

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 638 792**

51 Int. Cl.:

B01D 53/02 (2006.01)

B01D 53/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.07.2006** E 11008476 (1)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.07.2017** EP 2409753

54 Título: **Eliminación de dióxido de carbono del aire**

30 Prioridad:

28.07.2005 US 703097 P

28.07.2005 US 703098 P

28.07.2005 US 703099 P

28.07.2005 US 703100 P

02.08.2005 US 704791 P

19.10.2005 US 728120 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.10.2017

73 Titular/es:

CARBON SINK INC. (100.0%)

46 Green Street

Huntington, NY 11743, US

72 Inventor/es:

WRIGHT, ALLEN B.;

LACKNER, KLAUS S.;

WRIGHT, BURTON;

WALLEN, MATT y

GINSTER, URSULA

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 638 792 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

Eliminación de dióxido de carbono del aire

5 La presente invención se refiere a la eliminación de dióxido de carbono del aire ambiente.

10 La extracción de dióxido de carbono (CO₂) del aire ambiente haría posible usar combustibles basados en carbono y tratar las emisiones de gases de invernadero asociadas después del hecho. Como el CO₂ ni es venenoso ni perjudicial en cantidades de partes por millón, pero crea problemas medioambientales simplemente por la acumulación en la atmósfera, se desea eliminar el CO₂ del aire con el fin de compensar las emisiones en cualquier parte y en momentos diferentes. El esquema global de la captura de aire es muy conocido.

15 La producción de CO₂ se produce en una variedad de aplicaciones industriales tales como la generación de plantas de energía eléctrica a partir de carbón y en el uso de hidrocarburos que normalmente son los principales componentes de los combustibles que son quemados en los dispositivos de combustión, tales como motores. Los gases de escape descargados de tales dispositivos de combustión contienen gas CO₂, que actualmente es simplemente liberado a la atmósfera. Sin embargo, a medida que aumentan las preocupaciones por los gases de invernadero, las emisiones de CO₂ de todas las fuentes tendrán que ser limitadas. Para fuentes móviles, es probable que la mejor opción sea la recogida de CO₂ directamente del aire en vez de del dispositivo de combustión móvil en un coche o un avión. La ventaja de eliminar el CO₂ del aire es que elimina la necesidad de almacenar el CO₂ en el dispositivo móvil.

25 Se han desarrollado diversos métodos y aparatos para eliminar el CO₂ del aire. En uno de éstos, se lava aire con una solución alcalina o sorbente en tanques llenos de lo que se denominan anillos de Raschig. Para la eliminación de pequeñas cantidades de CO₂, también se han usado absorbentes de gel. Aunque estos métodos son eficientes en eliminar el CO₂, tienen una grave desventaja, porque para que ellos eliminen eficientemente dióxido de carbono del aire, el aire debe ser conducido por el sorbente a una presión bastante alta, debido a que se producen pérdidas de presión relativamente altas del proceso de lavado. Además, con el fin de obtener el aumento de presión, se requieren medios de compresión de alguna naturaleza y estos medios gastan una cierta cantidad de energía. Esta energía adicional usada en comprimir el aire pueden tener un efecto particularmente desfavorable con respecto al equilibrio global del dióxido de carbono del proceso, ya que la energía requerida para aumentar la presión del aire produciría su propio CO₂ que tendría que ser capturado y desechado.

30 Así, como los métodos del estado de la técnica producen la captura ineficiente de CO₂ del aire debido a que estos procesos calientan o enfrían el aire, o cambian la presión del aire por cantidades sustanciales, es decir, la reducción neta en CO₂ es despreciable a medida que el proceso de limpieza introduce CO₂ en la atmósfera como un subproducto de la generación de electricidad usada para proporcionar energía al proceso.

35 Además, aunque ya existen diseños de lavadores para separar CO₂ del aire, generalmente están limitados a implementaciones de tipo lecho relleno cuyo objetivo es normalmente eliminar todas las trazas de una impureza de otro gas. Un dispositivo tal, descrito en la patente de EE.UU. 4.047.894, contiene elementos de absorción que comprenden placas sinterizadas porosas hechas de poli(cloruro de vinilo) (PVC) o espuma de carbono ensambladas separadas entre sí en una carcasa. Antes de que las placas sean ensambladas en la carcasa, se impregna hidróxido potásico en las placas porosas. Un dispositivo tal tiene la desventaja que el material sorbente usado para separar el CO₂ del aire no puede ser repuesto sin desensamblar la carcasa del dispositivo.

40 El documento US 6.364.938 A se refiere a un sistema de sorbente y método de absorción de dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera de un entorno habitable cerrado. Un sorbente de dióxido de carbono (CO₂) de alta capacidad regenerable es operado para eliminar sustancialmente todo el CO₂ presente en tanto un entorno seco, como uno húmedo. El sorbente es un compuesto de amina que está compuesto predominantemente de grupos de amina secundaria, e incluye uno o más grupos nitrilo funcionales. Grupos amina primaria y terciaria forman un porcentaje menor del sorbente.

45 El documento US 5.876.488 A se refiere a un sorbente de amina sólido regenerable. El sorbente de amina soportado tiene una concentración de amina de aproximadamente el 35 % en peso a aproximadamente el 75 % en peso. El equilibrio del sorbente es un soporte poroso que proporciona al sorbente la rigidez estructural y una superficie para el contacto gas/sólido. El documento proporciona además un proceso de preparación del sorbente y sistema para absorber cíclicamente y desorber el dióxido de carbono usando una pluralidad de lechos de sorbente.

50 El documento US 6.547.854 B1 desvela un método de preparación de sorbentes de CO₂ de bajo coste que pueden usarse en procesos gas-sólido a gran escala. El método implica tratar un sustrato sólido con ácido o base y, simultáneamente o posteriormente, con una sal de amina sustituida. El método está previsto para eliminar la necesidad de disolventes orgánicos y materiales poliméricos para la preparación de sistemas de captura de CO₂.

65 El documento US 6.908.497 B1 proporciona sorbentes de CO₂ de bajo coste que pueden usarse en procesos gas-sólido a gran escala. Además, se proporciona un método de preparación de estos sorbentes que implica tratar

