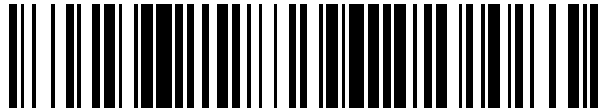


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 735 505**

51 Int. Cl.:

**E21B 41/00** (2006.01)

**E21B 43/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.06.2011 PCT/EP2011/061009**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.01.2012 WO12001105**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.06.2011 E 11729407 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2019 EP 2588712**

54 Título: **Métodos para almacenar composiciones de dióxido de carbono en formaciones geológicas subterráneas y disposiciones para usar en dichos métodos**

30 Prioridad:

**01.07.2010 NO 20100960**

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

**19.12.2019**

73 Titular/es:

**EQUINOR ENERGY AS (100.0%)**

**Forusbeen 50**

**4035 Stavanger, NO**

72 Inventor/es:

**HØIER, LARS y**

**NAZARIAN, BAMSHAD**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 735 505 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**

Métodos para almacenar composiciones de dióxido de carbono en formaciones geológicas subterráneas y disposiciones para usar en dichos métodos

5 La invención se refiere a métodos para introducir dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en formaciones geológicas subterráneas y a disposiciones para su uso en dichos métodos.

Antecedentes de la invención

10 Se sospecha que el aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera tiene un efecto importante en el clima global. Por lo tanto, se desea reducir la emisión de CO<sub>2</sub> antropogénico a la atmósfera. Además del desarrollo de plantas de energía con bajas emisiones de CO<sub>2</sub>, automóviles que ahorran energía y un mayor uso de fuentes de energía renovables, el almacenamiento permanente de CO<sub>2</sub> en formaciones geológicas subterráneas puede ser un medio importante para reducir las emisiones netas de CO<sub>2</sub>.

15 Una extensa revisión de los proyectos y la tecnología de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> (CCS) existente se da en el informe especial del IPCC sobre la captura y almacenamiento de dióxido de carbono (captura y almacenamiento de dióxido de carbono, IPCC, 2005, editores: Metz et al., Cambridge University Press, Reino Unido, también disponible en: <http://www.ipcc.ch>).

20 La inyección de CO<sub>2</sub> en una formación geológica subterránea para la recuperación de petróleo mejorada (RPM) se aplicó en el proyecto Rangely RPM en Colorado, EE.UU. Un yacimiento de petróleo de arenisca se inunda con CO<sub>2</sub> por un proceso de alternancia de gas y agua (WAG, por sus siglas en inglés) desde 1986. En este proyecto, el CO<sub>2</sub> en un estado supercrítico se usa para extraer cantidades adicionales de petróleo de los campos de petróleo de otra manera agotados en un proceso de recuperación del petróleo terciario. A finales de 2003, 248 inyectoros activos de los cuales se utilizan 160 para la inyección de CO<sub>2</sub> y 348 productores activos estaban en uso en el campo Rangely. La inyección de CO<sub>2</sub> ocurre a través de aberturas en varias posiciones verticales sobre toda la altura del yacimiento. La producción de petróleo también se produce en varias posiciones verticales en toda la altura del yacimiento. Los pozos de inyección y los pozos de producción están desplazados horizontalmente entre sí. El proyecto Rangely no almacena CO<sub>2</sub> en los acuíferos.

25 El Proyecto Sleipner, operado por Statoil en el Mar del Norte, es un proyecto a escala comercial para el almacenamiento de CO<sub>2</sub> en un acuífero subterráneo. El CO<sub>2</sub> se almacena en estado supercrítico a 250 km de la costa noruega. Alrededor de un millón de toneladas de CO<sub>2</sub> se extrae del gas natural producido y posteriormente se inyecta bajo tierra, anualmente. La inyección de CO<sub>2</sub> comenzó en octubre de 1996 y, para 2008, se habían inyectado más de diez millones de toneladas de CO<sub>2</sub> a una velocidad aproximada de 2700 toneladas por día. La formación en la que se inyecta el CO<sub>2</sub> es una arenisca no consolidada saturada con salmuera, a unos 800-1000 m por debajo del fondo marino. Se utiliza un pozo de largo alcance poco profundo para tomar el CO<sub>2</sub> a 2,4 km del área de producción de pozos y plataformas. El sitio de inyección se coloca debajo de una cúpula local de la formación superior de Utsira. No se produce la eliminación simultánea de salmuera del yacimiento.

30 El proyecto In Salah CCS es un proyecto en tierra para la producción de gas natural desde un yacimiento de gas localizado en un acuífero subterráneo. El acuífero se encuentra en el desierto del Sahara. El yacimiento se encuentra en una formación de arenisca carbonífera, a 2000 m de profundidad; tiene un espesor de solo 20 m, y es de baja permeabilidad. Se produce gas natural que contiene hasta un 10 % de CO<sub>2</sub>. El CO<sub>2</sub> se separa y a continuación se reinyecta en las partes llenas de agua del yacimiento. No se elimina ninguna solución de salmuera del acuífero.

35 La patente EP-A-1571105 describe los métodos para el almacenamiento de CO<sub>2</sub>, en el que el CO<sub>2</sub> se añade a una corriente de agua, la cual se bombea a una formación geológica subterránea. El método utiliza reacciones químicas con un agente formador de minerales (sulfato/base). Se añade el agente, a menos que se haga uso de estructuras geológicas particulares, en particular aquellas estructuras que por naturaleza contienen estos agentes en grandes cantidades. Este método requiere equipos técnicos complejos y costosos. Como no se produce la eliminación simultánea de salmuera del yacimiento, y la alta presión local en el sitio de la inyección puede provocar fracturas en las formaciones geológicas de sellado. Esto aumenta la probabilidad de escape del CO<sub>2</sub> desde el yacimiento a la atmósfera.

40 La patente JP06170215 describe un método para introducir una mezcla de agua y CO<sub>2</sub> en una formación geológica subterránea. Para este propósito, el CO<sub>2</sub> se mezcla con agua sobre el suelo, y a continuación la mezcla se introduce en el suelo, a alta presión. El método requiere un suministro de CO<sub>2</sub> líquido, una bomba de refuerzo, un intercambiador de calor y una bomba para obtener la presión requerida. Esto hace que el proceso sea intensivo en energía y costoso. La inyección de la mezcla de CO<sub>2</sub>/agua en un yacimiento aumenta la presión del yacimiento y puede dar lugar a fracturas en las formaciones de sellado. Esto aumenta el riesgo de escape del CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

45 El documento WO 2010/024949 describe métodos para secuestrar CO<sub>2</sub> en un acuífero.

En vista del estado descrito anteriormente de la técnica, un objeto de la presente invención es proporcionar métodos alternativos para el almacenamiento permanente de CO<sub>2</sub> en formaciones geológicas subterráneas.

5 "Subsurface Design for Safe, Efficient and Reliable Carbon Dioxide Storage Projects" de John R Wilkinson et al, IPTC 13072, 7 de diciembre de 2009, páginas 1 a 7, describe que un proyecto de inyección de CO<sub>2</sub> debe incluir disposiciones para la eliminación de salmuera y que el punto de extracción de la salmuera se puede colocar debajo del punto de inyección de CO<sub>2</sub>.

10 La patente JP 2008 082023 A describe un método para recuperar casi todo el gas natural y el yodo solubles en agua reservados sin causar hundimientos de tierra. Esto se consigue utilizando CO<sub>2</sub> disuelto en agua.

