

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 968 641**

51 Int. Cl.:

**B01D 53/14** (2006.01)

**C01B 32/50** (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.01.2019** **E 19153598 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.11.2023** **EP 3685904**

54 Título: **Procedimiento e instalación para separar dióxido de carbono del aire**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**13.05.2024**

73 Titular/es:

**AXIOM ANGEWANDTE PROZESSTECHNIK GES.  
M.B.H. (50.0%)  
Wienerstraße 114, Halle I-J  
2483 Ebreichsdorf, AT y  
MAKARUK, ALEKSANDER (50.0%)**

72 Inventor/es:

**MAKARUK, ALEKSANDER y  
SZIVACZ, JOHANNES**

74 Agente/Representante:

**CAPITAN GARCÍA, Nuria**

**ES 2 968 641 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Procedimiento e instalación para separar dióxido de carbono del aire

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y a una instalación para separar y recuperar dióxido de carbono del aire ambiental.

**Estado de la técnica**

10 Debido al bajo contenido de CO<sub>2</sub> del aire y el alto uso de energía de los procedimientos de separación, filtrar el gas CO<sub>2</sub> de calentamiento global de la atmósfera se ha considerado ineficaz y difícilmente implementable a escala industrial. No obstante, se han desarrollado procedimientos correspondientes porque no necesariamente se tiene que almacenar el CO<sub>2</sub> obtenido de este modo, sino que se podría usar, por ejemplo, en la industria de bebidas, en invernaderos o para síntesis químicas, por ejemplo, para la producción de metano por reacción con hidrógeno, que, en ocasiones, se puede obtener de forma sostenible por electrólisis de agua usando energía eléctrica solar y/o eólica, o para la producción de combustibles sintéticos. Sin embargo, para este último propósito deben existir altos requisitos con respecto a la pureza del CO<sub>2</sub> separado, y requiere grandes cantidades continuas de gas puro, lo que da como resultado un enorme incremento de los costes de producción.

20 Un procedimiento moderno para separar dióxido de carbono, que usa, por ejemplo, la empresa suiza Climeworks en Suiza y en Islandia, consiste en inyectar aire ambiental por medio de numerosos ventiladores enormes sobre filtros cuya superficie está impregnada con aminas donde se adsorbe el CO<sub>2</sub> ácido. La desorción posterior se logra calentando el filtro "cargado", lo que requiere grandes cantidades de energía térmica. Aunque el calor residual de las centrales eléctricas o de las incineradoras se puede (al menos en gran medida) usar para ello, los requisitos energéticos del procedimiento *per se* siguen siendo altos. En particular porque durante la desorción por medio de simplemente calentando el filtro —lo que se hace en presencia de aire— se obtiene un producto gaseoso que también contiene cantidades relativamente grandes de N<sub>2</sub> (típicamente al menos de un 5 % en volumen) además de CO<sub>2</sub>, cuya separación es extremadamente complicada. Pero también porque el absorbente impregnado con aminas es relativamente inestable y se tiene que reemplazar de vez en cuando.

30 El documento US 2010/059377 A1 divulga un procedimiento para recuperar CO<sub>2</sub> de los gases de escape de las fábricas, en particular, de las centrales que generan energía eléctrica por la quema de combustibles fósiles y de las centrales de gasificación de carbón. Esto incluye la absorción del CO<sub>2</sub> y otros componentes del gas de escape en una solución acuosa de K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/KHCO<sub>3</sub> del 10 al 50 % en una torre de pulverización, seguido de un intercambio iónico para retirar cationes multivalentes, después de lo cual la solución se presuriza de 2 a 200 atm, preferentemente a > 30 atm. Durante una electrodiálisis posterior usando una membrana de diálisis bipolar, se retira parte de los iones de hidrogenocarbonato. Durante la diálisis, estos pasan a una corriente de procedimiento tamponada a un valor de pH constante de 3 a 4, que es el motivo de la presurización previa, para inhibir el escape del CO<sub>2</sub> durante la diálisis. A continuación, esta corriente de procedimiento enriquecida con CO<sub>2</sub> simplemente se airea, es decir, se libera la presión, de modo que el CO<sub>2</sub> escape de la solución fuertemente ácida.

45 Un inconveniente principal de este procedimiento es el valor de pH fuertemente ácido de la corriente de procedimiento enriquecida con CO<sub>2</sub>, que, por una parte, requiere la aplicación de altas presiones durante la diálisis, lo que incrementa los requisitos de energía, así como de equipamiento durante la ejecución del procedimiento y, por otra parte, da lugar a un requisito de mayor energía para la diálisis, lo que se incrementa proporcionalmente con la diferencia de pH entre las soluciones en los lados de concentrado y diluido, lo que también se describe en el documento US 2010/059377 A1. Por tanto, este procedimiento es adecuado para separar CO<sub>2</sub> de mezclas gaseosas que contengan altas concentraciones de CO<sub>2</sub>, por ejemplo, entre un 10-25 % en volumen o más en los gases de escape de combustión, pero no para recuperar CO<sub>2</sub> del aire ambiental, que normalmente tiene un contenido de CO<sub>2</sub> de solo aproximadamente 400 ppm.

50 En este contexto, un objetivo de la presente invención era desarrollar un nuevo procedimiento y una instalación correspondiente que permitiera la recuperación del CO<sub>2</sub> del aire con alta pureza y con menos aporte de energía que antes.

**Sumario de la invención**

55 En un primer aspecto, la presente invención logra este objetivo proporcionando un procedimiento para separar y recuperar dióxido de carbono del aire ambiental, que comprende la ejecución continua de las siguientes etapas:

60 a) puesta del aire ambiental en contacto con una solución acuosa de al menos un catión de metal alcalino o de metal alcalinotérreo para absorber el dióxido de carbono en la solución, formando el bicarbonato o carbonato de al menos un metal;

65 b) electrodiálisis de la solución resultante usando una combinación de membranas de intercambio iónico

bipolares y membranas de intercambio iónico que sean selectivas para aniones mono- o multivalentes para obtener una solución enriquecida con iones de (hidrógeno)carbonato y una solución empobrecida en iones de (hidrógeno)carbonato, en el que la solución empobrecida en iones de (hidrógeno)carbonato se recicla a la etapa a);

5 c) desorción térmica del dióxido de carbono de la solución obtenida en la etapa b) que se enriquece con iones de (hidrógeno)carbonato por medio de separación con vapor para obtener una mezcla de dióxido de carbono-vapor y una solución empobrecida en CO<sub>2</sub> que se recicla a la etapa (b), tras lo que se establece un pH alcalino en la salida de electrodiálisis; y

10 d) separación de agua de la mezcla de dióxido de carbono-vapor obtenida por enfriamiento para condensar el vapor y, opcionalmente, secado adicional del dióxido de carbono.

Esta secuencia de etapas, que se conoce individualmente *per se*, permite recuperar CO<sub>2</sub> del aire con gran pureza y de manera relativamente eficaz desde el punto de vista energético. Debido a la etapa de enriquecimiento b) por medio de electrodiálisis se puede reducir sustancialmente el volumen de la corriente de procedimiento adicional en comparación con procedimientos de absorción comparables de acuerdo con la técnica anterior, lo que reduce significativamente los requisitos de equipamiento y energía para el transporte y el tratamiento adicional. Y a diferencia de los filtros de acuerdo con el estado de la técnica mencionados en la sección introductoria, que solo están provistos superficialmente de grupos amino, la presente invención, en determinados casos, permite usar soluciones que tengan altas concentraciones de cationes de metal alcalino o alcalinotérreo, lo que también reduce el volumen de las corrientes de procedimiento iniciales y, por tanto, el consumo de energía.

En modos de realización preferentes del procedimiento según la invención, en la etapa a), el agua de un lago natural o artificial que tenga una concentración suficientemente alta de iones de metal alcalino o alcalinotérreo, por ejemplo, se usa un lago inundado de gravera o a cielo abierto como la solución del al menos un catión de metal alcalino o alcalinotérreo, en el que la concentración suficientemente alta de iones se preestablece opcionalmente añadiendo una base. En general, de acuerdo con la presente invención, debido a la mayor solubilidad de los hidróxidos y carbonatos, es preferente una solución de iones de metal alcalino a una de iones de metal alcalinotérreo, más preferentemente una solución de iones de Na<sup>+</sup> o K<sup>+</sup>, en particular, de iones de Na<sup>+</sup>, por motivos de coste. Dichos sistemas electrolíticos son estables, es decir, no existe intercambio ni pérdida de iones electrolíticos con o hacia la atmósfera. Al usar productos químicos adicionales, tales como metanol o formaldehído, se puede incrementar la capacidad de sorción de la solución de absorción o la tasa de sorción; sin embargo, esto no es necesario para hacer funcionar el sistema divulgado y, por tanto, no es preferente por motivos de coste y protección medioambiental.