- 5 sustratos con una amina y/o un éter de manera que la amina y/o el éter comprendan al menos el 50 por ciento en peso del sorbente. El sorbente actúa capturando compuestos contenidos en fluidos gaseosos mediante quimisorción y/o fisorción entre las capas unitarias de la redícula del sustrato donde se localizan los líquidos y sólidos de amina polar y/o líquidos y sólidos de éter polar. El método debe eliminar la necesidad de soportes superficiales de alta área y materiales poliméricos para la preparación de sistemas de captura de CO₂, y debe proporcionar sorbentes con capacidades de absorción que son independientes de las áreas superficiales del sorbente.
- 10 El documento US 4.810.266 A se refiere a materiales para la eliminación de gases ácidos tales como dióxido de carbono del aire. El material es un tamiz molecular de carbono preparado a partir de precursores libres de oxígeno carbonizados en ausencia de oxígeno. Los poros del material se agrandan entonces como por vapor a alta temperatura. Entonces se usan aminas de alcohol para conferir una funcionalidad de amina a los materiales. Un gas que va a tratarse se pone en contacto con este material a temperatura ambiente y presión atmosférica, siendo el gas adsorbido liberado calentando a una temperatura moderada.
- 15 El documento JP 60-227822 desvela un dispositivo de eliminación del gas dióxido de carbono. Una sustancia orgánica de tipo amina tal como polietilenimina se recubre sobre la superficie de un material poroso tal como alúmina para obtener una sustancia, que se moldea en un sorbente sólido que tiene una forma de redícula. El diámetro de la redícula es 2-10 veces la longitud del diámetro representativo del adsorbente sólido. El gas respiratorio en un espacio cerrado se pasa a través del sorbente en forma de redícula con el fin de absorber CO₂.
- 20 El documento JP 2-187153 A se refiere a un método de regeneración para resinas de intercambio iónico basadas en amina para adsorber dióxido de carbono. Se genera una amina sólida introduciendo vapor de la parte inferior de una torre de adsorción, y se libera CO₂ y se guarda en un tanque de almacenamiento. La presión del vapor se monitoriza para controlar el proceso de regeneración.
- 25 El documento DE 19830470 C1 se refiere a un sistema regenerativo para la adsorción de CO₂ metabólicamente producido. Una resina de intercambio iónico macro-porosa usada como material a granel se expone a un entorno que contiene CO₂. La resina de intercambio iónico comprende un polímero de estireno que está reticulado con divinilbenceno y contiene grupos funcionales bencilamina primarios. La concentración de grupos funcionales está entre 2 y 3 mol/l.
- 30 El documento US 5.797.979 A desvela un método de eliminación selectiva de gases ácidos de una mezcla de gases de un proceso industrial poniendo en contacto dicha mezcla de gases con una resina de intercambio aniónico que contiene funcionalidades de amonio cuaternario y contraiones moderadamente básicos. El proceso de absorción es reversible y el adsorbente puede regenerarse usando una purga de gas inerte o aplicando un vacío.
- 35 El documento US 3.466.138 A proporciona un proceso y sistema para la eliminación de gases ácidos tales como dióxido de carbono de gas afluente a una celda de combustible usando un material sorbente. El gas afluente puede comprender aire. El material sorbente puede ser Amberlite IRA-68 que se describe como una resina de intercambio aniónico acrílica reticulada débilmente básica que contiene solo grupos funcionales amina terciaria. El sorbente puede regenerarse pasando un gas de purga húmedo caliente a través de la resina y liberando el dióxido de carbono previamente adsorbido a la atmósfera.
- 40 El documento WO 01/21269 A2 desvela una unidad de absorción de dióxido de carbono que tiene un cartucho dispuesto de una forma extraíble dentro de un recipiente, y hecho de un material capaz de absorber el dióxido de carbono. El material de absorción está formado por una resina de intercambio iónico o por un óxido metálico y puede regenerarse de manera que se restaure la capacidad de absorción inicial. Un método de regeneración de la unidad de adsorción de dióxido de carbono comprende una fase de hidratación, una fase de regeneración y una fase de purga. La fase de regeneración puede comprender un tratamiento del material de adsorción con una solución alcalina acuosa o un tratamiento con una corriente de aire calentado.
- 45 El documento WO 01/21269 A2 desvela una unidad de absorción de dióxido de carbono que tiene un cartucho dispuesto de una forma extraíble dentro de un recipiente, y hecho de un material capaz de absorber el dióxido de carbono. El material de absorción está formado por una resina de intercambio iónico o por un óxido metálico y puede regenerarse de manera que se restaure la capacidad de absorción inicial. Un método de regeneración de la unidad de adsorción de dióxido de carbono comprende una fase de hidratación, una fase de regeneración y una fase de purga. La fase de regeneración puede comprender un tratamiento del material de adsorción con una solución alcalina acuosa o un tratamiento con una corriente de aire calentado.
- 50 Otsui et al. en Acta Astronautica, Vol. 15, No. 1, pp. 45-54, 1987, y el documento GB 1 296 889 B desvelan ambos un concepto para capturar dióxido de carbono del aire en espacios cerrados tales como espacio en barcos y submarinos. El aire se pone en contacto con un material sorbente que comprende un material de intercambio aniónico que comprende aminas.
- 55 Avgul et al. en Colloid Journal of the USSR, Vol. 43, No. 6, p. 837, 1981, y Belyakova et al., en Colloid Journal of the USSR, Vol. 37, No. 3, p. 484, 1974 desvelan un concepto de captura de dióxido de carbono de un gas o una atmósfera húmeda poniéndolo en contacto con un material sorbente que comprende un material de intercambio aniónico que comprende aminas tales como aminas primarias y secundarias. El gas o atmósfera no se especifica adicionalmente.
- 60 El documento WO 2005/108297 A describe un método de extracción, captura, reducción, almacenamiento, secuestro o deposición de dióxido de carbono particularmente del aire, e implica disolver un silicato que lleva magnesio en un ácido acuoso para formar una solución ácida; aumentar el pH de la solución para precipitar uno o
- 65

más componentes de magnesio; y carbonatar los componentes de magnesio precipitados para unir el dióxido de carbono.

5 Procesos que recogen CO₂ del aire normalmente se basan en disolventes que o bien se unen físicamente o bien químicamente al CO₂ del aire. Una clase de disolventes de CO₂ prácticos incluyen soluciones de hidróxido fuertemente alcalinas tales como, por ejemplo, hidróxido sódico y potásico. Soluciones de hidróxido superiores al 0,1 de molaridad pueden eliminar fácilmente CO₂ del aire donde llega a unirse, por ejemplo, como un carbonato. Concentraciones de hidróxido más altas son deseables y un contactor de aire eficiente usará soluciones de hidróxido superiores a 1 molar. El hidróxido sódico es una elección conveniente particular, pero pueden usarse otros
10 disolventes tales como aminas orgánicas. Otra elección más de sorbentes incluye salmueras alcalinas más débiles tales como salmueras de carbonato de sodio o potasio.

Véanse, por tanto, las solicitudes PCT publicadas PCT/US2005/015453, correspondiente al documento WO 2005/108297 A, y PCT/US2005/015454, correspondiente al documento WO 2006/009600 A.

15 La discusión anterior del estado de la técnica deriva principalmente de la solicitud PCT publicada anterior de los presentes inventores PCT/US05/29979, publicada como el documento WO 2006/036396, en la que se propone un sistema de eliminación del dióxido de carbono del aire, que comprende exponer superficies cubiertas de disolvente a corrientes de aire donde el flujo de aire se mantiene laminar, o próximo a la región laminar. El gas dióxido de carbono es absorbido por el disolvente y se elimina del aire. En una realización preferida, el disolvente comprende
20 una solución de sorbente alcalino tal como una solución de hidróxido fuerte. Véase, por tanto, la solicitud PCT publicada anterior de los presentes inventores N.º de serie PCT/US06/03646, correspondiente al documento WO 2006/084008, en la que los presentes inventores describen un intercambiador de aire/líquido que comprende una espuma de células abiertas para soportar un sorbente líquido.

25 La presente invención proporciona mejoras con respecto al estado de la técnica como se ha descrito anteriormente. Más particularmente, la presente invención proporciona un proceso de eliminación del dióxido de carbono del aire ambiente, según la reivindicación 1.

30 En un aspecto, la invención emplea una membrana de intercambio aniónico sólida como la matriz de captura de CO₂ primaria. El material de intercambio iónico puede comprender una matriz sólida formada de un material de intercambio iónico.

35 En una realización desvelada, se elimina dióxido de carbono del aire usando un material de intercambio iónico que se regenera usando una solución de amina líquida que entonces se recupera pasando la solución de amina en una celda de electrodiálisis.

40 Características y ventajas adicionales de la presente invención se observarán de la siguiente descripción detallada, tomada conjuntamente con los dibujos adjuntos, en los que números similares representan partes similares, y en las que

La FIG. 1 es un diagrama de flujo de bloques que ilustra un proceso comparativo para eliminar el CO₂ del aire;

45 las FIG. 2-4 ilustran gráficamente la captura de CO₂ con el tiempo;

la FIG. 5 es un diagrama de flujo de proceso según una realización comparativa;

50 la FIG. 6 es un diagrama de flujo esquemático que muestra un sistema integrado para la eliminación de CO₂ del aire.

La presente invención se refiere generalmente a extracción, reducción, captura, deposición, secuestro o almacenamiento de dióxido de carbono (CO₂), particularmente del aire, e implica un nuevo proceso de reducción o eliminación de CO₂ del entorno. Tanto la extracción como el secuestro de CO₂ están englobados por la invención.

