

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 768 619**

51 Int. Cl.:

B01D 53/14 (2006.01)
B01D 53/96 (2006.01)
B01D 53/62 (2006.01)
B01D 53/08 (2006.01)
B01D 53/12 (2006.01)
B01D 53/04 (2006.01)
F28D 7/10 (2006.01)
F28D 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.03.2014 PCT/KR2014/002078**
 87 Fecha y número de publicación internacional: **18.09.2014 WO14142556**
 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.03.2014 E 14762615 (4)**
 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.01.2020 EP 2954942**

54 Título: **Dispositivo de recolección de dióxido de carbono**

30 Prioridad:

13.03.2013 KR 20130026593

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.06.2020

73 Titular/es:

**KOREA RESEARCH INSTITUTE OF CHEMICAL
TECHNOLOGY (100.0%)
141 Gajeong-ro, Yuseong-gu
Daejeon 305-600, KR**

72 Inventor/es:

**PARK, YONG KI;
CHOI, WON CHOON;
KANG, NA YOUNG y
SEO, HWI MIN**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 768 619 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

Dispositivo de recolección de dióxido de carbono

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un aparato de captura de dióxido de carbono, y más específicamente a un aparato de captura de dióxido de carbono que impide que el dióxido de carbono presente en los gases de escape de instalaciones industriales responsables de grandes emisiones de dióxido de carbono, tales como centrales energéticas y plantas siderúrgicas, sean emitidos a la atmósfera.

Antecedentes de la técnica

Debido al reciente calentamiento global, se están fundiendo los casquetes polares, provocando un incremento del nivel del mar. Los cambios recientes en el clima han causado fenómenos meteorológicos poco habituales en todo el mundo. Es conocido que el calentamiento global se atribuye a las mayores emisiones de gases de efecto invernadero. Se han firmado acuerdos internacionales para restringir las emisiones de dióxido de carbono. Los intentos de supresión de las emisiones de dióxido de carbono mediante la introducción de bonos de carbono se han convertido en problemas económicos en países individuales de todo el mundo. Los esfuerzos por reducir las emisiones de dióxido de carbono se han dirigido a desarrollar fuentes de energía alternativas (tales como energía solar y energía eólica) capaces de sustituir los combustibles fósiles, y técnicas para la captura y almacenamiento del dióxido de carbono procedente de combustibles fósiles, evitando simultáneamente la emisión del dióxido de carbono a la atmósfera. Estas últimas técnicas se denominan técnicas de captura y almacenamiento de carbono (CAC), y se clasifican en general en técnicas de captura de dióxido de carbono de centrales energéticas y plantas siderúrgicas, y técnicas de almacenamiento de dióxido de carbono capturado en el suelo o en los océanos.

El documento nº US 2009/120288 da a conocer un método de captura de dióxido de carbono que comprende un material sorbente 30 que captura CO₂ en una corriente de gas. El material sorbente 30 a continuación puede desplazarse desde una unidad de captura 10, en la que ha capturado el CO₂, a una unidad de regeneración 20, donde se libera el CO₂. A la vez, se utiliza un intercambiador de calor 40 para transferir calor desde la unidad de regeneración 20 al material sorbente cargado de CO₂ 30. De acuerdo con lo anterior, se produce el intercambio de calor entre el material sorbente cargado de CO₂ 30 y el material sorbente regenerado 30 que no comprende CO₂.

El documento nº CN 101592449 B da a conocer un método de intercambio de calor en un procedimiento de reactivación del adsorbente de desulfuración y denitrificación de gases de escape, que comprende las etapas siguientes: el adsorbente de gases de escape se conduce a un adsorbedor de gases de escape, entrando en contacto con un gas de escape de regeneración con catalizador de craquización catalítica para adsorber y eliminar los sulfuros y nitruros en el gas de escape; el adsorbente de gases de escape adsorbido, que debe regenerarse, se conduce a un regenerador de adsorbente para intercambiar calor con un portador de calor de manera que se eleva la temperatura, y entra en contacto con gas reductor para el lavado y regeneración a temperaturas más altas; tras enfriarse, el adsorbente lavado y regenerado vuelve al adsorbedor de gases de escape para el reciclado, y el portador de calor es sacado con el catalizador del regenerador de catalizador de craquización catalítica. El método dado a conocer combina un enfriador de catalizador del regenerador del dispositivo de craquización catalítica, un intercambiador de calor del adsorbente que debe regenerarse, de una unidad de procesamiento de gases de escape, y un regenerador de adsorbente, que reduce la inversión en equipos y el consumo energético.

Las técnicas de captura de dióxido de carbono pueden dividirse en captura post-combustión, captura pre-combustión y captura mediante oxcombustión, según la etapa en que se captura el dióxido de carbono. Las técnicas de captura de dióxido de carbono también pueden dividirse en técnicas de separación mediante membranas, de separación de fase líquida y de separación de fase sólida según los principios de captura de dióxido de carbono. Las técnicas de separación mediante membranas utilizan membranas de separación para concentrar el dióxido de carbono; las técnicas de separación de fase líquida utilizan adsorbentes líquidos, tales como aminas o amonio acuoso, y las técnicas de separación de fase sólida utilizan adsorbentes de fase sólida, tales como metales alcalinos o alcalino-térreos.

La presente invención se refiere a una técnica de captura para concentrar continuamente el dióxido de carbono contenido en grandes cantidades en gases de escape procedentes de centrales energéticas y calderas de combustión mediante la utilización de un adsorbente. La técnica de captura de la presente invención pertenece a las técnicas de separación de fase sólida post-combustión para el procesamiento del dióxido de carbono contenido en los gases de escape liberados después de la combustión.

Las técnicas de separación de fase sólida se refieren en gran medida al desarrollo de adsorbentes de fase sólida que presentan cualquier adsorbabilidad de dióxido de carbono y al procedimiento de captura de dióxido de carbono mediante la utilización de adsorbentes de fase sólida. La eficiencia de captura del dióxido de carbono resulta muy afectada por la eficiencia de los procedimientos de adsorción, así como por el rendimiento de los adsorbentes de fase sólida.

Los adsorbentes de fase sólida pueden clasificarse ampliamente en adsorbentes orgánicos, inorgánicos, a base de carbono e híbridos orgánicos-inorgánicos según el tipo de sus materiales constituyentes. Los adsorbentes de fase sólida también pueden clasificarse en adsorbentes físicos y adsorbentes químicos según su mecanismo de adsorción del dióxido de carbono. Entre los ejemplos representativos de dichos adsorbentes de fase sólida se incluyen adsorbentes de polímero de amina, tales como adsorbentes orgánicos; adsorbentes a base de zeolita, adsorbentes de álcali y adsorbentes de metal alcalino-térreo, tales como adsorbentes inorgánicos; adsorbentes de carbono activado modificados con metales alcalinos como adsorbentes a base de carbono, y adsorbentes de MOF y adsorbentes de sílice poroso injertados con materiales orgánicos que presentan un grupo amina como adsorbentes híbridos orgánicos-inorgánicos. El dióxido de carbono se adsorbe físicamente en los adsorbentes a base de zeolita y a base de carbono. El dióxido de carbono resulta adsorbido en los demás adsorbentes mediante reacciones químicas (Energy Environ. Sci. 4, 42, 2011; ChemSusChem, 2, 796, 2009).

Dichos procedimientos de captura de dióxido de carbono utilizando adsorbentes secos pueden clasificarse en procedimientos de adsorción por cambio de presión (PSA, por sus siglas en inglés) y procedimientos de adsorción por cambio de temperatura (TSA) según los factores que utilizan. Los procedimientos PSA utilizan una diferencia de presión y los procedimientos TSA utilizan una diferencia de temperatura para la desorción del dióxido de carbono adsorbido. Generalmente, los procedimientos de adsorción por cambio de presión que utilizan columnas de sorción de lecho fijo resultan ventajosos en la captura de dióxido de carbono a pequeña escala y los procedimientos de adsorción por cambio de temperatura, fácilmente ampliables, con columnas de sorción y desorción de lecho fluidizado resultan ventajosos en la captura de grandes cantidades de dióxido de carbono de centrales energéticas o de grandes calderas de combustión.

La presente invención pretende capturar una gran cantidad de dióxido de carbono de una manera continua mediante la utilización de un adsorbente sólido, y se basa en un procedimiento de adsorción por cambio de temperatura que utiliza columnas de sorción y columnas de desorción de lecho fluidizado.

Las columnas de sorción y las columnas de desorción utilizadas en los procedimientos de adsorción por cambio de temperatura pueden dividirse en columnas de lecho fluidizado de borboteo y columnas de lecho fluidizado diluido, según la concentración de adsorbentes en las etapas operativas. Los adsorbentes están presentes a concentraciones elevadas en las columnas de lecho fluidizado de borboteo y a bajas concentraciones en las columnas de lecho fluidizado diluido. La aplicación de dichos lechos fluidizados de borboteo y lechos fluidizados diluidos a columnas de sorción y columnas de desorción proporciona cuatro posibles combinaciones: i) columnas de lecho fluidizado diluido-columnas de lecho fluidizado diluido, ii) columnas de lecho fluidizado diluido-columnas de lecho fluidizado de borboteo, iii) columnas de lecho fluidizado de borboteo-columnas de lecho fluidizado diluido y iv) columnas de lecho fluidizado de borboteo-columnas de lecho fluidizado de borboteo ("Fluidization Engineering", D. Kunii y O. Levenspiel, Robert E. Krieger, 1977).