Un objeto adicional de la presente invención es proporcionar métodos que permitan un uso más eficiente de la capacidad de almacenamiento de las formaciones geológicas, tales como acuíferos, para el almacenamiento permanente de CO<sub>2</sub>.

15 Un objeto adicional de la presente invención es proporcionar un almacenamiento más seguro y más permanente de CO<sub>2</sub>.

20 Sumario de la invención

El alcance de la invención se define por las reivindicaciones independientes adjuntas.

25 La invención proporciona un método de introducción de una composición de CO<sub>2</sub> en un acuífero para el almacenamiento de CO<sub>2</sub> supercrítico en la misma, comprendiendo dicho método la inyección de CO<sub>2</sub> en un estado supercrítico en dicho acuífero en una o múltiples primeras posiciones verticales; extraer la solución de salmuera de dicho acuífero en una o varias posiciones verticales secundarias; y controlar la densidad del CO<sub>2</sub> en el sitio de inyección, en el que uno cualquiera de dichas primeras posiciones verticales es distinta de una cualquiera de dichas segundas posiciones verticales; en donde si la más baja de dichas primeras posiciones verticales está por encima de la más alta de dichas segundas posiciones verticales, la densidad de dicha composición de CO<sub>2</sub>, en los respectivos sitios de inyección, es menor que la densidad de dicha solución de salmuera en dicho acuífero, o si la más alta de dichas primeras posiciones verticales es más baja que la más baja de dichas segundas posiciones verticales, la densidad de dicha composición de CO<sub>2</sub> en los respectivos sitios de inyección, es mayor que la densidad de dicha solución de salmuera en dicho acuífero. La inyección y la producción se producen en distintas posiciones verticales.

40 Donde la más baja de dichas primeras posiciones verticales está por encima de la más alta de dichas segundas posiciones verticales, y la densidad de dicha composición de CO<sub>2</sub>, en los respectivos sitios de inyección, es menor que la densidad de dicha solución de salmuera en dicho acuífero, dicha composición de CO<sub>2</sub> se inyecta preferiblemente en dicho acuífero en una posición dentro de una porción convexa hacia arriba de dicho acuífero.

45 Donde la más alta de dichas primeras posiciones verticales es más baja que la más baja de dichas segundas posiciones verticales, y la densidad de dicha composición de CO<sub>2</sub> en los respectivos sitios de inyección es mayor que la densidad de dicha solución de salmuera en dicho acuífero, dicha composición de CO<sub>2</sub> se inyecta preferiblemente en dicho acuífero en una posición dentro de una porción convexa hacia abajo de dicho acuífero.

En una realización preferida, dicho acuífero es un acuífero confinado, o es un acuífero cerrado.

50 En otra realización preferida, se controla la relación volumétrica de la composición de CO<sub>2</sub> inyectada en dicho acuífero, en el sitio de inyección, con el volumen total de salmuera extraído de dicho acuífero. Preferiblemente, dicha relación se controla para que sea de 0,6 a 1,4, más preferiblemente de 0,8 a 1,2, lo más preferiblemente de 0,9 a 1,1. En otra realización preferida de la invención, la relación volumétrica de composición de CO<sub>2</sub> inyectada en dicho acuífero, en el sitio de inyección, con el volumen total de salmuera extraído de dicho acuífero se controla para que sea sustancialmente igual a uno.

55 Normalmente no es necesario que la relación anterior se mantenga constantemente dentro de los límites definidos anteriormente, pero normalmente es suficiente con que la relación promedio durante un cierto período de tiempo esté dentro de los rangos definidos. Por ejemplo, la relación promedio de inyección de CO<sub>2</sub> a la producción de salmuera en 1 día, en 1 semana, en 1 mes o, alternativamente, en 1 año, se encuentra dentro de los rangos mencionados anteriormente.

60 En otra realización preferida, dicha densidad se controla mediante el control de una temperatura de dicha composición de CO<sub>2</sub>.

65 En otra realización preferida, dicha densidad se controla mediante el control de una presión de dicha composición de CO<sub>2</sub>.

En otra realización preferida, dicha densidad se controla mediante el control de la composición de dicha composición de CO<sub>2</sub>.

5 En otra realización preferida, dicho puerto de inyección está alineado verticalmente con dicho puerto de producción.

En otra realización preferida, dicho puerto de inyección está desplazado horizontalmente respecto a dicho puerto de producción.

10 En otra realización preferida, la cantidad de CO<sub>2</sub> inyectada por unidad de tiempo, y la cantidad de salmuera producida por unidad de tiempo, se controlan a un nivel tal que la presión local en dicho acuífero, o la presión media en dicho acuífero, permanece constante.

15 En una realización preferida de la invención, se inyecta CO<sub>2</sub> a través de un solo conducto de inyección o bien, mientras que la salmuera se produce a partir de múltiples conductos o pozos, preferiblemente dispuestos desplazados radialmente de, o alrededor de, dicho único conducto de inyección.

20 En otra realización preferida de la invención, se inyecta CO<sub>2</sub> a través de múltiples conductos de inyección o pozos, mientras que la salmuera se produce a partir de un solo conducto o pozo. Los múltiples conductos de inyección se disponen entonces preferiblemente desplazados radialmente de, o alrededor de, dicho único conducto de producción.

25 En otra realización preferida de la invención, se inyecta CO<sub>2</sub> a través de múltiples conductos de inyección o pozos, y se produce salmuera a partir de múltiples conductos o pozos.

En otra realización preferida de la invención, se inyecta CO<sub>2</sub> a través de un solo conducto o pozo, y se produce salmuera a partir de un solo conducto o pozo.

30 La invención también se refiere a una disposición para su uso en los métodos anteriores.

35 La invención también proporciona una disposición para la introducción de una composición de CO<sub>2</sub> en un acuífero para el almacenamiento de CO<sub>2</sub> supercrítico en el mismo, comprendiendo dicha disposición: al menos un primer conducto comprendiendo cada uno un puerto de inyección, comprendiendo cada puerto de inyección una o más aberturas en primeras posiciones verticales, en el que la disposición está adaptada para inyectar la composición de CO<sub>2</sub> en el acuífero en un estado supercrítico, al menos un segundo conducto, comprendiendo cada uno un puerto de producción, cada puerto de producción comprendiendo una o más aberturas en segundas posiciones verticales, primeros medios de control del caudal para controlar el caudal volumétrico de CO<sub>2</sub> inyectado a través de dichos puertos de inyección en dicho acuífero, segundos medios de control del caudal para controlar el caudal volumétrico de la solución de salmuera extraída de dicho acuífero a través de dichos puertos de producción, medios de control de densidad para controlar la densidad de dicho CO<sub>2</sub> en el sitio de inyección, en el que los medios de control de densidad están dispuestos de modo que si la más baja de dichas primeras posiciones verticales está por encima de la más alta de dichas segundas posiciones verticales, la densidad de dicha composición de CO<sub>2</sub>, en los respectivos sitios de inyección, es menor que la densidad de dicha solución de salmuera en dicho acuífero, o si la más alta de dichas primeras posiciones verticales es más baja que la más baja de dichas segundas posiciones verticales, la densidad de dicha composición de CO<sub>2</sub> en los respectivos sitios de inyección, es mayor que la densidad de dicha solución de salmuera en dicho acuífero; en el que cualquiera de dichas primeras posiciones verticales es distinta de cualquiera de dichas segundas posiciones verticales.

50 Se entenderá que los medios de control de densidad de la invención pueden incorporarse o ser idénticos a los primeros medios de control del caudal (por ejemplo, una bomba controlable). Sin embargo, en una realización preferida, los medios de control de la densidad y los primeros medios de control del caudal están separados.