55 La presente divulgación en un aspecto proporciona un enfoque comparativo para absorber dióxido de carbono de una corriente de aire que puede avanzar eficientemente incluso con sorbentes débiles y a bajas tasas de captación. Humedeciendo una espuma, que tiene canales rectos cortados a su través, de un modo que superficies de espuma internas estén completa o parcialmente cubiertas con un sorbente débil, es posible crear una gran área de superficie de sorbente que se expone a un flujo de gas lento. El flujo de gas a través de los canales y a través de la espuma a
60 granel puede ajustarse para optimizar la captación de dióxido de carbono diluido para una caída de presión dada a través de múltiples capas de espuma. Para la extracción de mezclas de gases de baja concentración a una corriente de gas, esta técnica obvia la necesidad de sorbentes fuertes con una tasa rápida de absorción. Como consecuencia, puede sacarse provecho de sorbentes débiles como carbonato sódico para la captura de CO₂ del aire, en vez de tener que basarse en sorbentes fuertes como hidróxido sódico. La energía de unión más baja del dióxido de carbono al sorbente débil simplifica enormemente las posteriores etapas de recuperación de sorbente. La presente divulgación describe los principios implicados y delinea un método y aparato para crear superficies de espuma
65

húmeda y para extraer el sorbente cargado con CO₂ de la espuma. Estos métodos pueden usarse con cualquier método de recuperación de sorbente aplicable. Como se explicó resumidamente más adelante, los detalles de la implementación dependerán de la concentración del gas traza, la velocidad de la reacción de adsorción o absorción y las velocidades de flujo implicadas. También importa si el objetivo del proceso es capturar todo el gas traza de la mezcla con el fin de limpiar el gas, o si el objetivo es recoger una corriente valiosa de gas traza de la mezcla sin intentar eliminar casi todas las trazas del gas portador.

En la recogida de dióxido de carbono del aire, dos etapas de transferencia distintas podrían establecer posiblemente el límite de la velocidad. La primera es la captación de dióxido de carbono en el sorbente, la segunda es el transporte de dióxido de carbono a través de una capa límite del lado del aire a la superficie del sorbente. En el primer caso, el sistema de captura está limitado en el lado del sorbente, en el segundo está limitado en el lado del aire. En una solicitud PCT publicada anterior N.º de serie PCT/US06/03646, los presentes inventores expusieron brevemente un enfoque para optimizar un dispositivo de captura de CO₂ de una corriente diluida. Aquí, los presentes inventores exponen resumidamente otro enfoque que se aprovecha de un principio muy diferente. Ambos enfoques tienen como objetivo minimizar la caída de presión requerida a través de un dispositivo lavador para eliminar una cierta fracción del CO₂ del flujo de aire. Como el CO₂ en el aire está muy diluido, es importante minimizar la penalización de energía para empujar aire a través del sistema lavador de aire. Idealmente, la caída de presión es tan pequeña que el estancamiento parcial de flujos de viento natural es suficiente para proporcionar la energía para hacer contacto entre el aire y el material sorbente.

El enfoque previo anteriormente dicho proporciona un método de minimización de la caída de presión para una velocidad de flujo fija, asegurando que el transporte de CO₂ esté al menos parcialmente limitado en el lado del aire. Para sorbentes débiles como soluciones alcalinas, esto sugiere un flujo laminar que genera capas límite lo suficientemente gruesas para igualar aproximadamente el coeficiente de transporte de masa del lado del aire y el coeficiente de transferencia del lado del sorbente. Este enfoque, por el contrario, se refiere al reparto del flujo de aire en corriente que se mueve rápidamente y que se mueve lentamente e insertando el lavador en la corriente donde circula lentamente.

Como un diseño particular, los presentes inventores consideran un dispositivo de filtro en el que las distancias entre las superficies absorbentes vacías más cercanas son pequeñas en comparación con el espesor de capa límite permisible. En ese caso, la concentración de CO₂ sobre la superficie no se reduce mucho y, por consiguiente, el sistema puede considerarse limitado en el lado del sorbente. En un sistema tal, la pérdida fraccionaria del momento es grande en comparación con la pérdida fraccionaria de dióxido de carbono. A medida que se reduce la velocidad del flujo de aire, el sistema sigue estando limitado en el lado del sorbente y la pérdida fraccionaria de momento todavía sigue siendo alta, pero el momento disponible disminuye rápidamente. Por lo tanto, la pérdida total en el momento se reduce para un espesor dado del sistema de filtro. La caída de presión puede reducirse incluso adicionalmente, a medida que el tiempo de residencia más largo del aire en el filtro conducirá a una reducción más alta en el contenido de CO₂ del aire. Si se mantiene la constante de extracción de CO₂ fraccionaria, el filtro puede hacerse más delgado y así la caída de presión requerida se reduce incluso adicionalmente.

Sin embargo, si el flujo total a través del colector va a permanecer constante, la disminución del flujo en el filtro debe ir acompañada de un aceleramiento de otra corriente. Esto puede llevarse a cabo repartiendo una corriente de aire en dos corrientes. Ambas corrientes se ejecutan simultáneamente a través de un filtro. El sistema experimenta una caída de presión que es gobernada por el espesor del filtro, y la velocidad de flujo del aire. En el panel B), el patrón de flujo ha sido reorganizado de manera que una corriente se expande primero, mientras que se hace que converja la otra parte. Como resultado, el aire en la sección de ensanchamiento se ralentiza, mientras que el aire en la sección de estrechamiento se acelera. En el punto de sección transversal máxima, se instala un filtro en el flujo lento. Aguas abajo desde este punto, se hace que el flujo de aire expandido converja otra vez y la otra corriente de aire se dispensa a la misma sección transversal extendida que tenía el primer flujo más arriba aguas arriba. En este momento, el aire en la segunda corriente es lavado de todo o parte de su CO₂. Sigue una sección final donde ambas corrientes se reajustan a su sección transversal inicial. Con el fin de lograr el mismo compromiso del filtro, los filtros en este diseño pueden ser sustancialmente más delgados. Si el sistema está limitado en el lado del sorbente, entonces el volumen del filtro no necesita cambiar, ya que desde que la sección transversal aumentó el espesor del filtro puede reducirse en consecuencia. La caída de presión se reduce debido a que la velocidad de flujo es más baja y la resistencia del filtro se reduce.

El ejemplo anterior sirve para explicar un principio físico básico. A continuación, los presentes inventores explican resumidamente un método específico de aproximación a un comportamiento tal con simples bloques de espuma como material de filtro. Los bloques de espuma tienen muchas ventajas: Pueden ser formados en formas arbitrarias, pueden contener algún líquido y son fácilmente humedecidos; y las espumas de células abiertas presentan un gran área superficial interna que puede usarse para absorber CO₂ del aire que circula a través de la espuma.

Un gran bloque de espuma humedecido con un sorbente líquido como NaOH o Na₂CO₃ absorberá CO₂ del aire. Si los presentes inventores asumen un tamaño de poro típico de aproximadamente 1 mm y un área específica de aproximadamente 4000 m², entonces una tasa de captación típica para una superficie de sorbente de aproximadamente 2 μmol m⁻²s⁻¹ proporcionaría una capacidad de captación de 8 mmol s⁻¹ para un bloque de

espuma de un metro cúbico. Si los presentes inventores pretenden extraer 5 mmol/m^3 de corriente de aire, el espesor del aparato a las velocidades de flujo de 3 m/s será aproximadamente 2 m . Sin embargo, la caída de presión del bloque de espuma sólido sería mucho más grande para mantener un velocidad de flujo tan alta. Si, sin embargo, se abren canales a través de la espuma que permiten que el 90% de aire evite una capa de espuma, y entonces mezclan el aire otra vez y van a través de otra capa con 90% de derivación, entonces la velocidad de flujo eficaz en la espuma es diez veces más pequeña, la caída de presión se reduce un factor de diez, y la tasa de captación es prácticamente invariable, ya que no está limitada por la tasa a la que el aire circula a través de las delgadas rebanadas, sino por la tasa a la que las superficies dentro de estas rebanadas de espumas pueden absorber CO_2 .

Formando pequeños canales rectos a través de una capa de espuma, se abre una vía a través de la espuma que permitirá a la masa de aire una trayectoria que evita pasar a través de la espuma. Ajustando la sección transversal total de los orificios, y el diámetro de los orificios, es posible controlar la relación entre la caída de presión y la velocidad de flujo, y la fracción del flujo que en realidad pasa a través de los orificios.

Orificios de pequeño diámetro a un caudal fijo conducirán a una caída de presión más alta, o alternativamente a una caída de presión fija que conducirá a un caudal más alto. Un sistema práctico opera entre los dos límites, donde el ajuste del diámetro del orificio y el número de orificios cambiará la resistencia global al flujo y así cambiará la caída de presión y la velocidad de flujo.

El aumentar el número de orificios aumentará el caudal, y, por lo tanto, se reducirá la caída de presión a través del bloque de espuma. La caída de presión a través del bloque de espuma controla a su vez la velocidad de flujo a través de la masa de la espuma. Es, por tanto, posible ajustar los parámetros de este sistema de una forma que se optimice un aparato específico en el que se controle su caída de presión, a través del bloque de espuma, e independientemente del tamaño del flujo de derivación.