35 Sin embargo, de acuerdo con la presente invención es preferente que la solución tenga un pH de al menos 8,0, de modo que el CO<sub>2</sub> absorbido no esté presente en forma de ácido carbónico relativamente inestable, sino completamente en forma de iones de hidrogenocarbonato o carbonato. La fig. 1 muestra una representación gráfica del equilibrio dependiente del pH entre las tres especies, lo que se explicará con más detalle a continuación.

40 Al usar agua estancada natural o artificial, hay disponibles enormes cantidades de solución de absorción en la etapa a), de modo que se puedan absorber grandes cantidades de CO<sub>2</sub> en la solución alcalina en un tiempo relativamente corto y sin tener que proporcionar la mezcla de solución con el aire. Sin embargo, de acuerdo con la presente invención, la solución acuosa de al menos un catión de metal alcalino o alcalinotérreo se pone preferentemente en contacto con el aire ambiental en la etapa a) usando cualquier dispositivo que promueva la absorción de gas CO<sub>2</sub> en la solución alcalina para acortar el periodo de tiempo necesario para absorber una determinada cantidad de gas CO<sub>2</sub> e incrementar el rendimiento del procedimiento según la invención por unidad de tiempo. Además de los absorbentes y depuradores de gases, por ejemplo, columnas de relleno o de placas, lavadores de chorro, de inmersión, de vórtice, de rotación o venturi, de acuerdo con la presente invención es, en particular, preferente un lavador de pulverización o torre de pulverización, porque se puede hacer funcionar de manera muy eficaz desde el punto de vista energético.

50 Debido a la buena solubilidad, por ejemplo, de los hidróxidos de Na o K, la capacidad de sorción del CO<sub>2</sub> del agua se puede incrementar sustancialmente. Sin embargo, otras propiedades positivas de un sistema electrolítico de este tipo en base a metales alcalinos o metales alcalinotérreos también son su ausencia de toxicidad, estabilidad y reducción del punto de congelación del agua, lo que incrementa además la capacidad de sorción en una masa de agua estancada natural o artificial a bajas temperaturas ambientales.

Preferentemente, la electrodiálisis en la etapa b) del procedimiento según la invención se lleva a cabo en un separador de electrodiálisis, en el que

60 i) membranas de intercambio iónico bipolares; y

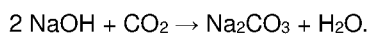
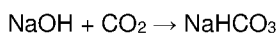
ii) membranas de intercambio iónico selectivas para aniones; o

iii) membranas de intercambio iónico selectivas para aniones monovalentes;

65

se usan para la electrodiálisis, porque estas membranas pueden llevar a cabo muy eficazmente la diálisis de iones de (hidrógeno)carbonato. Además, cabe señalar, en general, que se pretende que cualquier aparición del término "iones de (hidrógeno)carbonato" como se usa en el presente documento indique "iones de hidrogenocarbonato y/o carbonato". Para la etapa de diálisis, por ejemplo, esto significa que, dependiendo del transcurso deseado del procedimiento, se enriquecen en el lado de concentrado del separador de electrodiálisis principal o sustancialmente solo iones de hidrogenocarbonato monovalentes o principal o sustancialmente solo iones de carbonato bivalentes o simultáneamente ambos. La variación que se selección depende, entre otros, de la concentración de la solución de al menos un ion de metal alcalino/metal alcalinotérreo, así como de su valor de pH. En el caso de soluciones relativamente diluidas fuertemente, por ejemplo, cuando se usan masas de agua estancada natural o artificial como solución de absorción en la etapa a), es decir, soluciones que tienen un pH entre 7,5 y 8,5, el CO<sub>2</sub> absorbido está presente principalmente como hidrogenocarbonato, como también se puede observar en la fig. 1.

Además, la absorción, es decir, la transición de fase del CO<sub>2</sub> de la fase gaseosa a la líquida, se puede acelerar estableciendo incluso valores de mayor pH porque la presencia de mayores cantidades de base desplaza el equilibrio de las reacciones químicas hacia sus lados de producto:



Como se menciona anteriormente, en modos de realización preferentes de la invención, se establece un valor de pH de 8 para la solución de al menos un ion de metal alcalino/metal alcalinotérreo en la etapa a). Sin embargo, el intervalo de pH, en particular, preferente también depende de si para la absorción se usa una masa de agua estancada natural o artificial u otro tipo de absorbedor(es), por ejemplo, uno o más lavadores de pulverización o torres de pulverización o similares. Especialmente en masas de agua natural es, en particular, preferente de acuerdo con la invención un pH entre 8 y 9, en particular 8 y 8,5. A estos valores se evitan, en gran medida, los daños al medioambiente y el CO<sub>2</sub> disuelto está presente casi exclusivamente en forma de iones de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> de modo que se puede unir 1 mol de CO<sub>2</sub> por mol de cationes de metal alcalino, e incluso se pueden unir 2 moles de CO<sub>2</sub> por mol de cationes de metal alcalinotérreo, lo que proporciona un uso eficaz de la cantidad de base presente. Sin embargo, como se menciona anteriormente, el procedimiento de absorción lleva más tiempo, por tanto, que a valores de pH de más de 9 o incluso más de 10. Especialmente cuando se usan dispositivos absorbedores, tales como lavadores de pulverización o similares, se puede establecer absolutamente un pH de 10 a 11.

El tipo de carbonato que se enriquece en la solución, es decir, si es principalmente un hidrogenocarbonato o un carbonato, también determina la elección de las membranas de diálisis. Al usar el agua de una masa de agua estancada como la solución absorbente y establecer el valor de pH entre 8 y 9 en la solución del lado de diluido, lo que es preferente de acuerdo con la invención, en consecuencia, se usan preferentemente membranas de intercambiador iónico que sean selectivas para aniones monovalentes en etapa b), y, durante la diálisis, se obtienen una solución enriquecida con iones de hidrogenocarbonato y una solución empobrecida en los mismos.

Independientemente de qué especies iónicas se enriquecen en el lado de concentrado y se empobrecen en el lado de diluido en la etapa de diálisis b), la solución empobrecida en iones de (hidrógeno)carbonato, preferentemente iones de hidrogenocarbonato, obtenida de este modo se recicla a la etapa a) y, por lo tanto, circula en el procedimiento continuo de la presente invención para proporcionar un volumen de líquido sustancialmente constante en este (primer) ciclo.

La solución del lado de concentrado enriquecida con (hidrógeno)carbonato, preferentemente iones de hidrogenocarbonato, se somete a separación con vapor en la etapa c), para lo que se puede usar cualquier equipamiento o dispositivo adecuado, tal como evaporadores de película descendente u otros desorbedores, en el presente documento conjuntamente denominados "columnas de desorción", que tienen preferentemente un canal de suministro de vapor que se descarga en su parte inferior. En modos de realización preferentes de la invención, la separación con vapor se lleva a cabo en una columna de relleno y opcionalmente a presión insuficiente por motivos de eficacia, para favorecer la transición de fase del dióxido de carbono de la fase líquida a la fase vapor. De este modo, se obtienen una mezcla de dióxido de carbono/vapor de agua y una solución empobrecida en CO<sub>2</sub>.

A diferencia de la solución del al menos un catión de metal alcalino/metal alcalinotérreo en el absorbedor, en la que, como se menciona anteriormente, en ocasiones se pueden establecer valores de pH alto de más de 9 o incluso más de 10, es ventajoso que la solución que se obtiene como un concentrado en la etapa de diálisis y está empobrecida en iones de (hidrógeno)carbonato, preferentemente iones de hidrogenocarbonato, se establezca a un valor de pH bajo para promover la desorción. Como se muestra en la fig. 1, a un valor de pH que cae por debajo de 8, cada vez más el CO<sub>2</sub> absorbido está presente en forma de ácido carbónico, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, que tiende a descarboxilarse, liberando, por tanto, el CO<sub>2</sub> absorbido, es decir, desorbiéndolo de nuevo. En modos de realización preferentes de la invención, en este concentrado se establece, por tanto, un valor de pH de menos de 8,5, más preferentemente de menos de 8 o de menos de 7,5. Si se usara un intervalo ácido a un pH de menos de 7, esto daría lugar a problemas de presión en el conducto que va desde el separador a la columna de desorción debido a una desorción prematura, de modo que

serían necesarios conductos resistentes a la presión, que, sin embargo, incrementarían los requisitos de equipamiento y energía.

