

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 629 091**

51 Int. Cl.:

B01D 53/62 (2006.01)

B01D 53/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.05.2008 PCT/US2008/064311**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.11.0008 WO08144708**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.05.2008 E 08756015 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.03.2017 EP 2160234**

54 Título: **Retirada de dióxido de carbono en la atmósfera y termostato global**

30 Prioridad:

21.05.2007 US 805271

22.05.2007 US 805477

06.07.2007 US 825468

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

07.08.2017

73 Titular/es:

EISENBERGER, PETER (50.0%)

170 BROOKS BEND

PRINCETON, NJ 08540, US y

CHICHILNISKY, GRACIELA (50.0%)

72 Inventor/es:

EISENBERGER, PETER y

CHICHILNISKY, GRACIELA

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 629 091 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

Retirada de dióxido de carbono en la atmósfera y termostato global

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a sistemas y métodos para retirar gases de efecto invernadero de la atmósfera, y en particular, a sistemas y métodos para retirar dióxido de carbono de la atmósfera.

10 Antecedentes de la invención

Actualmente se pone demasiada atención en tratar de lograr tres objetivos relacionados con la energía y objetivos algo conflictivos relacionados con la energía 1) proporcionar energía asequible para el desarrollo económico, 2) lograr la seguridad energética y 3) evitar el cambio climático destructivo causado por el calentamiento global. Numerosos enfoques diferentes están siendo considerados para abordar el cambio climático, incluyendo el aumento del uso de fuentes de energía renovable limpia y no contaminante, tales como biocombustibles, solar, eólica y nuclear que intentan capturar y secuestrar dióxido de carbono de las emisiones de las plantas combustibles fósiles, así como mayores esfuerzos de conservación. Algunos de estos enfoques, tales como el de la energía solar, han tenido su aplicación a gran escala bloqueada debido a sus altos costos actuales en comparación con el costo de la electricidad basada en fósiles, y otros enfoques, tales como el de la energía nuclear, están restringidos por sus riesgos medioambientales y de seguridad. De hecho, la infraestructura y el suministro de energía renovable están tan poco desarrollados (p. ej., sólo aproximadamente el 0,01 % de nuestra energía es proporcionada por energía solar) que no hay forma viable de evitar el uso de combustibles fósiles durante el resto de este siglo si se quiere conseguir la energía necesaria para prosperidad económica y evitar el déficit energético que podría desembocar en conflictos.

La amenaza del cambio climático causado por el calentamiento global y el reconocimiento más general de nuestra necesidad de utilizar recursos renovables que no dañen nuestro planeta ha crecido constantemente desde el primer Día de la Tierra en 1972. Sobre todo es indudable que un aumento en la cantidad de los llamados gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (metano y vapor de agua son los otros principales gases de efecto invernadero) produce el aumento de la temperatura del planeta. Estos gases de efecto invernadero ayudan a reducir la cantidad de calor que se escapa de nuestro planeta a la atmósfera. Cuanto mayor sea la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, más cálido será el planeta. Existen evaluaciones complicadas que hacen que la cantidad de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero cambien de forma natural incluso en ausencia de impacto humano. El cambio climático a lo largo de la historia geológica ha causado numerosas extinciones. La preocupación por la amenaza del cambio climático inducido por el hombre (es decir, el calentamiento global) dio como resultado el Protocolo de Kyoto, que ha sido aprobado por más de 165 países y es un acuerdo internacional en el que los países desarrollados se comprometen a reducir sus emisiones de carbono.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (GICC) considera que una de las razones del calentamiento global que puede considerarse una amenaza se debe a la subida del nivel del mar que resulta del deshielo de los glaciares y a la expansión del océano a medida que nuestro planeta se vuelve más cálido. Cientos de millones de personas que viven justo por encima del nivel del mar en islas o en costas se ven amenazados por inundaciones destructivas que requieren la reubicación o la construcción de diques si el nivel del mar se eleva incluso un metro. Existe también una amenaza para otras especies a causa del cambio climático que destruirá los ecosistemas que no pueden adaptarse al vertiginoso ritmo del cambio climático causado por el hombre. Las amenazas adicionales incluyen el aumento de enfermedades infecciosas y un clima más extremo, así como amenazas directas de calor extremo.

Se puede demostrar el desafío de hacer frente al calentamiento global utilizando un simple modelo. Asignemos que $C_{CA}(Y_N)$ representa el dióxido de carbono agregado a la atmósfera en el año Y_N en gigatoneladas por año. Del mismo modo, asignemos que $C_{EX}(Y_N)$ es igual a la cantidad extraída, $C_{EM}(Y_N)$ la cantidad emitida por los seres humanos y $C_N(Y_N)$ la cantidad ya sea agregada o retirada debido a las variaciones naturales en el ciclo del carbono. Hoy en día, la tierra almacena cada año aproximadamente 1,8 gigatoneladas (10^9 toneladas) de dióxido de carbono y el océano aproximadamente 10,5 gigatoneladas (nótese que dióxido de carbono es 3,66 veces más pesado que el carbono), mientras que la cantidad agregada provocada por las emisiones realizadas por seres humanos es de aproximadamente 24 gigatoneladas de dióxido de carbono. En términos más generales, tenemos:

$$(1) C_{CA}(Y_N) = - C_{EX}(Y_N) + C_{EM}(Y_N) + C_N(Y_N)$$

$$(2) C_A(Y_{N+1}) = C_A(Y_N) + C_{CA}(Y_N)$$

en el que $C_A(Y_N)$ es la cantidad de carbono emitida en la atmósfera en el año Y_N , 2.780 gigatoneladas de dióxido de carbono en la actualidad. Otras formas de carbono contribuyen al calentamiento global, sobre todo metano, aunque

en peso representan un pequeño componente.

Si $C_{EX}(Y_N)$ se ajusta a cero, ya que es la única manera de dejar de agregar dióxido de carbono a la atmósfera, nuestras emisiones se reducirían para igualar a la absorción natural. No obstante, el mismo $C_N(Y_N)$ varía en gran medida y puede ser una adición neta a la atmósfera del ciclo natural del carbono superior que suma y resta carbono a aproximadamente 750 gigatoneladas de carbono por año. Se trata de las variaciones en el equilibrio natural que han causado el cambio climático antes de que existiera nuestra especie y también continuarán haciéndolo en el futuro. Así pues, resulta evidente que no existe una solución que sólo reduzca las contribuciones por parte del ser humano con respecto a las emisiones de dióxido de carbono que pueden evitar el riesgo de cambio climático. Con la extracción de aire y la capacidad de aumentar o disminuir la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera, se puede, en principio, compensar otros gases de efecto invernadero como el metano que puede cambiar sus concentraciones y causar el cambio climático.

Por consiguiente, existe una necesidad ampliamente reconocida de un sistema y método para reducir la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera creada por la quema de combustibles fósiles y para proporcionar una fuente de energía renovable de bajo coste no contaminante como sustituto de los combustibles fósiles.

El documento WO 2007/016271 desvela un proceso para retirar dióxido de carbono de la atmósfera. El proceso comprende un sustrato que está recubierto con un reactivo alcalino, tal como carbonato o hidróxido de sodio o potasio. El proceso también comprende la etapa de transferir el dióxido de carbono absorbido a un absorbente de amina secundaria que luego se somete a regeneración térmica, el dióxido de carbono generado de ese modo se secuestra.

La invención es el sistema y método de las reivindicaciones 1 y 6.

En al menos una realización, el sistema de extracción de aire se selecciona entre el grupo de los contactores de aire que consiste en: torres de convección, depósitos de absorción, torres depuradoras de relleno, y sistemas de separación de gases, algunos tienen sustratos con un área de forma plana con un medio que extrae dióxido de carbono del aire. En su contexto más amplio, la presente invención contempla estructuras en las que el aire se pasa en contacto con el medio que extrae el CO₂. Actualmente, en la realización más probable, la estructura tendría una gran área perpendicular al flujo de aire y sería muy fina en la dirección del flujo de aire con el medio que es un sustrato poroso en cuya superficie la amina o la alternativa que une el CO₂ se fija, cuyo medio también tendría una gran sección transversal y sería muy fina al igual que la estructura contactora que lo alberga.

En al menos una realización, el sistema es subterráneo. En al menos una realización, la ubicación se encuentra en un sitio remoto a barlovento de uno o varios componentes del sistema.

En al menos una realización, el absorbedor comprende una amina, preferentemente una amina unida a la superficie de (transportada por) un sustrato poroso con una gran área superficial.

En al menos una realización, la etapa de aislar comprende al menos una entre un secuestro mineral, o inyección como un gas presurizado en formaciones geológicas.

Los principios de la presente invención se pueden utilizar para proporcionar un termostato global para controlar la temperatura media de la atmósfera del planeta, mediante el uso de una pluralidad de sistemas de acuerdo con los principios de la presente invención, cada uno de los cuales es capaz de producir un efecto negativo de dióxido de carbono en la atmósfera del planeta extrayendo el dióxido de carbono de la atmósfera y utilizando calor del proceso para extraer dióxido de carbono del medio y para regenerar el sorbente (medio) de otro ciclo de adsorción. De este modo, conjuntamente la pluralidad de sistemas puede extraer de manera eficaz el dióxido de carbono de la atmósfera a una velocidad que es más rápida que la velocidad a la que el dióxido de carbono está aumentando en la atmósfera (y puede generar un combustible de carbono renovable utilizando los gases extraídos).