Finalmente, mientras que en la mayor parte de la discusión anterior los presentes inventores supusieron que el absorbente era un líquido que era absorbido por la espuma, también es, por supuesto, posible considerar la espuma como materiales sólidos, que incluyen esteras de fibras u otras estructuras, que pueden absorber CO_2 a medida que pasa a través del sistema.

Aunque la solución de hidróxido sódico puede emplearse como el sorbente en el aparato anteriormente descrito, es decir, según las enseñanzas de la solicitud PCT publicada anteriormente dicha N.º de serie PCT/US06/03646, según una realización del enfoque de los presentes inventores, los presentes inventores pueden emplear un sistema extractor de aire de espuma humedecido que usa una solución carbonato de sodio o de potasio - o cualquier otro sorbente de CO_2 débil, para absorber dióxido de carbono del aire y en el proceso forma bicarbonato sódico o potásico; una etapa de recuperación de sorbente que recarga el sorbente de carbonato percolando la salmuera de bicarbonato sobre un sorbente sólido, que en una implementación preferida es una resina de intercambio iónico; una etapa de recuperación de resina usando un sorbente líquido, que en una implementación preferida es una solución de amina líquida, y una liberación de CO_2 que se lleva a cabo o bien por cambio térmico, cambio de presión o electrodiálisis.

Siguiendo el CO_2 del aire a través del aparato, puede así describirse del siguiente modo: el aire se pone en contacto con un sorbente débil, como carbonato sódico, que en virtud de su distribución sobre una superficie de espuma puede alcanzar tasas de captación que son tan altas que el transporte del lado del aire empieza limitando la captación de CO_2 . Una vez la solución ha captado cantidades suficientes de CO_2 , percola sobre un sorbente sólido, por ejemplo una resina de intercambio iónico basada en amina que elimina el bicarbonato de la solución y así restaura su alcalinidad. El CO_2 es ahora unido a la resina y se elimina de la resina en una etapa posterior, lavando la resina con otro sorbente líquido, preferentemente una solución de amina de la que puede entonces recuperar en una etapa final el CO_2 . Aquí, las opciones son un cambio térmico, un cambio de presión, o un proceso de electrodiálisis.

Con referencia a la FIG. 1, las etapas del proceso son las siguientes: captura de dióxido de carbono del aire en una espuma humedecida en carbonato en la etapa 250. En este proceso, una estructura de espuma humedecida se expone a aire ambiente que circula a través del sistema a velocidades que oscilan de $0,1 \text{ m/s}$ a 100 m/s , siendo el intervalo preferible de $0,5 \text{ m/s}$ a 10 m/s y un intervalo óptimo de $0,5$ a 4 m/s . Estas estructuras de espuma se forman o disponen tal como se ha descrito anteriormente de manera que tengan pasadizos a través de los cuales el aire circula y se pone en contacto con las superficies de espuma humedecidas. Las superficies de espuma humedecidas absorben dióxido de carbono. En tal caso, el sorbente cargado con CO_2 contiene iones bicarbonato. Las siguientes etapas del proceso tendrán que recuperar el carbonato de una corriente de bicarbonato muy diluida que se mezcla con una concentración posiblemente mucho mayor de CO_3^- .

La relación de carbonato con respecto a bicarbonato depende de la concentración de carbono total. Con el fin de tener movimiento de líquido de sorbente que entra y sale de la espuma, el líquido se lava de la espuma por uno de varios métodos descritos en cualquier parte. El método preferido sería un diseño donde el drenaje por gravedad del líquido por sí mismo eliminará el sorbente gastado, o un lavado de agua movilizará el sorbente gastado y lo recogerá en el fondo del dispositivo. Para implementaciones en las que el diseño de captura óptimo no se presta al drenaje

por gravedad, son posibles otros métodos que utilizan movimiento o compresión de la espuma.

En cualquier caso, la solución resultante contiene una corriente diluida de bicarbonato sódico. Dada la baja concentración, la recuperación directa de sorbente y CO₂ de esta salmuera no es normalmente el enfoque más ventajoso. Como una alternativa, los presentes inventores proporcionan un enfoque de tres etapas donde el bicarbonato de concentración más baja se concentra primero poniendo la solución en contacto con una resina de intercambio iónico basada en amina.

En la siguiente etapa 252, las resinas de intercambio iónico en contacto con las soluciones de bicarbonato absorberán iones bicarbonato de la salmuera, y los sustituirán con iones hidróxido, que a su vez se neutralizan haciendo reaccionar con un segundo ión bicarbonato que produce la formación de iones carbonato y agua. Las resinas podrían ser de diversos tipos, pero están disponibles comercialmente varias resinas adecuadas. Se prefieren resinas funcionalizadas con grupos amina. La consideración importante es la energía de unión del bicarbonato (o carbonato) a la resina. Debe ser lo suficientemente grande para transferir CO₂ del líquido a la resina, pero suficientemente débil para renunciar al dióxido de carbono en la etapa de procesamiento posterior. Energía de unión típica oscilaría de 20 a 60 kJ/mol, pero son posibles intervalos más anchos. Diversas resinas de intercambio iónico comercialmente disponibles son capaces de recuperar la salmuera de carbonato, elevando la alcalinidad de nuevo a la del material de partida puede usarse en la práctica de este enfoque.

Una implementación particular es un lecho de resina a través del que se recircula sorbente cargado con CO₂. A medida que el sorbente circula a través del lecho, la resina se satura gradualmente con dióxido de carbono. Si los flujos se mantienen relativamente lentos, el frente de absorción se moverá gradualmente a través de la resina hasta que se fugue en el extremo lejano en el lecho, en cuya etapa se observaría un aumento repentino en la concentración de bicarbonato en el efluente y así se sabría cuando se hubiera gastado la resina. Una vez se ha alcanzado este punto, tendrá que recargarse la resina.

La presión parcial del dióxido de carbono en el aire es muy baja, aproximadamente 380 microbar. Como resultado para la mayoría de las resinas, este frente será bastante ancho e impreciso, en ese caso sería ventajoso romper el lecho de resina en múltiples lechos, y usar un lecho casi gastado, para empezar la eliminación de dióxido de carbono y así maximizar la saturación del lecho, usar uno o más lechos en cascada para eliminar la masa del CO₂ del sorbente y percolar el fluido de sorbente finalmente a través de un último lecho nuevo, para maximizar la extracción. Mediante la unión por tuberías y válvulas de lechos estacionarios juntos, es posible recorrer su posición lógica en la cadena de recarga de sorbente o en la etapa de recuperación de resina. Como resultado, las etapas de la operación se mueven gradualmente a través de un anillo de tanques. Para algunas resinas, la energía de unión de diferentes sitios varía, y en ese caso sería desventajoso empujar la resina a sus límites. En su lugar, en un caso tal, la resina oscilaría dentro de un intervalo de energías de unión que son fácilmente accesibles.

La resina se recupera en una etapa 254 lavándola con un sorbente de CO₂ diferente, por ejemplo, una solución de amina que se une a dióxido de carbono lo suficiente fuertemente como para recuperarla de la resina. Esto conducirá a una transferencia del ión bicarbonato, carbamato o carbonato de la resina a la solución de amina. La ventaja de esta última etapa es que la solución de amina puede alcanzar factores de carga mucho más altos, es decir, relación de solución de amina con respecto al peso de CO₂ que la propia resina. La mejora es incluso mayor, cuando se compara con la salmuera de carbonato inicial. Así, se desperdicia menos energía en el calentamiento y la refrigeración del sorbente, que si la etapa de recuperación de calor se realizara sobre la propia resina o si se intentara la recuperación del sorbente débil original.

La solución de amina cargada con CO₂ se transforma en un cambio térmico para liberar dióxido de carbono de la amina en una etapa 256. Hay varias opciones disponibles para esta etapa, ya que las soluciones de amina se usan en otros sistemas de absorción de dióxido de carbono. En una opción, se usa vapor en la transferencia de calor al proceso. Preferentemente, el calor para formar el vapor será de fuentes de energía neutras de carbono tales como energía solar, o ausencia de estas fuentes, de la combustión de combustibles basados en carbono con oxígeno puro, creando así una corriente adicional de CO₂ concentrado que refleja la demanda de energía del proceso de recirculación de CO₂. Por supuesto, pueden usarse otras fuentes de calor que incluyen fuentes de calor geotérmico, fuentes de calor de energía solar, además de fuentes de energía de calor residual.