5 De acuerdo con la presente invención, la solución empobrecida en CO<sub>2</sub> y sometida a separación con vapor en la etapa c) se recicla, a continuación, a la etapa b) para enriquecerla, de nuevo, con iones de (hidrógeno)carbonato en el separador de diálisis, lo que, de nuevo, proporciona un volumen de líquido sustancialmente constante en este segundo ciclo.

10 De acuerdo con la invención, debido a los motivos anteriores, preferentemente se establece un pH entre 7 y 8,5, más preferentemente entre 7,5 y 8,5, en el segundo ciclo para suprimir la desorción antes de la separación con vapor y no interferir en la electrodiálisis. Para promover la descarboxilación del ácido carbónico en la columna de desorción, la solución enriquecida con iones de (hidrógeno)carbonato se puede calentar y/o se puede aplicar un vacío a la misma antes o durante la separación con vapor, lo que se explicará con más detalle a continuación.

15 La separación del agua de la mezcla de dióxido de carbono/agua obtenida en la etapa c) se logra en la etapa d) simplemente enfriando la mezcla para condensar el vapor de agua, lo que da como resultado agua líquida y gas dióxido de carbono más o menos todavía húmedo, que —dependiendo del uso previsto—, opcionalmente se puede secar adicionalmente.

20 En modos de realización preferentes del procedimiento según la invención, la solución relativamente fría obtenida en la etapa b) y enriquecida con iones de (hidrógeno)carbonato se calienta, como se menciona anteriormente, antes de la separación con vapor porque las mayores temperaturas también promueven la desorción de CO<sub>2</sub>. Esto se logra, en particular, por intercambio de calor con

25 i) la solución relativamente caliente que ya se ha sometida a separación con vapor, antes que se recicle a la etapa b); y/o

30 ii) la mezcla de dióxido de carbono/vapor de agua obtenida durante la separación con vapor para calentar la solución enriquecida con iones de (hidrógeno)carbonato antes de la separación con vapor y, al mismo tiempo, enfriamiento de la solución empobrecida en iones de (hidrógeno)carbonato a través de separación con vapor y/o enfriamiento de la mezcla de dióxido de carbono/vapor de agua para condensar el vapor de agua.

35 De esta manera, una gran parte de la energía térmica usada en el procedimiento se recicla al igual que las corrientes de líquido, lo que incrementa sustancialmente la eficacia energética. Esto se puede incrementar además en modos de realización preferentes reciclando el condensado obtenido enfriando la mezcla de dióxido de carbono/vapor de agua a la etapa b) y/o a la etapa c), para producir, de nuevo, vapor de agua para la separación con vapor de la misma.

40 En modos de realización preferentes, el procedimiento según la invención es, en particular, eficaz desde el punto de vista energético y respetuoso con el medioambiente al

i) usar el calor residual de una central eléctrica o fábrica para producir el vapor de agua en la etapa c) y/o para calentar la solución obtenida en la etapa b) y enriquecida con iones de (hidrógeno)carbonato antes de la separación con vapor en la etapa c); y/o

45 ii) usar CC de fuentes de energía renovables para la electrodiálisis.

50 En un segundo aspecto, la presente invención también proporciona una instalación para llevar a cabo continuamente un procedimiento para separar y recuperar dióxido de carbono del aire ambiental de acuerdo con el primer aspecto de la invención, en el que esta instalación comprende los siguientes dispositivos en comunicación fluida entre sí:

a) un absorbedor o canales de suministro y descarga hacia o desde una masa de agua estancada, respectivamente, para poner en contacto el aire ambiental con una solución acuosa de al menos un catión de metal alcalino o metal alcalinotérreo para absorber el dióxido de carbono en la solución formando el hidrogenocarbonato o carbonato de al menos un metal;

55 b) un separador de electrodiálisis que comprende una combinación de membranas de intercambiador iónico bipolares y membranas de intercambiador iónico selectivas para aniones mono- o multivalentes para llevar a cabo el intercambio iónico para obtener una solución enriquecida con iones de (hidrógeno)carbonato y una empobrecida en los mismos, así como un conducto para reciclar la solución empobrecida en iones de (hidrógeno)carbonato a a);

60 c) una columna de desorción para llevar a cabo la separación con vapor de la solución enriquecida con iones de (hidrógeno)carbonato para obtener una mezcla de dióxido de carbono/vapor de agua y una solución empobrecida en CO<sub>2</sub>, así como un conducto para reciclar la solución empobrecida en CO<sub>2</sub> a b) y medios para establecer un valor de pH alcalino en la salida de electrodiálisis; y

65

d) un condensador para separar agua de la mezcla de dióxido de carbono/vapor de agua obtenida a través de condensación, y opcionalmente un secador para el dióxido de carbono.

5 Por medio de una instalación de este tipo, el procedimiento de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención se puede llevar a cabo eficazmente, en el que de acuerdo con la invención cualquiera de los dispositivos mencionados en de a) a d) anteriormente, es decir, el absorbedor, el separador, la columna de desorción y el condensador, dependiendo de la respectiva implementación del procedimiento, se pueden proporcionar múltiples unidades de los mismos —conectadas en serie o en paralelo—. Esto significa que los términos "un absorbedor" y "el absorbedor" también se pueden interpretar como "al menos un absorbedor" o "el al menos un absorbedor", y lo mismo es cierto para el separador, la columna de desorción y el condensador, lo que se explicará con más detalle en los ejemplos a continuación.

15 De acuerdo con el modo de realización preferente del procedimiento descrito anteriormente, la instalación según la invención para obtener las ventajas descritas anteriormente se caracteriza preferentemente por uno o más —en particular todos— de los siguientes ocho rasgos característicos:

- 1) el absorbedor es un lavador de pulverización o una torre de pulverización;
- 2) el separador de electrodiálisis está provisto de membranas de intercambiador iónico bipolares y de membranas de intercambiador iónico selectivas para aniones monovalentes para solo dejar pasar iones de hidrogenocarbonato al lado de concentrado;
- 3) la columna de desorción es una columna de relleno;
- 25 4) la columna de desorción está conectada a un evaporador para introducir vapor de agua;
- 5) la columna de desorción está conectada a una bomba de vacío para producir una presión insuficiente en la misma;
- 6) entre el separador de electrólisis y la columna de desorción está provisto un dispositivo de calentamiento para calentar la solución enriquecida con iones de (hidrógeno)carbonato antes de la separación con vapor, en el que el dispositivo de calentamiento es preferentemente un intercambiador de calor para, antes de la separación con vapor, someter la solución relativamente fría enriquecida con iones de (hidrógeno)carbonato en el separador de electrodiálisis para un intercambio de calor con
  - 35 i) la solución relativamente caliente que ya se ha sometido a separación con vapor antes de reciclarla al separador de electrodiálisis para calentar la solución anterior y enfriar esta última solución; y/o
  - ii) la mezcla de dióxido de carbono/vapor de agua obtenida durante la separación con vapor, para calentarla y enfriar la mezcla de dióxido de carbono/vapor de agua para condensar el vapor de agua;
- 40 7) el condensador para reciclar el condensado obtenido durante el enfriamiento de la mezcla de dióxido de carbono/vapor de agua se
  - 45 i) conecta al separador de electrodiálisis por medio de un conducto; y/o
  - ii) conecta al evaporador por medio de un conducto para producir, de nuevo, vapor de agua a partir del condensado.

50 Se pueden lograr otros incrementos de eficacia energética y compatibilidad medioambiental de la instalación según la invención conectando la instalación —como también ya se ha explicado con respecto a la implementación del procedimiento—

- i) a una central eléctrica o fábrica por medio de los correspondientes conductos de tubería para utilizar su calor residual para producir el vapor de agua en la etapa c) y/o para calentar la solución obtenida en la etapa b) y enriquecida con iones de (hidrógeno)carbonato antes de la separación con vapor en la etapa c); y/o
- 55 ii) a una fuente de energía renovable por medio de una línea eléctrica para usar la CC producida allí de manera respetuosa con el medioambiente para la electrodiálisis en la etapa b).