Las publicaciones de patente coreana nº 2005-0003767, nº 2010-0099929 y nº 2011-0054948 dan a conocer procedimientos de lecho fluidizado para la captura de dióxido de carbono que utilizan adsorbentes sólidos secos basándose en el concepto de adsorción por cambio de temperatura utilizando columnas de sorción de lecho fluidizado diluido y columnas de desorción de lecho fluidizado de borboteo. Según dichos procedimientos de separación de fase sólida basándose en el concepto de adsorción por cambio de temperatura, sin embargo, se consume una enorme cantidad de energía, de por lo menos 2 GJ/t-CO₂, para desorber el dióxido de carbono de los adsorbentes. Este consumo de energía es la causa del coste de captura incrementado, junto con el coste de los adsorbentes. De esta manera, resulta muy importante desarrollar una tecnología mediante la cual pueda desorberse eficazmente el dióxido de carbono respecto de los adsorbentes con menos energía, consiguiendo un coste de captura reducido.

Descripción detallada de la invención

Problemas que debe resolver la invención

Un primer objetivo de la presente invención es proporcionar un aparato de captura de dióxido de carbono construido de manera que se intercambia calor entre el adsorbente que escapa de una unidad de adsorción de dióxido de carbono después de la adsorción del dióxido de carbono y el adsorbente que escapa de la unidad de desorción de dióxido de carbono después de la desorción del dióxido de carbono, contribuyendo a reducir el consumo energético necesario para capturar el dióxido de carbono.

Medios para resolver los problemas

Con el fin de conseguir el primer objetivo de la presente invención, se proporciona un aparato de captura de dióxido de carbono definido en las reivindicaciones independientes. El aparato dado a conocer que presenta un modo de adsorción por cambio de temperatura para la separación selectiva de dióxido de carbono a partir de gases de escape que contienen dióxido de carbono, que comprende: una columna de sorción de dióxido de carbono que incluye una unidad de adsorción de dióxido de carbono en la que se produce la adsorción del dióxido de carbono de los gases de escape; una columna de desorción de dióxido de carbono conectada con la columna de sorción de dióxido de carbono

5 y que incluye una unidad de desorción de dióxido de carbono en la que se produce la desorción del dióxido de carbono adsorbido; un adsorbente de dióxido de carbono que adsorbe y desorbe repetidamente dióxido de carbono mientras circula por la columna de sorción de dióxido de carbono, y la columna de desorción de dióxido de carbono, y una unidad de intercambio de calor en la que se produce el intercambio de calor entre el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono.

10 Según una realización de la presente invención, el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción del dióxido de carbono pueden desplazarse bajo condiciones de lecho fluidizado de borboteo y condiciones de lecho fluidizado diluido en la unidad de intercambio de calor, respectivamente, y la unidad de intercambio de calor puede situarse corriente arriba de la columna de sorción.

15 Según una realización adicional de la presente invención, el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción del dióxido de carbono pueden desplazarse bajo condiciones de lecho fluidizado diluido y condiciones de lecho fluidizado de borboteo en la unidad de intercambio de calor, respectivamente, y la unidad de intercambio de calor puede situarse corriente abajo de la columna de sorción.

20 Según otra realización de la presente invención, el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción del dióxido de carbono pueden desplazarse bajo condiciones de lecho fluidizado diluido y condiciones de lecho fluidizado de borboteo en la unidad de intercambio de calor, respectivamente, y la unidad de intercambio de calor puede situarse corriente arriba de la columna de desorción.

25 Según otra realización de la presente invención, el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción del dióxido de carbono pueden desplazarse bajo condiciones de lecho fluidizado de borboteo y condiciones de lecho fluidizado diluido en la unidad de intercambio de calor, respectivamente, y la unidad de intercambio de calor puede situarse corriente abajo de la columna de desorción.

Según otra realización de la presente invención, la unidad de adsorción de dióxido de carbono puede proporcionarse con medios de enfriamiento.

30 Según otra realización de la presente invención, la unidad de desorción de dióxido de carbono puede proporcionarse con medios de calentamiento.

35 Según otra realización de la presente invención, el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono pueden desplazarse en direcciones contrarias en la unidad de intercambio de calor.

40 Según otra realización de la presente invención, la unidad de intercambio de calor puede presentar una estructura en la que los tubos por los que se desplaza el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono se insertan en un tubo por el que se desplaza el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono, o los tubos por los que se desplaza el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono se insertan en un tubo por el que se desplaza el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono.

45 Según otra realización de la presente invención, la unidad de intercambio de calor puede presentar una estructura en la que los pasos planos por los que se desplaza el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono están en contacto cara-con-cara con los pasos planos por los que se desplaza el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono.

50 Según otra realización de la presente invención, una unidad de adsorción/desorción de dióxido de carbono que incluye la columna de sorción de dióxido de carbono, la columna de desorción de dióxido de carbono, el adsorbente de dióxido de carbono y la unidad de intercambio de calor pueden proporcionarse en una pluralidad y el intercambio de calor puede producirse entre las unidades de adsorción/desorción de dióxido de carbono.

55 Según otra realización de la presente invención, las unidades de adsorción/desorción de dióxido de carbono pueden llenarse con adsorbentes de dióxido de carbono con diferentes temperaturas de adsorción y/o desorción.

Efectos de la invención

El aparato de captura de dióxido de carbono de la presente invención presenta los efectos ventajosos siguientes.

60 1. El aparato de captura de dióxido de carbono de la presente invención se construyó de manera que el adsorbente de dióxido de carbono circulase por la columna de sorción de dióxido de carbono, en la que se produce la adsorción del dióxido de carbono y por la columna de desorción de dióxido de carbono, en la que se produce la desorción del dióxido de carbono adsorbido, y el calor es intercambiable entre el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono. Debido a esta construcción, pueden conseguirse ahorros en la cantidad de energía consumida para capturar dióxido de carbono.

65

2. La mayor parte ($\geq 80\%$) del calor sensible es intercambiable entre el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono. Como resultado, la energía que debe suministrarse o extraerse del adsorbente puede reducirse eficazmente a un nivel de 8 a 12 J/g. En contraste, debe suministrarse o extraerse una energía de 40 a 60 J/g del adsorbente en los aparatos convencionales de captura de dióxido de carbono.

3. La unidad de intercambio de calor puede situarse en diferentes localizaciones según las características del adsorbente de dióxido de carbono, consiguiendo una tasa mejorada de intercambio de calor.

4. La unidad de intercambio de calor es de tipo multitubo o multiplaca sin ningún medio de transferencia de calor, dando como resultado una mejora de la eficiencia del intercambio de calor entre el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción del dióxido de carbono.

Breve descripción de los dibujos

La fig. 1 ilustra un aparato de captura de dióxido de carbono según una realización de la presente invención en la que se sitúa una unidad de intercambio de calor corriente arriba de una columna de sorción.

La fig. 2 ilustra un aparato de captura de dióxido de carbono según una realización de la presente invención en la que se sitúa una unidad de intercambio de calor corriente abajo de una columna de sorción.

La fig. 3 ilustra un aparato de captura de dióxido de carbono según una realización de la presente invención en la que se sitúa una unidad de intercambio de calor corriente arriba de una columna de desorción.

La fig. 4 ilustra un aparato de captura de dióxido de carbono según una realización de la presente invención en la que se sitúa una unidad de intercambio de calor corriente abajo de una columna de desorción.

La fig. 5 ilustra un intercambio de calor de tipo multitubo aplicado en un aparato de captura de dióxido de carbono de la presente invención.

La fig. 6 ilustra un intercambio de calor de tipo multiplaca aplicado en un aparato de captura de dióxido de carbono de la presente invención.

Las figs. 7 y 8 son diagramas de explicación del principio operativo de un aparato multietapa de captura de dióxido de carbono según una realización de la presente invención.

La fig. 9 ilustra un aparato multietapa de captura de dióxido de carbono según una realización de la presente invención en el que se sitúan unidades de intercambio de calor corriente abajo de columnas de sorción.

La fig. 10 ilustra un aparato multietapa de captura de dióxido de carbono según una realización de la presente invención en el que se sitúan unidades de intercambio de calor corriente arriba de columnas de desorción.

[Explicación de los números de referencia]

100: aparato de captura de dióxido de carbono 110: unidad de adsorción de dióxido de carbono

120: unidad de desorción de dióxido de carbono 130: unidad de intercambio de calor

200: aparato de captura de dióxido de carbono 210: unidad de adsorción de dióxido de carbono

220: unidad de desorción de dióxido de carbono 230: unidad de intercambio de calor

300: aparato de captura de dióxido de carbono 310: unidad de adsorción de dióxido de carbono

320: unidad de desorción de dióxido de carbono 330: unidad de intercambio de calor

400: aparato de captura de dióxido de carbono 410: unidad de adsorción de dióxido de carbono

420: unidad de desorción de dióxido de carbono 430: unidad de intercambio de calor

500: aparato multietapa de captura de dióxido de carbono

530a, 530b, 530c: intercambiadores de calor

600: aparato multietapa de captura de dióxido de carbono

630a, 630b, 630c: intercambiadores de calor

SC1-SC3: columnas de sorción de dióxido de carbono

RC1-RC3: columnas de desorción de dióxido de carbono

C1-C10: compresores o sopladores

CY1-CY6: ciclones

FH1: caldera calefactora

HX1-HX10: intercambiadores de calor

S1-S46: números de corriente

V1-V3: válvulas de control de flujo

Modo de llevar a cabo la invención

A continuación, se describe en detalle la presente invención.

La presente invención proporciona un aparato de captura de dióxido de carbono que presenta un modo de adsorción por cambio de temperatura para la separación selectiva de dióxido de carbono a partir de gases de escape, que comprende: una columna de sorción de dióxido de carbono que incluye una unidad de adsorción de dióxido de carbono en la que se produce la adsorción del dióxido de carbono de los gases de escape; una columna de desorción de dióxido de carbono conectada con la columna de sorción de dióxido de carbono y que incluye una unidad de desorción de dióxido de carbono en la que se produce la desorción del dióxido de carbono adsorbido; un adsorbente de dióxido de carbono que adsorbe y desorbe repetidamente dióxido de carbono mientras circula por la columna de sorción de

dióxido de carbono, y la columna de desorción de dióxido de carbono, y una unidad de intercambio de calor en la que se produce el intercambio de calor entre el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono.

