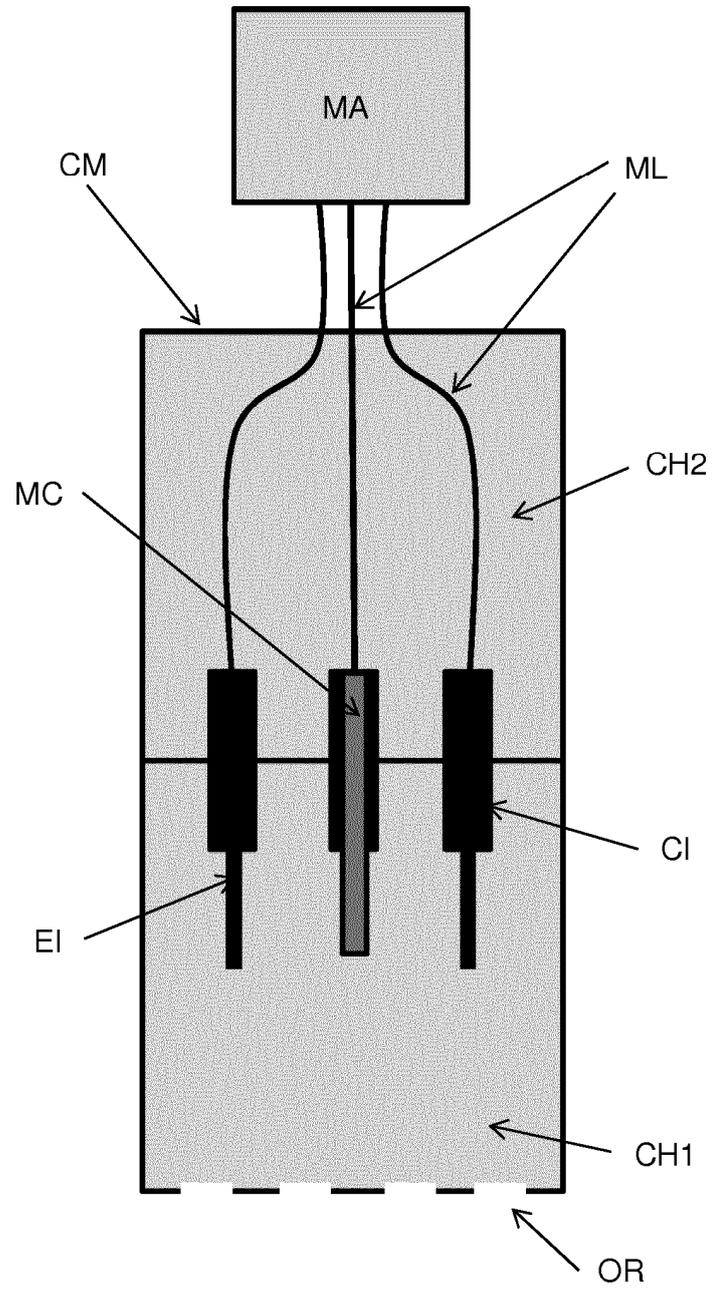


Figura 1

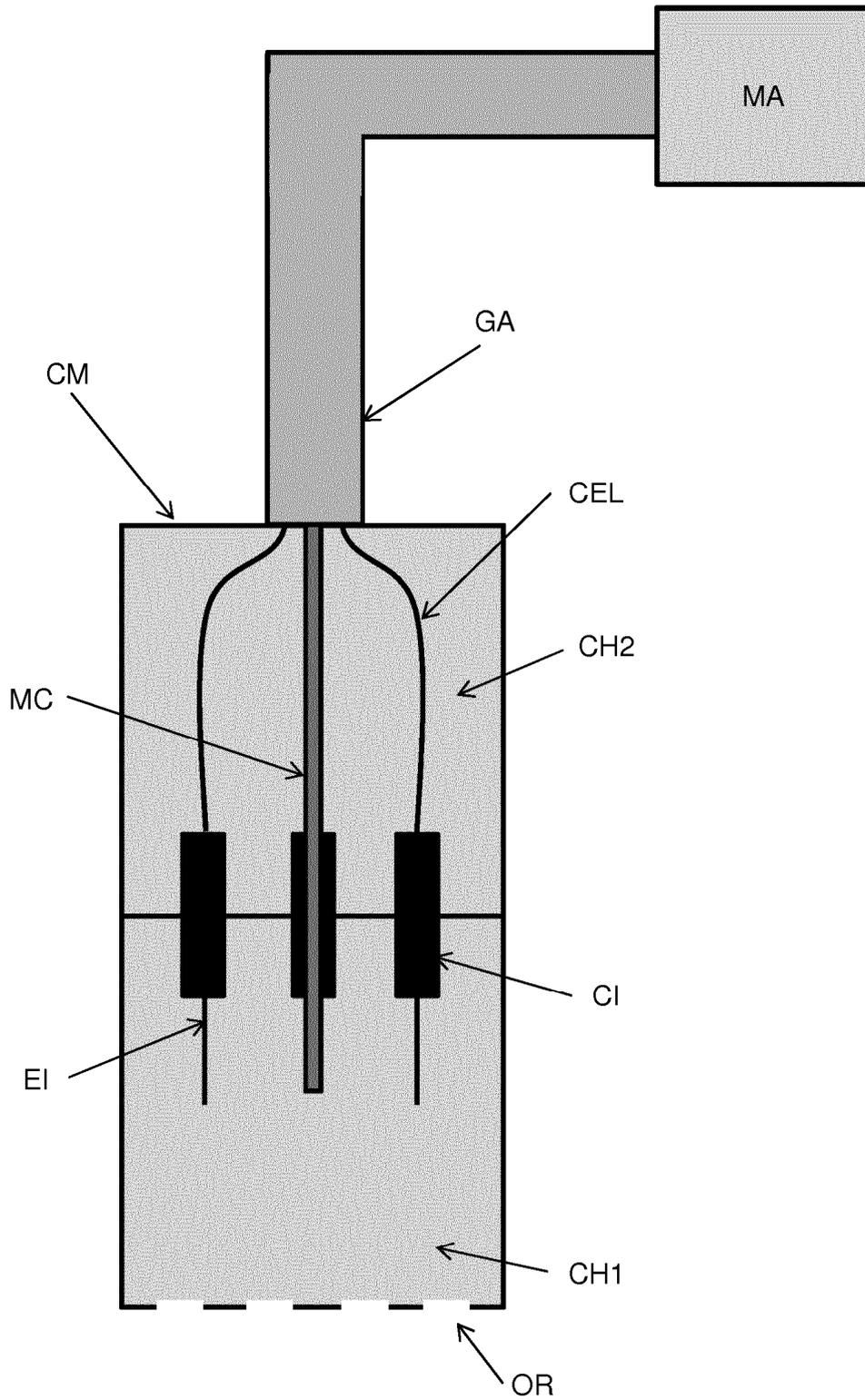