#### 60 **Breve descripción de los dibujos**

La presente invención se describirá ahora con más detalle con referencia a modos de realización preferentes que, por supuesto, solo se proporcionan con propósitos ilustrativos y no se pretende que limiten la invención, un ejemplo de cálculo para el consumo de energía del procedimiento según la invención e instalación asociada, así como con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La fig. 1 es un gráfico que muestra el equilibrio dependiente del pH entre ácido carbónico, hidrogenocarbonato y carbonato en soluciones acuosas.

5 La fig. 2 es un diagrama de flujo de un modo de realización, en particular, preferente del procedimiento según la invención o la instalación según la invención.

La fig. 3 es una representación esquemática de una disposición preferente de membranas selectivas para aniones ("A") y bipolares ("AK") en un separador de electrodiálisis en la etapa b) del procedimiento.

## 10 Ejemplos

Los modos de realización preferentes para implementar el procedimiento según la invención o la instalación según la invención se pueden diseñar como se muestra esquemáticamente en la fig. 2. Los números de referencia en la misma tienen el siguiente significado, en la que los números de referencia de tres dígitos para conductos también se refieren a los vapores de fluidos transportados en los mismos.

### 15 Leyenda de la fig. 2:

20	01a	absorbedor / lago
	01b	absorbedor / lago
	01c	absorbedor / lago
25	06	entrada de diluido / salida de diluido en intercambiador de calor ("economizador")
	08	válvula - agua dulce para diluido
30	03	diluido para bomba de recirculación
	04	diluido de filtración / acondicionamiento
	05	electrodiálisis
35	13	concentrado para bomba de recirculación
	14	concentrado de filtración / acondicionamiento
40	21	entrada de concentrado / salida de concentrado en intercambiador de calor ("economizador")
	22	salida de concentrado en intercambiador de calor / CO <sub>2</sub> húmedo ("economizador")
	23	válvula de expansión
45	24	recipiente de expansión
	25	bomba de aspersion
50	26	columna de regeneración / columna de desorción
	27	evaporador
	28	válvula - agua dulce para concentrado
55	31	condensador / secador
	32	recipiente de condensado
60	33	bomba de vacío
	101	diluido, calentado
	103	diluido bajo presión incrementada
65	104	diluido, acondicionado / filtrado

## ES 2 968 641 T3

	105	diluido, reciclado para la absorción, caliente
5	106	diluido, reciclado para la absorción, frío
	107	absorbedor de conexión
	108	absorbedor de conexión
10	109	diluido, frío
	201	concentrado, frío
15	203	concentrado con presión incrementada
	204	concentrado, acondicionado / filtrado
	205	concentrado, reciclado para la desorción, frío
20	210	concentrado, calentado
	211	concentrado, calentado
25	212	concentrado, expandido
	213	concentrado después de la expansión en el recipiente de expansión
	214	concentrado, pulverizado
30	215	suministro de concentrado al evaporador
	216	mezcla de vapor/CO <sub>2</sub> para la regeneración
35	217	concentrado, regenerado
	231	CO <sub>2</sub> , húmedo, caliente
	233	CO <sub>2</sub> , húmedo, frío
40	234	CO <sub>2</sub> , seco
	235	CO <sub>2</sub> , seco, sin presión insuficiente
45	238	condensado
	239	retroalimentación de condensado a concentrado
	218	suministro de calor al evaporador
50	219	suministro de calor al evaporador
	241-242	agua dulce para concentrado
55	236-237	frío para secado en frío
	110-111	agua dulce para diluido

60 El procedimiento según la invención y la instalación según la invención comienzan, como se muestra en la parte superior de la fig. 2, con varios absorbedores 01a-c conectados en serie por medio de conductos 107 y 108 para absorber CO<sub>2</sub> del aire ambiental, que, en modos de realización preferentes, son agua de masas de agua natural o artificial, tal como lagos o estanques de cantera, o lavadores de pulverización o torres de pulverización, o una combinación de los mismos. En el caso de varios absorbedores, las soluciones contenidas en los mismos de al menos un catión de metal alcalino o de metal alcalinotérreo se pueden establecer en diferentes valores de pH, por ejemplo, conteniendo diferentes concentraciones de al menos un catión de metal alcalino o de metal alcalinotérreo o  
65 estableciendo los respectivos valores de pH de manera diferente, por ejemplo, por adición separada de ácidos o bases.

En particular, los cationes son —debido a una mejor solubilidad de los hidróxidos y carbonatos en comparación con los iones de metal alcalinotérreo— cationes de metal alcalino, más preferentemente iones de  $\text{Na}^+$  o  $\text{K}^+$  o una mezcla de los mismos. En el ejemplo de cálculo a continuación, se usan iones de  $\text{K}^+$ . Además, la solución puede contener aditivos en los absorbedores para incrementar la capacidad de sorción de la solución de absorción o la tasa de sorción, tales como alcoholes inferiores o formaldehído; sin embargo, estos no se requieren para el funcionamiento de la invención y no son preferentes por motivos de coste y medioambientales.

En la solución alcalina, se absorbe  $\text{CO}_2$  del aire ambiental —debido a absorción espontánea sin interferencia externa o bien a través de absorción acelerada, por ejemplo en una torre de pulverización— dependiendo del valor de pH de la solución para formar aniones de hidrogenocarbonato y/o carbonato. Preferentemente, se establece un pH entre 7,5 y 8,5 al usar uno o más masas de agua estancada, a cuyo pH el  $\text{CO}_2$  absorbido está presente principalmente como hidrogenocarbonato, lo que se puede observar en la representación gráfica del equilibrio entre ácido carbónico, hidrogenocarbonato y carbonato en la fig. 1. Un valor de mayor pH podría dar lugar a daños medioambientales. Si, por otra parte, se usan dispositivos de absorción tales como, por ejemplo, torres o lavadores de pulverización, se puede establecer preferentemente un pH sustancialmente mayor, por ejemplo, un valor de pH entre 10 y 11, para favorecer la absorción.

La solución alcalina del  $\text{CO}_2$  absorbido, a continuación, se somete a una etapa de diálisis y, para este propósito, se suministra a un separador de electrodiálisis 05. Esto se puede hacer directamente o, como se muestra en la fig. 2, preferentemente después de calentar y/o filtrar o acondicionar la solución. Por una parte, el calentamiento incrementa la transferencia de masa durante el procedimiento de diálisis y, por otra parte, se puede usar para este propósito el calor de una corriente de líquido que surge más adelante en el procedimiento, pero que se recicla a una etapa previa, que, de otro modo, se perdería como calor residual. En consecuencia, el calentamiento opcional se lleva a cabo preferentemente por medio de un intercambiador de calor 06, al que se suministra la solución alcalina del  $\text{CO}_2$  absorbido por medio de un conducto 109, y, en particular, el intercambio de calor se lleva a cabo con la solución empobrecida en iones de (hidrógeno)carbonato durante la diálisis, antes de que se reciclen a la etapa de absorción. La filtración opcional puede retirar, en gran medida, los contaminantes, ya que pueden aparecer especialmente cuando se usan masas de agua estancada como solución absorbente, de la solución antes de la diálisis, y el acondicionamiento en el presente documento se refiere a la adición opcional de reguladores de pH y/u otros aditivos para promover los procedimientos de absorción y desorción. En modos de realización preferentes, la filtración y el acondicionamiento se llevan a cabo sustancialmente de forma simultánea en un filtro/acondicionador 04 al que se suministra la solución alcalina del  $\text{CO}_2$  absorbido en la fig. 2 por medio del conducto 101, la bomba 03 y el conducto 103.