5 La presente invención se refiere a un aparato para la captura del dióxido de carbono contenido en gases de escape procedentes de una central energética o caldera de combustión. Específicamente, el aparato utiliza un procedimiento cíclico de adsorción-desorción basado en el concepto de adsorción por cambio de temperatura en un reactor de lecho fluidizado circulante por el que circula un adsorbente. Según el aparato de la presente invención, al circular el adsorbente por una columna de sorción y una columna de desorción, puede inducirse el intercambio de su calor sensible sin ningún medio de intercambio de calor, consiguiendo una elevada eficiencia energética mediante la inducción de un procedimiento directo de intercambio de calor. El aparato de captura de dióxido de carbono de la presente invención está construido para permitir el intercambio de calor entre el adsorbente frío que escapa de la columna de sorción y el adsorbente caliente que escapa de la columna de desorción. Dicha construcción reduce en gran medida la carga de enfriar el adsorbente en la columna de sorción y la carga de calentar el adsorbente en la columna de desorción, contribuyendo a una considerable reducción de la cantidad de energía requerida para la captura de dióxido de carbono.

En un procedimiento de lecho fluidizado circulante para un procedimiento de captura de dióxido de carbono mediante un ciclo de adsorción-desorción utilizando un adsorbente seco, debe extraerse o suministrarse una gran cantidad de calor sensible a fin de facilitar la adsorción y desorción del dióxido de carbono durante la circulación del adsorbente por una columna de sorción y una columna de desorción. De esta manera, debe extraerse la energía correspondiente del adsorbente o suministrarse desde el exterior. El calor sensible de la mayoría de adsorbentes se encuentra en el intervalo de 0,8 a 1,2 J/g·K, que es ligeramente diferente según el tipo de adsorbente. Debido a que la temperatura de adsorción y la temperatura de desorción de un adsorbente general difieren en, como mínimo, 50°C, debe extraerse o suministrarse una energía de 40 a 60 J/g al adsorbente, siendo una causa del coste operativo incrementado. En la unidad de intercambio de calor del aparato de captura de dióxido de carbono según la presente invención, pro lo menos 80% del calor sensible puede intercambiarse entre el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción del dióxido de carbono. Como resultado, la energía que debe suministrarse o extraerse del adsorbente puede reducirse eficazmente a un nivel de 8 a 12 J/g.

Tal como se ilustra en las figs. 1 a 4, el aparato de captura de dióxido de carbono de la presente invención puede operarse en cuatro modos de intercambio de calor diferentes según las características del adsorbente, a fin de minimizar el coste de la energía consumida para capturar el dióxido de carbono. Los efectos de la presente invención son más profundos en el caso de que circule una cantidad más grande del adsorbente. Este concepto es extensible y aplicable a procedimientos multietapa de captura de dióxido de carbono de energía intercambiable utilizando diversos tipos de adsorbentes de dióxido de carbono cuyas etapas de temperatura de adsorción son diferentes, así como procedimientos de una sola etapa de captura de dióxido de carbono mediante un ciclo de adsorción-desorción utilizando un único adsorbente de dióxido de carbono.

El aparato de la presente invención se basa en un procedimiento de captura de dióxido de carbono mediante un ciclo de adsorción-desorción en un reactor de flecho fluidizado circulante. En el aparato de la presente invención, puede instalarse un intercambiador de calor en cuatro localizaciones diferentes según las características del adsorbente a fin de intercambiar directamente calor sensible entre el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono, tal como se ilustra en las figs. 1 a 4. Las posibles localizaciones del intercambiador de calor se resumen en la Tabla 1.

[Tabla 1]

(Configuración del intercambiador de calor para l intercambio directo de calor sensible entre el adsorbente después de la adsorción del dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción del dióxido de carbono)	
Localización del intercambiador de calor	(Líquido de la columna de sorción) - (Líquido de la columna de desorción) Modos operativos
Corriente arriba de la columna de sorción	(Condición de lecho fluidizado de borboteo) - (Condición de lecho fluidizado diluido)
Corriente abajo de la columna de sorción	(Condición de lecho fluidizado diluido) - (Condición de lecho fluidizado de borboteo)
Corriente arriba de la columna de desorción	(Condición de lecho fluidizado diluido) - (Condición de lecho fluidizado de borboteo)
Corriente abajo de la columna de desorción	(Condición de lecho fluidizado de borboteo) - (Condición de lecho fluidizado diluido)

La fig. 1 ilustra un aparato de captura de dióxido de carbono según una realización de la presente invención en la que se sitúa una unidad de intercambio de calor corriente arriba de una columna de sorción. Las expresiones “corriente arriba” y “corriente abajo” utilizadas en la presente memoria se refieren a zonas basadas en la ruta de circulación del adsorbente de dióxido de carbono. Por ejemplo, “corriente arriba de una columna de sorción” se refiere a la zona por

la que pasa el adsorbente de dióxido de carbono antes de entrar en la columna de sorción y “corriente abajo de una columna de sorción” se refiere a la zona por la que pasa el adsorbente de dióxido de carbono después de escapar de la columna de sorción. En referencia a la fig. 1, el aparato de captura de dióxido de carbono 100 incluye una unidad de adsorción de dióxido de carbono 110, una unidad de desorción de dióxido de carbono 120 y una unidad de intercambio de calor 130. La unidad de adsorción de dióxido de carbono 110 y la unidad de desorción de dióxido de carbono 120 están conectadas entre sí. La unidad de adsorción de dióxido de carbono 110 y la unidad de desorción de dióxido de carbono 120 se llenan con el adsorbente de dióxido de carbono para adsorber y desorber repetidamente el dióxido de carbono durante su circulación por la unidad de adsorción de dióxido de carbono 110 y por la unidad de desorción de dióxido de carbono 120. Se suministra un gas de escape por el fondo de la unidad de adsorción de dióxido de carbono 110. El dióxido de carbono resulta adsorbido por el adsorbente en la unidad de adsorción de dióxido de carbono 110, que es un tubo interno de una columna de sorción SC1. El gas de escape libre de dióxido de carbono es liberado al exterior. El adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono pasa por un tubo externo de la unidad de intercambio de calor 130 en la corriente número S18 y pasa por la unidad de desorción de dióxido de carbono 120, un tubo externo de una columna de desorción RC3, en la corriente número S15. El dióxido de carbono adsorbido se desorbe del adsorbente de dióxido de carbono en la unidad de desorción de dióxido de carbono 120. El dióxido de carbono desorbido es liberado al exterior. El adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono pasa por un tubo interno de la unidad de intercambio de calor 130 en la corriente número S17 y nuevamente circula por la unidad de adsorción de dióxido de carbono 110. En este momento, el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono se desplazan en direcciones diferentes, por los tubos interno y externo de la unidad de intercambio de calor 130, respectivamente, donde tiene lugar el intercambio de calor entre ellos. La unidad de adsorción de dióxido de carbono se enfría mediante circulación de agua y la unidad de desorción de dióxido de carbono se calienta con un calefactor. En la realización de la fig. 1, la unidad de intercambio de calor se sitúa corriente arriba de la columna de sorción para el intercambio de calor sensible entre el adsorbente después de la adsorción del dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción del dióxido de carbono. El adsorbente que escapa de la columna de sorción después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente que escapa de la columna de desorción después de la desorción de dióxido de carbono intercambian calor sensible durante el flujo en direcciones contrarias por el intercambiador de calor HX1. La concentración del adsorbente separado en un ciclón CY1 de la columna de sorción mantiene condiciones de lecho fluidizado de borboteo vigoroso en el intervalo de 15% a 70% en vol. Dentro de dicho intervalo, el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono puede intercambiar calor a través de las paredes del intercambiador de calor. La concentración del adsorbente separado en un ciclón CY2 de la columna de desorción mantiene condiciones de lecho fluidizado diluido en el intervalo de 0,5% a 5% en vol. Dentro de dicho intervalo, el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono puede intercambiar calor antes de entrar en la columna de sorción. Dicha construcción resulta ventajosa en el caso de que el adsorbente no pierda rápidamente su capacidad de adsorber dióxido de carbono a pesar de la temperatura creciente de la columna de sorción con la adsorción de dióxido de carbono y presenta la ventaja de una tasa más elevada de intercambio de calor sensible que una construcción en la que la unidad de intercambio de calor se sitúa corriente abajo de la columna de sorción.