El concepto preferente de los solicitantes en cuanto a la extracción de dióxido de carbono de la atmósfera y el uso de calor del proceso para separar dióxido de carbono del medio colector es una forma significativa de abordar el problema del calentamiento global, y va en contra de la sabiduría convencional de la materia (y es contradictoria a los expertos en la materia). Específicamente, el uso de calor del proceso para resolver el problema del calentamiento global mediante la extracción de dióxido de carbono (CO₂) del aire ambiente a baja concentración es muy atractivo en comparación tanto con el enfoque convencional de la extracción de CO₂ a partir de fuentes de gases de combustión a alta concentración como otros esquemas conocidos en la materia para la extracción de CO₂ de la atmósfera ambiente. En el primer caso, se va directamente contra la sabiduría convencional ya que cabría esperar que una concentración 300 veces inferior de CO₂ en atmósfera ambiente sea 300 veces más cara puesto que se cree que los costes de separación a escala son en general inversamente proporcionales con la concentración. De este modo, las iniciativas financiadas con fondos federales se han dirigido a la extracción de CO₂ de las emisiones de gases de combustión de centrales eléctricas (p. ej., carbón limpio) y los expertos han afirmado públicamente que el uso de aire ambiente a diferencia de gas de combustión no tiene sentido. No obstante, el gran tamaño infinito de la fuente de aire ambiente en comparación con la fuente y fuentes de gas de combustión finita es

en general una característica que permite que el enfoque de los solicitantes sea eficaz a pesar de la sabiduría y la práctica convencional. En el caso de los gases de combustión, las emisiones que contienen el CO₂ se encuentran a una temperatura superior (65-70 grados centígrados) y por lo tanto la regeneración utiliza un calor de temperatura superior que es más costosa de lo que se necesita para el aire ambiente frío (aproximadamente 25-30 grados centígrados). Hay otros beneficios de enfoque de los solicitantes que incluyen la capacidad de utilizar dispositivos de separación muy fina que también proporcionan mejoras adicionales del proceso. De este modo, podría ser menos costoso retirar el CO₂ mediante la canalización del calor de proceso a una instalación de termostato global que tiene como premisa los principios de la invención del solicitante, en lugar de limpiar directamente sus emisiones de combustión. Además, el enfoque del solicitante produciría carbono negativo, reduciendo efectivamente la cantidad de CO₂ en la atmósfera, mientras que la limpieza de los gases de combustión solo evitaría que el contenido de CO₂ en el aire aumente.

Un análisis más detallado muestra que no se puede resolver el problema del calentamiento global de una manera puntual reduciendo el gran riesgo que supone simplemente la limpieza de grandes fuentes estacionarias de combustibles fósiles como centrales de carbón o para el caso de la conservación o el uso de las renovables. Uno tiene que ser realmente capaz, como es el caso de la presente invención, de extraer CO₂ de la atmósfera ("carbono negativo") reduciendo así la concentración ambiental y reduciendo la amenaza del calentamiento global. Otros esquemas publicados para la extracción de CO₂ de la atmósfera ambiente han utilizado en general calor de temperatura superior y no específicamente calor de proceso y por lo tanto no se han considerado seriamente debido a sus elevados costes energéticos.

Adicionalmente, debe señalarse que el concepto preferente del solicitante en cuanto a la extracción de dióxido de carbono de la atmósfera comprende el uso de un sustrato con gran superficie perpendicular al flujo de aire, que podría ser poroso con una gran área superficial, con un medio (p. ej., una amina) que retira dióxido de carbono de la atmósfera y el uso de calor de proceso para retirar dióxido de carbono del medio. El uso de un sustrato con un área relativamente grande perpendicular a la dirección del flujo de aire es especialmente útil, debido a la concentración relativamente baja de dióxido de carbono en la atmósfera (en contraposición a la concentración relativamente alta que normalmente se encuentra en los gases de combustión, por ejemplo).

Estas y otras características de la presente invención se describen, o resultan evidentes a partir de la siguiente descripción detallada (y los dibujos adjuntos) de diversas realizaciones a modo de ejemplo de la presente invención.

Breve descripción de los dibujos

Varias realizaciones a modo de ejemplo de la presente invención se describirán con detalle, con referencia a las siguientes figuras, en las que:

La FIG. 1 es un diagrama de bloques generalizado de un sistema para retirar dióxido de carbono de una atmósfera de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la presente invención;

La FIG. 2 es un diagrama de bloques de un sistema para retirar dióxido de carbono de una atmósfera de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la presente invención;

La FIG. 3 es un diagrama de bloques de un sistema de extracción de aire de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la presente invención;

La FIG. 4 es un mapa que ilustra un termostato global de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la presente invención; y

La FIG. 5 es un diagrama de bloques de un sistema para retirar dióxido de carbono de una atmósfera de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la presente invención;

La FIG. 6 es una ilustración esquemática de una versión de un medio para retirar dióxido de carbono de la atmósfera y para retirar dióxido de carbono del medio, de acuerdo con los principios de la presente invención;

La FIG. 7 es una ilustración esquemática de otra versión de un medio para retirar dióxido de carbono de la atmósfera y para retirar dióxido de carbono del medio, de acuerdo con los principios de la presente invención;

La FIG. 8 es una ilustración esquemática de otra versión de un medio para retirar dióxido de carbono de la atmósfera y para retirar dióxido de carbono del medio, de acuerdo con los principios de la presente invención; y

La FIG. 9 es una ilustración esquemática de otra versión de un medio para retirar dióxido de carbono de la atmósfera y para retirar dióxido de carbono del medio, de acuerdo con los principios de la presente invención.

Descripción detallada de las realizaciones preferentes

La FIG. 1 es un diagrama de bloques generalizado de un sistema, generalmente designado por el número de referencia 1, para retirar dióxido de carbono de la atmósfera de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la presente invención. El sistema 1 incluye un sistema de extracción de aire 40 y un sistema colector 50, que aísla el dióxido de carbono retirado a una ubicación para al menos uno entre un secuestro, almacenamiento y generación de un combustible de carbono renovable o la generación de productos no combustibles, tal como fertilizantes y materiales de construcción. El sistema de extracción de aire 40 incorpora, preferentemente, cualquier método de extracción de CO₂ conocido o descubierto posteriormente, incluyendo métodos que utilizan un medio para absorber y/o unirse a CO₂ del aire atmosférico mediante la exposición del medio a interacción química, eléctrica y/o física con el CO₂ en el aire capturado. El medio puede ser líquido, gaseoso o sólido, o una combinación de sustancias líquidas, gaseosas y sólidas, en el que en el caso de sólidos, la sustancia es preferentemente porosa. El medio es preferentemente reciclable de modo que después de que el CO₂ sea capturado por el medio y separado del medio para el secuestro, el medio puede ser reutilizado para la absorción/unión a CO₂ adicional. No obstante, en otras realizaciones, el medio puede ser secuestrado junto con el CO₂ capturado. Como se muestra en la FIG. 1, la separación del CO₂ del medio, así como otros procesos, tales como absorción/unión de CO₂ y el secuestro de CO₂ realizado por el sistema de secuestro 50, puede ser más eficiente mediante la adición de calor al sistema de extracción de aire 40. En la presente invención, el calor es calor de proceso generado p. ej., por un generador de energía solar, tal como un colector solar, que se describirá con más detalle a continuación. En otras realizaciones, el calor de proceso puede proporcionarse por otros tipos de fuentes energéticas, tales como, por ejemplo, combustibles fósiles, geotérmica, nuclear, biomasa y otras fuentes de energía renovable. La expresión "calor de proceso", como se utiliza en la presente memoria, se refiere al calor de temperatura inferior restante tras haber utilizado calor de temperatura superior para generar electricidad. En términos más generales, la expresión "calor de proceso" se refiere a cualquier calor de baja temperatura restante de un proceso primario o que se añade por el proceso en sí, tal como, por ejemplo, reacciones de carbonatación exotérmica en las que el dióxido de carbono se almacena como un mineral o de hecho cuando se une al medio y es capturado. Además, "calor de proceso" puede proporcionarse por el uso de fuentes de energía para producir productos distintos de la generación de energía o de electricidad. Por ejemplo, el procesamiento primario, tal como el procesamiento químico, la producción de cemento, acero o aluminio, la producción de los productos energéticos como el carbón a productos energéticos líquidos, el refinado, puede utilizar calor para conducir el procesamiento primario, y el calor no utilizado restante tras el procesamiento primario o creado durante el procesamiento primario sería el calor de proceso de tal procesamiento, y se puede utilizar en un sistema o método de acuerdo con los principios de la presente invención.