El enfoque es susceptible a modificación. Por ejemplo, en lugar de usar espuma inactiva con un sorbente líquido que percola a través de él, es posible usar una espuma o resina funcionalizada sin el uso de un sorbente de carbonato. En un caso tal, la espuma humedecida se usaría para recoger directamente dióxido de carbono del aire. En un caso tal, no debe dejarse que la espuma se seque completamente, pero para algunas espumas puede no ser necesario inyectar agua líquida, ya que una cantidad mínima de humedad en el aire puede ser suficiente para que la amina reaccione con el dióxido de carbono del aire. Una vez la espuma se satura con CO₂, puede usarse un lavado con un sorbente de CO₂ secundario para regenerar la resina. Éste podrían ser una solución de carbonato, pero con una concentración más alta de carbonato sódico que en el sistema tratado anteriormente. El lavado de resina podría también ser un lavado de amina, en cuyo caso el proceso llega a ser una versión simplificada del proceso principal tratado anteriormente.

Alternativamente, en lugar de usar sorbentes de carbonato en la espuma, podrían usarse soluciones de amina directamente en la espuma. Eso eliminaría la segunda y tercera etapa del proceso. El resultado es un proceso que se simplifica a una única etapa de proceso para la captura, seguido de una única etapa de proceso para la recuperación de sorbente y liberación de CO₂.

5 También es posible sustituir el cambio térmico por recuperación de CO₂ con un proceso de electrodiálisis. La electrodiálisis podría seguir varios enfoques distintos, como se desveló, por ejemplo en la solicitud PCT publicada de los presentes inventores PCT/US06/03646. La electrodiálisis podría aplicarse a la solución de bicarbonato generada en la primera etapa, o alternativamente, podría aplicarse a la solución de amina que se genera en la etapa final.

10 Según la presente invención, los presentes inventores utilizan materiales de intercambio aniónico en fase sólida (AEM) para la captura directa de CO₂ del aire, especialmente para la baja absorción (ppm) de CO₂ del aire.

15 Son posibles dos alternativas.

Una alternativa es usar un sustrato sólido intermedio que es capaz de exponerse a grandes volúmenes de aire y recoger CO₂ a bajas concentraciones mientras que actúa como un sólido con poca o ninguna presión de vapor. El sustrato sólido puede ser concebido para actuar de un tipo de red, que guarda el CO₂ químicamente hasta que es liberado en solución un tiempo después. Adicionalmente, el sustrato sólido es capaz de liberar el CO₂ recién liberado recogido de nuevo en una solución que también regenera la superficie sólida. La solución que contiene el CO₂ capturado se regenera de una forma energéticamente factible. Puede utilizarse una solución volátil o de alta presión de vapor para recoger el CO₂ del sustrato y puede regenerarse con baja penalización de energía. Esta etapa intermedia permite a los presentes inventores escindir el CO₂ unido a un sustrato sin exponer el sustrato al entorno abierto, previniendo la contaminación atmosférica y pérdida.

25 El proceso anterior intercambia aniones hacia y desde un sustrato sólido. Aquí, los presentes inventores están utilizando el componente de intercambio aniónico unido a un sustrato sólido que participa en la transferencia iónica. Un ejemplo de esto es la reacción de metilamina sobre un esqueleto de estireno mediante metilación de cloro (una resina de intercambio iónico común usada en sistemas de agua desionizada). En este tipo de sistemas, un grupo nitrógeno tal como una amina se une a un esqueleto de polímero mediante un enlace covalente. Este enlace covalente sujeta la molécula de tipo amonio al sustrato mientras que permite que se disocie (para formar un catión y anión). Si los cuatro de los posibles enlaces covalentes que pueden unirse al nitrógeno están llenos de grupos carbono, el nitrógeno es forzado en un estado deficiente en electrones y adquiere una carga positiva permanente. La carga permanente en el ión amonio lo convierte en un catión que debe entonces ser satisfecho por la unión iónica de un anión vecino. Esto es una sal que está covalentemente unida a un sustrato de polímero sólido.

La capacidad de crear una superficie sólida que actúa como una solución de base fuerte proporciona varias características y ventajas no limitadas a las siguientes:

40 1. La red de CO₂ utiliza las propiedades de intercambio aniónico de la sal de amina mientras que sacan provecho de la presión de vapor cero del esqueleto de polímero sólido. Esencialmente, la sal de amina puede ser forzada en una forma de hidróxido (OH⁻) reemplazando todos sus aniones mediante el gradiente de concentración que deja una superficie de OH⁻ unida al sólido. Los OH⁻ unidos están ahora fácilmente disponibles para reaccionar con el CO₂ de entrada. Como la mayoría de las técnicas para capturar CO₂ explotan la reacción del gas ácido con una base líquida, o superficie de OH⁻, este método comparte la cinética de reacción rápida ácido/base.

50 2. La eliminación de un mediador de película líquida permite grandes aumentos en el área superficial en comparación con los actuales métodos. En contactores gas-líquido, el reto es extender el líquido de tal forma que se ponga en contacto tanto aire como sea posible. Esto normalmente implica extender el líquido sobre una superficie sólida para aumentar su superficie mientras que no se induzca un gran caída de presión tal que el gas no sea capaz de fluir apropiadamente. La superficie de OH⁻ sólida permite la máxima área superficial con mínima caída de presión.

55 3. Se requiere agua mínima para que se produzca la reacción y, en general, esencialmente no se consume agua. La membrana es capaz de escindir el agua del aire con el fin de facilitar la captura. Cuando están afectados grandes volúmenes de aire, esto es un beneficio importante.

60 4. Debido a que el OH⁻ está unido al sustrato de polímero, ya no es capaz de reaccionar con el entorno, a menos que haya un anión disponible para sustituirlo o esté disponible un ácido para reaccionar con él. Esto es una superficie benigna que es altamente reactiva con gases ácidos solo. Esto permite la completa eliminación de un oxidante fuerte del contacto directo con el entorno mientras que todavía se facilita la captura.

65 5. Otro problema con la puesta en contacto con grandes volúmenes de aire abierto es la contaminación transmitida por el aire del propio colector. La acumulación de suciedad y bacterias dentro del sistema es inevitable. En tanto que no haya transferencia aniónica al propio sólido de los contaminantes, la superficie puede

lavarse con agua antes de ser tratada o regenerada, eliminando contaminantes de la entrada en el resto del proceso de separación.

6. Se requiere poco o ningún bombeo de líquido entre renovaciones de superficie. Esto reduce significativamente los costes de bombeo de la distribución de fluido sobre una superficie para crear el área de contacto.

7. Como el proceso para la unión de grupos de intercambio aniónico a polímeros es relativamente bien entendido, no hay límite a los tipos o formas de materiales a los que podría aplicarse el material de intercambio aniónico.

En un aspecto, la invención de los presentes inventores emplea membranas de intercambio aniónico sólidas como la matriz de captura primaria para la captura y posterior suministro de CO₂ atmosférico. Las membranas se separan estrechamente juntas con separaciones de 1-25 mm. Esta separación permite el paso de aire ambiente con una caída de presión suficientemente baja para descartar el uso de máquina para mover el aire. Esto es según la construcción de matriz tratada en la solicitud PCT anteriormente mencionada de los presentes inventores N.º de serie PCT/US05/29979.

Las ventajas de uso de las membranas de intercambio iónico como material para la matriz son varias. Una ventaja radica en el hecho de que las membranas pueden ser operadas de tal forma que estén casi secas, eliminando así el riesgo de extensión de materiales cáusticos a través del entorno en forma de aerosoles. Otra ventaja en la operación de un modo esencialmente seco es la ausencia de pérdida de agua debido a evaporación. Esta pérdida de agua es significativa no solo en las cantidades de agua perdidas por evaporación, sino también en todos los costes auxiliares de bombeo, compra y tuberías de los sistemas de suministro de agua. Otra ventaja es la capacidad de la membrana para almacenar el CO₂ capturado a una concentración superior a la posible con una superficie acuosa de la misma área. El aumento del área activa aparente supera el área acuosa equivalente. Esto permite capturar a tasas que superan aquellas posibles usando soluciones acuosas. Adicionalmente, la capacidad de captura total es superior a la posible con soluciones acuosas.