Figura 2

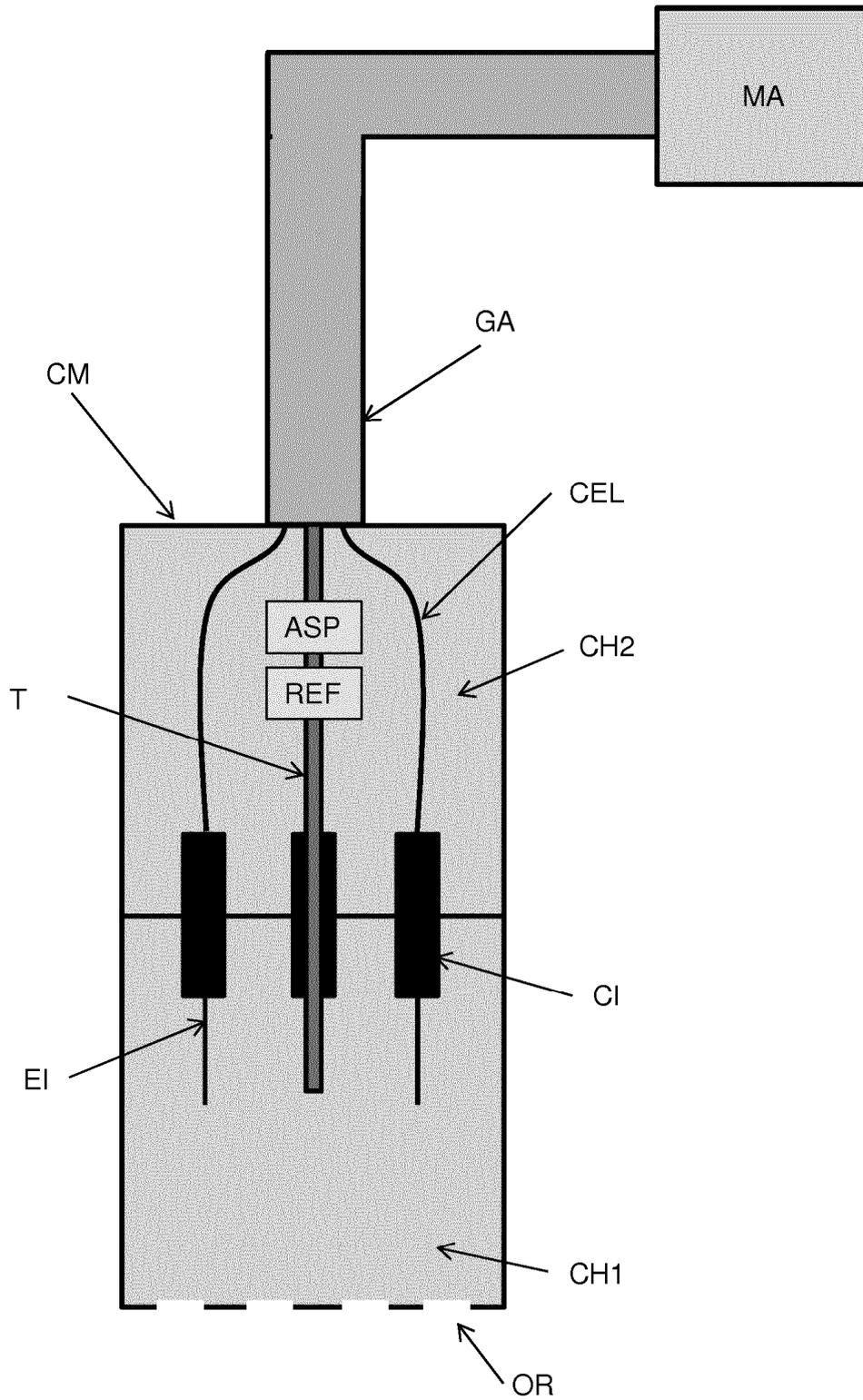


Figura 3