La fig. 2 ilustra un aparato de captura de dióxido de carbono según una realización de la presente invención en la que se sitúa una unidad de intercambio de calor corriente abajo de una columna de sorción. En referencia a la fig. 2, el aparato de captura de dióxido de carbono 200 incluye una unidad de adsorción de dióxido de carbono 210, una unidad de desorción de dióxido de carbono 220 y una unidad de intercambio de calor 230. La unidad de adsorción de dióxido de carbono 210 y la unidad de desorción de dióxido de carbono 220 están conectadas entre sí. La unidad de adsorción de dióxido de carbono 210 y la unidad de desorción de dióxido de carbono 220 se llenan con el adsorbente de dióxido de carbono para adsorber y desorber repetidamente el dióxido de carbono durante su circulación por la unidad de adsorción de dióxido de carbono 210 y por la unidad de desorción de dióxido de carbono 220. Se suministra un gas de escape por el fondo de la unidad de adsorción de dióxido de carbono 210. El dióxido de carbono resulta adsorbido por el adsorbente en la unidad de adsorción de dióxido de carbono 210, que es un tubo interno de una columna de sorción SC1. El gas de escape libre de dióxido de carbono pasar por la unidad de intercambio de calor 230 y resulta liberado al exterior. El adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono pasa por un tubo interno de la unidad de intercambio de calor 230 y entra en la unidad de desorción de dióxido de carbono 220, un tubo externo de una columna de desorción RC3, en las corrientes número S22 y S15. El dióxido de carbono adsorbido se desorbe del adsorbente de dióxido de carbono en la unidad de desorción de dióxido de carbono 220. El adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono pasa por un tubo externo de la unidad de intercambio de calor 230 en la corriente número S16 y nuevamente circula por la unidad de adsorción de dióxido de carbono 210. En este momento, el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono se desplazan en direcciones diferentes, por los tubos interno y externo de la unidad de intercambio de calor 230, respectivamente, donde tiene lugar el intercambio de calor entre ellos. En la realización de la fig. 2, la unidad de intercambio de calor se sitúa corriente abajo de la columna de sorción para el intercambio de calor sensible entre el adsorbente después de la adsorción del dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción del dióxido de carbono. El adsorbente que escapa de la columna de sorción después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente que escapa de la columna de desorción después de la desorción de dióxido de carbono intercambian calor sensible durante el flujo en direcciones contrarias por el intercambiador de calor HX1. La concentración del adsorbente que escapa de la columna de sorción inmediatamente después de la adsorción de dióxido de carbono mantiene condiciones de lecho fluidizado diluido en el intervalo de 0,5% a 5% en vol. Dentro de dicho intervalo, el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono puede intercambiar calor a través de las paredes del intercambiador

de calor. La concentración del adsorbente separado en un ciclón CY2 de la columna de desorción mantiene condiciones de lecho fluidizado de borboteo vigoroso en el intervalo de 15% a 70% en vol. Dentro de dicho intervalo, el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono puede intercambiar calor. Dicha construcción resulta ventajosa en el caso de que el adsorbente pierda rápidamente su capacidad de adsorber dióxido de carbono al incrementarse la temperatura de la columna de sorción con la adsorción de dióxido de carbono y adolece de la desventaja de una tasa más baja de intercambio de calor sensible que una construcción en la que la unidad de intercambio de calor se sitúa corriente arriba de la columna de sorción.

La fig. 3 ilustra un aparato de captura de dióxido de carbono según una realización de la presente invención en la que se sitúa una unidad de intercambio de calor corriente arriba de una columna de desorción. En referencia a la fig. 3, el aparato de captura de dióxido de carbono 300 incluye una unidad de adsorción de dióxido de carbono 310, una unidad de desorción de dióxido de carbono 320 y una unidad de intercambio de calor 330. La unidad de adsorción de dióxido de carbono 310 y la unidad de desorción de dióxido de carbono 320 están conectadas entre sí. La unidad de adsorción de dióxido de carbono 310 y la unidad de desorción de dióxido de carbono 320 se llenan con el adsorbente de dióxido de carbono para adsorber y desorber repetidamente el dióxido de carbono durante su circulación por la unidad de adsorción de dióxido de carbono 310 y por la unidad de desorción de dióxido de carbono 320. Se suministra un gas de escape por el fondo de la unidad de adsorción de dióxido de carbono 310. El dióxido de carbono resulta adsorbido por el adsorbente en la unidad de adsorción de dióxido de carbono 310, que es un tubo interno de una columna de sorción SC1. El gas de escape libre de dióxido de carbono es liberado al exterior. El adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono pasa por un tubo interno de la unidad de intercambio de calor 330 en las corrientes números S21 y S15 y pasa por la unidad de desorción de dióxido de carbono 320, un tubo interno de una columna de desorción RC1, en la corriente número S22. El dióxido de carbono adsorbido se desorbe del adsorbente de dióxido de carbono en la unidad de desorción de dióxido de carbono 320. El adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono pasa por un tubo externo de la unidad de intercambio de calor 330 en la corriente número S17 y nuevamente circula por la unidad de adsorción de dióxido de carbono 310. En este momento, el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono se desplazan en direcciones diferentes, por los tubos interno y externo de la unidad de intercambio de calor 330, respectivamente, donde tiene lugar el intercambio de calor entre ellos. En la realización de la fig. 3, se instala un intercambiador de calor corriente arriba de la columna de desorción para el intercambio de calor sensible entre el adsorbente después de la adsorción del dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción del dióxido de carbono. El adsorbente que escapa de la columna de sorción después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente que escapa de la columna de desorción después de la desorción de dióxido de carbono intercambian calor sensible durante el flujo en direcciones contrarias por el intercambiador de calor HX1. La concentración del adsorbente separado en un ciclón CY1 de la columna de sorción mantiene condiciones de lecho fluidizado diluido en el intervalo de 0,5% a 5% en vol. Dentro de dicho intervalo, el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono puede intercambiar calor a través de las paredes del intercambiador de calor antes de entrar en la columna de desorción. La concentración del adsorbente separado en un ciclón CY2 de la columna de desorción mantiene condiciones de lecho fluidizado de borboteo vigoroso en el intervalo de 15% a 70% en vol. Dentro de dicho intervalo, el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono puede intercambiar calor. Dicha construcción resulta ventajosa en el caso de que el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono desorba rápidamente el dióxido de carbono adsorbido con una temperatura creciente y presenta la ventaja de una tasa más elevada de intercambio de calor sensible que una construcción en la que la unidad de intercambio de calor se sitúa corriente abajo de la columna de desorción.

La fig. 4 ilustra un aparato de captura de dióxido de carbono según una realización de la presente invención en la que se sitúa una unidad de intercambio de calor corriente abajo de una columna de desorción. En referencia a la fig. 4, el aparato de captura de dióxido de carbono 400 incluye una unidad de adsorción de dióxido de carbono 410, una unidad de desorción de dióxido de carbono 420 y una unidad de intercambio de calor 430. La unidad de adsorción de dióxido de carbono 410 y la unidad de desorción de dióxido de carbono 420 están conectadas entre sí. La unidad de adsorción de dióxido de carbono 410 y la unidad de desorción de dióxido de carbono 420 se llenan con el adsorbente de dióxido de carbono para adsorber y desorber repetidamente el dióxido de carbono durante su circulación por la unidad de adsorción de dióxido de carbono 410 y por la unidad de desorción de dióxido de carbono 420. Se suministra un gas de escape al fondo de la unidad de adsorción de dióxido de carbono 410, que es un tubo interno de una columna de sorción SC1. Se adsorbe dióxido de carbono en el adsorbente en la unidad de adsorción de dióxido de carbono 410 y el gas de escape libre de dióxido de carbono es liberado al exterior. El adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono pasa por un tubo externo de la unidad de intercambio de calor 430 en las corrientes números S21 y S15 y pasa por la unidad de desorción de dióxido de carbono 420, un tubo interno de una columna de desorción RC3, en la corriente número S22. El dióxido de carbono adsorbido se desorbe del adsorbente de dióxido de carbono en la unidad de desorción de dióxido de carbono 420. El adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono pasa por un tubo interno de la unidad de intercambio de calor 430 en la corriente número S16 y nuevamente circula por la unidad de adsorción de dióxido de carbono 410. En este momento, el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono se desplazan en direcciones diferentes, por los tubos interno y externo de la unidad de intercambio de calor 430, respectivamente, donde tiene lugar el intercambio de calor entre ellos. En la realización de la fig. 4, se instala un intercambiador de calor corriente abajo de la columna de desorción para el intercambio de calor sensible entre el adsorbente después de la adsorción del dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción del dióxido de carbono. El adsorbente que escapa de la columna de sorción después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente que escapa de la columna de desorción después de

la desorción de dióxido de carbono intercambian calor sensible durante el flujo en direcciones contrarias por el intercambiador de calor HX1. La concentración del adsorbente separado en un ciclón CY1 de la columna de sorción mantiene condiciones de lecho fluidizado de borboteo vigoroso en el intervalo de 15% a 70% en vol. Dentro de dicho intervalo, el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono puede intercambiar calor a través de las paredes del intercambiador de calor antes de entrar en la columna de desorción. La concentración del adsorbente que escapa de la columna de desorción inmediatamente después de la desorción de dióxido de carbono mantiene condiciones de lecho fluidizado diluido en el intervalo de 0,5% a 5% en vol. Dentro de dicho intervalo, el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono puede intercambiar calor. Dicha construcción resulta ventajosa en el caso de que el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono no readsorba rápidamente el dióxido de carbono a pesar de la caída de temperatura y adolece de la desventaja de una tasa más baja de intercambio de calor sensible que una construcción en la que la unidad de intercambio de calor se sitúe corriente arriba de la columna de desorción.

Tal como se comenta en las realizaciones de las figs. 1 a 4, la columna de sorción y la columna de regeneración de cada aparato de captura de dióxido de carbono consiste en una combinación de lecho fluidizado de borboteo-lecho fluidizado diluido o lecho fluidizado diluido-lecho fluidizado de borboteo. Dicha combinación presenta el problema de una baja eficiencia de intercambio de calor. De esta manera, el intercambiador de calor de cada aparato de captura de dióxido de carbono está diseñado estructuralmente para presentar una zona grande de intercambio de calor, que facilita el intercambio directo del calor.

Las figs. 5 y 6 ilustran las construcciones de un intercambiador de calor multitubo y de un intercambiador de calor multiplaca aplicables al aparato de captura de dióxido de carbono de la presente invención, respectivamente.

En referencia a la fig. 5, el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono en la columna de desorción se desplaza hacia arriba junto con un tubo externo cuyo diámetro es mayor y el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono en la columna de sorción se desplaza hacia abajo por una pluralidad de tubos internos. Dicha estructura incrementa la superficie de los tubos internos, conduciendo a un incremento de la eficiencia del intercambio de calor entre el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono. El adsorbente que pasar por los tubos internos es intercambiable con el adsorbente que pasa por el tubo externo.