El concepto preferente de los solicitantes en cuanto a la extracción de dióxido de carbono de la atmósfera y el uso de calor del proceso para separar dióxido de carbono del medio colector es una forma significativa de abordar el problema del calentamiento global, y va en contra de la sabiduría convencional de la materia (y es contradictoria a los expertos en la materia). Específicamente, el uso de calor de proceso para resolver el problema del calentamiento global mediante la extracción de dióxido de carbono (CO₂) del aire ambiente a baja concentración es muy atractivo en comparación tanto con el enfoque convencional de la extracción de CO₂ a partir de fuentes de gases de combustión a alta concentración como otros esquemas conocidos en la materia para la extracción de CO₂ de la atmósfera ambiente. En el primer caso, se va directamente contra la sabiduría convencional ya que cabría esperar que una concentración 300 veces inferior de CO₂ en atmósfera ambiente sea 300 veces más cara puesto que se cree que los costes de separación a escala son en general inversamente proporcionales con la concentración. De este modo, las iniciativas financiadas con fondos federales se han dirigido a la extracción de CO₂ de las emisiones de gases de combustión de centrales eléctricas (p. ej., carbón limpio) y los expertos han afirmado públicamente que el uso de aire ambiente a diferencia de gas de combustión no tiene sentido. No obstante, el gran tamaño infinito de la fuente de aire ambiente en comparación con la fuente y fuentes de gas de combustión finita es en general una característica que permite que el enfoque de los solicitantes sea eficaz a pesar de la sabiduría y la práctica convencional. En el caso de los gases de combustión, las emisiones que contienen el CO₂ se encuentran a una temperatura superior (65-70 grados centígrados) y por lo tanto la regeneración utiliza un calor de temperatura superior que es más costosa de lo que se necesita para el aire ambiente frío (aproximadamente 25-30 grados centígrados). Hay otros beneficios de enfoque de los solicitantes que incluyen la capacidad de utilizar dispositivos de separación muy fina que también proporcionan mejoras adicionales del proceso. De este modo, podría ser menos costoso retirar el CO₂ mediante la canalización del calor de proceso a una instalación de termostato global que tiene como premisa los principios de la invención del solicitante, en lugar de limpiar directamente sus emisiones de combustión. Además, el enfoque del solicitante produciría carbono negativo, reduciendo efectivamente la cantidad de CO₂ en la atmósfera, mientras que la limpieza de los gases de combustión solo evitaría que el contenido de CO₂ en el aire aumente.

Un análisis más detallado muestra que no se puede resolver el problema del calentamiento global de una manera puntual reduciendo el gran riesgo que supone simplemente la limpieza de grandes fuentes estacionarias de combustibles fósiles como centrales de carbón o para el caso de la conservación o el uso de las renovables. Uno tiene que ser realmente capaz, como es el caso de la presente invención, de extraer CO₂ de la atmósfera ("carbono negativo") reduciendo así la concentración ambiental y reduciendo la amenaza del calentamiento global. Otros esquemas publicados para la extracción de CO₂ de la atmósfera ambiente han utilizado en general calor de temperatura superior y no específicamente calor de proceso y por lo tanto no se han considerado seriamente debido

a sus elevados costes energéticos.

La FIG. 2 es un diagrama de bloques de un sistema, generalmente designado por el número de referencia 2, para retirar dióxido de carbono de una atmósfera de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la presente invención. El sistema 2 incluye un colector solar 10, una fuente energética 20 suplementaria opcional, un generador eléctrico 30, un sistema de extracción de aire 42 y un sistema colector 50. Cada uno de estos componentes del sistema 1 se explica con detalle a continuación.

El colector solar 10 puede ser cualquier sistema colector de energía solar conocido o descubierto en el futuro, que puede incluir unidades colectoras de energía solar, tales como, por ejemplo, espejos parabólicos de energía solar concentrada y torres de energía solar concentrada. Como se conoce en la materia, el colector solar 10 convierte la energía solar en energía térmica, que puede utilizarse para accionar el generador eléctrico 30. La energía térmica residual (es decir, calor de proceso) puede utilizarse para accionar el sistema de extracción de aire 42 y/o el sistema colector 50. Por ejemplo, el calor de proceso se puede utilizar para mejorar la eficacia de las reacciones químicas y/o físicas utilizadas en el sistema de extracción de aire 42 para absorber CO₂ del aire y/o suprimir el CO₂ del medio. Además, en otras realizaciones a modo de ejemplo, como se muestra por las flechas discontinuas en la FIG. 2, el calor directo del colector solar 10 se puede utilizar para accionar el sistema de extracción de aire 42 y/o el sistema colector 50.

El generador eléctrico 30 puede ser, por ejemplo, un generador de energía térmica que convierte la energía térmica proporcionada por el colector solar en electricidad. Como se conoce en la materia, el calor del sol puede centrarse en un medio, tal como sales fundidas, que se utilizan para generar un vapor de alta presión y temperatura elevada que acciona una turbina para generar electricidad. La electricidad generada puede utilizarse entonces para impulsar los otros componentes del sistema 2, además de proporcionar energía a la población general como parte de una red eléctrica. A este respecto, la energía térmica proporcionada por el colector solar 10 puede complementarse por la energía generada por la fuente 20 energética suplementaria. Por ejemplo, la fuente 20 energética suplementaria puede ser una incineradora de residuos, que proporciona energía térmica adicional para accionar el generador eléctrico 30. Además, se debe apreciar que cualquier otro tipo de fuente de energía renovable se pueda utilizar además de la energía solar, y preferentemente una fuente de energía renovable que produce calor como precursor para la generación de electricidad. Otras fuentes de energía renovable potenciales a utilizar, además de la energía solar, incluyen, por ejemplo, fuentes de energía nuclear, biomasa y geotérmica.

Alternativamente, el generador eléctrico 30 puede ser cualquier instalación (planta) de combustible fósil conocida o descubierta posteriormente que se basa en la quema de combustibles fósiles, tales como, por ejemplo, carbón, aceite combustible, gas natural y esquisto bituminoso, para la generación de electricidad. El generador eléctrico también puede tener un fin distinto de la generación de electricidad (por ejemplo, el generador eléctrico podría utilizarse para procesamiento químico, o diversos fines como la producción de aluminio). La energía térmica producida por la central eléctrica 30 de combustible fósil puede utilizarse para producir electricidad y la energía térmica residual (es decir, calor de proceso) puede utilizarse para accionar el sistema de extracción de aire 42 y/o el sistema de secuestro 50. Por ejemplo, el calor de proceso de la central eléctrica 30 de combustible fósil se puede utilizar para mejorar la eficacia de las reacciones químicas y/o físicas utilizadas en el sistema de extracción de aire 42 para absorber CO₂ del aire y/o suprimir el CO₂ del medio. El calor residual proporcionado por la central eléctrica 30 de combustible fósil puede ser complementado por la energía generada por una fuente energética suplementaria. Por ejemplo, la fuente energética suplementaria puede ser una incineradora de residuos o una fuente de energía renovable, tal como, por ejemplo, fuentes de energía solar, nuclear, biomasa, y geotérmica, que proporciona energía térmica adicional para accionar el sistema de extracción de aire 42 y/o el sistema colector 50. El calor de proceso de la fuente energética suplementaria también se puede utilizar para accionar el sistema de extracción de aire 42 y/o el sistema colector 50.

Además, como se ha descrito anteriormente, "calor de proceso" puede proporcionarse por el uso de fuentes de energía para producir productos distintos de la generación de energía o de electricidad. Por ejemplo, el procesamiento primario, tal como el procesamiento químico, la producción de cemento, acero o aluminio, el refinado, la producción de los productos energéticos como el carbón y los productos energéticos líquidos, puede utilizar calor para conducir el procesamiento primario, y el calor no utilizado restante tras el procesamiento primario o creado durante el procesamiento primario sería el calor de proceso de tal procesamiento, y se puede utilizar en un sistema o método de acuerdo con los principios de la presente invención.

La Fig. 3 es un diagrama de bloques del sistema de extracción de aire 42 utilizable con el sistema 2 de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la presente invención. El sistema de extracción de aire 42 incluye un contactor de aire 41, un caustificador 43, un apagador 45, un calcinador 47 y una unidad de captura 49. El contactor de aire 41 puede utilizar un material sorbente para capturar selectivamente CO₂ del aire, y puede estar compuesto de cualesquiera estructuras contactoras conocidas o descubiertas posteriormente, tales como, por ejemplo, grandes torres de convección, charcas estancadas transparentes, y torres depuradoras de relleno. En la presente realización, el material sorbente puede ser hidróxido de sodio (NaOH), que absorbe fácilmente CO₂ del aire. Debe apreciarse que se pueden utilizar otros métodos de captura conocidos o descubiertos en el futuro, tal como, por ejemplo, absorción química, adsorción física y química, destilación a baja temperatura, membranas de separación de gases,

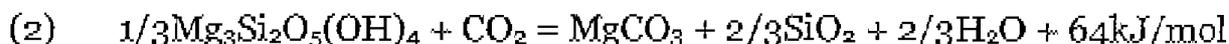
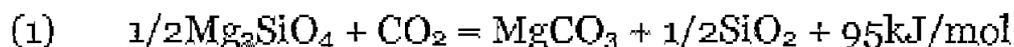
mineralización/biomineralización y vegetación. Como un ejemplo adicional, que se conoce en la materia, las soluciones acuosas de aminas o sorbentes sólidos enriquecidos con amina se pueden utilizar para absorber CO₂. Preferentemente, el material sorbente se regenera y el método de captura requiere menos de aproximadamente 100-120 °C de calor para regenerar el material sorbente.