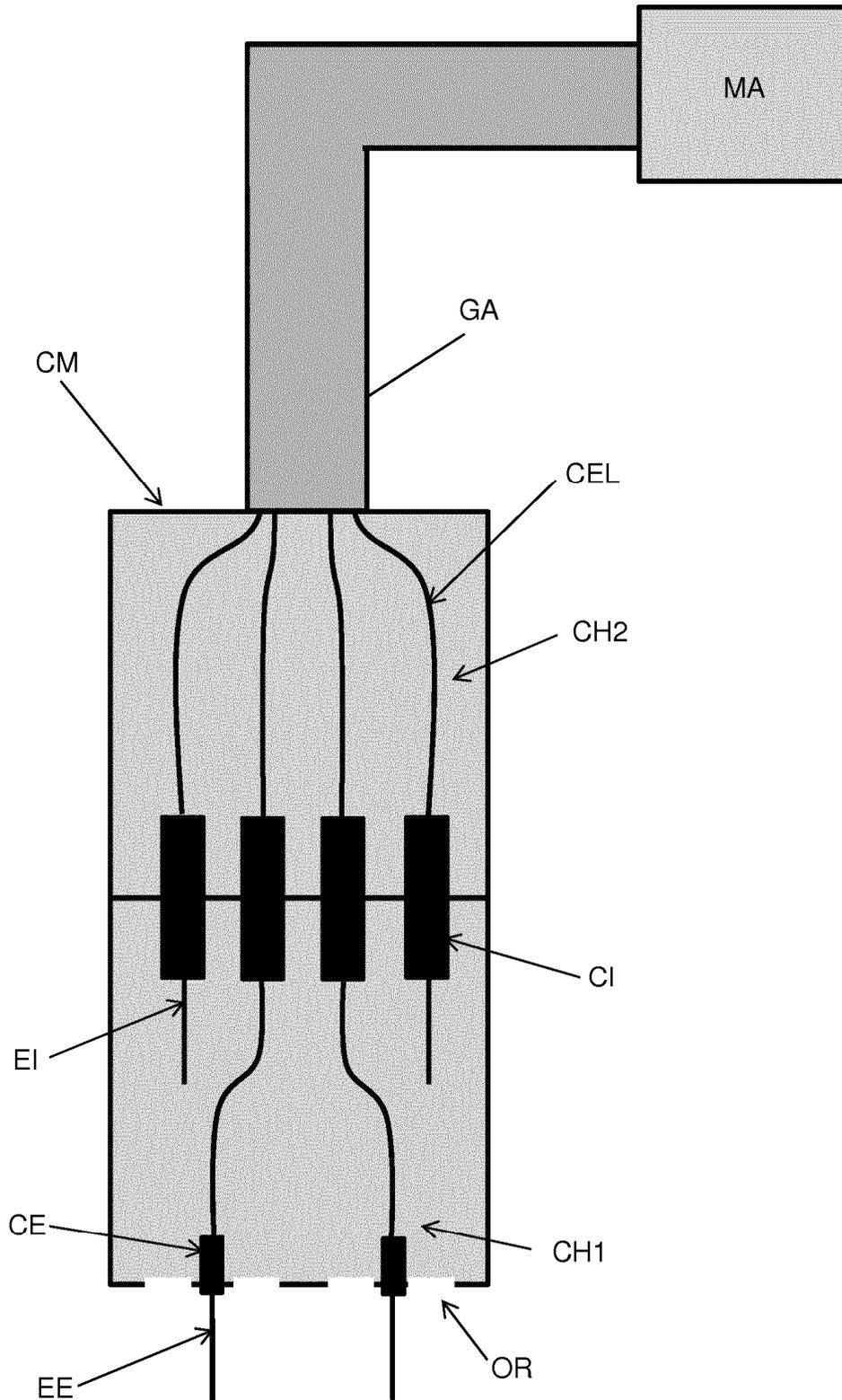


Figura 5

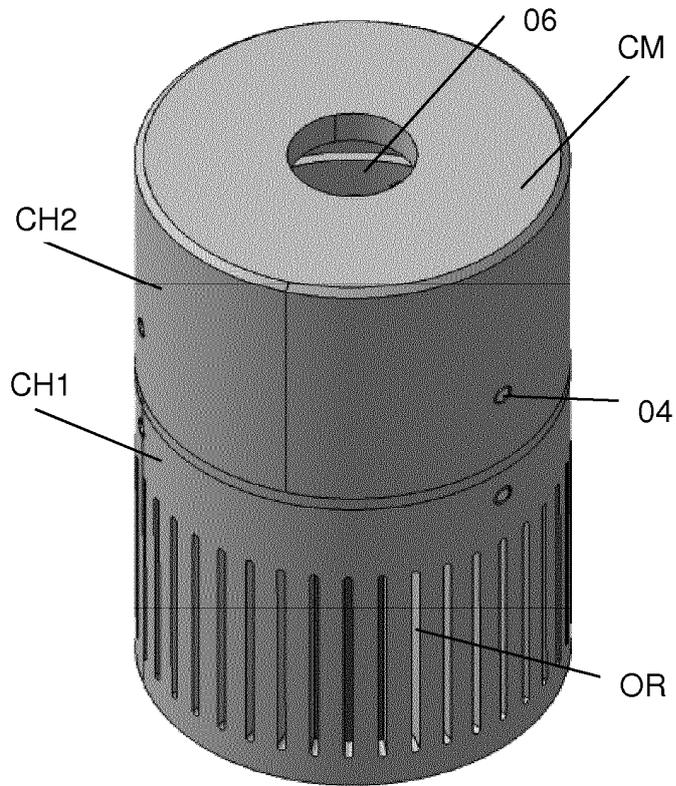