Desde allí, la solución calentada y filtrada/acondicionada alcanza, por medio de un conducto 104, el separador de electrodiálisis 05, donde se obtienen una solución empobrecida en iones de (hidrógeno)carbonato y otra enriquecida en los mismos. Con respecto a la elección preferente de un valor de pH de la solución alcalina en la etapa de absorción entre 10 y 11 de acuerdo con la invención —en el caso de usar lavadores de pulverización como absorbedores— se usa una combinación de membranas de intercambiador iónico selectivas para aniones "A" y membranas bipolares "AK" en el separador de electrodiálisis 05 para llevar a cabo la diálisis como se muestra en la fig. 3. Si, por otra parte, en agua estancada como solución de absorción se establece, por ejemplo, un pH de solo entre 7,5 y 8,5, en el que el  $\text{CO}_2$  absorbido está presente principalmente como hidrogenocarbonatos y solo en muy poca medida como carbonatos, se pueden usar membranas de intercambiador iónico selectivas solo para aniones monovalentes en lugar de membranas selectivas para aniones "A" para enriquecer o empobrecer selectivamente solo el hidrogenocarbonato en el lado de dilatado o lado de concentrado, respectivamente.

El concentrado obtenido, por tanto, en el separador 05 se hace pasar a la siguiente etapa, separación con vapor, por medio de un conducto 205, mientras el diluido empobrecido en  $\text{CO}_2$ , que normalmente se calienta durante la diálisis a través de la solución caliente preferentemente reciclada de la separación con vapor, se recicla por medio del conducto 105 al intercambiador de calor 06, donde libera su calor a la solución alcalina del  $\text{CO}_2$  absorbido antes de que alcance la etapa de diálisis, y posteriormente se recicla, de vuelta, por medio del conducto 106 a los absorbedores de 01a a 01c. Para equilibrar cualquier pérdida de agua en este ciclo de solución de absorbedor, preferentemente se proporciona un conducto de suministro de agua que consiste en los conductos 110 y 111 con una válvula 08 entre los mismos.

El envío de la solución enriquecida con iones de (hidrógeno)carbonato al separador de electrodiálisis para la separación con vapor por medio del conducto 205 se puede realizar, de nuevo, directamente o, en modos de realización preferentes de la presente invención, someterse a diversas operaciones antes, en particular, preferentes a un intercambio de calor, en particular, con uno o más vapores de procedimiento que surgen de la separación con vapor, para calentarlos antes de que entren en la columna de desorción 26 e incrementar, por tanto, la desorción. Además, la solución que se somete a presión en exceso durante el bombeo también se puede someter a una etapa de expansión con el mismo propósito.

En la fig. 2 se muestra una combinación de ambas medidas: por medio del conducto 205, la solución enriquecida pasa, en primer lugar, desde el separador de electrodiálisis 05 a un intercambiador de calor 21, donde se somete a

intercambio de calor con la solución alcalina reciclada de la separación con vapor por medio del conducto 217 y, a continuación, se suministra por medio del conducto 210 a otro intercambiador de calor 22, donde se somete a intercambio de calor con una mezcla gaseosa caliente de vapor de agua y dióxido de carbono obtenida durante la separación con vapor, que se suministra al intercambiador de calor 22 por medio del conducto 231. A continuación, la solución calentada, por tanto, se suministra por medio de los conductos 211 y 212 y la válvula 23 a un recipiente de expansión 24 para expandirlos. Cualquier CO<sub>2</sub> ya desorbido durante esta expansión se conduce desde el recipiente de expansión 24 por medio del conducto 232 al conducto 231 y, por tanto, a la mezcla gaseosa de CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O suministrada al intercambiador de calor 22. A continuación, la solución expandida se alimenta, por medio del conducto 213 y 214 y la bomba de aspersión 25, a la columna de desorción 26 para someterse allí a separación con vapor.

Preferentemente, un evaporador 27 está conectado a la columna de desorción 26, cuyo evaporador genera el vapor de agua requerido para la separación con vapor, alimentándose dicho vapor a la columna por medio del conducto 216. Aquí, el evaporador se hace funcionar preferentemente con calor residual de una central eléctrica o de incineración, como se muestra parcialmente en la fig. 2 por medio de los conductos 218 y 219. De forma alternativa o además, el calor de la mezcla gaseosa caliente de CO<sub>2</sub> y el vapor de agua en la columna de desorción se puede alimentar por medio de un intercambiador de calor al evaporador 27.

En la columna de desorción 26, que preferentemente es una columna de relleno, como se indica en la fig. 2 por sombreado, la solución precalentada enriquecida con iones de (hidrógeno)carbonato se conduce como una contracorriente al vapor de agua caliente ascendente, lo que da lugar a una descarboxilación y desorción del CO<sub>2</sub> disuelto como (hidrógeno)carbonato y a la formación de la mezcla gaseosa caliente mencionada de dióxido de carbono y vapor de agua, que sale de la columna por medio del conducto 231. Además, se puede reducir el pH en la solución de (hidrógeno)carbonato para favorecer la desorción, por ejemplo, introduciendo HCl gaseoso o acuoso, lo que, sin embargo, no es preferente por motivos de coste y medioambientales.

La solución alcalina empobrecida en CO<sub>2</sub> se recicla, directamente —o después de un intercambio de calor previo con la solución que se va a desorber en el intercambiador de calor 21— a la etapa de diálisis o bien, en primer lugar, de nuevo, a la columna de desorción 26, para completar la desorción, antes de que se recicle al separador de electrodiálisis 05. La última variación se muestra en la fig. 2: la solución sometida a desorción se alimenta por medio del conducto 215 al evaporador 27, donde se usa para producir vapor de agua para la separación con vapor, en la que el CO<sub>2</sub> todavía disuelto en este momento se desorbe simultáneamente, de modo que ya aquí se forma una mezcla gaseosa caliente de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O —aunque con un contenido relativamente menor de CO<sub>2</sub> que en la columna—, que se alimenta a la columna de desorción 26 como "vapor de agua" como se menciona anteriormente y se somete a otra desorción, lo que en el presente documento se llama "regeneración". Al mismo tiempo, sin embargo, parte de la solución se extrae continuamente del evaporador 27 y por medio del conducto 217 al separador 05, en el que esta parte de la solución sometida a desorción varias veces se llama "regenerado".

En el camino de vuelta a la electrodiálisis, la solución reciclada 217, como se menciona, se somete en el intercambiador de calor 21 a un intercambio de calor con la solución 205 de la etapa de diálisis que todavía se tiene que someter a separación con vapor para calentar esta última antes de la separación con vapor. Desde allí, alcanza, por medio del conducto 201 y 203 y la bomba 13, preferentemente también, es decir, como la solución ciclada del lado de diluido, un filtro/acondicionador 14 para retirar los contaminantes antes de la diálisis y opcionalmente establecer el valor de pH, y desde allí por medio de conducto 205 el separador de electrodiálisis 05. Opcionalmente, la cantidad de agua de la solución así circulada se puede complementar con un suministro de agua (no mostrado). Preferentemente, en el procedimiento según la invención, sin embargo, este complemento se añade en otro material reciclado, a saber, el vapor de agua que se drena de la columna 26 conjuntamente con el CO<sub>2</sub> desorbido como una mezcla gaseosa. En modos de realización preferentes, como se menciona anteriormente, se alimenta por medio del conducto 231 a un intercambiador de calor 22, donde da parte del calor a la solución que se enriqueció con iones de (hidrógeno)carbonato en la etapa de diálisis y todavía se tiene que someter a separación con vapor, después de lo que se alimenta a un enfriador 31 para condensar el agua de la mezcla y, por tanto, obtener CO<sub>2</sub> en gran medida libre de agua. Este último se extrae del procedimiento por medio de los conductos 234 y 235, así como la bomba 33, en el que —dependiendo de del propósito previsto— se puede someter a un secado adicional.

El enfriador 31 se puede hacer funcionar, por ejemplo, con el agua fría de un flujo de agua natural (o también agua estancada). El agua condensada que surge y se recoge en el recipiente de condensado 32, de acuerdo con la presente invención, preferentemente se alimenta de vuelta por medio del conducto 239 al material reciclado 201 extraído del intercambiador de calor 21 en su camino de vuelta a la diálisis y, por tanto, se recicla, donde aquí se proporciona preferentemente el suministro de agua adicional por medio de los conductos 241 y 232, así como la válvula 28, para mantener constante el volumen de solución.

A través de estas etapas de procedimiento en circulación de agua en dos ciclos en el lado de dilatado o de condensado, respectivamente, del separador de electrodiálisis, el procedimiento de la presente invención se puede ejecutar de manera altamente eficaz, lo que se mostrará claramente en el ejemplo de cálculo a continuación. Sin embargo, se debe entender que el procedimiento descrito en detalle anteriormente y la instalación asociada de la presente invención también se pueden poner en práctica con numerosas variaciones, siempre que estén dentro del alcance

definido por las reivindicaciones adjuntas.