55 Donde la más baja de dichas primeras posiciones verticales está por encima de la más alta una de dichas segundas posiciones verticales, y dichos medios de control de densidad están adaptados para controlar la densidad de dicha composición de CO<sub>2</sub>, en el sitio de inyección, a una densidad inferior a la densidad de dicha solución de salmuera en dicho acuífero, dicho puerto de inyección se proporciona preferiblemente en una porción convexa hacia arriba de dicho acuífero.

60 Donde la más alta de dichas primeras posiciones verticales está por debajo de la más baja de dichas segundas posiciones verticales, y dichos medios de control de densidad están adaptados para controlar la densidad de dicho CO<sub>2</sub>, en el sitio de inyección, a una densidad mayor que la densidad de dicha solución de salmuera en dicho acuífero, dicho puerto de inyección se proporciona preferiblemente en una porción convexa hacia abajo de dicho acuífero.

65 En una realización, se proporciona un medio de control del caudal (separado) para cada uno de dichos primeros conductos. En otra realización preferida, se proporciona un medio de control del caudal (separado) para cada uno de

dichos segundos conductos. Asimismo, se puede proporcionar un medio de control de densidad (separado) para cada uno de dichos primeros conductos.

5 En otra realización preferida, dicha disposición comprende además medios de control para controlar dichos primeros medios de control del caudal y dichos segundos medios de control del caudal.

10 En otra realización preferida, dicho medio de control está adaptada para controlar dichos primer y segundo medios de control del caudal para efectuar una relación de caudal volumétrico de CO<sub>2</sub> inyectado, en el sitio de inyección, a caudal volumétrico de salmuera producido de 0,6 a 1,4, preferiblemente de 0,8 a 1,2, lo más preferiblemente de 0,9 a 1,1.

En otra realización preferida, dichos primeros medios de control del caudal están adaptados para controlar el caudal volumétrico de CO<sub>2</sub> en base a una presión medida en dicho acuífero.

15 En otra realización preferida, dichos primeros medios de control del caudal están adaptados para controlar el caudal volumétrico de CO<sub>2</sub> en base a una presión medida en dicho primer conducto.

En otra realización preferida, dichos segundos medios de control del caudal están adaptados para controlar el caudal volumétrico de salmuera en base a una presión medida en dicho acuífero.

20 En otra realización preferida, dichos segundos medios de control del caudal están adaptados para controlar el caudal volumétrico de salmuera en base a una presión medida en dicho segundo conducto.

Preferiblemente, las presiones medidas se miden continuamente.

25 En otra realización preferida dichos primeros medios de control del caudal y/o dichos segundos medios de control del caudal están adaptados para controlar dicho caudal volumétrico de CO<sub>2</sub> y/o dicho caudal volumétrico de salmuera, respectivamente, tal que la presión en el sitio de inyección de CO<sub>2</sub> está por debajo de la presión de fractura de la formación del acuífero.

30 En otra realización preferida, dicha disposición comprende dicho acuífero, y dicho acuífero es un acuífero confinado.

En otra realización preferida, dicha disposición comprende dicho acuífero, y dicho acuífero es un acuífero cerrado.

35 En otra realización preferida, dichas una o más aberturas de dichos puertos de inyección están en una parte del extremo distal de dicho al menos un primer conducto. Las partes extremas distales están preferiblemente desviadas, inclinadas o sustancialmente horizontales.

40 En otra realización preferida, dichas una o más aberturas de dichos puertos de producción están en una parte del extremo distal de dicho al menos un segundo conducto. Las partes extremas distales preferiblemente también están desviadas, inclinadas o sustancialmente horizontales.

45 En otra realización preferida, dichos primeros medios de control del caudal y/o dichos segundos medios de control del caudal comprenden una bomba controlable o una válvula controlable.

50 En otra realización preferida, dichos puertos de inyección están desplazados horizontalmente de cada uno de dichos puertos de producción por una distancia horizontal de al menos 5 m, 10 m, 20 m, 50 m, 100 m, 200 m, 500 m, o 1000 m. En otra realización preferida, dichos puertos de inyección están desplazados horizontalmente de cada uno de dichos puertos de producción por una distancia horizontal de menos de 500 m, 1 km o 2 km.

55 En una realización preferida de la invención, la disposición incluye un primer conducto único y múltiples segundos conductos. Los múltiples segundos conductos están dispuestos preferiblemente desplazados radialmente de, o alrededor de, dicho primer conducto único. En otra realización preferida de la invención, la disposición incluye múltiples primeros conductos y un segundo conducto único. Los múltiples primeros conductos se disponen entonces preferiblemente desplazados radialmente de, o alrededor de, dicho segundo conducto único. En otra realización preferida de la invención, la disposición incluye múltiples primeros conductos y múltiples segundos conductos. En otra realización preferida de la invención, la disposición incluye un primer conducto único y un segundo conducto único.

60 Breve descripción de las figuras

La Figura 1 muestra una primera realización de la invención.  
La Figura 2 muestra una segunda realización de la invención.  
La Figura 3 muestra un conducto según la invención.

65

## Descripción detallada de la invención

Un "acuífero", dentro del contexto de la presente invención, debe entenderse como una capa subterránea de roca permeable con agua o materiales no consolidados (grava, arena, limo o arcilla). Un acuifero puede estar sellado por un acuitardo o acuícludo en un límite superior o inferior. Estos acuíferos se denominan en lo sucesivo "acuíferos confinados". Un acuifero también puede estar sellado en el límite superior e inferior. Estos acuíferos se denominan en lo sucesivo "acuíferos cerrados". Los acuíferos preferidos, según la invención, son acuíferos convexos hacia arriba, o acuíferos convexos hacia abajo. El "acuífero", dentro del contexto de la presente invención, también puede denominarse "yacimiento".

Un "acuitardo", dentro del contexto de la presente invención, es una zona o capa dentro de la tierra que restringe el flujo de agua subterránea a través de la zona o capa respectiva. La zona o capa es preferiblemente impermeable al agua o tiene una baja conductividad del agua. Los acuitardos pueden comprender capas de arcilla o roca no porosa con baja conductividad hidráulica. Los acuitardos preferidos tienen una conductividad hidráulica  $K$  menor que  $10^{-4}$ , preferiblemente de  $10^{-5}$ , o  $10^{-6}$ , o  $10^{-7}$ , y lo más preferiblemente de  $10^{-8}$  cm/s. Se entenderá que la expresión "acuifero confinado" se refiere al acuifero en su estado original, por ejemplo, antes de que tenga lugar cualquier manipulación (tal como la introducción de  $\text{CO}_2$  en el acuifero).

Un "acuícludo" (o "acuífugo"), dentro del contexto de la presente invención, debe entenderse como un área sólida e impermeable subyacente o que cubre un acuifero. Por lo tanto, un acuitardo que es completamente impermeable puede ser considerado como un acuícludo (o acuífugo).

"Salmuera", cuando se usa en el contexto de la presente invención, debe entenderse que se relaciona generalmente con el agua, o fase acuosa presente en un acuifero. El agua normalmente comprende grandes cantidades de sal, tal como cloruro de sodio. Las expresiones "salmuera" y "solución de salmuera" se utilizan como sinónimos.