Figura 6A

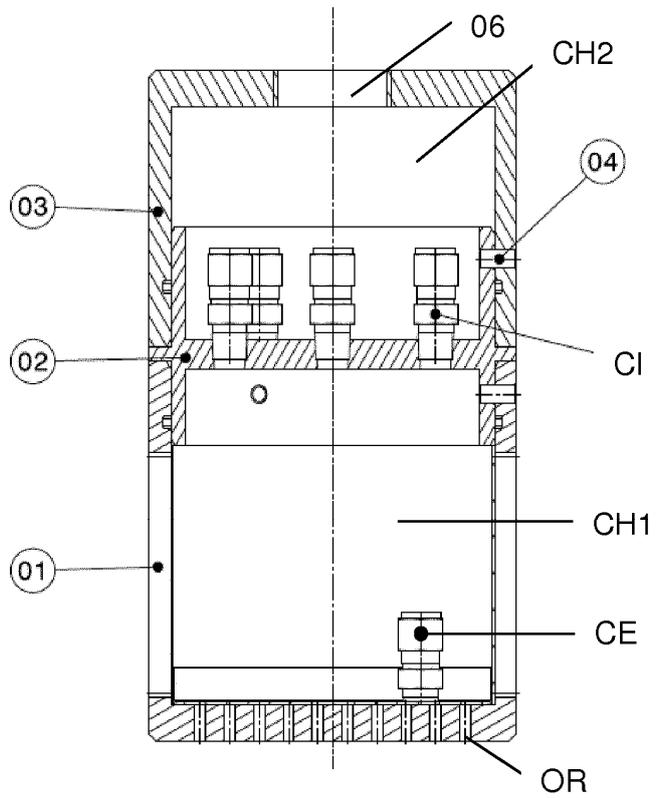


Figura 6B

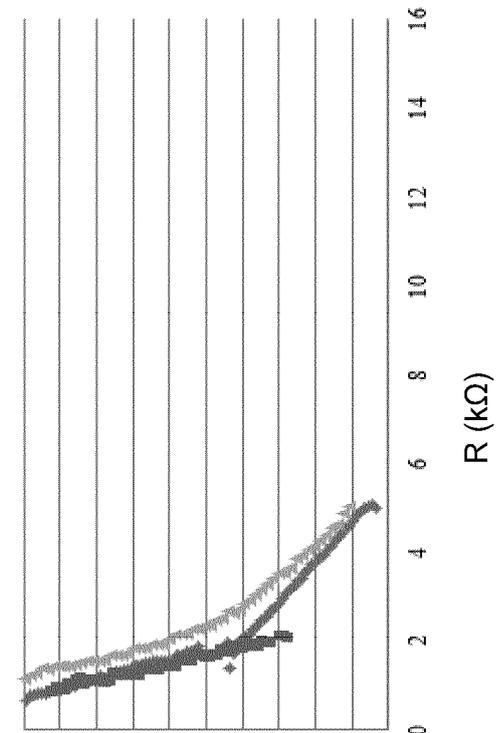