En referencia a la fig. 6, el intercambiador de calor consiste en placas, cada una de las cuales presenta un espacio interno y un grosor pequeño. El adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono pasa por los espacios internos de las placas y el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono pasa por los espacios definidos por las placas. Los pasos internos de las placas están dispuestos alternadamente y en contacto cara-con-cara con los pasos definidos por las placas. Esta estructura incrementa la superficie por la que el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono intercambia calor con el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono, conduciendo a un incremento de la eficiencia del intercambio de calor.

Según la presente invención, se intercambia eficazmente calor sensible entre el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono en los reactores de lecho fluidizado circulante de una sola etapa. Dicho intercambiador de calor sensible se produce más eficazmente en procedimientos multietapa de lecho fluidizado circulante para la captura de dióxido de carbono en los que se intercambia el calor de adsorción y el calor de desorción a diferentes temperaturas, tal como se ilustra en las figs. 9 y 10. En este caso, los intercambiadores de calor capaces de intercambiar directamente calor sensible entre los adsorbentes pueden instalarse para minimizar el coste de la energía consumida para capturar el dióxido de carbono.

Las figs. 7 y 8 son diagramas para explicar el concepto de la utilización de calor de la adsorción de dióxido de carbono como el calor necesario para la desorción del dióxido de carbono en un ciclo de adsorción-desorción de dióxido de carbono que consiste en una etapa de baja temperatura, una etapa de temperatura intermedia y una etapa de temperatura elevada según el método multietapa de captura de dióxido de carbono según la exposición. En referencia a las figs. 7 y 8, las unidades de adsorción/desorción de dióxido de carbono en las que se adsorbe y desorbe dióxido de carbono a diferentes temperaturas son multietapa conectados en serie. Esta conexión permite la transferencia de energía entre las unidades de adsorción/desorción de dióxido de carbono en las que se produce la adsorción y desorción de dióxido de carbono. Es decir, los adsorbentes que presentan diferentes temperaturas de adsorción y desorción se utilizan para rellenar las unidades de adsorción/desorción de dióxido de carbono de temperatura elevada, temperatura intermedia y baja temperatura; se genera calor de adsorción durante el curso de la adsorción del dióxido de carbono y se transfiere a una etapa contigua para inducir la desorción del dióxido de carbono o para reducir la cantidad de calor necesaria para la desorción. Específicamente, se emite calor de adsorción al adsorber el adsorbente el dióxido de carbono en la etapa a temperatura elevada, y se utiliza como la energía necesaria para que el adsorbente en la etapa a temperatura intermedia desorba el dióxido de carbono, y se emite calor de adsorción al adsorber el adsorbente dióxido de carbono en la etapa de temperatura intermedia y se utiliza como la energía necesaria para que el adsorbente en la etapa de baja temperatura desorba el dióxido de carbono. La utilización de la energía generada durante la adsorción del dióxido de carbono como la energía necesaria para la desorción del dióxido de carbono puede reducir el coste de la energía consumida para desorber el dióxido de carbono.

Según el procedimiento multietapa de separación en fase sólida de lecho fluidizado de energía intercambiable para la captura de dióxido de carbono, en cada una de las etapas de baja temperatura, temperatura intermedia y temperatura elevada, el adsorbente que escapa de la columna de sorción después de la adsorción del dióxido de carbono entra en la columna de desorción, desorbiendo el dióxido de carbono adsorbido. En este momento, el calentamiento del adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono a la temperatura de desorción resulta necesario para la desorción del dióxido de carbono. Simultáneamente, el adsorbente caliente que escapa de la columna de desorción después de la desorción de dióxido de carbono debe enfriarse hasta la temperatura de adsorción a fin de que el adsorbente readsorba dióxido de carbono en la columna de sorción. En este momento, el intercambio de calor entre el adsorbente a temperatura más baja que escapa de la columna de sorción y el adsorbente a temperatura más elevada que escapa de la columna de desorción puede ahorrar costes energéticos de calentamiento del adsorbente que escapa de la columna de sorción y de enfriamiento del adsorbente que escapa de la columna de desorción. La eficiencia energética de todo el procedimiento se determina según el grado de eficiencia del intercambio de calor.

Las figs. 9 y 10 ilustran procedimientos de captura de dióxido de carbono que consisten en ciclos multietapa de adsorción-desorción de dióxido de carbono. Tal como se ilustra en las figs. 9 y 10, los intercambiadores de calor se instalan corriente abajo de las columnas de sorción y corriente arriba de las columnas de desorción para el intercambio de calor sensible directo entre los adsorbentes después de la adsorción del dióxido de carbono y los adsorbentes después de la desorción del dióxido de carbono, respectivamente.

La fig. 9 ilustra un aparato multietapa de captura de dióxido de carbono según una realización de la presente invención en el que se sitúan unidades de intercambio de calor corriente abajo de columnas de sorción. El aparato de captura de dióxido de carbono de tres etapas ilustrado en la fig. 9 opera en modos de absorción directa de intercambio de calor y de intercambio de calor sensible, e incluye tres unidades de adsorción/desorción de dióxido de carbono en las que se produce la adsorción y desorción del dióxido de carbono. Cada una de las unidades de adsorción/desorción de dióxido de carbono utiliza un adsorbente de dióxido de carbono que opera a una temperatura elevada, intermedia o baja (el concepto de temperatura es relativo). Se produce el intercambio de calor entre unidades de adsorción/desorción de dióxido de carbono contiguas. El aparato de captura de dióxido de carbono utiliza un procedimiento de adsorción-desorción en un modo de intercambio de calor directo y consiste en etapas de temperatura baja, intermedia y elevada en las que las columnas de sorción y las columnas de desorción son reactores de lecho fluidizado diluido. Los intercambiadores de calor sensible 530a, 530b y 530c para el intercambio de calor directo entre los adsorbentes se disponen corriente abajo de las columnas de sorción respectivas de manera que pueda minimizarse el coste de la energía consumida para capturar el dióxido de carbono. Esta construcción resulta muy ventajosa en el caso de que los adsorbentes no desorban con facilidad el dióxido de carbono adsorbido ni siquiera a una temperatura incrementada después de la adsorción del dióxido de carbono.

La fig. 10 ilustra un aparato multietapa de captura de dióxido de carbono según una realización de la presente invención en el que se sitúan unidades de intercambio de calor corriente arriba de columnas de desorción. El aparato de captura de dióxido de carbono de tres etapas ilustrado en la fig. 10 opera en modos de absorción directa de intercambio de calor y de intercambio de calor sensible, e incluye tres unidades de adsorción/desorción de dióxido de carbono en las que se produce la adsorción y desorción del dióxido de carbono. Cada una de las unidades de adsorción/desorción de dióxido de carbono utiliza un adsorbente de dióxido de carbono que opera a una temperatura elevada, intermedia o baja (el concepto de temperatura es relativo). Se produce el intercambio de calor entre unidades de adsorción/desorción de dióxido de carbono contiguas. El aparato de captura de dióxido de carbono utiliza un procedimiento de adsorción-desorción en un modo de intercambio de calor directo y consiste en etapas de temperatura baja, intermedia y elevada en las que las columnas de sorción y las columnas de desorción son reactores de lecho fluidizado diluido. Los intercambiadores de calor sensible 630a, 630b y 630c para el intercambio de calor directo entre los adsorbentes se disponen corriente arriba de las columnas de sorción respectivas, de manera que pueda minimizarse el coste de la energía consumida para capturar el dióxido de carbono. Esta construcción resulta muy ventajosa en el caso de que los adsorbentes desorban con facilidad el dióxido de carbono adsorbido a la temperatura incrementada después de la adsorción del dióxido de carbono.

Aunque se ha descrito el espíritu técnico de la presente invención en referencia a las realizaciones anteriormente proporcionadas, el experto en la materia apreciará que resultan posibles muchas variaciones y modificaciones sin apartarse de las características esenciales de la presente invención. Por lo tanto, las realizaciones son meramente ilustrativas y no deben considerarse limitativas de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Aparato de captura de dióxido de carbono (100) que presenta un modo de adsorción por cambio de temperatura para la separación selectiva de dióxido de carbono a partir de gases de escape que contienen dióxido de carbono, que comprende:

una columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1) que incluye una unidad de adsorción de dióxido de carbono (110) en la que se produce la adsorción de dióxido de carbono de gases de escape, una columna de desorción de dióxido de carbono (RC3) conectado con la columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1) y que incluye una unidad de desorción de dióxido de carbono (120) en el que se produce la desorción del dióxido de carbono adsorbido, un adsorbente de dióxido de carbono que adsorbe y desorbe repetidamente el dióxido de carbono durante la circulación por la columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1) y la columna de desorción de dióxido de carbono (RC3), y una unidad de intercambio de calor (130), en la que se produce el intercambio de calor entre el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono, caracterizado porque la columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1) y la unidad de intercambio de calor (130) comprenden ambas un tubo interno, en el que el tubo interno de la columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1) es una prolongación vertical hacia arriba del tubo interno de la unidad de intercambio de calor (130), y el adsorbente que sale de la columna de desorción de dióxido de carbono (RC3) pasa por el tubo interno de la unidad de intercambio de calor (130) antes de viajar hacia arriba por el tubo interno de la columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1), y el adsorbente que sale de la columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1) pasa por un tubo externo de la unidad de intercambio de calor (130), en el que el adsorbente después de la adsorción del dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción del dióxido de carbono se desplazan bajo condiciones de lecho fluidizado de borboteo y condiciones de lecho fluidizado diluido en la unidad de intercambio de calor (130), respectivamente, en la que el adsorbente que escapa de la columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1) después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente que escapa de la columna de desorción de dióxido de carbono (RC3) después de la desorción de dióxido de carbono intercambian calor sensible durante el flujo en direcciones contrarias por la unidad de intercambio de calor (130).