En la presente realización, en el contactor de aire 41, el CO₂ puede ser absorbido en una solución de NaOH que forma carbonato de sodio (Na₂CO₃), p. ej., de la manera descrita por Stolaroff *et al.* en un artículo titulado "A pilot-scale prototype contactor for CO₂ capture from ambient air: cost and energy requirements", cuyo artículo se puede encontrar en www.ucalgary.ca/~keith/papers/84.Stolaroff.AirCaptureGHGT-8.p.pdf. Naturalmente, otros absorbedores conocidos o desarrollados en el futuro también se pueden utilizar como una alternativa o además de una solución de NaOH. El Na₂CO₃ generado se envía entonces al caustificador 43, en el que el NaOH se regenera por adición de cal (CaO) en un proceso por lotes. El sólido de CaCO₃ resultante se envía al calcinador 47 en el que se calienta en un horno para regenerar el CaO, suprimiendo el CO₂ en un proceso conocido como la calcinación. El CaO regenerado se envía luego a través del apagador 45, que produce cal apagada Ca(OH)₂ para su uso en el caustificador 43.

La unidad de captura 49 captura el CO₂ suprimido del calcinador 47 utilizando cualquier método de captura de CO₂ conocido o descubierto posteriormente que es eficaz en bajas concentraciones en las que CO₂ está presente en la atmósfera y que sólo necesita calor a baja temperatura para la regeneración. Por ejemplo, la unidad de captura 49 puede utilizar un sistema de captura basado en aminas, tal como el sistema descrito en la patente de Estados Unidos n.º 6.547.854 de Gray *et al.*, con fecha del 15 de abril de 2003, y también en la patente de Estados Unidos n.º 6908497 de Sirwardane. La unidad de captura 49 también puede comprimir el CO₂ capturado a forma líquida para que el CO₂ pueda secuestrarse con más facilidad.

El sistema colector 50 aísla el dióxido de carbono retirado a una ubicación para al menos uno entre un secuestro, almacenamiento y generación de un combustible de carbono renovable o la generación de productos no combustibles, tales como fertilizantes y materiales de construcción. El sistema colector 50 puede utilizar cualquier carbono conocido o descubierto en el futuro, técnicas de secuestro y/o almacenamiento, tales como, por ejemplo, la infección en formaciones geológicas o secuestro mineral. En el caso de la inyección, el CO₂ capturado puede ser secuestrado en formaciones geológicas, tales como, por ejemplo, depósitos de gas y petróleo, vetas de carbón no explotables y embalses salinos profundos. En este sentido, en muchos casos, la infección por CO₂ en una formación geológica puede potenciar la recuperación de hidrocarburos, proporcionando los subproductos de valor añadido que pueden compensar el coste de captura y recogida de CO₂. Por ejemplo, la inyección de CO₂ en un depósito de petróleo o gas natural expulsa el producto en un proceso conocido como recuperación potenciada de petróleo. El CO₂ capturado puede ser secuestrado bajo tierra, y de acuerdo con al menos una realización de la invención en un sitio remoto a barlovento de los otros componentes del sistema 2 de modo que cualquier fuga desde el sitio se vuelve a capturar por el sistema 2.

En lo que respecta al secuestro mineral, el CO₂ puede ser secuestrado por una reacción de carbonatación con silicatos de calcio y magnesio, que se producen naturalmente al igual que los depósitos minerales. Por ejemplo, como se muestra en las reacciones (1) y (2) a continuación, el CO₂ puede hacerse reaccionar con forsterita y serpentina, que produce carbonatos de calcio y de magnesio sólidos en una reacción exotérmica.



Estas dos reacciones se ven favorecidas a baja temperatura. En este sentido, tanto los procesos de captura de aire y de secuestro de aire descritos en la presente memoria pueden utilizar electricidad y/o energía térmica generada por el colector solar 10 (u otra fuente de energía renovable) para conducir las reacciones necesarias y la energía de los componentes del sistema apropiado. En una realización a modo de ejemplo de la presente invención, un vehículo de alta temperatura se puede calentar hasta una temperatura en un intervalo de aproximadamente 400 °C a aproximadamente 500 °C para generar vapor para hacer funcionar un generador de electricidad, y el vapor a temperatura inferior que sale de las turbinas que generan energía eléctrica se pueden utilizar para suprimir el CO₂ y regenerar el sorbente (p. ej., NaOH). La temperatura del calor a alta temperatura, la electricidad generada y la temperatura del calor de proceso de temperatura inferior restante tras la producción de electricidad se pueden ajustar para producir la mezcla de la producción de electricidad y la retirada de CO₂ que se considera óptima para una aplicación dada. Además, en realizaciones a modo de ejemplo, el calor de proceso a temperatura inferior que surge de las etapas de captura y secuestro puede utilizarse para refrigerar el equipo utilizado en estas etapas.

Una o más sistemas para retirar dióxido de carbono de la atmósfera se pueden utilizar como parte de un termostato global de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la presente invención. Mediante la regulación de la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera y por tanto el efecto invernadero causado por dióxido de carbono y otras emisiones de gases, el sistema descrito en la presente memoria puede utilizarse para alterar la temperatura media global. De acuerdo con al menos una realización a modo de ejemplo de la presente invención, varios

sistemas de captura y secuestro de dióxido de carbono pueden estar situados en diferentes ubicaciones en el mundo a fin de que el funcionamiento de los múltiples sistemas pueda utilizarse para alterar la concentración de CO₂ en la atmósfera y de este modo cambiar el gas de efecto invernadero que está calentando el planeta. Las ubicaciones pueden elegirse de manera que tengan el mayor efecto en áreas tales como grandes centros industriales y ciudades densamente pobladas, o fuentes puntuales naturales de CO₂ cada uno de los cuales podrían crear concentraciones localmente más altas de CO₂ que permitirían una captura eficiente más costosa. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 4, múltiples sistemas 1 pueden dispersarse en el mundo, y la cooperación internacional, incluyendo, por ejemplo, la financiación y acuerdos internacionales, pueden utilizarse para regular la construcción y el control de los sistemas 1. A este respecto, la concentración de gases de efecto invernadero se puede cambiar para alterar la temperatura media global del planeta para evitar períodos de enfriamiento y calentamiento, que pueden ser destructivos para los sistemas humanos y ecológicos. Durante la pasada historia de nuestro planeta, por ejemplo, ha habido muchos periodos de glaciación y oscilaciones rápidas de temperatura que han causado destrucción e incluso extinciones en masa. Tales oscilaciones de temperatura en el futuro podrían ser una causa directa de un daño masivo y de la desestabilización de la sociedad humana a causa de los conflictos resultantes de la disminución de los posibles recursos. El termostato global descrito en la presente memoria puede ser la clave para prevenir tales desastres en las próximas décadas.

La FIG. 5 es un diagrama de bloques de un sistema, generalmente designado por el número de referencia 100, para retirar dióxido de carbono de una atmósfera de acuerdo con otra realización a modo de ejemplo de la presente invención. El sistema 100 incluye una fuente de energía renovable 110, una fuente energética 120 suplementaria opcional, un generador eléctrico 130, un sistema 1 de extracción de aire 42 y un sistema colector 150. La presente realización difiere de la realización de la Figura 2 en que la fuente de energía renovable 110 puede ser cualquier fuente de energía conocida o descubierta en el futuro además de fuentes de energía, tales como solar, por ejemplo, nuclear, geotérmica y de biomasa. Preferentemente, la fuente de energía renovable produce energía térmica, que se puede utilizar para producir electricidad y para mejorar la eficiencia de las diversas reacciones químicas y/o físicas que tienen lugar dentro del sistema 1 de extracción de aire 42 y del sistema colector 150. En este sentido, el sistema 1 de extracción de aire 42 y el sistema colector 150 pueden ser los mismos que los descritos con referencia a la realización previa, o pueden incluir componentes de acuerdo con cualquier otro sistema de extracción de aire y colectores conocido o descubierto en el futuro. Además, como se muestra en la FIG. 4 con referencia a la realización previa, una pluralidad de sistemas 100 puede colocarse estratégicamente por todo el mundo, y el control de los sistemas 100 puede coordinarse de manera que funcionen en conjunto como un termostato global.

Las FIGS 6-9 son ilustraciones esquemáticas de varias maneras en las que el dióxido de carbono puede retirarse de la atmósfera, de acuerdo con los principios de la presente invención.