La "presión de fractura de la formación", según la invención, debe entenderse como la presión dentro de una formación (por ejemplo, un acuifero) por encima de la cual una inyección adicional de fluido hará que la formación se fracture hidráulicamente. La presión de fractura de la formación, de acuerdo con la presente invención, se puede calcular mediante la fórmula  $P = FG * D$ , donde  $P$  representa la presión de fractura de la formación,  $FG$  representa el gradiente de fractura [en kPa/m] y  $D$  es la profundidad [en m] del sitio de inyección. Según la presente invención, los gradientes de fractura preferidos son  $FG = 5$  kPa/m,  $FG = 10$  kPa/m,  $FG = 20$  kPa/m, o  $FG = 30$  kPa/m. Por consiguiente, en una realización de la invención ( $FG = 10$  kPa/m), la presión de fractura de la formación es de 30 MPa a una profundidad de  $D = 3000$  m.

Un "sitio de la inyección", en el contexto de la presente invención, se entenderá como una posición adyacente a una abertura de un puerto de inyección, a través de cuya abertura se inyecta  $\text{CO}_2$  en un acuifero; estando dicha posición fuera de una superficie exterior de dicho conducto o pozo. La expresión "en el sitio de inyección", en algunas realizaciones, puede entenderse que significa "en condiciones de yacimiento". Estas expresiones se usan de manera sinónima.

Un "sitio de producción", dentro del contexto de la presente invención, debe entenderse como una posición adyacente a una abertura de un puerto de producción, a través de la cual se produce una solución de salmuera (es decir, se retira) de un acuifero; estando dicha posición fuera de una superficie exterior de dicho conducto o pozo. La expresión "en el sitio de producción", en algunas realizaciones, puede entenderse que significa "en condiciones de yacimiento". Estas expresiones se usan de manera sinónima.

Una "capa freática", dentro del contexto de la presente invención, debe entenderse como la superficie del material saturado de agua en un acuifero. La capa freática no necesariamente tiene que ser una superficie plana, sino que, en particular en situaciones dinámicas, puede tener una forma irregular, por ejemplo, una superficie sustancialmente convexa hacia arriba, o una superficie convexa hacia abajo.

La presente invención se refiere a métodos para almacenar  $\text{CO}_2$  en formaciones geológicas subterráneas, en particular, en acuíferos subterráneos.

El  $\text{CO}_2$  inyectado es una composición de  $\text{CO}_2$  comprimida para asumir un estado supercrítico en el sitio de inyección, es decir, en condiciones de yacimiento. El gas comprimido puede incluir  $\text{CO}_2$  y compuestos adicionales, compuestos que preferentemente suponen menos del 50 % en peso, 40 % en peso, 30 % en peso, 20 % en peso, 10 % en peso, 5 % en peso, 2 % en peso, más preferiblemente menos del 1 % en peso, basado en el peso total de gas comprimido. El término " $\text{CO}_2$ ", según la invención, y dependiendo del contexto, puede referirse a las mezclas de  $\text{CO}_2$  y otros componentes descritos anteriormente. El  $\text{CO}_2$  inyectado preferiblemente no se mezcla con líquidos, como agua o una solución acuosa, antes de la inyección. El  $\text{CO}_2$ , por lo tanto, preferiblemente no contiene componentes líquidos.

El  $\text{CO}_2$ , de acuerdo con la invención, puede estar enriquecido a propósito con otras sustancias, tales como por ejemplo alcanos inferiores, por ejemplo metano, etano, propano y/o butano. Esto se puede usar para alterar la

densidad de la composición de CO<sub>2</sub> en estado supercrítico, en el sitio de inyección. La densidad del CO<sub>2</sub>, por lo tanto, puede ajustarse para estar por encima o por debajo (o igual a) de la solución de salmuera. La densidad de la composición de CO<sub>2</sub>, en el sitio de inyección, también se puede ajustar mediante el control de la temperatura y/o la presión de la composición de CO<sub>2</sub> en el sitio de inyección. Se pueden proporcionar medios adecuados de control de densidad para este propósito. Los medios de control de densidad adecuados pueden ser una bomba, un intercambiador de calor o medios de control de temperatura, y/o una unidad de mezcla (medios de mezcla).

Los métodos de la presente invención comprenden tanto la inyección de una composición de CO<sub>2</sub> en un acuífero como la producción de salmuera desde el mismo acuífero. Preferiblemente, se inyecta CO<sub>2</sub> en el acuífero simultáneamente con la producción de la solución de salmuera del acuífero. En otras realizaciones, el inicio de la producción de la solución de salmuera a partir del acuífero se retrasa en relación con el inicio de la inyección de CO<sub>2</sub>. El retraso puede ser, por ejemplo, mayor que 1 día, o mayor que 1 semana, o mayor que 1 mes. El retraso puede ser de hasta, por ejemplo, un año en total.

La producción de salmuera del acuífero sirve para mantener la presión promedio del yacimiento en un nivel aproximadamente constante (a lo largo del tiempo). En otras palabras, se evita efectivamente la acumulación de presión en el acuífero. Esto, a su vez, ayuda a reducir el riesgo de fracturas en las formaciones de sellado por encima y/o por debajo del acuífero. Por lo tanto, da lugar a un almacenamiento más seguro y más permanente del CO<sub>2</sub> en el acuífero.

En ciertas realizaciones de la invención, el caudal de CO<sub>2</sub> inyectado y/o el caudal de salmuera producido se controlan para mantener la presión del yacimiento a un nivel por debajo de la presión de fractura de la formación.

En otra realización preferida, se realiza el reemplazo de vaciado completo, es decir, el volumen (en el sitio de la inyección) de CO<sub>2</sub> inyectado es igual al volumen de salmuera producido.

Debe entenderse que tanto la inyección como la producción pueden ocurrir a través de uno o varios conductos o pozos. Por ejemplo, se puede proporcionar un solo conducto de inyección para CO<sub>2</sub>, mientras que la producción de salmuera se produce a través de múltiples conductos o pozos, preferiblemente dispuestos radialmente desplazados del conducto o pozo de inyección. Del mismo modo, la inyección puede ocurrir desde múltiples conductos o pozos, mientras que la producción de salmuera se produce a través de un solo conducto o pozo. Sin embargo, también puede haber múltiples conductos o pozos de inyección y múltiples conductos o pozos de producción. En estos casos, debe entenderse que el volumen y el caudal de CO<sub>2</sub> inyectados, y el volumen y el caudal de la salmuera producida, son los volúmenes y los caudales combinados a través de todos los conductos de inyección y conductos de producción, respectivamente. Esto significa que la suma del volumen de CO<sub>2</sub> inyectado se equilibra con la suma del volumen de salmuera producido.

La inyección simultánea de CO<sub>2</sub> y la producción de salmuera también da lugar a un barrido más eficiente del yacimiento con CO<sub>2</sub>, es decir, a un reemplazo más completo de la solución de salmuera inicialmente presente con CO<sub>2</sub>. Se estima que la capacidad del almacenamiento geológico será varios órdenes de magnitud mayor que con las técnicas de almacenamiento convencionales. Los métodos de la presente invención también reducen el llamado "fenómeno de digitación", es decir, minimizan el tamaño de las áreas de desvío en el acuífero. Por lo tanto, se puede hacer un uso más eficiente de la capacidad del yacimiento. En ciertas realizaciones de la presente invención, el caudal volumétrico de la solución de salmuera producida (en m<sup>3</sup> por hora) se controla sobre la base del caudal volumétrico de CO<sub>2</sub> inyectado (en m<sup>3</sup> por hora, en el sitio de inyección).