2. Aparato de captura de dióxido de carbono (200) que presenta un modo de adsorción por cambio de temperatura para la separación selectiva de dióxido de carbono a partir de gases de escape que contienen dióxido de carbono, que comprende:

una columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1) que incluye una unidad de adsorción de dióxido de carbono (210) en la que se produce la adsorción de dióxido de carbono de gases de escape, una columna de desorción de dióxido de carbono (RC3) conectado con la columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1) y que incluye una unidad de desorción de dióxido de carbono (220) en el que se produce la desorción del dióxido de carbono adsorbido, un adsorbente de dióxido de carbono que adsorbe y desorbe repetidamente el dióxido de carbono durante la circulación por la columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1) y la columna de desorción de dióxido de carbono (RC3), y una unidad de intercambio de calor (230), en la que se produce el intercambio de calor entre el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono, caracterizado porque la columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1) y la unidad de intercambio de calor (230) comprenden ambas un tubo interno, en el que el tubo interno de la unidad de intercambio de calor (230) es una prolongación vertical hacia arriba del tubo interno de la columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1), y en el que el adsorbente que sale del tubo interno de la columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1) viaja hacia arriba por el tubo interno de la unidad de intercambio de calor (230), y en el que el adsorbente después de salir de la columna de desorción de dióxido de carbono (RC3) pasa por un tubo externo de la unidad de intercambio de calor (230), y en el que el adsorbente después de la adsorción del dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono se desplazan bajo condiciones de lecho fluidizado diluido y condiciones de lecho fluidizado de borboteo en la unidad de intercambio de calor (230), respectivamente, en el que el adsorbente que escapa de la columna de adsorción después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente que escapa de la columna de desorción después de la desorción de dióxido de carbono intercambian calor sensible durante el flujo en direcciones contrarias por la unidad de intercambio de calor (230).

3. Aparato de captura de dióxido de carbono (300) que presenta un modo de adsorción por cambio de temperatura para la separación selectiva de dióxido de carbono a partir de gases de escape que contienen dióxido de carbono, que comprende:

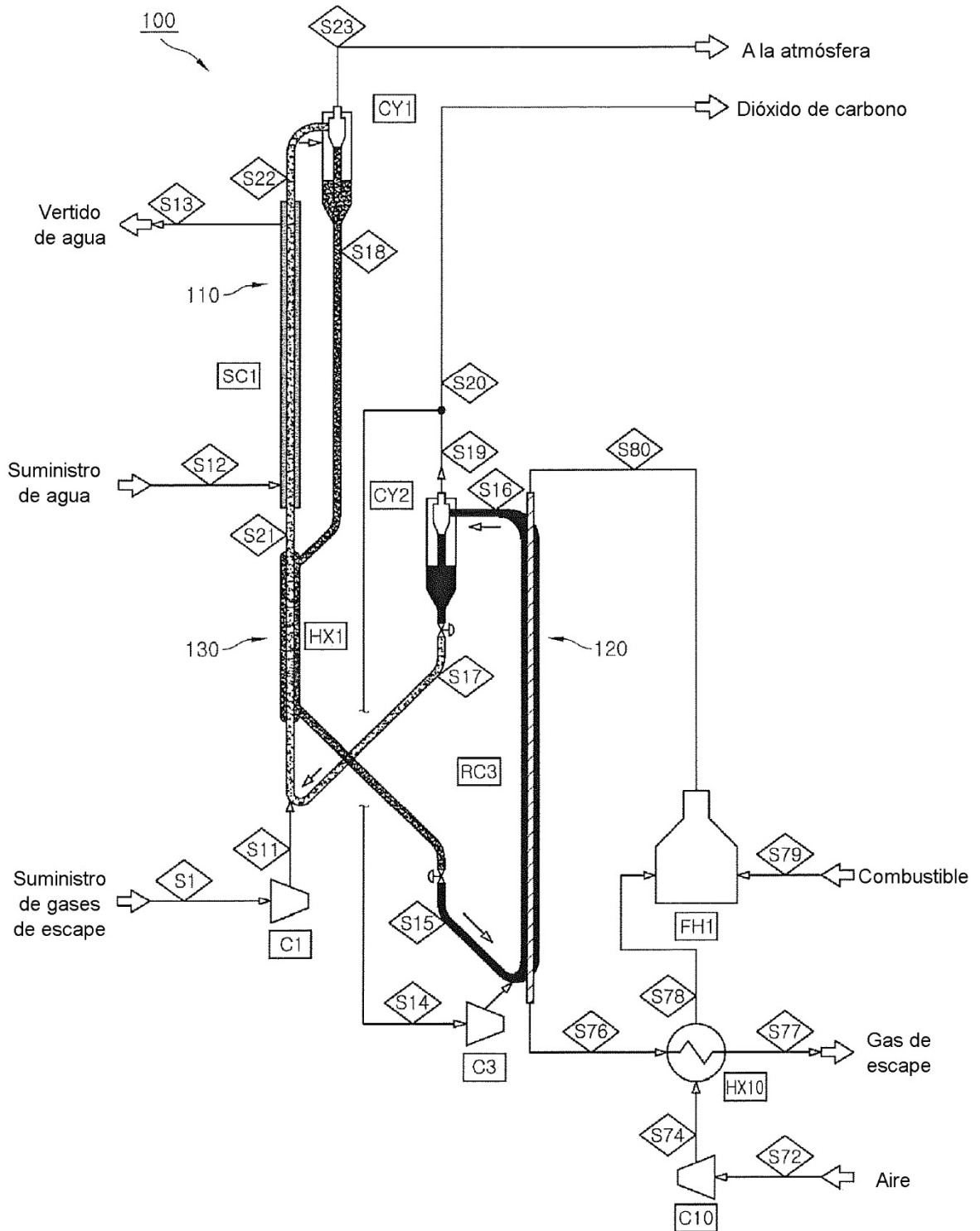
5 una columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1) que incluye una unidad de adsorción de dióxido de carbono (310) en la que se produce la adsorción de dióxido de carbono de gases de escape,
 una columna de desorción de dióxido de carbono (RC1) conectado con la columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1) y que incluye una unidad de desorción de dióxido de carbono (320) en el que se produce
 10 la desorción del dióxido de carbono adsorbido,
 un adsorbente de dióxido de carbono que adsorbe y desorbe repetidamente el dióxido de carbono durante la circulación por la columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1) y la columna de desorción de dióxido de carbono (RC1), y
 una unidad de intercambio de calor (330), en la que se produce el intercambio de calor entre el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción de dióxido de
 15 carbono,
 caracterizado porque la columna de desorción de dióxido de carbono (RC1) y la unidad de intercambio de calor (330) comprenden ambas un tubo interno, en el que el tubo interno de la columna de desorción de dióxido de carbono (RC1) es una prolongación vertical hacia arriba del tubo interno de la unidad de intercambio de calor (330), y
 20 el adsorbente que sale de la columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1) pasa por el tubo interno de la unidad de intercambio de calor (330) antes de viajar hacia arriba por el tubo interno de la columna de desorción de dióxido de carbono (RC1), y
 el adsorbente que sale de la columna de desorción de dióxido de carbono (RC1) pasa por un tubo externo de la unidad de intercambio de calor (330),
 25 en el que el adsorbente después de la adsorción del dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono se desplazan bajo condiciones de lecho fluidizado diluido y condiciones de lecho fluidizado de borboteo en la unidad de intercambio de calor (330), respectivamente,
 en el que el adsorbente que escapa de la columna de adsorción después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente que escapa de la columna de desorción después de la desorción de dióxido de
 30 carbono intercambian calor sensible durante el flujo en direcciones contrarias por la unidad de intercambio de calor (330).

4. Aparato de captura de dióxido de carbono (400) que presenta un modo de adsorción por cambio de temperatura para la separación selectiva de dióxido de carbono a partir de gases de escape que contienen dióxido de carbono, que comprende:

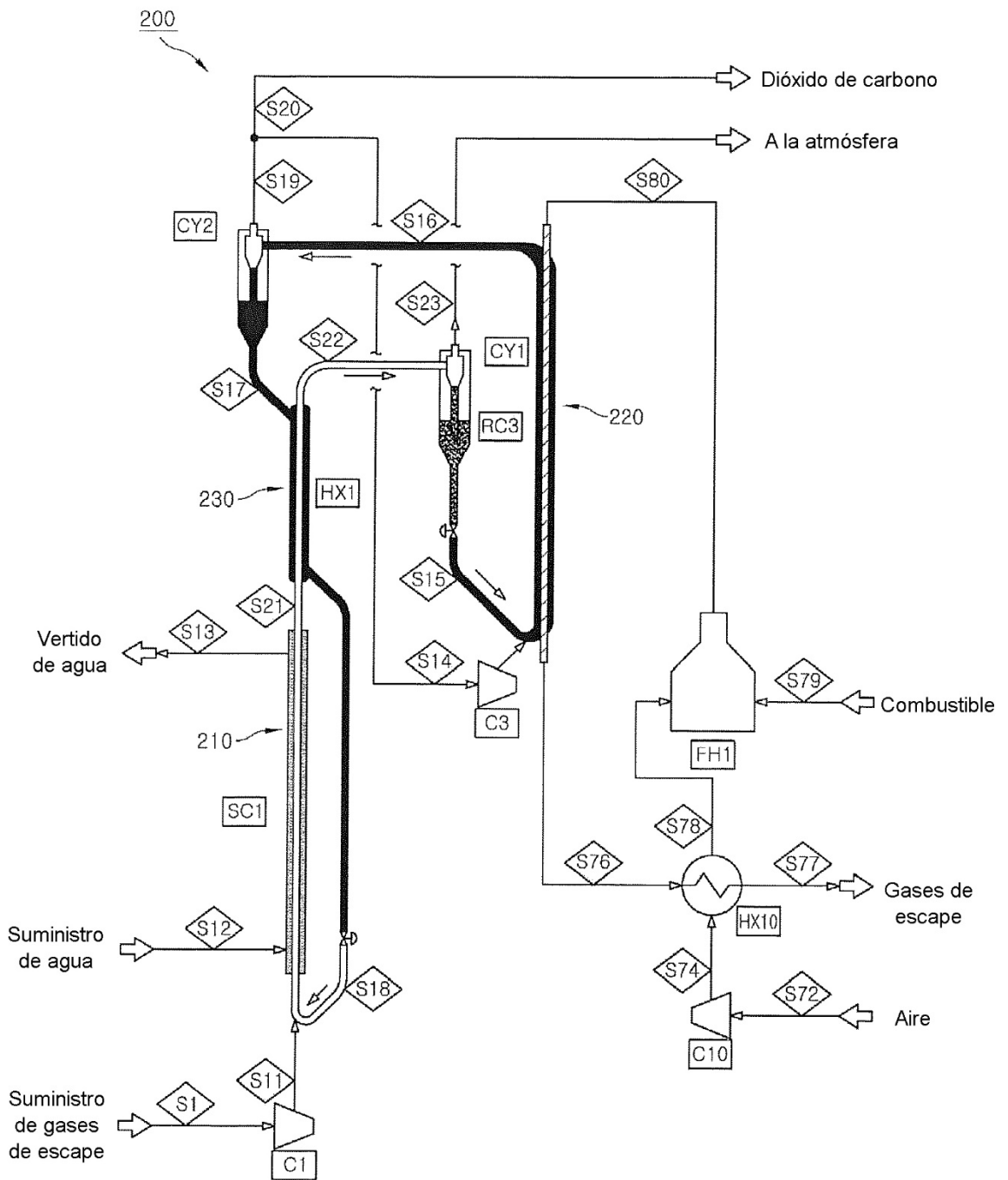
35 una columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1) que incluye una unidad de adsorción de dióxido de carbono (410) en la que se produce la adsorción de dióxido de carbono de gases de escape,
 una columna de desorción de dióxido de carbono (RC3) conectado con la columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1) y que incluye una unidad de desorción de dióxido de carbono (420) en el que se produce
 40 la desorción del dióxido de carbono adsorbido,
 un adsorbente de dióxido de carbono que adsorbe y desorbe repetidamente el dióxido de carbono durante la circulación por la columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1) y la columna de desorción de dióxido de carbono (RC3), y
 45 una unidad de intercambio de calor (430), en la que se produce el intercambio de calor entre el adsorbente después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono,
 caracterizado porque la columna de desorción de dióxido de carbono (RC3) y la unidad de intercambio de calor (430) comprenden ambas un tubo interno, en el que el tubo interno de la unidad de intercambio de
 50 calor (430) es una prolongación vertical hacia arriba del tubo interno de la columna de desorción de dióxido de carbono (RC3), y
 el adsorbente que sale de la columna de desorción de dióxido de carbono (RC3) viaja hacia arriba por el tubo interno de la unidad de intercambio de calor (430), y
 el adsorbente que sale de la columna de adsorción de dióxido de carbono (SC1) pasa por un tubo externo de la unidad de intercambio de calor (430),
 55 en el que el adsorbente después de la adsorción del dióxido de carbono y el adsorbente después de la desorción de dióxido de carbono se desplazan bajo condiciones de lecho fluidizado de borboteo y condiciones de lecho fluidizado diluido en la unidad de intercambio de calor (430), respectivamente,
 en el que el adsorbente que escapa de la columna de adsorción después de la adsorción de dióxido de carbono y el adsorbente que escapa de la columna de desorción después de la desorción de dióxido de
 60 carbono intercambian calor sensible durante el flujo en direcciones contrarias por la unidad de intercambio de calor (430).

65

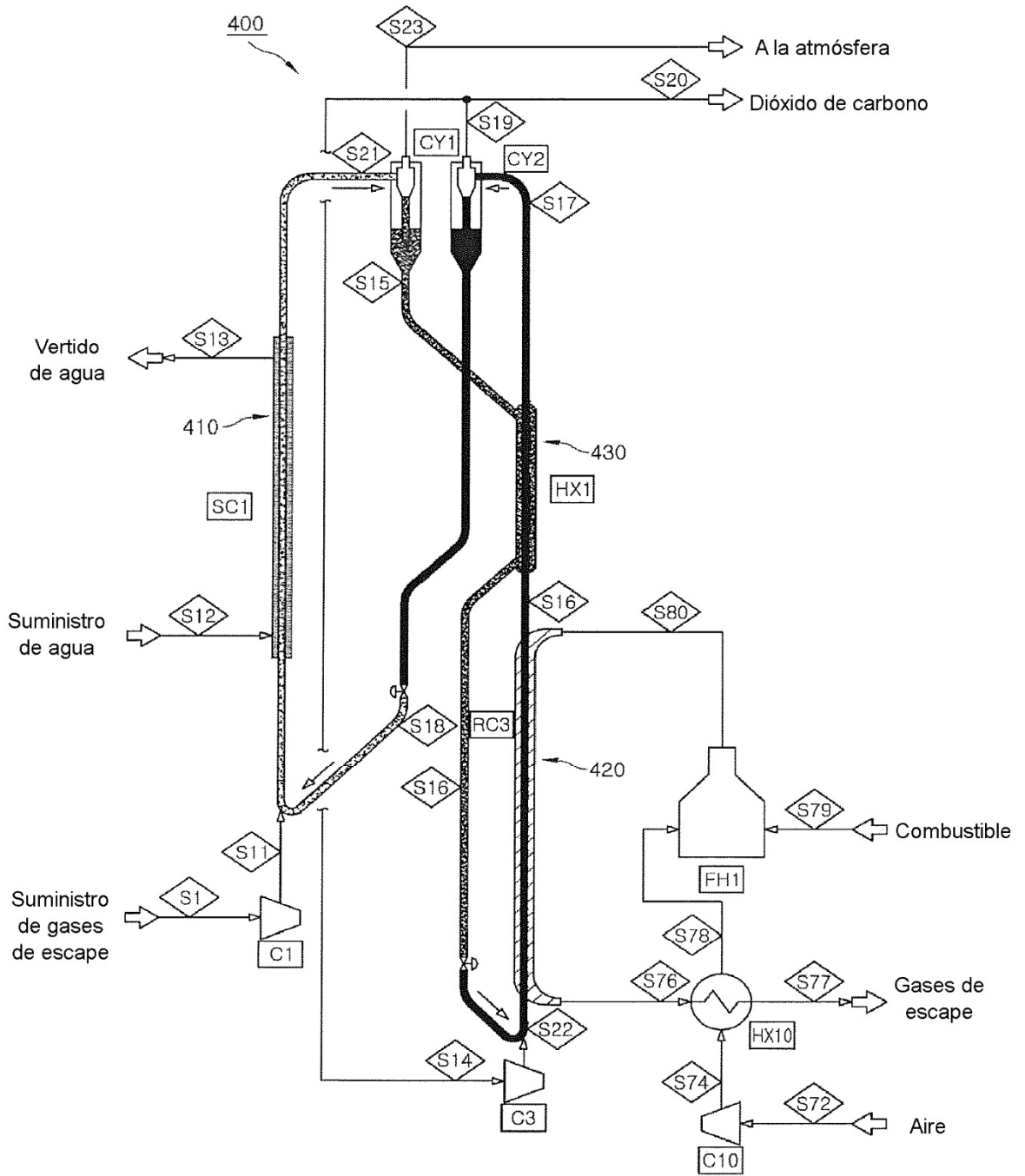
[Fig. 1]