5 Por ejemplo, el separador de electrodiálisis 05, dependiendo de la configuración técnica, puede estar provisto de diversos agregados laterales convencionales, por ejemplo, bombas de recirculación interna para intensificar el transporte de iones y/o sistemas antiincrustaciones (por ejemplo, alternando la polaridad eléctrica). Puesto que durante el funcionamiento prolongado de la instalación, los defectos de la membrana en el separador pueden dar lugar al enriquecimiento de iones de metal en uno de los ciclos, la electrodiálisis se puede llevar a cabo adicionalmente usando bombas adicionales para equilibrar periódica o continuamente los iones de metal en el diluido o en el concentrado. Sin embargo, los modos de realización, en particular, preferentes del procedimiento según la invención y de la instalación según la invención comprenden dos ciclos de líquido.

**Ejemplo de cálculo**

15 En este ejemplo, se calculó un modelo del procedimiento según la invención y de la instalación según la invención como se muestra en la fig. 2 en base a datos empíricos y con asistencia por ordenador para poder estimar el consumo de energía requerido.

El modelo se basa en los siguientes supuestos:

- 20 - Es invierno y la temperatura ambiental es de 10 °C. Puesto que la solubilidad de los gases en líquidos se incrementa al disminuir las temperaturas, el procedimiento según la invención se puede usar absolutamente al aire libre a temperaturas muy bajas.
- 25 - El absorbedor es una gran cuenca artificial de la que se extrae una solución acuosa de (hidrógeno)carbonato en tres lugares, de 01a a 01c.
- La solución de absorción alcalina es una solución de potasa cáustica al 20 % (% en peso) disponible comercialmente, tal como las usadas como soluciones de electrolitos, que tiene un pH de aproximadamente 10,5.
- 30 - El valor de pH solo se establece en la cuenca de absorción y se regula por sí mismo durante el transcurso adicional del procedimiento por el establecimiento del equilibrio dependiendo de la presión parcial del CO<sub>2</sub> del aire ambiental.
- El calor requerido para producir vapor se proporciona en forma de energía eléctrica.
- 35 - La desorción tiene lugar a una presión insuficiente de 460 mbara (presión absoluta en mbar).
- El enfriamiento requerido para hacer funcionar el condensador 31 se proporciona a través de energía eléctrica.

40 Todas las suposiciones adicionales y parámetros seleccionados o establecidos (automáticamente) se muestran en la tabla 1 de forma anexa.

Tabla 1

Descripción	Ref. n.º	Parámetro	Unidad	Valor nominal	Intervalo	Comentario
Atmósfera	01a...01c	Contenido de CO <sub>2</sub>	vol. ppm	450	de 190 a 1000	la invención también se puede poner en práctica bajo cero
		temperatura	°C	+10	de -30 a +40	
Entrada de diluido después de la absorción de CO <sub>2</sub>	109...104	solución con contenido de sal	% en peso	~20	de 1 a 40	
		concentración de HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mol/l	0,44	de 0,04 a 0,9	
		concentración de CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mol/l	1,5	de 0,15 a 3,0	
		temperatura de solución en 104	°C	17	de 5 a 40	
		valor de pH de solución	-	10,4	de 8 a 11,5	
Salida de diluido	105...106	concentración de HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mol/l	~0	de 0 a 0,1	
		concentración de CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mol/l	1,72	de 0,17 a 5,5	

ES 2 968 641 T3

Descripción	Ref. n.º	Parámetro	Unidad	Valor nominal	Intervalo	Comentario
Electrodialísis	05	empobrecimiento de $\text{HCO}_3^-$ en el diluido	mol/l	0,22	de 0,02 a 0,5	para membranas selectivas
		empobrecimiento de $\text{CO}_3^{2-}$ en el diluido	mol/l	~0	~de 0 a 0,5	
		transición de $\text{CO}_2$ de diluido a concentrado	$\text{Nm}^3 \text{CO}_2 / \text{m}^3$	4,9	de 0,4 a 12	para aniones monovalentes en relación con $1 \text{ m}^3$ de corriente de diluido
		<b>consumo de energía</b>	<b>kWh/Nm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub></b>	<b>3,5</b>	<b>de 2,4 a 6,0</b>	
Salida de concentrado	205...214	solución con contenido de sal	% en peso	~20	de 10 a 40	normalmente < 0,4
		concentración de $\text{HCO}_3^-$	mol/l	3,0	de 1,7 a 6,1	
		concentración de $\text{CO}_3^{2-}$	mol/l	0,21	de 0,05 a 1,2	
		corrientes de volumen de relación	-	0,3	de 0,1 a 1,2	
		concentrado/diluido	°C	19	de 15 a 40	
		temperatura de concentrado en 205	°C	73	de 60 a 125	
		temperatura de concentrado en 210	°C	76	de 60 a 125	
		temperatura de concentrado en 211	-	8,5	de 8 a 9,5	
Desorción / regeneración	26, 27	temperatura de columna	°C	80	de 70 a 130	
		presión de columna	mbara	470	de 300 a 1500	
		cantidad de vapor producido	$\text{kg/Nm}^3 \text{CO}_2$	1,6	de 1,2 a 3,8	
		<b>requisito térmico</b>	<b>kWh/Nm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub></b>	<b>1</b>	<b>de 0,8 a 2,1</b>	
mezcla gaseosa de $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$	231...233	porción de $\text{CO}_2$ en la mezcla	% en volumen	34	de 12 a 59	
Entrada de concentrado	201...204	concentración de $\text{HCO}_3^-$	mol/l	1,74	de 0,93 a 2,6	
		concentración de $\text{CO}_3^{2-}$	mol/l	0,85	de 0,35 a 2,1	
		temperatura en 204	°C	22		
Condensador, mezcla gaseosa de $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$	31, 234	mezcla gaseosa después del enfriamiento	°C	4	de 2 a 8	
		temperatura	°C	96	de 85 a 99	
		porción de $\text{CO}_2$ en la mezcla	% en volumen	0,22	<b>de 0,15 a 0,4</b>	
		<b>enfriamiento con consumo de energía</b>	<b>kWh/NM<sup>3</sup> CO<sub>2</sub></b>			
Recuperación de calor	21, 22	<b>pérdida de calor específica</b>	<b>kWh/Nm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub></b>	<b>0,41</b>	<b>de 0,27 a 0,9</b>	

Descripción	Ref. n.º	Parámetro	Unidad	Valor nominal	Intervalo	Comentario
		<b>total</b>				
Generación de presión insuficiente	33	lado de succión de presión	mbara	460	de 300 a 1000	
		lado de presión de presión	mbara	1100	de 950 a 1500	
		<b>consumo de energía</b>	<b>kWh/Nm³ CO₂</b>	<b>0,08</b>	<b>de 0,05 a 0,1</b>	
<b>Requisito de energía total</b>		<b>energía eléctrica</b>	<b>kWh/Nm³ CO₂</b>	<b>3,8</b>	<b>de 2,6 a 6,5</b>	
		<b>energía térmica</b>	<b>kWh/Nm³ CO₂</b>	<b>1,41</b>	<b>de 1,07 a 3,0</b>	

En la tabla se puede observar que por metro cúbico estándar de CO<sub>2</sub> que se absorbe de la atmósfera y se recupera como gas puro al 96 % (resto: H<sub>2</sub>O) en la posición 235 de la fig. 2, solo se requieren cantidades relativamente bajas de energía eléctrica de 3,8 kWh y de energía térmica de 1,41 kWh.

5 Además, la energía térmica requerida para la producción de vapor en el evaporador 27 se podría obtener, como se menciona anteriormente, a partir del calor residual de una central eléctrica (o fábrica) cercana a la instalación según la invención y la energía requerida para el enfriamiento en el condensador 31 se podría proporcionar al menos parcialmente usando el agua ya relativamente fría de un río o lago cercano, lo que reduciría además los costes para la recuperación de CO<sub>2</sub>.