Específicamente, en la FIG. 6, se ilustra un par de sustratos 600, 602, cada uno de los cuales tiene un medio (p. ej., NaOH, una amina) que puede entrar en contacto con la atmósfera para retirar dióxido de carbono de la atmósfera. Los sustratos 600, 602 tienen una forma plana (en el sentido de que tienen un área relativamente grande en comparación con su grosor) y están orientados verticalmente, y cada uno puede ser relativamente grande (en área superficial) y relativamente fino (p. ej., del orden de unos pocos milímetros, y preferentemente no más grueso que un metro). Cada sustrato puede moverse (p. ej., mediante un sistema de poleas (no mostrado) entre una posición superior en la que el aire cargado de dióxido de carbono entra en contacto con el medio transportado por el sustrato para retirar el dióxido de carbono del aire, y una posición inferior en la cual el calor de proceso se dirige al sustrato para retirar el dióxido de carbono del medio. Los sustratos 600, 602 son porosos con grandes áreas superficiales, de modo que el aire dirigido a un sustrato puede fluir a través del sustrato. Cuando un sustrato se encuentra en una posición superior (p. ej., la posición del sustrato 600), el aire cargado de dióxido de carbono se dirige al sustrato (p. ej., mediante un ventilador 604 mostrado en líneas discontinuas), de modo que a medida que el aire fluye a través del sustrato, el dióxido de carbono se pone en contacto con el medio y se retira esencialmente del aire. De este modo, el aire cargado de dióxido de carbono se dirige al sustrato y a través del sustrato de modo que el dióxido de carbono se pone en contacto con el medio, el dióxido de carbono se retira esencialmente del aire por el medio, y el aire del cual se ha retirado esencialmente el dióxido de carbono se dirige lejos del sustrato. Cuando un sustrato se mueve a la posición inferior (p. ej., la posición del sustrato 602), el calor de proceso se dirige al sustrato (p. ej., por medio de un conducto de fluido 606), y el dióxido de carbono se retira (extrae) por una fuente de fluido que se dirige al sustrato (en la dirección mostrada por la flecha 608) y una fuente de aspiración 610 mediante la cual el dióxido de carbono que se ha retirado del medio se aparta del sustrato. Los sustratos 600, 602 pueden moverse alternativamente entre las posiciones superior e inferior, de modo que el sustrato en la posición superior es la retirada de dióxido de carbono del aire y el dióxido de carbono se retira del sustrato en la posición inferior. Cabe señalar que en lugar del ventilador, si hay vientos fuertes, los flujos de viento naturales disponibles pueden utilizarse para conducir el aire a través del sustrato. Además, como se describe a continuación, el ventilador se puede reemplazar con una fuente solar accionada (o por el viento o corriente de aire accionadas térmicamente), en cuyo caso la eficacia y la reducción de costos de la extracción de dióxido de carbono del aire atmosférico se pueden mejorar adicionalmente. Además, en lugar de intercambiar las posiciones de los sustratos, los medios para generar los flujos de aire, el flujo de calor de proceso, y el flujo de dióxido de carbono alejado del sustrato pueden intercambiarse cuando el dióxido de carbono se captura del aire y después se extrae del medio, como resultará fácilmente evidente para los expertos en la materia.

La FIG 7 es una ilustración esquemática de otra versión de un medio para retirar dióxido de carbono de una atmósfera y para retirar dióxido de carbono del medio, de acuerdo con los principios de la presente invención. Específicamente, en la FIG. 7, se ilustra un par de sustratos 700, 702, cada uno de los cuales tiene un medio (p. ej., NaOH, una amina) que puede entrar en contacto con la atmósfera para retirar dióxido de carbono de la atmósfera.

5 Los sustratos 700, 702 están orientados verticalmente y pueden ser relativamente grandes (en área superficial) y relativamente finos (p. ej., del orden de milímetros o centímetros). Cada sustrato puede moverse horizontalmente (p. ej., mediante un sistema de poleas (no mostrado) entre una posición de extracción de aire en la que el aire cargado de dióxido de carbono entra en contacto con el medio transportado por el sustrato para retirar el dióxido de carbono del aire, y una posición de extracción de carbono en la cual el calor de proceso se dirige al sustrato para retirar el dióxido de carbono del medio. Los sustratos 700, 702 son porosos, de modo que el aire dirigido a un sustrato puede fluir a través del sustrato. Cuando un sustrato se encuentra en una posición de extracción de aire (p. ej., la posición del sustrato 700), el aire cargado de dióxido de carbono se dirige al sustrato (p. ej., mediante un ventilador 704 mostrado en líneas discontinuas), de modo que a medida que el aire fluye a través del sustrato, el dióxido de carbono se pone en contacto con el medio y se retira esencialmente del aire. De este modo, el aire cargado de dióxido de carbono se dirige al sustrato y a través del sustrato de modo que el dióxido de carbono se pone en contacto con el medio, el dióxido de carbono se retira esencialmente del aire por el medio, y el aire del cual se ha retirado esencialmente el dióxido de carbono se dirige lejos del sustrato. Cuando un sustrato se mueve a la posición de extracción de carbono (p. ej., la posición del sustrato 702), el calor de proceso se dirige al sustrato (p. ej., por medio de un conducto de fluido 706), y el dióxido de carbono se retira (extrae) por una fuente de fluido que se dirige al sustrato (en la dirección mostrada por la flecha 708) y una fuente de aspiración 710 mediante la cual el dióxido de carbono que se ha retirado del medio se aparta del sustrato. Los sustratos 700, 702 pueden moverse alternativamente entre las posiciones de extracción de aire y de extracción de carbono, de modo que el sustrato en la posición de extracción de aire es la retirada de dióxido de carbono del aire y el dióxido de carbono se retira del sustrato en la posición de extracción de carbono. Cabe señalar que en lugar del ventilador, si hay vientos fuertes, los flujos de viento naturales disponibles pueden utilizarse para conducir el aire a través del sustrato. Además, como se describe a continuación, el ventilador se puede reemplazar con una fuente solar accionada (o por el viento o corriente de aire accionadas térmicamente), en cuyo caso la eficacia y la reducción de costos de la extracción de dióxido de carbono del aire atmosférico se pueden mejorar adicionalmente. Además, en lugar de intercambiar las posiciones de los sustratos, los medios para generar los flujos de aire, el flujo de calor de proceso, y el flujo de dióxido de carbono alejado del sustrato pueden intercambiarse cuando el dióxido de carbono se captura del aire y después se extrae del medio, como resultará fácilmente evidente para los expertos en la materia.

La versión de la invención mostrada en la FIG. 9 es generalmente similar a la versión orientada horizontalmente de la FIG. 7, pero en la versión de la FIG. 9, en lugar de que un ventilador sea la fuente que mueve el aire cargado de carbono a través del sustrato en la posición de extracción de aire (p. ej., sustrato 900), hay una fuente de flujo de gas que se genera a partir de una torre o chimenea de calentamiento solar (mostrada esquemáticamente en 912 en la FIG. 9). Una chimenea solar puede generarse por el calentamiento de una masa de aire por el sol. La chimenea solar tendría una "falda" (que se muestra en líneas discontinuas en 913 en la FIG. 9) que permite que el aire calentado por el sol se concentre en la chimenea. De este modo, un campo solar con una chimenea solar puede asociarse con un sistema y una estructura que retira el dióxido de carbono de la atmósfera y retira el dióxido de carbono a partir de un medio de la manera mostrada y descrita en relación con la FIG. 7. No obstante, en lugar de un ventilador 704 como el conductor principal de aire cargado de dióxido de carbono en el sustrato, el aire cargado de dióxido de carbono se calienta por energía solar y se deja que el aire se eleve en el embudo o torre solar 912. Debido a la tendencia del aire caliente a subir, se genera una corriente ascendente, que llevaría consigo el aire cargado de dióxido de carbono, y el sustrato 900 se posicionaría en la dirección de la corriente ascendente. De este modo, el aire cargado de dióxido de carbono se dirige a través del sustrato 900 en la posición de extracción de aire, y el dióxido de carbono se retira del sustrato 902 en la posición de extracción de carbono de la misma manera como se muestra y describe en relación con la FIG. 7. Al conducir la extracción de dióxido de carbono del aire por la energía solar, los costes de extracción se reducen aún más, y la operación general es altamente renovable. Por supuesto, sería necesaria una previsión durante esos periodos en los que el sol no brilla, y sería necesario algún tipo de accionador similar al ventilador 704 (FIG. 7). Pero en cualquier caso, tener periodos en los que, en lugar del ventilador, se sustituye el ventilador con una fuente solar accionada (o ya sea por el viento o las corrientes de aire impulsadas térmicamente), la eficacia y la reducción de costes de extracción de dióxido de carbono de aire atmosférico pueden mejorarse aún más.

La FIG 8 es una ilustración esquemática de otra versión de un medio para retirar dióxido de carbono de la atmósfera y retirar dióxido de carbono del medio, de acuerdo con los principios de la presente invención. En la FIG. 8, se retira el medio a partir del cual se retira el dióxido de carbono del aire atmosférico y a partir del cual el dióxido de carbono se retira del medio que está dispuesto sobre un sustrato 800 en movimiento continuo. El sustrato se mueve a través de una zona 814 de extracción de aire, en la que el aire cargado de dióxido de carbono se dirige al sustrato y a través del sustrato (que también es poroso como en las realizaciones anteriores), de modo que el dióxido de carbono se retira del aire. El sustrato 800 se mueve entonces a una zona 816 de extracción de carbono, en el que el calor de proceso se dirige al sustrato y el carbono se aparta del sustrato de la manera descrita anteriormente en relación con las FIGS. 6, 7. Entonces, el sustrato 800 se mueve a una zona 816 de intercambio de calor y a través de una zona 818 de intercambio de calor, en la que se disminuye la temperatura del sustrato (p. ej., por el aire que flúa a través del sustrato en la zona de extracción de aire, y por cualquier dispositivo de enfriamiento adicional que

puede ser útil en la reducción de la temperatura del sustrato a un nivel que le permite retirar eficientemente el dióxido de carbono del aire cuando el sustrato retrocede a través de la zona de extracción 814. Además, el sistema de la FIG. 8 puede tener otra zona 816 de extracción de carbono, en la que el calor de proceso se dirige al sustrato y el carbono se aparta del sustrato de la manera descrita anteriormente en relación con las FIGS. 6, 7.