Figura 7B

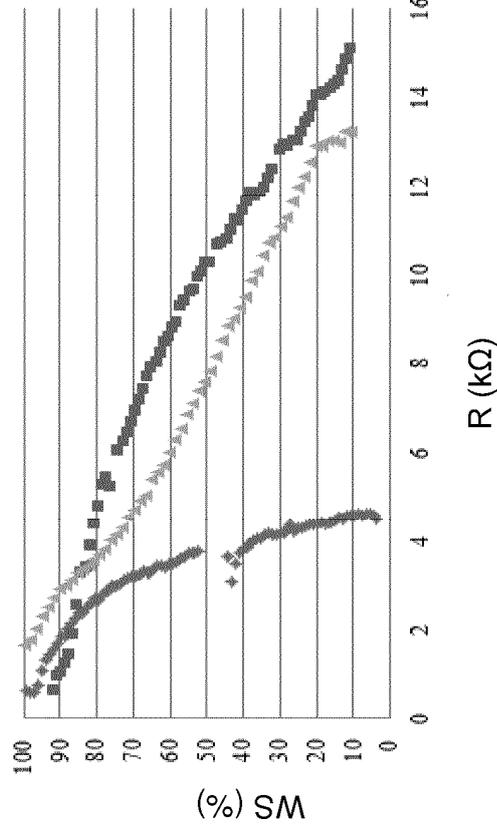


Figura 7A