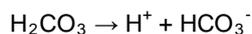
Las FIG. 2-4 que ilustran el rendimiento de captura de CO₂ de una membrana aniónica expuesta a tanto un flujo de aire ambiente continuo como también a un recipiente cerrado (18,9 l) dentro del que se suspende un pequeño trozo (2 x 2 cm) de membrana activa y se mide y registra la reducción de CO₂ en la botella encerrada.

Otro conjunto de datos muestra un trozo pequeño de membrana activa suspendida dentro de un recipiente cerrado más grande (128 l) con los mismos datos medidos y registrados.

En otro enfoque comparativo más, los presentes inventores emplean almohadillas basadas en celulosa como sustratos para los medios de intercambio iónico (IEM). Como se indicó arriba, IEM funcionan permitiendo que los iones se intercambien de una solución con ión de carga similar dentro de IEM. Este intercambio puede llevarse a cabo mediante varias vías.

En un proceso, un fluido de alta concentración induce iones de carga similar en la IEM para que migren de los sitios receptivos de iones de las resinas en la solución y permitan que los iones de concentración más alta en la solución ocupen los sitios. Esto puede ser concebido como sobrecarga de la resina mediante un gradiente de concentración.

La absorción de CO₂ sobre un IEM tiene lugar mediante el siguiente mecanismo:



Los IEM basados en celulosa han llegado a ser muy eficientes. El usar el método de EDM de animólisis para funcionalizar celulosa en un IEM ha mostrado atributos de almacenamiento casi equivalentes como el IEM comercialmente disponible que se basa en estirenodivinilbenceno. Esto proporciona la vía para la utilización de celulosa.

Los presentes inventores han encontrado que IEM tienen la capacidad de capturar CO₂ directamente del aire y liberarlo mediante gradiente de concentración en una solución de lavado de amina. Esto tiene muchas implicaciones.

Debido a los grandes requisitos de regeneración de energía de soluciones alcalinotérricas carbonatadas, el uso de soluciones alcalinas basadas en amina ha mostrado una ventaja de energía significativa. El problema, sin embargo, es que la mayoría de las soluciones de amina que presentan las cualidades deseables requeridas, tales como alta velocidad cinética y capacidad de absorción, también presentan una alta presión parcial. Debido a las grandes cantidades de aire que deben ponerse en contacto para facilitar la absorción (aproximadamente 2 millones de metros cúbicos por tonelada de CO₂ suponiendo 200 ppm de captación), incluso soluciones de presión de vapor

baja tienen una tasa de pérdida muy alta. Sin un producto intermedio entre la amina líquida y el aire, la mayoría de las soluciones de amina no se aplicarían a la captura directa de CO₂ del aire.

5 El IEM es precisamente aquel mediador que permite a los presentes inventores minimizar el tiempo de contacto de la solución absorbente con grandes volúmenes de aire, pero todavía se aprovechan de los bajos costes de regeneración de la solución de amina líquida.

10 Como la superficie del contactor se produce a partir del propio sorbente, no hay necesidad de humedecer constantemente una superficie con sorbente líquido para facilitar la absorción. Esto es posible debido a que los IEM retienen cantidades significativas de agua (algunos de hasta el 50 % en masa). Esto, acoplado con un gradiente de concentración interna, permite que el IEM actúe de una solución. Como el CO₂ es absorbido sobre el IEM, se induce un gradiente de concentración que produce la migración de HCO₃⁻ lejos de la superficie a una concentración más baja y la contra-migración de OH⁻ para sustituirlo. Esto permite eficazmente que el IEM almacene HCO₃⁻ profundamente dentro de su estructura, mientras que no pierde área superficial eficaz. Por supuesto, una vez el IEM
15 llega a saturarse después de una cantidad de tiempo fija, la solución de lavado de amina podría usarse para regenerar los medios a su estado OH⁻ y perder muy poca amina en el proceso. Los experimentos de los presentes inventores han mostrado periodos de absorción superiores a 8 horas.

20 Eliminando el uso de un disolvente líquido iónico de paso libre continuo, los presentes inventores también eliminan la formación de cristales sobre la superficie del colector que por último lugar conducirá no solo a disminuciones en el rendimiento del colector, sino también en la vida del sustrato. El IEM evitará este problema molecularmente almacenando los productos iónicos dentro del propio sustrato. En lugar de la sal que reside sobre la superficie del sustrato donde puede formarse cascarilla y producir incrustación, los aniones que se producen en el proceso de absorción de CO₂ no tienen contraiones que les permitirán asentarse independientemente sobre la superficie de los
25 medios. Cuando el CO₂ es absorbido a la superficie de los medios, neutraliza eficazmente la porción de anión OH⁻ de la resina, sustituyéndola con un HCO₃⁻ que la almacena efectivamente en el sustrato.

30 Otro enfoque comparativo más es un proceso de regeneración de una resina de intercambio iónico usada en la captura de CO₂. La FIG. 5 presenta el diagrama de flujo general del proceso.

35 Para lograr la separación y recuperación de Na₂CO₃, se elimina CO₂ del NaHCO₃ pasando el líquido a través de un medio de intercambio iónico, en el que se libera CO₂, que se somete a reacción ácido/base con el NaHCO₃ que queda en el líquido, regenerando así Na₂CO₃. La solución de Na₂CO₃ sale entonces de la columna de intercambio iónico y se devuelve al proceso aguas arriba.

40 Los medios de intercambio iónico llegarán a saturarse con el tiempo con CO₂ y deberán regenerarse. Esto se logra pasando una solución de amina líquida a través del lecho después de que se haya retirado la corriente de Na₂CO₃ + NaHCO₃. La solución de amina líquida liberará OH⁻ a la resina de intercambio iónico, que a su vez libera el CO₂, regenerando eficazmente los medios de intercambio iónico. Entonces se retira la solución de amina-CO₂ y el proceso se repite como un sistema cíclico.

45 La solución de amina-CO₂ debe también ir a través de la etapa de recuperación con el fin de completar el ciclo. La recuperación de amina-CO₂ se lleva a cabo en una destilación en la que el CO₂ se separa y es capturado en la fase gaseosa y la solución de amina-OH se devuelve al lecho.

50 El siguiente ejemplo no limitante ilustra adicionalmente este enfoque. Se usó una resina de intercambio iónico macro-reticulada con base fuerte para escindir HCO₃⁻ de NaHCO₃ en la resina de intercambio iónico liberando iones OH⁻ en solución, creando en ella Na₂CO₃. La solución que había pasado a través de la resina se valoró entonces para medir la cantidad de Na₂CO₃ producido a partir del intercambio iónico. La resina se lavó entonces minuciosamente hasta que no quedó NaHCO₃ o Na₂CO₃ en la resina. La resina lavada se dividió entonces en dos partes iguales en volumen y cada parte se puso en contacto con una solución de amina líquida, una se puso en contacto con una amina primaria, la otra con una terciaria. La amina primaria (MEA) y la amina terciaria (MDEA) se usaron cada una para eliminar el CO₂ que se almacenó en la resina. La solución de MEA mostró una mayor capacidad para escindir el carbonato de la resina, mientras que la solución de MDEA presentó capacidad de
55 absorción similar, pero ligeramente más baja. Cada solución de amina-CO₂ se valoró entonces para verificar la presencia de CO₂ dentro de la solución.

60 Otro aspecto más del enfoque comparativo se ilustra en la FIG. 6 que proporciona un sistema integrado para la eliminación de CO₂ del aire ambiente sobre un miembro de intercambio iónico (IEM) 502. La eliminación de CO₂ del aire por un IEM se lava del IEM por hidróxido sódico suministrado de un tanque de suministro de hidróxido sódico 504, produciendo solución de carbonato sódico (Na₂CO₃) que se recoge en el tanque de recogida 506. La solución de carbonato sódico se electroliza en una celda electrolítica 508 en la que el hidróxido sódico se recupera y se devuelve al tanque 504. Una porción de la solución de carbonato sódico también se pasa al tanque 510 en el que el carbonato sódico se pasa a un reactor 512 en el que el carbonato sódico se hace reaccionar con ácido acético para producir acetato sódico que se pasa a una pila de electrodialisis 516 que regenera hidróxido sódico y ácido acético a partir de la alimentación de sal de acetato sódico. El ácido acético se devuelve al tanque 514 donde se usa para la
65

posterior mezcla/reacción con el carbonato sódico del tanque 510, mientras que el hidróxido sódico se devuelve al tanque 504. Se recogen oxígeno e hidrógeno o se ventila en las salidas 518, 520, mientras que se recoge CO₂ y se desecha, por ejemplo por inyección en pozo profundo u otros medios en la salida 522.