10 La presente invención proporciona, por tanto, un procedimiento extraordinariamente eficaz y económico y una instalación asociada por medio de la que se puede recuperar continuamente dióxido de carbono del aire y en una pureza comparativamente alta.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para separar y recuperar dióxido de carbono del aire ambiental, que comprende la implementación continua de las siguientes etapas:
- 5 a) puesta en contacto del aire ambiental con una solución acuosa (01) de al menos un catión de metal alcalino o alcalinotérreo para absorber dióxido de carbono en la solución mientras se forma un hidrogenocarbonato o carbonato de al menos un metal;
- 10 b) electrodiálisis (05) de la solución (109, 104) obtenida de este modo usando una combinación de membranas de intercambio iónico bipolares y membranas de intercambio iónico selectivas para aniones mono- o polivalentes (A, AK) para obtener una solución enriquecida en iones de (hidrógeno)carbonato y una empobrecida en los mismos (205; 105), en el que la solución empobrecida en iones de (hidrógeno)carbonato (105) se recicla a la etapa a);
- 15 c) desorción térmica (26) del dióxido de carbono de la solución enriquecida en iones de (hidrógeno)carbonato (205) obtenida en la etapa (b) por medio de separación con vapor para obtener una mezcla de dióxido de carbono/vapor de agua (231) y una solución empobrecida en CO<sub>2</sub> (215) que se recicla a la etapa b), en el que se establece un pH alcalino en la salida de la electrodiálisis; y
- 20 d) separación de agua (31) de la mezcla de dióxido de carbono/vapor de agua (231) obtenida por medio de enfriamiento para condensar el vapor de agua y, opcionalmente, secado adicional del dióxido de carbono.
2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que en la etapa a) se usa como solución del al menos un catión de metal alcalino o alcalinotérreo agua de un lago natural o artificial con una concentración suficientemente alta de iones de metal alcalino o alcalinotérreo, por ejemplo, un estanque de cantera o un lago minero, en el que la concentración de iones es suficiente para dar como resultado un pH del agua de al menos 7,5 y se preestablece opcionalmente añadiendo una base.
- 25 3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que en la etapa a) la solución acuosa de al menos un catión de metal alcalino o alcalinotérreo se pone en contacto con aire ambiental en un lavador de pulverización o torre de pulverización (01).
- 30 4. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que en la etapa b) se usan membranas de intercambio iónico selectivas en combinación con las membranas de intercambio iónico bipolares para aniones monovalentes, y se obtienen una solución enriquecida en iones de hidrogenocarbonato y una empobrecida en los mismos (205; 105).
- 35 5. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que la separación con vapor en la etapa c) se lleva a cabo en una columna de relleno (26), opcionalmente a presión negativa.
- 40 6. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que la solución relativamente fría (205) enriquecida en iones de (hidrógeno)carbonato obtenida en la etapa b), antes de la separación con vapor, se somete a intercambio de calor (21; 22) con
- 45 i) una solución relativamente caliente (217) previamente sometida a separación con vapor antes de que se recicle a la etapa b), para calentar la primera solución y enfriar la segunda solución; y/o
- 50 ii) la mezcla de dióxido de carbono/vapor de agua (231) obtenida durante la separación con vapor para calentarla y enfriar la mezcla de dióxido de carbono/vapor de agua para condensar el vapor de agua.
- 55 7. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que el condensado (238) obtenido durante el enfriamiento de la mezcla de dióxido de carbono/vapor de agua se recicla a la etapa b) (239) y/o a la etapa c) y, de nuevo, se genera vapor de agua a partir del mismo para la separación con vapor.
- 60 8. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 caracterizado por que
- i) para generar vapor de agua en la etapa c) y/o para calentar la solución enriquecida en iones de (hidrógeno)carbonato (205) obtenida en la etapa b) antes de la separación con vapor en la etapa c), se usa calor residual de una central eléctrica o una fábrica (218); y/o
- 65 ii) para la electrodiálisis (05) en la etapa b), se usan corrientes continuas de fuentes de energía renovables.
9. Una central para la implementación continua de un procedimiento para separar y recuperar dióxido de carbono del aire ambiental de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 que comprende los siguientes dispositivos o secciones de la central que están en comunicación fluida entre sí por medio de canales de conexión

correspondientes:

- 5 a) un absorbedor (01) o canales de entrada y salida (109; 106) desde o hacia una masa de agua estancada para poner en contacto el aire ambiental con una solución acuosa de al menos un catión de metal alcalino o alcalinotérreo para absorber dióxido de carbono en la solución mientras se forma un hidrogenocarbonato o carbonato de al menos un metal;
- 10 b) un separador de electrodiálisis (05) que comprende una combinación de membranas de intercambio iónico bipolares y membranas de intercambio iónico selectivas para aniones mono- o polivalentes (A, AK) para llevar a cabo el intercambio iónico y obtener una solución enriquecida en iones de (hidrógeno)carbonato y una empobrecida en los mismos (205; 105), así como un canal (105, 106) para reciclar la solución empobrecida en iones de (hidrógeno)carbonato (105) a a);
- 15 c) una columna de desorción (26) para llevar a cabo la separación con vapor con la solución enriquecida en iones de (hidrógeno)carbonato (205) para obtener una mezcla de dióxido de carbono/vapor de agua (231) y una solución empobrecida en CO<sub>2</sub> (215), así como un canal (217, 201, 203, 204) para reciclar la solución empobrecida en CO<sub>2</sub> (215) a b) y medios (14) para establecer el valor de pH alcalino en la salida de la electrodiálisis; y
- 20 d) un condensador (31) para separar agua de la mezcla dióxido de carbono/vapor de agua (231) obtenida por medio de condensación y opcionalmente un secador para el dióxido de carbono.
10. La central de acuerdo con la reivindicación 9, caracterizada por que el absorbedor (01) es un lavador de pulverización.
- 25 11. La central de acuerdo con la reivindicación 9 o 10, caracterizada por que entre el separador de electrodiálisis (05) y la columna de desorción (26) está previsto un dispositivo de calentamiento (21) para calentar la solución enriquecida en iones de (hidrógeno)carbonato antes de la separación con vapor.
- 30 12. La central de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, caracterizada por que la columna de desorción (26) para introducir vapor de agua está conectada a un evaporador (27) y/o a una bomba de vacío (33) para producir presión negativa en la misma.
- 35 13. La central de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, caracterizada por que el dispositivo de calentamiento (21) es un intercambiador de calor para someter la solución relativamente fría enriquecida en iones de (hidrógeno)carbonato (205) en el separador de electrodiálisis (05) a intercambio de calor (21; 22) antes de la separación con vapor con
- 40 i) la solución relativamente caliente (217) previamente sometida a separación con vapor antes de que se recicle al separador de electrodiálisis (05) para calentar la primera solución (205) y enfriar la segunda solución (217); y/o
- ii) la mezcla de dióxido de carbono/vapor de agua (231) obtenida durante la separación con vapor para calentarla y enfriar la mezcla de dióxido de carbono/vapor de agua (231) para condensar el vapor de agua.
- 45 14. La central de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, caracterizada por que después de reciclar el condensado (238) obtenido durante el enfriamiento de la mezcla de dióxido de carbono/vapor de agua, el condensador (31) se
- i) conecta al separador de electrodiálisis (05) por medio de un canal (239, 201, 203, 204); y/o
- 50 ii) se conecta al evaporador (27) por medio de un canal para generar, de nuevo, vapor de agua a partir del condensado.