En una realización preferida, el caudal volumétrico de CO<sub>2</sub> inyectado en el acuífero, en el sitio de la inyección, es sustancialmente igual al caudal volumétrico de la solución de salmuera producida a partir del acuífero. En otra realización preferida, el caudal volumétrico promedio de inyección de CO<sub>2</sub> en el acuífero, en el sitio de la inyección, es sustancialmente igual al caudal volumétrico promedio de producción de la solución de salmuera del acuífero. El caudal volumétrico promedio se puede calcular en un período de, por ejemplo, 1 día, 1 semana, 1 mes o 1 año.

En otras realizaciones preferidas, la relación del caudal volumétrico de inyección de CO<sub>2</sub> inyectado en el acuífero, en el sitio de la inyección, al caudal volumétrico de la solución de salmuera producida a partir del acuífero se controla para que se encuentre dentro del rango de 0,6 a 1,4, más preferiblemente de 0,8 a 1,2, lo más preferiblemente de 0,9 a 1,1, o 1. En otra realización preferida, la relación del caudal volumétrico promedio de inyección de CO<sub>2</sub> en el acuífero, en el sitio de inyección (durante, por ejemplo, 1 día, 1 semana o 1 mes), al caudal volumétrico promedio de producción de la solución de salmuera del acuífero (durante, por ejemplo, 1 día, 1 semana o 1 mes), se controla para que se encuentre dentro del rango de 0,6 a 1,4, más preferiblemente de 0,8 a 1,2, y lo más preferiblemente de 0,9 a 1,1, o 1.

Debe entenderse que los caudales, volúmenes, temperaturas, presiones y composiciones mencionadas en el contexto de esta invención, a menos que se indique lo contrario, son las que se encuentran en las condiciones del yacimiento.

La inyección de CO<sub>2</sub> se puede lograr bombeando el CO<sub>2</sub> hacia abajo en un conducto o pozo, preferiblemente a

través de un conducto provisto en dicho pozo. El CO<sub>2</sub> se inyecta en el acuífero a través de un puerto de inyección provisto en dicho conducto. Un puerto de inyección, según la invención, puede comprender múltiples aberturas. Las múltiples aberturas se proporcionan adecuadamente en una porción del extremo distal del conducto. Pueden proporcionarse en una porción horizontal, o una porción inclinada, o una porción sustancialmente horizontal, del conducto. La inyección de CO<sub>2</sub> en el acuífero puede ocurrir en una posición vertical sobre el sitio de producción de salmuera. Esta configuración es particularmente ventajosa en situaciones donde la densidad de la composición de CO<sub>2</sub> supercrítico está por debajo de la densidad de la solución de salmuera en el acuífero. En este caso, el CO<sub>2</sub> inyectado se acumulará en una parte superior del acuífero y producirá una capa freática por debajo. Con la inyección de cantidades adicionales de CO<sub>2</sub> en el acuífero, esta capa freática migrará hacia abajo, reemplazando así las cantidades adicionales de salmuera con CO<sub>2</sub>. Esta migración de la capa freática con el reemplazo simultáneo de salmuera con CO<sub>2</sub> también se conoce como "barrido" (en este caso, un barrido dirigido hacia abajo) a través del yacimiento.

Sin embargo, la inyección de CO<sub>2</sub> en el acuífero también puede ocurrir en una posición vertical debajo del sitio de producción de salmuera. Esta configuración es particularmente ventajosa en situaciones donde la densidad del CO<sub>2</sub> supercrítico es mayor que la densidad de la solución de salmuera en el acuífero. En este caso, el CO<sub>2</sub> inyectado se acumulará en una parte inferior del acuífero y producirá una capa freática sobre el mismo. Con la inyección de cantidades adicionales de CO<sub>2</sub> en el acuífero, la capa freática migrará hacia arriba en el acuífero, reemplazando así las cantidades adicionales de salmuera con CO<sub>2</sub>. De este modo, se logra un barrido dirigido hacia arriba.

En los métodos de la presente invención, la posición o posiciones verticales de inyección con respecto a la posición o posiciones verticales de producción se seleccionan en función de la densidad del CO<sub>2</sub> inyectado, en relación con la densidad de la salmuera producida.

La invención se explicará ahora con referencia a las figuras adjuntas.

La Figura 1, en general, muestra una disposición para introducir CO<sub>2</sub> en un acuífero subterráneo de acuerdo con una primera realización de la presente invención. Un primer conducto 4 se proporciona para el transporte de CO<sub>2</sub> desde un nivel sustancialmente por encima de la superficie en acuífero 8. El primer conducto 4 puede estar en forma de tubo dispuesto dentro de la cubierta de un pozo. Alternativamente, la cubierta del pozo en sí puede constituir el primer conducto 4. El pozo es un pozo vertical, o un pozo inclinado o desviado. Alternativamente, solo una parte superior (proximal) del conducto es sustancialmente vertical o inclinada o desviada.

En esta realización, un puerto de producción 7 está dispuesto verticalmente debajo del puerto de inyección 5, pero también dentro del acuífero 8. Esta configuración es ventajosa si la densidad del CO<sub>2</sub> en el sitio de inyección es menor que la densidad de la solución de salmuera en el acuífero 8. El puerto de producción 7 se puede alinear verticalmente con el puerto de inyección 5, pero en la realización mostrada en la Figura 1 el puerto de inyección 5 está desplazado horizontalmente.

En esta configuración, el puerto de inyección 5 se localiza ventajosamente en una parte convexa hacia arriba (anticlinal) del acuífero 8. El puerto de inyección 5 se localiza preferiblemente debajo de una parte convexa hacia arriba del acuífero 9 que define el límite superior del acuífero 8.

Alternativamente, como se muestra en la Figura 2, el puerto de producción 7 se puede disponer verticalmente sobre el puerto de inyección 5, pero dentro del mismo acuífero 8. Esta configuración es particularmente ventajosa si la densidad del CO<sub>2</sub> en el sitio de la inyección es mayor que la densidad de la solución de salmuera. El puerto de producción 7 se puede alinear verticalmente con el puerto de inyección 5, o el puerto de inyección 5 se puede desplazar horizontalmente. En esta realización, se prefiere que el puerto de inyección 5 esté localizado en una parte convexa hacia abajo (sinclinal) del acuífero 8. El puerto de inyección 5, por lo tanto, se localiza por encima de una porción convexa hacia abajo del acuífero 6 que define el límite inferior del acuífero 8.

Como se muestra en la Figura 3, el primer conducto 4 puede incluir una porción sustancialmente vertical en una región proximal, y una porción sustancialmente horizontal en una región distal del conducto 4. La porción horizontal del primer conducto 4 está dispuesta preferiblemente dentro del acuífero 8. El primer conducto 4 preferiblemente incluye un puerto de entrada de CO<sub>2</sub> 1 para recibir CO<sub>2</sub> de una fuente de CO<sub>2</sub> adecuada (no se muestra). El puerto de entrada de CO<sub>2</sub> 1 puede comprender medios de conexión para conectarse a una fuente adecuada de CO<sub>2</sub>. Las fuentes adecuadas de CO<sub>2</sub> son, por ejemplo, una tubería de CO<sub>2</sub> o un contenedor de CO<sub>2</sub>.

El primer conducto 4 se proporciona en un pozo que se extiende desde la superficie superior hasta un punto dentro del acuífero 8.