5 Asimismo hay que señalar que en todas las versiones de la invención descrita anteriormente, la retirada de dióxido de carbono del aire puede realizarse al menos parcialmente en condiciones de no equilibrio. Adicionalmente, cabe señalar que el concepto preferente de los solicitantes en cuanto a la extracción de dióxido de carbono de la atmósfera comprende el uso de un sustrato de gran área superficial relativamente fina con un medio (p. ej., una amina) que retira el dióxido de carbono de la atmósfera y utiliza calor de proceso para retirar el carbono dióxido del medio. El uso de un sustrato de área relativamente grande perpendicular a la dirección del flujo de aire es especialmente útil, debido a la concentración relativamente baja de dióxido de carbono en la atmósfera (en contraposición a la concentración relativamente alta que normalmente se encuentra, p. ej., en los gases de combustión).

10
15

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (100) para retirar dióxido de carbono de la atmósfera que forma parte de un termostato global con el fin de reducir el calentamiento global que puede aumentar la disponibilidad de energía renovable o de productos no combustibles, tales como fertilizantes y materiales de construcción, comprendiendo el termostato global una pluralidad de tales sistemas dispersos a través del planeta que actúan regulando la cantidad de CO₂ en la atmósfera y por tanto el efecto invernadero causado por el dióxido de carbono y otras emisiones de gases, comprendiendo el sistema:
- un sistema de extracción de aire (40) que comprende una unidad contactora de aire (41) dispuesta para pasar aire atmosférico a través de un medio que recoge el dióxido de carbono de la atmósfera, comprendiendo el medio un sustrato (600, 602, 700, 702) poroso, de forma plana y orientado vertical u horizontalmente, capaz de extraer CO₂ de la atmósfera, comprendiendo el medio una amina unida a la superficie del sustrato (600, 602, 700, 702), pudiendo moverse el sustrato entre una primera posición en la que el aire cargado de dióxido de carbono a temperatura ambiente se pone en contacto con el medio transportado por el sustrato para retirar dióxido de carbono del aire, y una segunda posición en la que el calor del proceso a una temperatura inferior a aproximadamente 120 °C se dirige al sustrato para retirar el dióxido de carbono del medio; y un sistema colector (50) que aísla el dióxido de carbono retirado a una ubicación para al menos uno entre secuestro, almacenamiento y generación de un combustible de carbono renovable o de productos no combustibles, tales como fertilizantes y materiales de construcción; y una o más fuentes de energía que suministran calor de proceso al sistema de extracción de aire para retirar el dióxido de carbono del medio y que pueden regenerarse para uso continuo, en donde una o más fuentes de energía (10, 20) se seleccionan de entre el grupo de fuentes de energía primaria que consiste en: combustibles fósiles, geotérmica, nuclear, solar, biomasa y otras fuentes de energía renovable y procesos químicos exotérmicos cuyo uso puede dar como resultar un suministro de calor de proceso.
2. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además un sistema de poleas para mover el sustrato en forma plana entre la primera posición y la segunda posición.
3. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el sustrato (600, 602) se mantiene en una orientación esencialmente vertical cuando es movido por el sistema de poleas.
4. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el sustrato (700, 702) se mantiene en una orientación esencialmente horizontal cuando es movido por el sistema de poleas.
5. Un termostato global para controlar la temperatura media de la atmósfera del planeta, que comprende una pluralidad de sistemas (100) de acuerdo con la reivindicación 1.
6. Un método para retirar dióxido de carbono de la atmósfera mediante el uso de al menos uno de una pluralidad de sistemas dispersos a través del planeta que comprenden juntos un termostato global, comprendiendo cada sistema un sistema de extracción de aire, un sistema colector y una o más fuentes de energía, comprendiendo el sistema de extracción de aire un medio para recoger dióxido de carbono de la atmósfera, comprendiendo el medio un sustrato (600, 602, 700, 702) poroso, de forma plana y orientado vertical u horizontalmente capaz de extraer CO₂ de la atmósfera, comprendiendo el medio una amina unida a la superficie del sustrato (600, 602, 700, 702); comprendiendo el método:
- mover el sustrato a una primera posición en la que el aire cargado de dióxido de carbono se pone en contacto con el medio transportado por el sustrato para retirar el dióxido de carbono del aire a temperatura ambiente; mover el sustrato a una segunda posición y dirigir el calor de proceso de una o más fuentes de energía a una temperatura inferior a aproximadamente 120 °C en el sustrato para retirar el dióxido de carbono del medio, en donde una o más fuentes de energía (10, 20) se seleccionan de entre el grupo de fuentes de energía primaria que consiste en: combustibles fósiles, geotérmica, nuclear, solar, biomasa y otras fuentes de energía renovable y procesos químicos exotérmicos cuyo uso puede dar como resultado un suministro de calor de proceso; y aislar el dióxido de carbono retirado a una ubicación para al menos uno entre secuestro, almacenamiento y generación de un combustible de carbono renovable o de productos no combustibles, tales como fertilizantes y materiales de construcción.
7. El método de la reivindicación 6, que comprende el uso de un sistema de poleas para mover el sustrato de forma plana entre la primera posición y la segunda posición.
8. Un método de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el sustrato (600, 602) se mantiene en una orientación esencialmente vertical cuando es movido por el sistema de poleas.
9. Un método de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el sustrato (700, 702) se mantiene en una orientación esencialmente horizontal cuando es movido por el sistema de poleas.