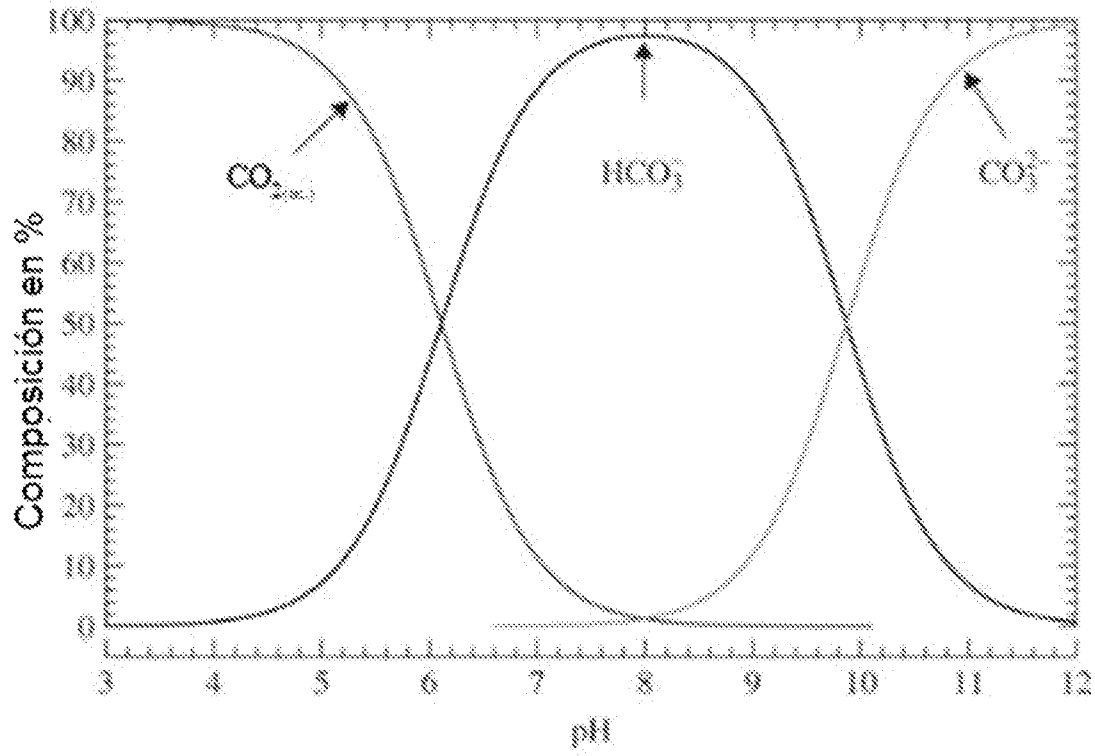


Figura 1

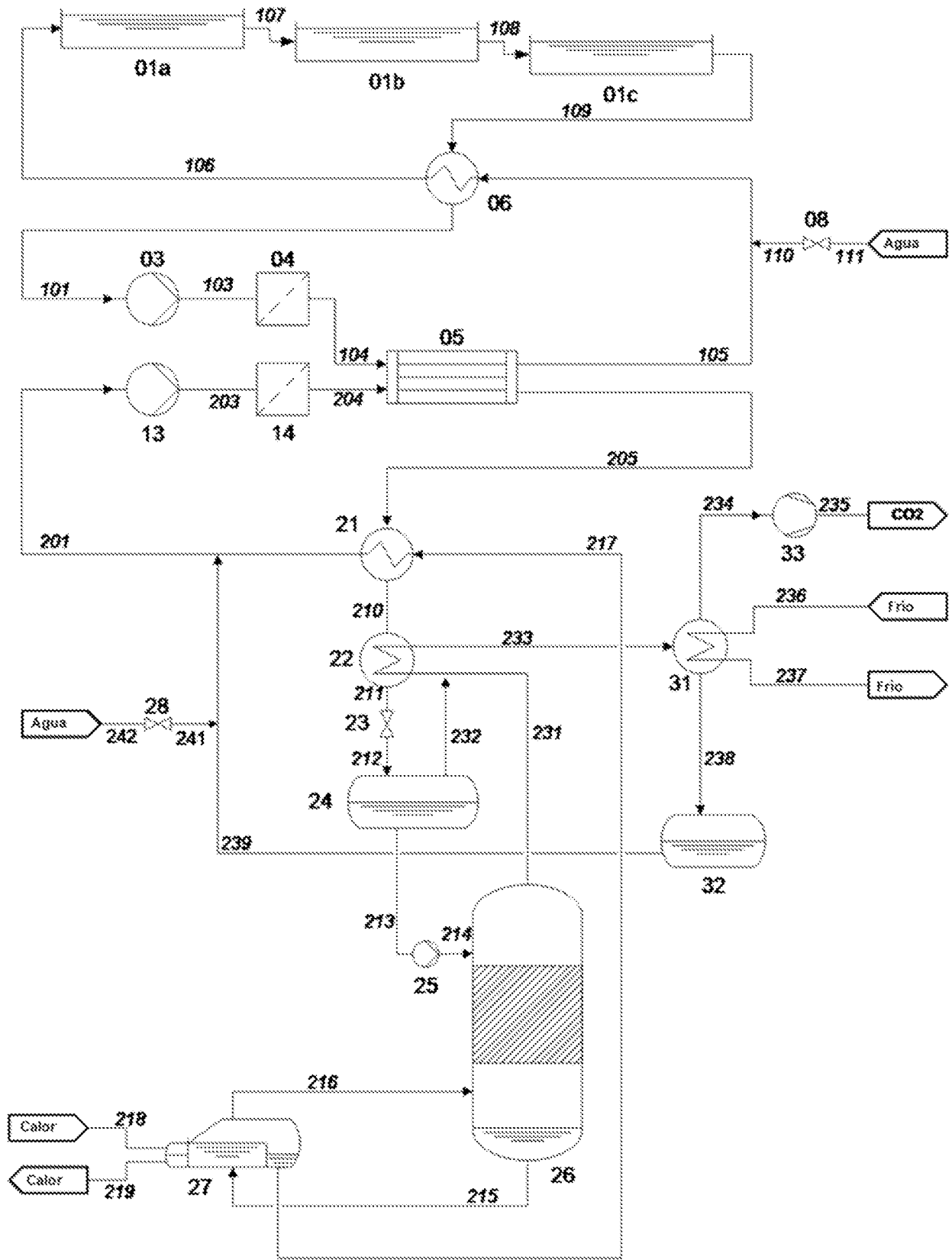


Figura 2

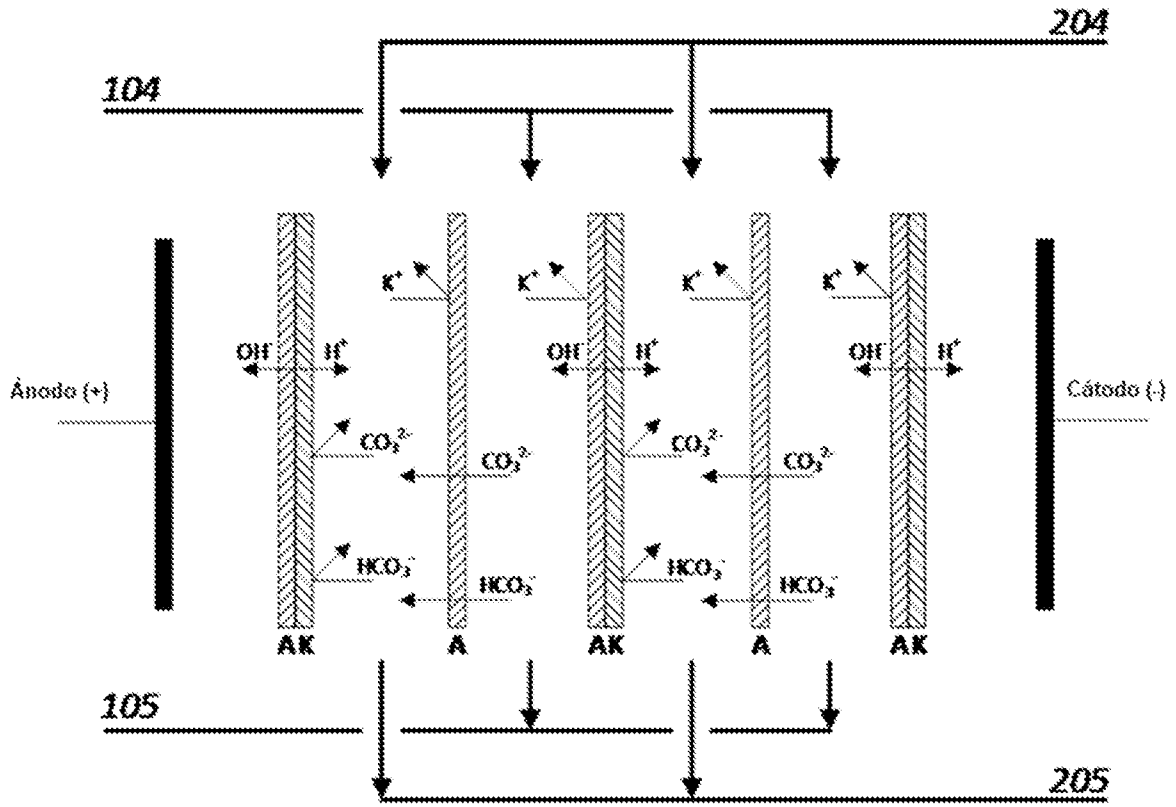


Figura 3