Los primeros medios de control del caudal 2 se proporcionan en asociación con el primer conducto 4. Los primeros medios de control del caudal 2 se proporcionan, por ejemplo, en el primer conducto 4. Los primeros medios de control del caudal 2 se proporcionan para controlar el caudal de CO<sub>2</sub> en el primer conducto 4, o para controlar la cantidad de CO<sub>2</sub> inyectado en el puerto de inyección 5 en un cierto período de tiempo. Los primeros medios de control del caudal 2 comprenden preferiblemente una bomba controlable, o una válvula controlable, o tanto una



bomba controlable como una válvula controlable.

En su forma más simple, el puerto de inyección 5 es una abertura única en una parte del extremo distal del primer conducto 4. Alternativamente, como se muestra en la Figura 3, el puerto de inyección 5 puede comprender múltiples aberturas 14a, 14b, 14c,..., 14z en una porción del extremo distal del primer conducto 4. La porción del extremo distal del primer conducto 4 preferiblemente es sustancialmente horizontal. Las múltiples aberturas en una porción del extremo sustancialmente horizontal permiten la inyección de CO<sub>2</sub> en múltiples posiciones que tienen sustancialmente la misma posición vertical. Las múltiples aberturas pueden estar en forma de múltiples ranuras dentro de una porción del extremo distal del primer conducto 4. Las múltiples aberturas se pueden proporcionar en una porción sustancialmente horizontal del primer conducto 4, o en una porción inclinada o desviada del primer conducto 4. Preferiblemente, el primer conducto 4 se proporciona en un pozo altamente desviado (un pozo desviado a propósito).

Preferiblemente, el número de aberturas del puerto de inyección 5 es superior a 1, 2, 5, 10, 50, 100, 300, 500 o 1000. Del mismo modo, el número de aberturas del puerto de inyección 5 preferiblemente es inferior a 2, 5, 10, 50, 100, 300, 500, 1000, 2000 o 5000. La región del extremo distal está preferiblemente localizada completamente dentro del acuífero. Preferiblemente, todas las aberturas del puerto de inyección 5 están dentro del mismo acuífero 8.

Una región del extremo distal, según la invención, tiene preferiblemente al menos 5 m, 10 m, 20 m, 50 m, 100 m, o 200 m de largo. Por otro lado, la región del extremo distal es preferiblemente menos de 10 m, 100 m, 400 m, 800 m, 1,5 km, o más preferiblemente menos de 3 km de largo. Un segundo conducto 10 comprende el puerto de producción 7. En su forma más simple, el puerto de producción 7 tiene la forma de una abertura en una porción del extremo distal del segundo conducto 10. Alternativamente, el puerto de producción 7 puede comprender múltiples aberturas en una porción del extremo distal del segundo conducto 10. La porción del extremo distal del segundo conducto 10 puede comprender una porción sustancialmente horizontal. Las múltiples aberturas en una porción del extremo sustancialmente horizontal permiten la producción de solución de salmuera a través de múltiples aberturas sustancialmente a la misma altura o nivel vertical. Las múltiples aberturas pueden estar en forma de múltiples ranuras dentro de una porción del extremo distal del segundo conducto 10. Las múltiples aberturas también pueden proporcionarse en una porción sustancialmente horizontal, inclinada o desviada del segundo conducto 10.

Al utilizar múltiples porciones de extremo distal horizontales o inclinadas, el número de aberturas en el puerto de producción 7 puede incrementarse aún más. Preferiblemente, el número de aberturas del puerto de producción 7 es superior a 1, 2, 5, 10, 50, 100, 300, 500 o 1000. Del mismo modo, el número de aberturas del puerto de producción 7 es preferiblemente inferior a 2, 5, 10, 50, 100, 300, 500, 1000 o 2000.

La región del extremo distal está preferiblemente localizada completamente dentro del acuífero. Preferiblemente, todas las aberturas del puerto de producción 7 están dentro del mismo acuífero 8.

El segundo conducto 10 se proporciona para producir y/o transportar salmuera del acuífero 8 hasta un nivel sustancialmente por encima de la superficie. El segundo conducto 10 está preferiblemente en forma de un tubo dispuesto dentro de una cubierta de un pozo. Alternativamente, la cubierta del pozo en sí puede constituir el segundo conducto 10. El pozo es generalmente un pozo vertical, pero también puede ser un pozo inclinado. Preferiblemente, al menos una porción superior (proximal) del pozo es sustancialmente vertical. En realizaciones preferidas, el segundo conducto 10 incluye una porción horizontal en su extremo distal. Las porciones horizontales del segundo conducto 10 preferiblemente están totalmente dentro del acuífero 8. El segundo conducto 5 puede así proporcionarse en un pozo altamente desviado (un pozo desviado a propósito) para aumentar el número posible de aberturas 14a-14z para producir salmuera del acuífero.

El segundo conducto 10 incluye preferiblemente un puerto de salida 13, sustancialmente por encima de la superficie. El puerto de salida 13 está adaptado para proporcionar solución de salmuera a un yacimiento o tubería (no se muestra). Para este propósito, el puerto de salida 13 está provisto de medios de conexión y/o medios de válvula adecuados.

Los segundos medios de control del caudal 11 se proporcionan en asociación con el segundo conducto 10. Los segundos medios de control del caudal 11 se proporcionan, por ejemplo, en el segundo conducto 10. Los segundos medios de control del caudal 11 se proporcionan para controlar el caudal de la solución de salmuera en el segundo conducto 10, o para controlar la cantidad de salmuera producida a partir del puerto de producción 7. Los segundos medios de control del caudal 11 comprenden preferiblemente una bomba controlable, o una válvula controlable, o tanto una bomba controlable como una válvula controlable.

En una realización, todas las aberturas del puerto de inyección 5 se encuentran en la parte superior del acuífero 8, y todas las aberturas del puerto de producción 7 están en la parte inferior del acuífero 8. En este contexto, una "parte superior de un acuífero" debe entenderse que se refiere a la totalidad de las posiciones dentro del acuífero, cuya distancia vertical al límite superior 9 es menor que la distancia vertical de cada una de dichas posiciones al límite inferior 6. Una "parte inferior de un acuífero" debe entenderse que se refiere a la totalidad de las posiciones dentro

del acuífero 8, la distancia vertical de cada una de dichas posiciones al límite superior 9 es mayor que la distancia vertical de cada posición al límite inferior 6 del acuífero. Esta configuración es ventajosa, si la densidad del CO<sub>2</sub> inyectado en el acuífero es inferior a la de la solución de salmuera producida a partir del acuífero.

- 5 En una realización alternativa, todas las aberturas de puerto de inyección 5 se proporcionan en una parte inferior del acuífero 8, y todas las aberturas de puerto de producción 7 están en una parte superior del acuífero 8. Esta configuración es ventajosa, si la densidad de CO<sub>2</sub> inyectada en el acuífero es superior a la de la solución de salmuera producida a partir del acuífero.

10 **Ejemplos**

Ejemplo 1

- 15 Se mezcla dióxido de carbono con n-butano en una relación del 97 % en moles de CO<sub>2</sub> y el 3 % en moles de n-butano. La composición de CO<sub>2</sub> se añade a un acuífero en una primera posición vertical y se produce agua del acuífero en una segunda posición vertical. La mezcla de CO<sub>2</sub>, en condiciones del yacimiento (p = 700 bar, T = 55 °C), tiene una densidad superior a la del agua extraída (1000 kg/m<sup>3</sup>). La composición de CO<sub>2</sub> se añade así al acuífero en una posición vertical por debajo de la posición vertical de la producción de agua.