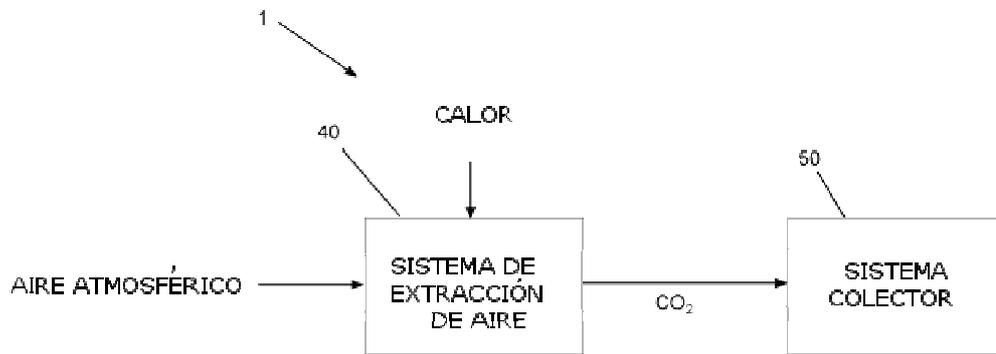


FIG. 1

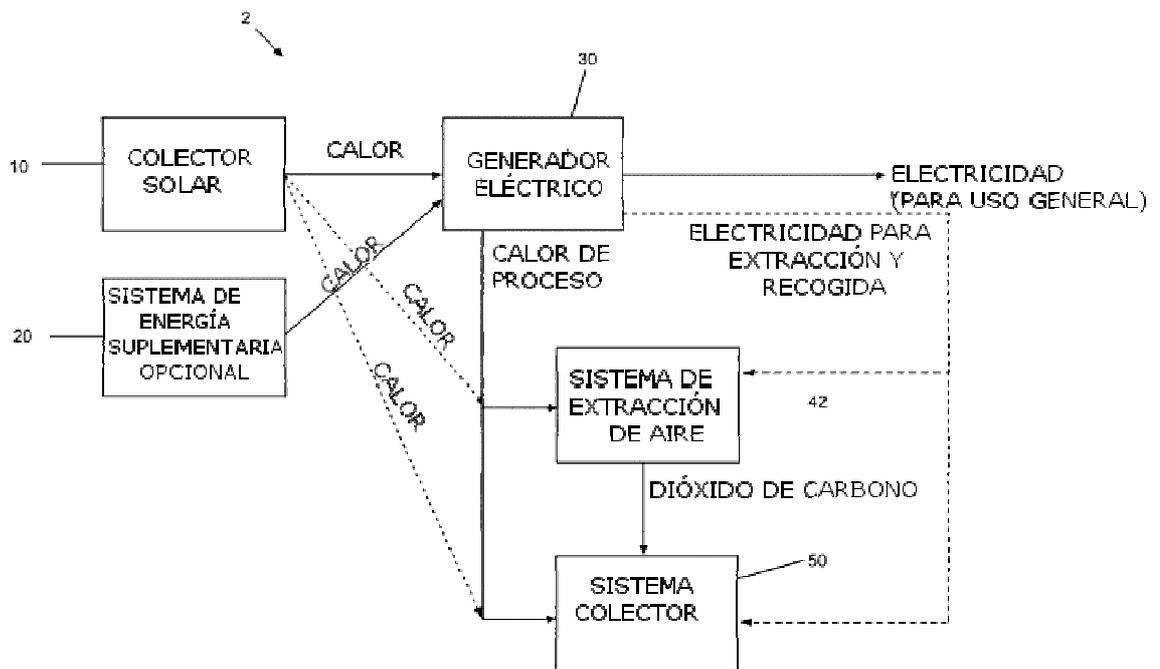


FIG. 2

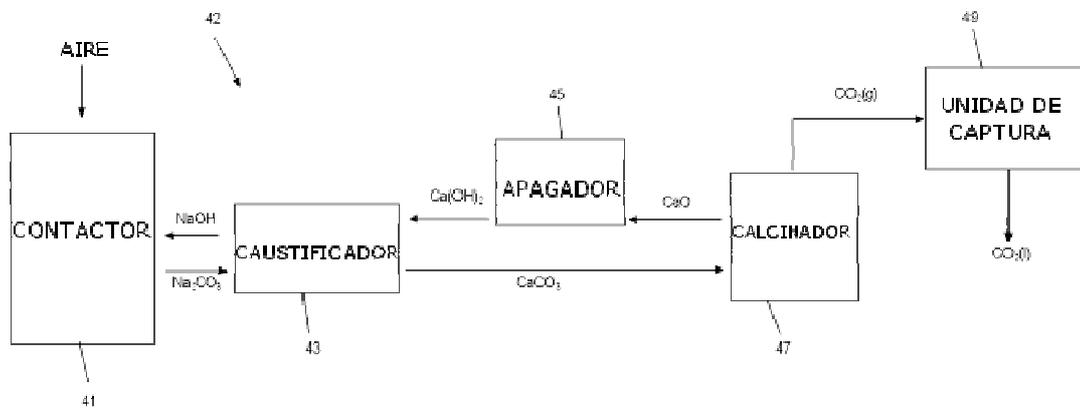


FIG. 3

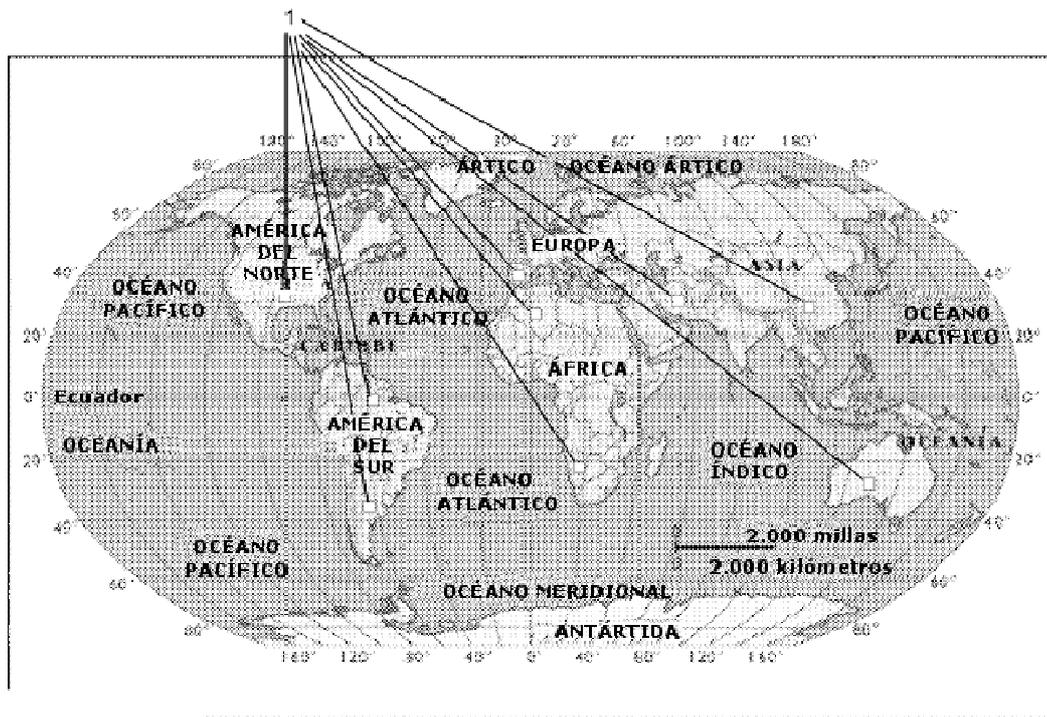


FIG. 4