- 5 Pueden hacerse diversos cambios en lo anterior sin apartarse del alcance de la invención como se reivindica. A modo de ejemplo, la membrana de intercambio de captura de aire puede estar en forma de hilos alargados, normalmente 0,1-10 mm de ancho, preferentemente 1-10 mm de ancho, que forman una estera suelta a través de la que circula el aire. La membrana de intercambio de captura de aire también puede estar en forma de tubos, estructura de panal de abeja o una estructura de espuma. Se pretende que toda la materia contenida en la descripción anterior, o como se muestra en los dibujos adjuntos, sea interpretada como ilustrativa, y no en un sentido limitante.
- 10

REIVINDICACIONES

1. Un método para la captura de CO₂ del aire ambiente, comprendiendo el método:
 - 5 exponer un material de intercambio aniónico (AEM) de fase sólida a un flujo de aire ambiente;
capturar el CO₂ del aire ambiente con dicho AEM de fase sólida;
separar dicho CO₂ de dicho AEM de fase sólida poniendo en contacto dicho AEM con una solución que también
regenera el AEM de fase sólida sin exponer dicho AEM al entorno abierto; y
posteriormente recoger dicho CO₂ separado,
 - 10 en el que dicho AEM de fase sólida comprende una amina, y en el que la amina está unida a un esqueleto de
polímero y (i) tiene una carga positiva permanente, y (ii) comprende un nitrógeno unido a cuatro grupos de
carbono.
2. El método de la reivindicación 1, en el que dicho sorbente líquido es una solución de amina y dicho CO₂ es
15 liberado de dicha solución de amina mediante destilación y se recoge en la fase gaseosa.
3. El método de la reivindicación 1, que comprende además desechar dicho CO₂ recogido por inyección en pozo
profundo.
- 20 4. El método de la reivindicación 1, en el que dicho AEM comprende una pluralidad de membranas.

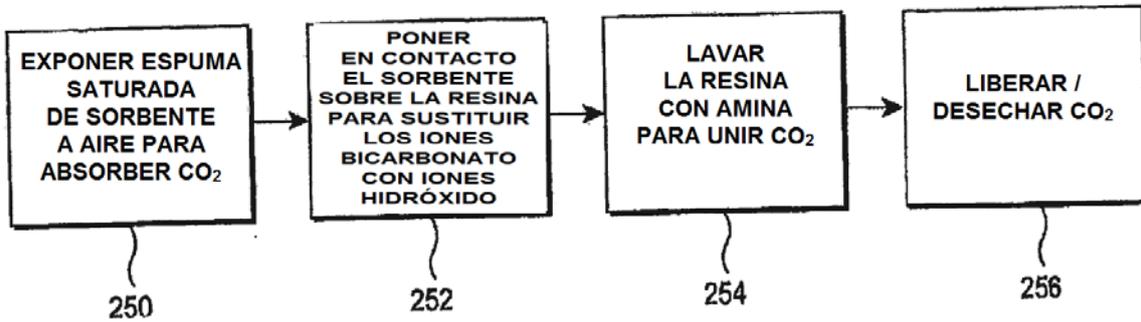


Fig. 1

MEMBRANA DE 4 cm x 4 cm DE ESPESOR EN UN RECIPIENTE GRANDE (128 l),
 VENTILACIÓN FORZADA SOBRE LA MUESTRA,
 REGEN. CON NaOH 1,0 M x 5 min, LAVADO DI SEP 28-29