20 Ejemplo 2

- 25 Una composición de dióxido de carbono contiene el 98 % en moles de CO<sub>2</sub> y el 2 % en moles de alcano C6. La composición de CO<sub>2</sub> se añade a un acuífero en una primera posición vertical y se produce agua del acuífero en una segunda posición vertical. La mezcla de CO<sub>2</sub>, en condiciones de yacimiento (p = 700 bar, T = 56 °C), tiene una densidad superior a la del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>). La composición de CO<sub>2</sub> se añade así al acuífero en una posición vertical por debajo de la posición vertical de la producción de agua.

Ejemplo 3

- 30 Se mezcla dióxido de carbono con butano en una relación del 95 % en moles de CO<sub>2</sub> y el 5 % en moles de monoetilenglicol. La composición de CO<sub>2</sub> se añade a un acuífero en una primera posición vertical y se produce agua del acuífero en una segunda posición vertical. La mezcla de CO<sub>2</sub>, en condiciones de yacimiento (p = 500 bar, T = 40 °C), tiene una densidad superior a la del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>). La composición de CO<sub>2</sub> se añade así al acuífero en una posición vertical por debajo de la posición vertical de la producción de agua.

35 Ejemplo 4

- 40 Se mezcla dióxido de carbono con butano en una relación del 97 % en moles de CO<sub>2</sub> y el 3 % en moles de etano. La composición de CO<sub>2</sub> se añade a un acuífero en una primera posición vertical y se produce agua del acuífero en una segunda posición vertical. La mezcla de CO<sub>2</sub>, en condiciones de yacimiento (p = 100 bar, T = 35 °C), tiene una densidad inferior a 900 kg/m<sup>3</sup>. La composición de CO<sub>2</sub> se añade así al acuífero en una posición vertical por encima de la posición vertical de la producción de agua.

45 Ejemplo 5

- 50 Se mezcla dióxido de carbono con butano en una relación del 97 % en moles de CO<sub>2</sub> y el 3 % en moles de alcano C3. La composición de CO<sub>2</sub> se añade a un acuífero en una primera posición vertical y se produce agua del acuífero en una segunda posición vertical. La mezcla de CO<sub>2</sub>, en condiciones de yacimiento (p = 200 bar, T = 35 °C), tiene una densidad inferior a 900 kg/m<sup>3</sup>. La composición de CO<sub>2</sub> se añade así al acuífero en una posición vertical por encima de la posición vertical de la producción de agua.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para introducir una composición de CO<sub>2</sub> en un acuífero (8) para el almacenamiento de CO<sub>2</sub> supercrítico, comprendiendo dicho método inyectar CO<sub>2</sub> en un estado supercrítico en dicho acuífero (8) en una o varias primeras posiciones verticales; extraer la solución de salmuera de dicho acuífero (8) en una o varias segundas posiciones verticales; y controlar la densidad del CO<sub>2</sub> en el sitio de inyección, en el que uno cualquiera de dichas primeras posiciones verticales es distinta de una cualquiera de dichas segundas posiciones verticales; en donde si la más baja de dichas primeras posiciones verticales está por encima de la más alta de dichas segundas posiciones verticales, la densidad de dicha composición de CO<sub>2</sub>, en los respectivos sitios de inyección, es menor que la densidad de dicha solución de salmuera en dicho acuífero, o si la más alta de dichas primeras posiciones verticales está por debajo de la más baja de dichas segundas posiciones verticales, la densidad de dicha composición CO<sub>2</sub> en los respectivos sitios de inyección, es mayor que la densidad de dicha solución de salmuera en dicho acuífero.
2. Método de la reivindicación 1, en el que la más baja de dichas primeras posiciones verticales está por encima de la más alta una de dichas segundas posiciones verticales, y la densidad de dicha composición de CO<sub>2</sub>, en los respectivos sitios de inyección, es menor que la densidad de dicha solución de salmuera en dicho acuífero.
3. Método de la reivindicación 1, en el que la más alta de dichas primeras posiciones verticales es más baja que la más baja de dichas segundas posiciones verticales, y la densidad de dicha composición de CO<sub>2</sub> en los respectivos sitios de inyección, es mayor que la densidad de dicha solución de salmuera en dicho acuífero.
4. Método de la reivindicación 2, en el que dicha composición de CO<sub>2</sub> se inyecta en dicho acuífero (8) en una parte convexa hacia arriba de dicho acuífero.
5. Método de la reivindicación 3, en el que dicha composición de CO<sub>2</sub> se inyecta en dicho acuífero en una parte convexa hacia abajo de dicho acuífero (8).
6. Método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la relación volumétrica de la composición de CO<sub>2</sub> inyectada en dicho acuífero, en el sitio de inyección, con el volumen de salmuera extraído de dicho acuífero se controla para que se encuentre a un nivel de 0,6 a 1,4.
7. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la cantidad de CO<sub>2</sub> inyectado por unidad de tiempo y la cantidad de salmuera producida por unidad de tiempo se controlan para que estén a un nivel tal que la presión promedio en dicho acuífero (8) permanezca constante.
8. Una disposición para la introducción de un composición de CO<sub>2</sub> en un acuífero (8) para el almacenamiento de CO<sub>2</sub> supercrítico en el mismo, comprendiendo dicha disposición:
- al menos un primer conducto (4) comprendiendo cada uno un puerto de inyección (5), cada puerto de inyección (5) comprendiendo una o más aberturas (14a-14z) en primeras posiciones verticales, en el que la disposición está adaptada para inyectar la composición de CO<sub>2</sub> en el acuífero en estado supercrítico.
  - al menos un segundo conducto (10) comprendiendo cada uno un puerto de producción (7), cada puerto de producción (7) comprendiendo una o más aberturas en las segundas posiciones verticales,
  - primeros medios de control del caudal (2) para controlar el caudal volumétrico de CO<sub>2</sub> inyectado a través de dichos puertos de inyección (5) en dicho acuífero,
  - segundos medios de control del caudal (11) para controlar el caudal volumétrico de la solución de salmuera extraída de dicho acuífero (8) a través de los puertos de producción (7),
  - medios de control de densidad (3) para controlar la densidad de dicho CO<sub>2</sub> en el sitio de inyección, en el que los medios de control de densidad están dispuestos de manera que si la más baja de dichas primeras posiciones verticales está por encima de la más alta de dichas segundas posiciones verticales, la densidad de dicha composición de CO<sub>2</sub>, en los respectivos sitios de inyección, es menor que la densidad de dicha solución de salmuera en dicho acuífero, o si la más alta de dichas primeras posiciones verticales es más baja que la más baja de dichas segundas posiciones verticales, la densidad de dicha composición de CO<sub>2</sub> en los respectivos sitios de inyección, es mayor que la densidad de dicha solución de salmuera en dicho acuífero;
  - en el que cualquiera de dichas primeras posiciones verticales es distinta de cualquiera de dichas segundas posiciones verticales.
9. La disposición de la reivindicación 8, en el que la más baja de dichas primeras posiciones verticales está por encima de la más alta una de dichas segundas posiciones verticales, y dichos medios de control de densidad (3) está adaptado para controlar la densidad de dicha composición de CO<sub>2</sub>, en el sitio de inyección, a una densidad por debajo de la densidad de dicha solución de salmuera en dicho acuífero.
10. La disposición de la reivindicación 8, en la que la más alta de dichas primeras posiciones verticales está por debajo de la más baja de dichas segundas posiciones verticales, y dichos medios de control de densidad (3) están adaptados para controlar la densidad de dicho CO<sub>2</sub>, en el sitio de inyección, a una densidad mayor que la densidad

de dicha solución de salmuera en dicho acuífero.