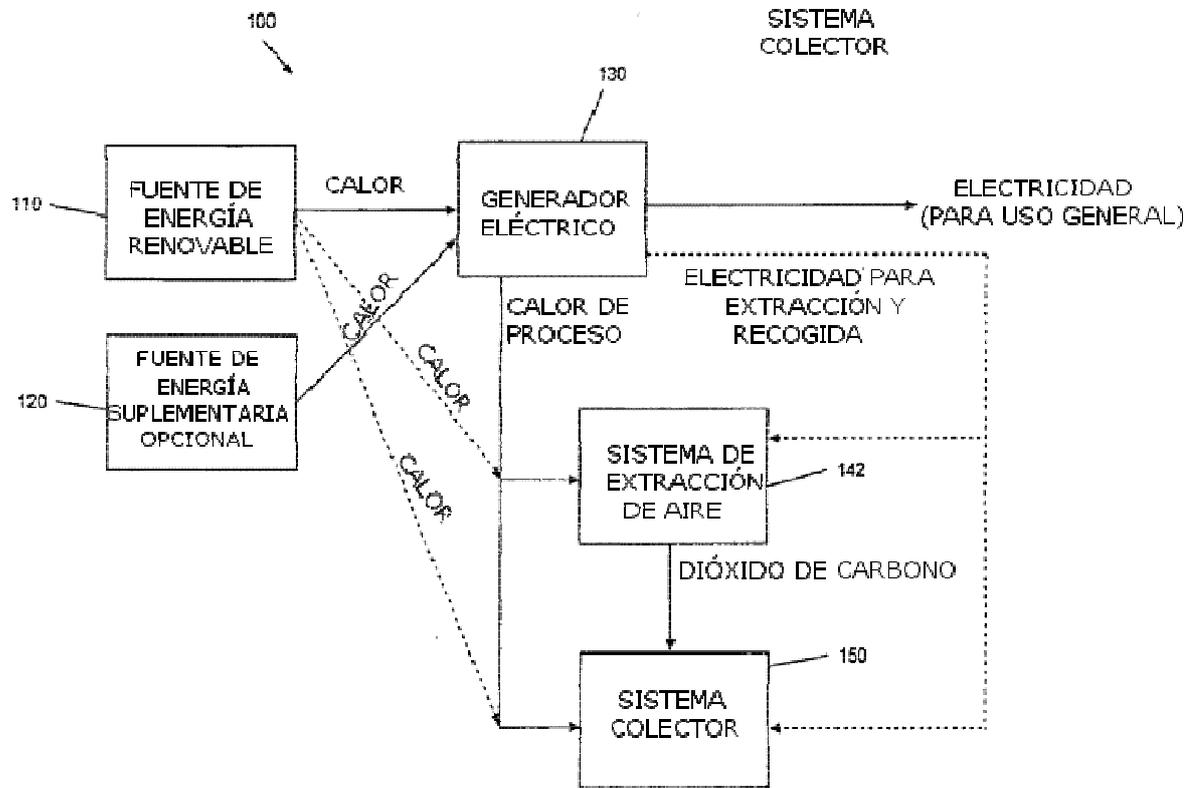


FIG. 5

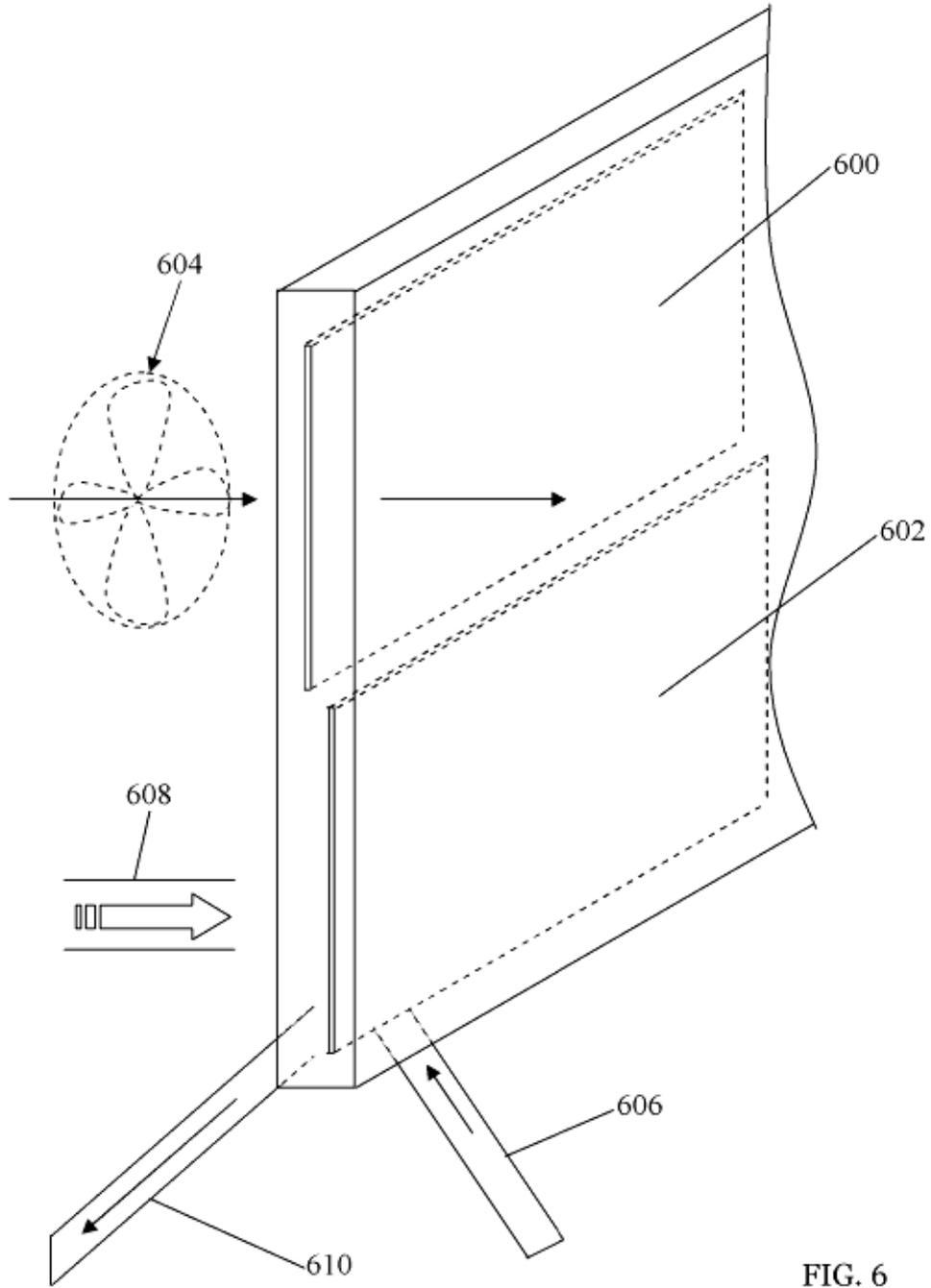


FIG. 6

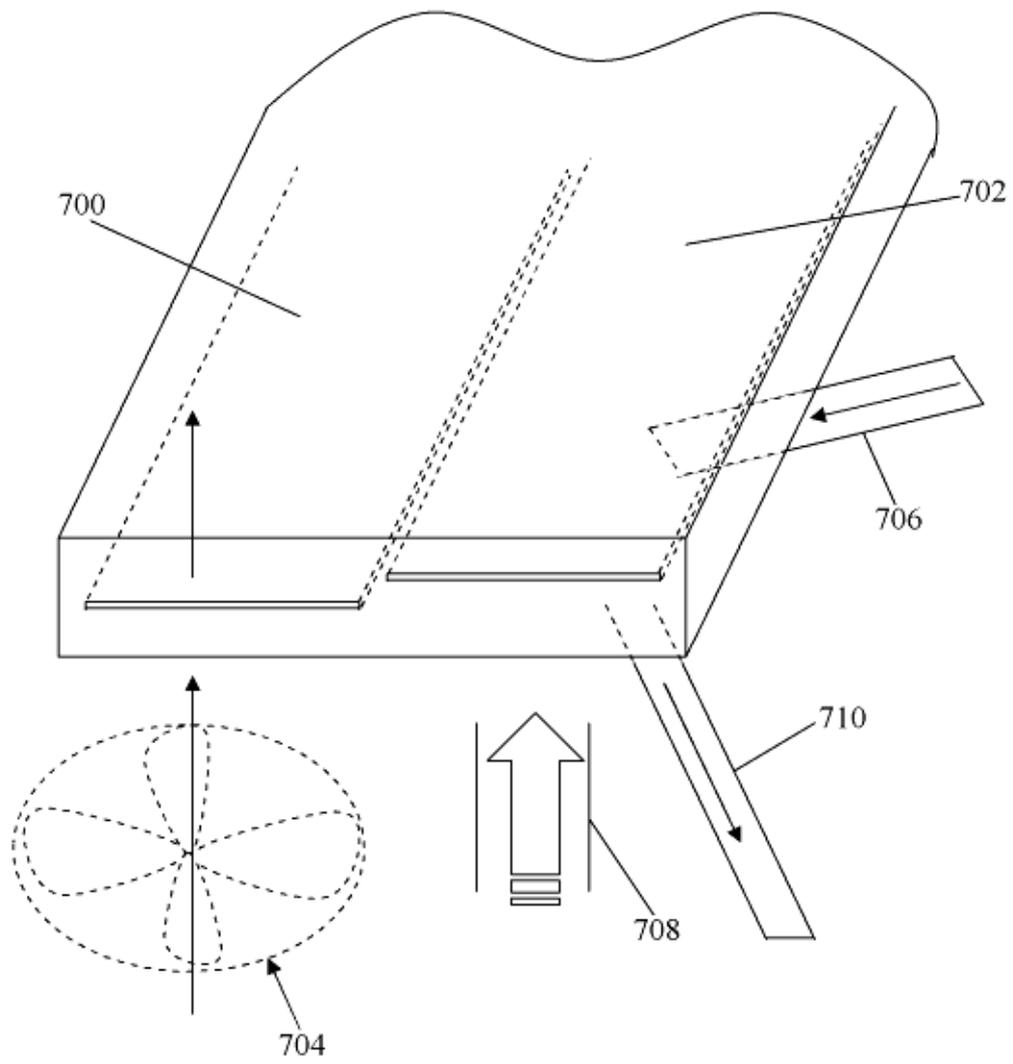


FIG. 7

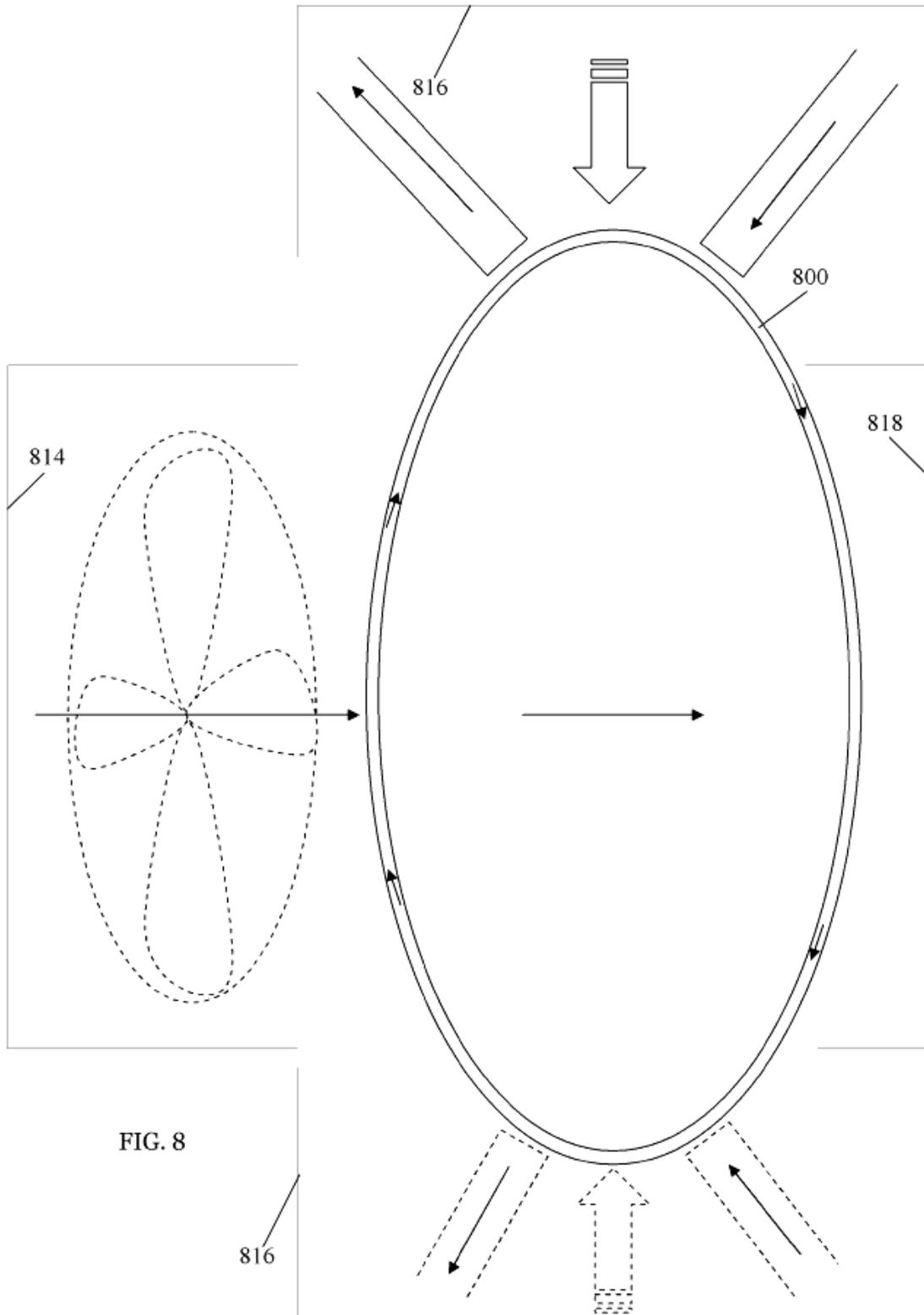


FIG. 8