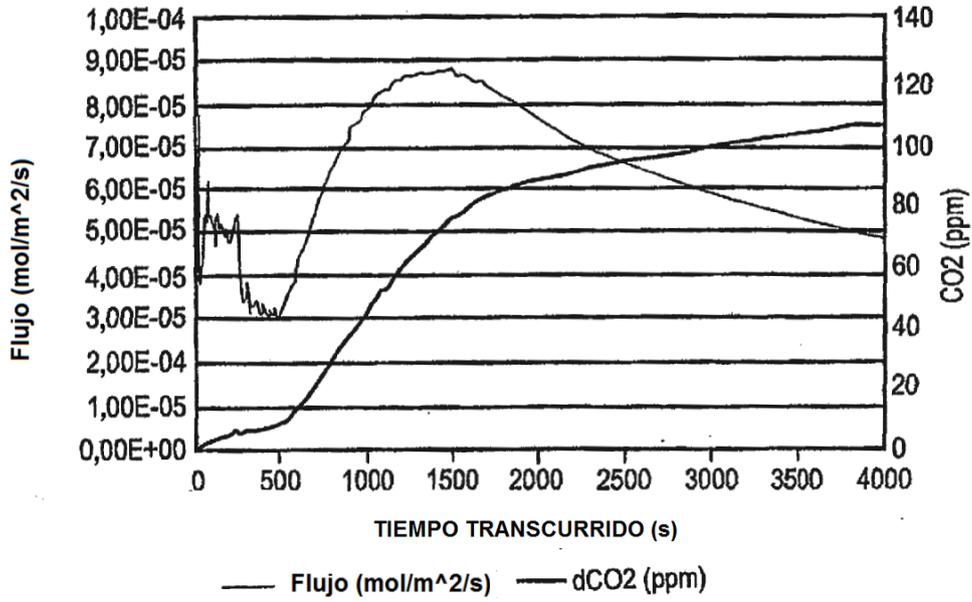


Fig. 2

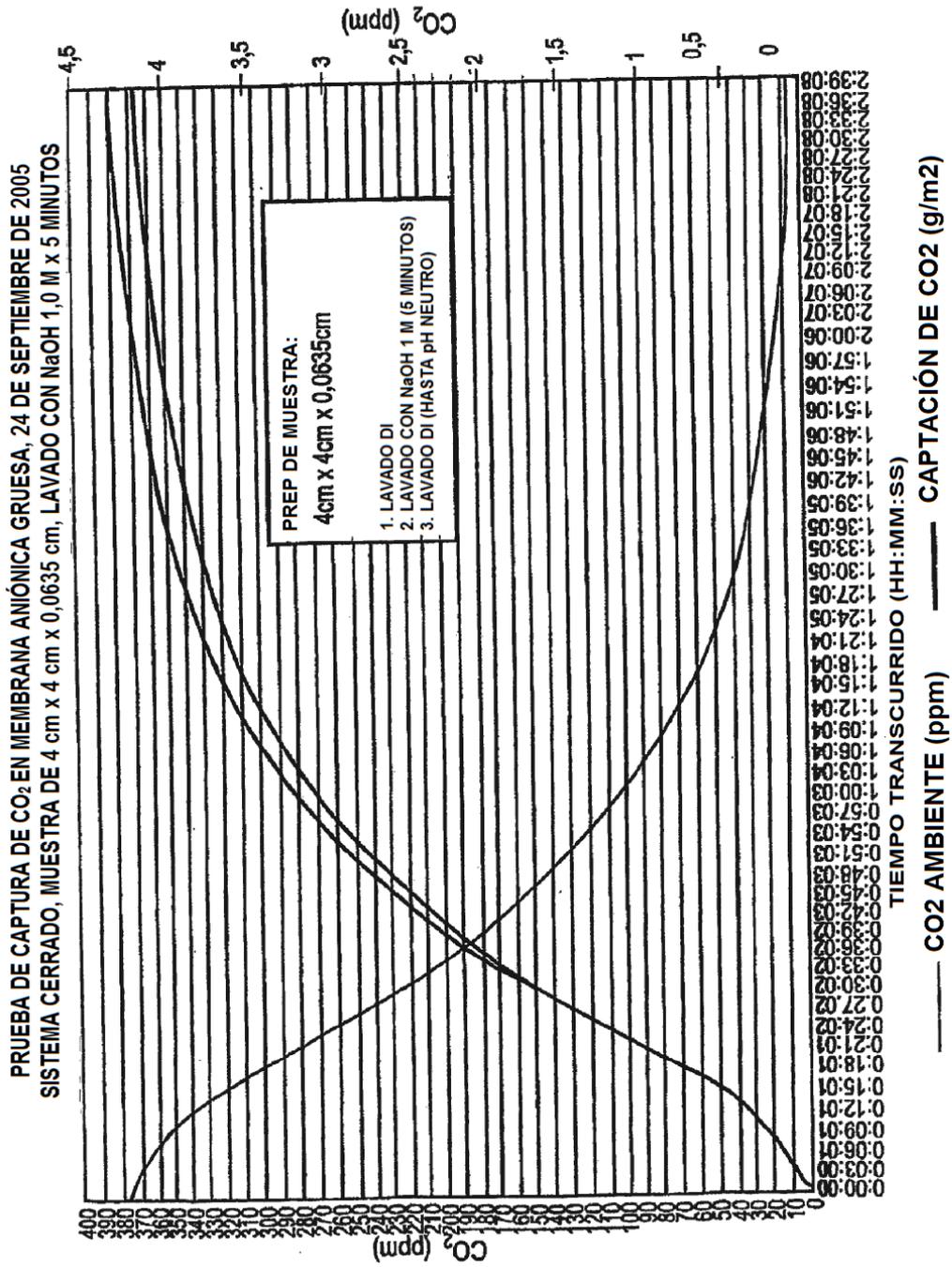


Fig. 3

MUESTRA DE MEMBRANA DE 2 cm x 2 cm DE ESPESOR EN UN RECIPIENTE CERRADO DE 128 l

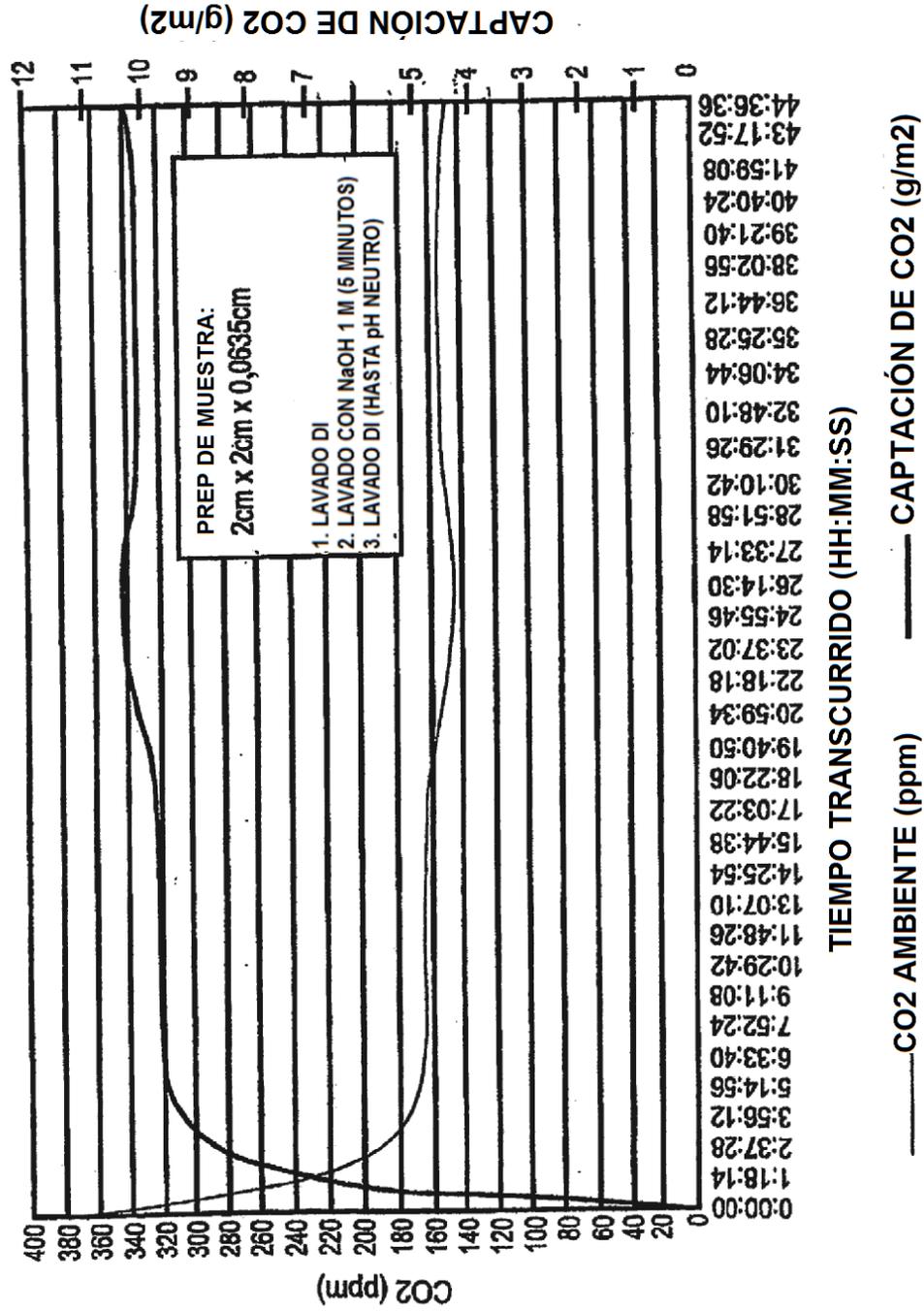


Fig. 4

RECUPERACIÓN DE CARBONATO Y SEPARACIÓN
DE AMINA-DIÓXIDO DE CARBONO

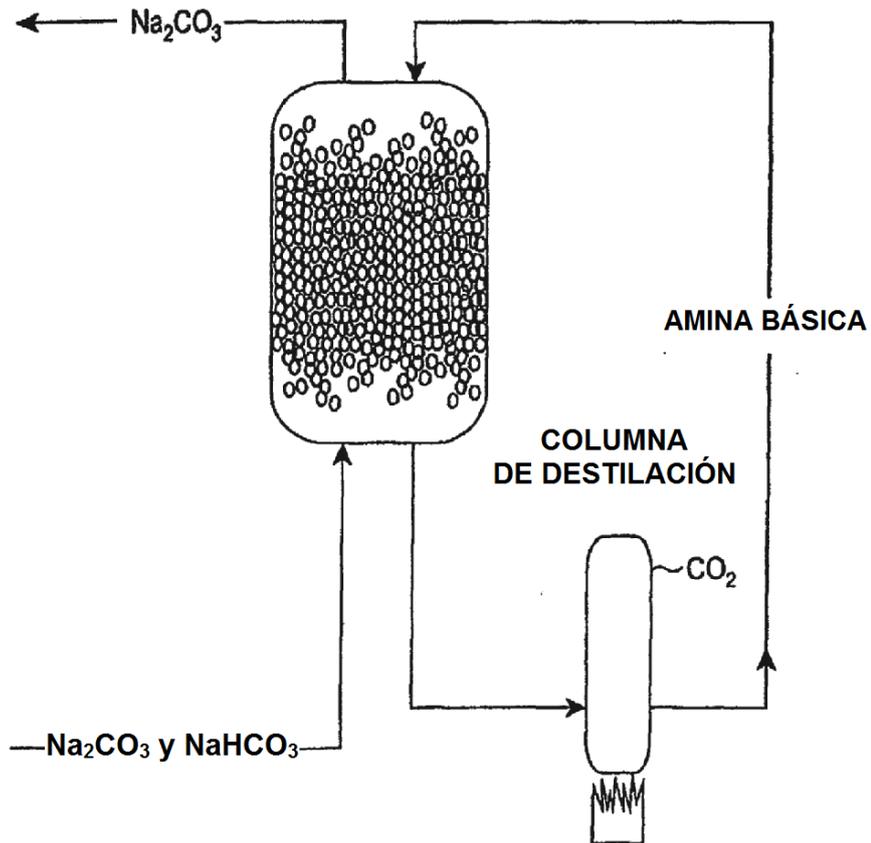


Fig. 5

Fig. 6