- 5 11. La disposición de una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, comprendiendo además medios de control (12) para controlar dichos primeros medios de control del caudal (3) y dichos segundos medios de control del caudal (11), y dichos medios de control (12) que están adaptados para controlar dichos primeros (3) y segundos (11) medios de control del caudal para efectuar una relación del caudal volumétrico de CO<sub>2</sub> inyectado, en el sitio de inyección, al caudal volumétrico de salmuera producido de 0,8 a 1,2.
- 10 12. La disposición de una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, en la que dichos primeros medios de control del caudal (3) comprenden una bomba controlable o una válvula controlable.
13. La disposición de una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, en la que dichos segundos medios de control del caudal (11) comprenden una bomba controlable o una válvula controlable.
- 15 14. La disposición de una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, en la que dichos puertos de inyección (5) y dichos puertos de producción (7) están alineados verticalmente.

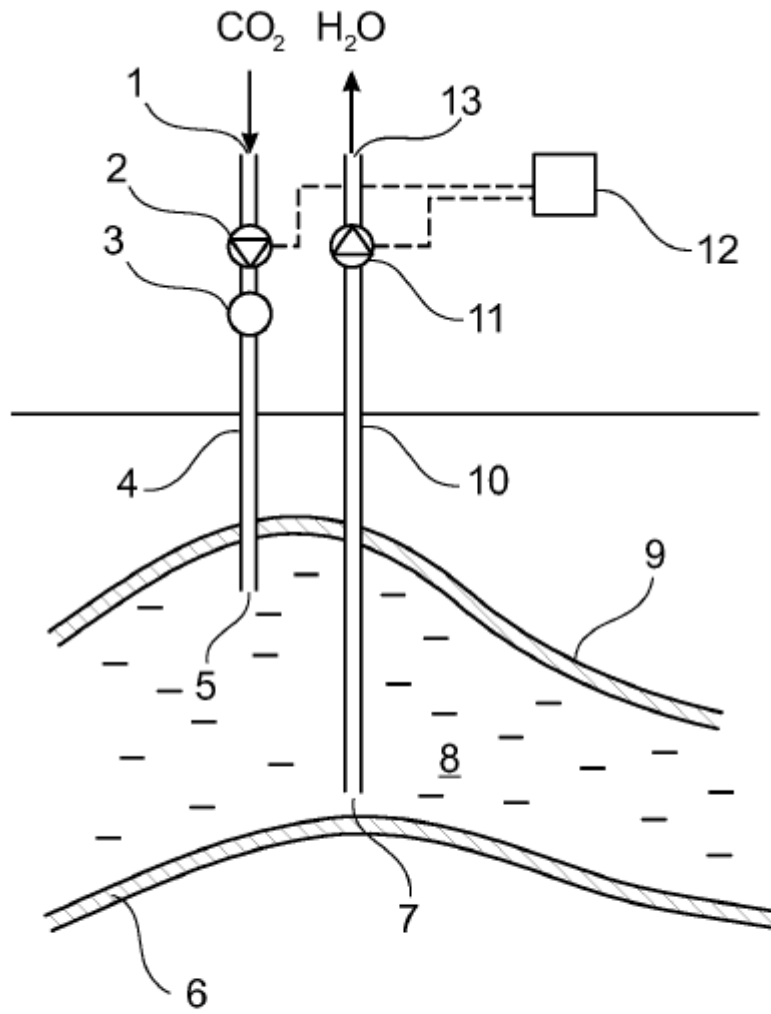


Fig. 1

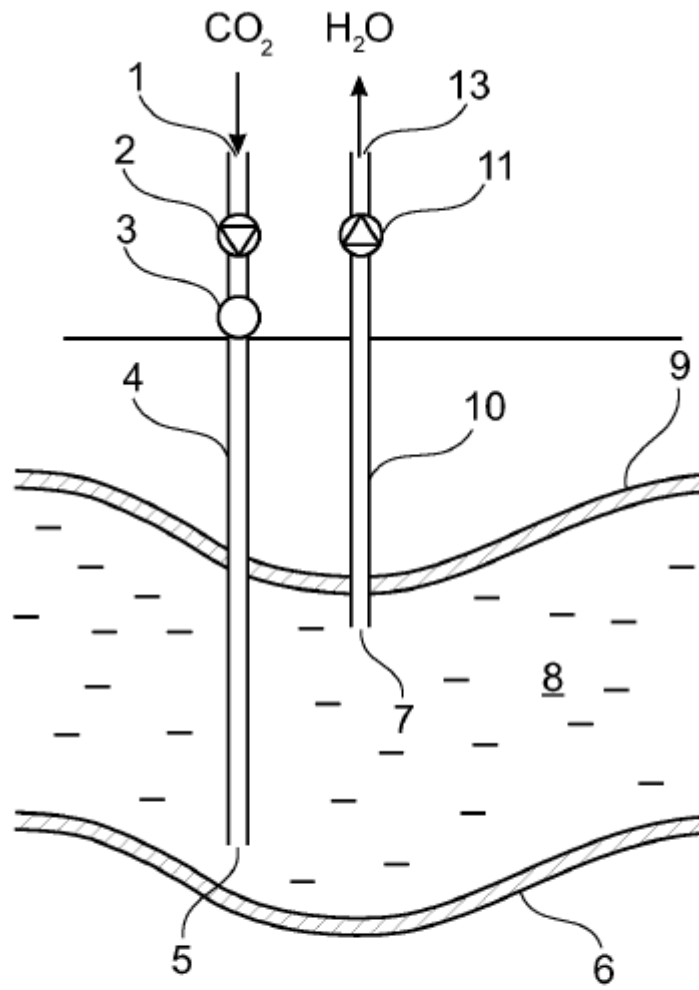


Fig. 2

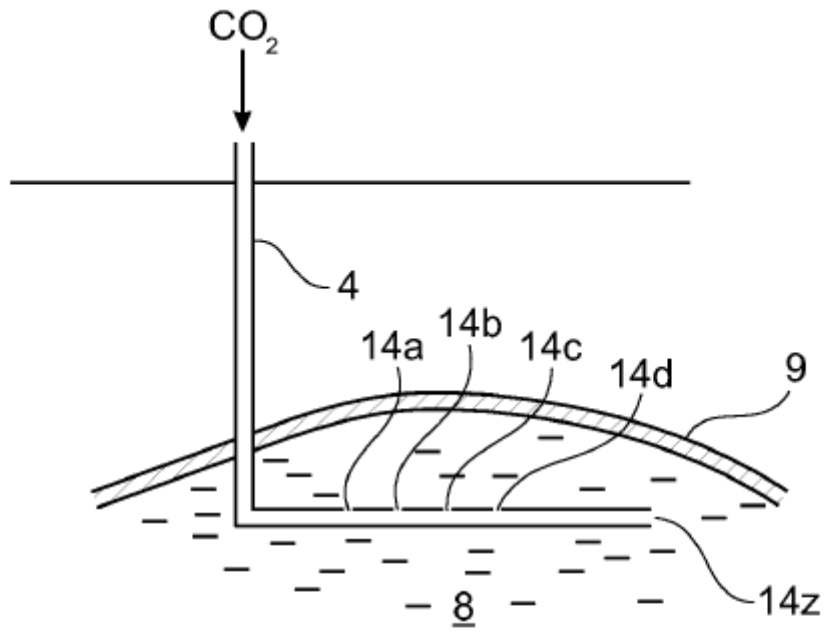


Fig. 3