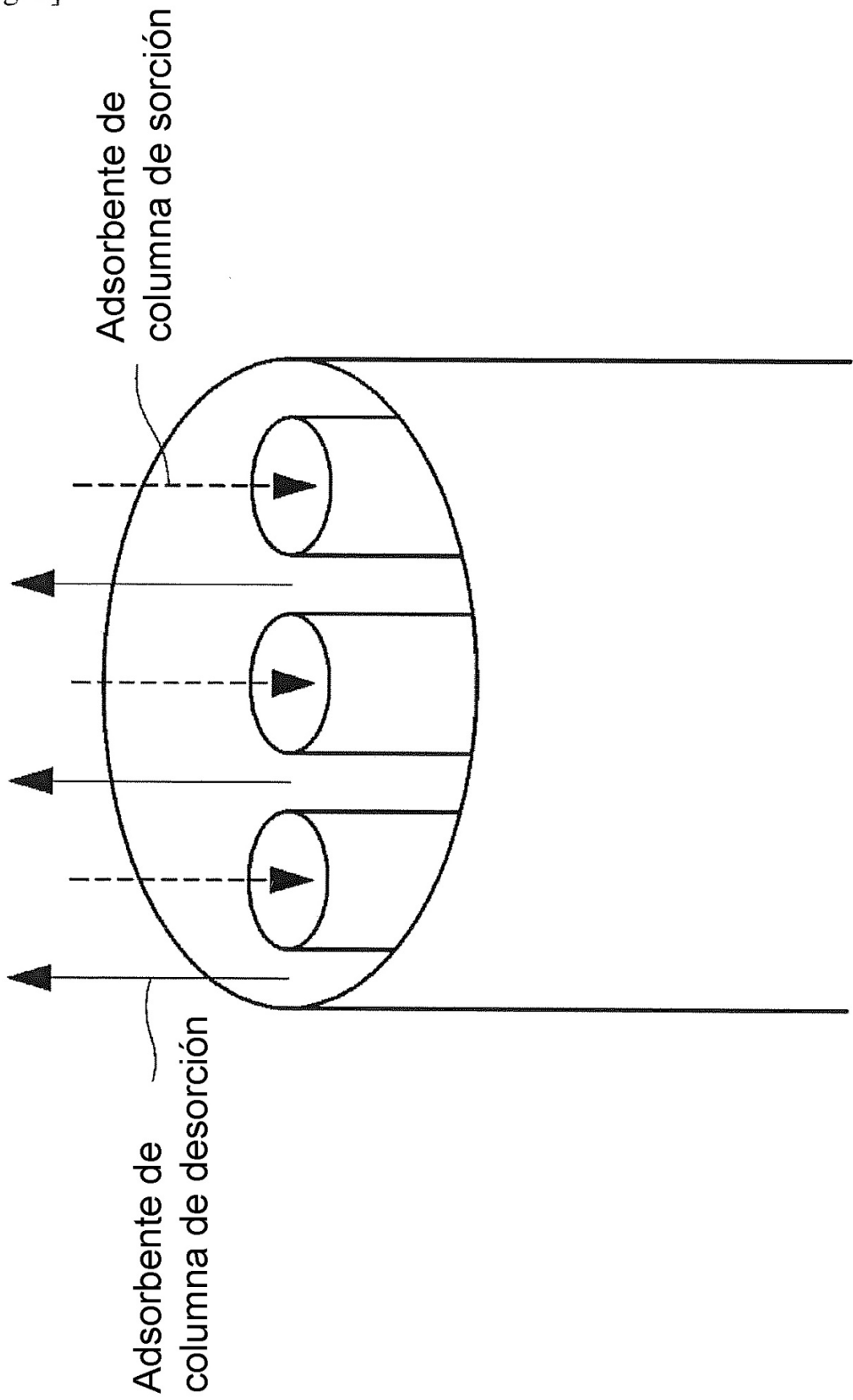
[Fig. 2]



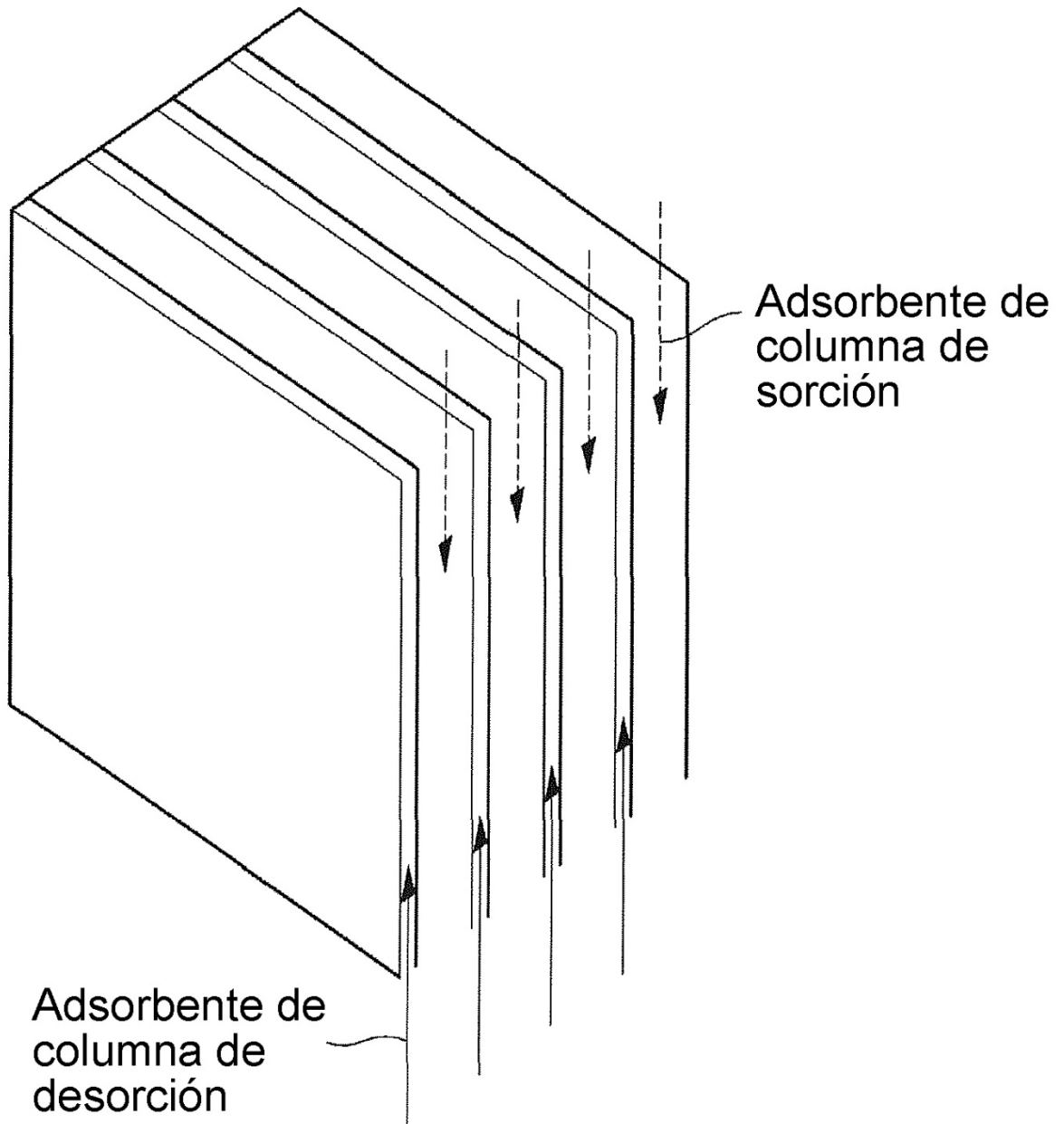
[Fig. 4]



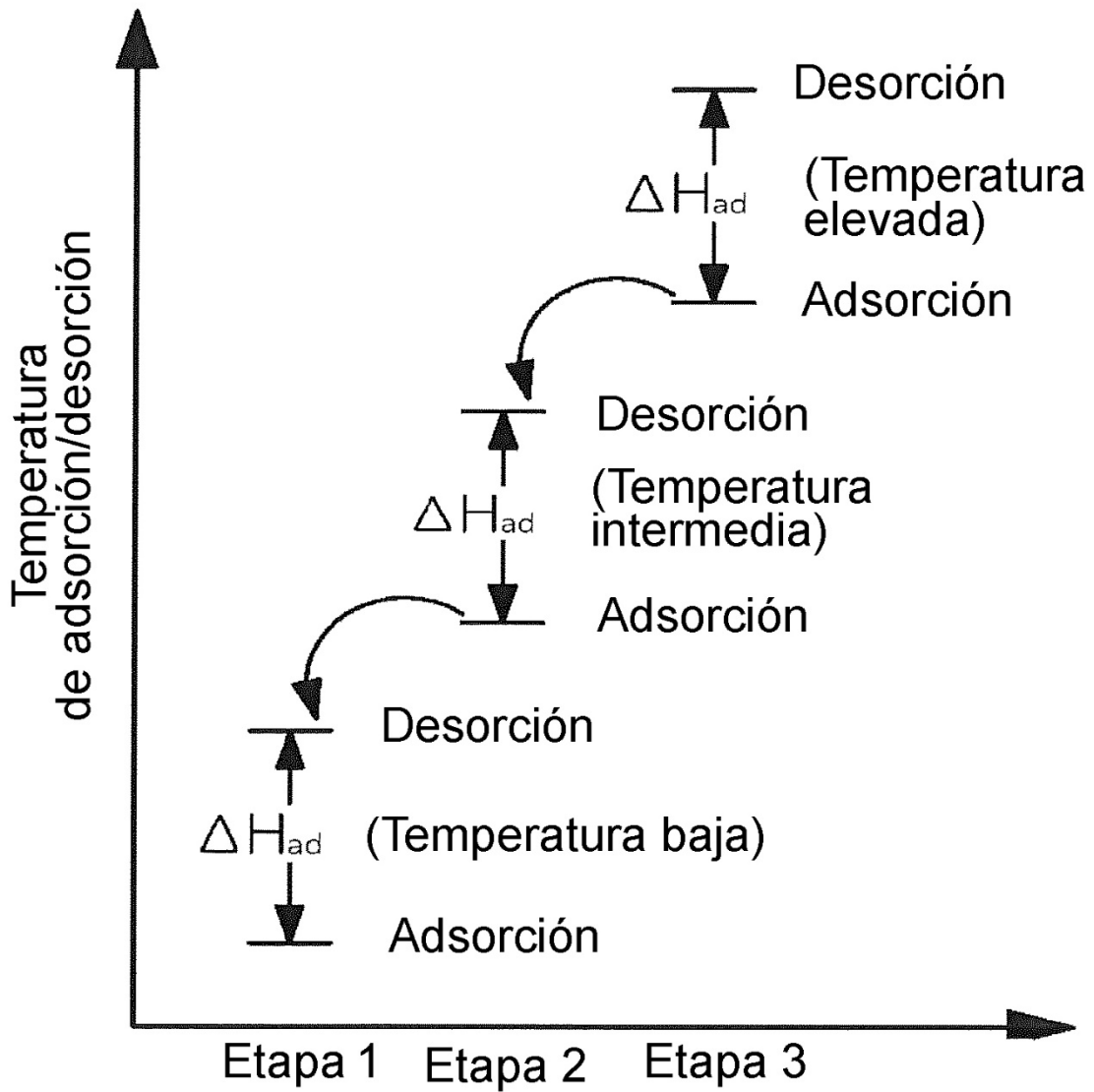
[Fig. 5]



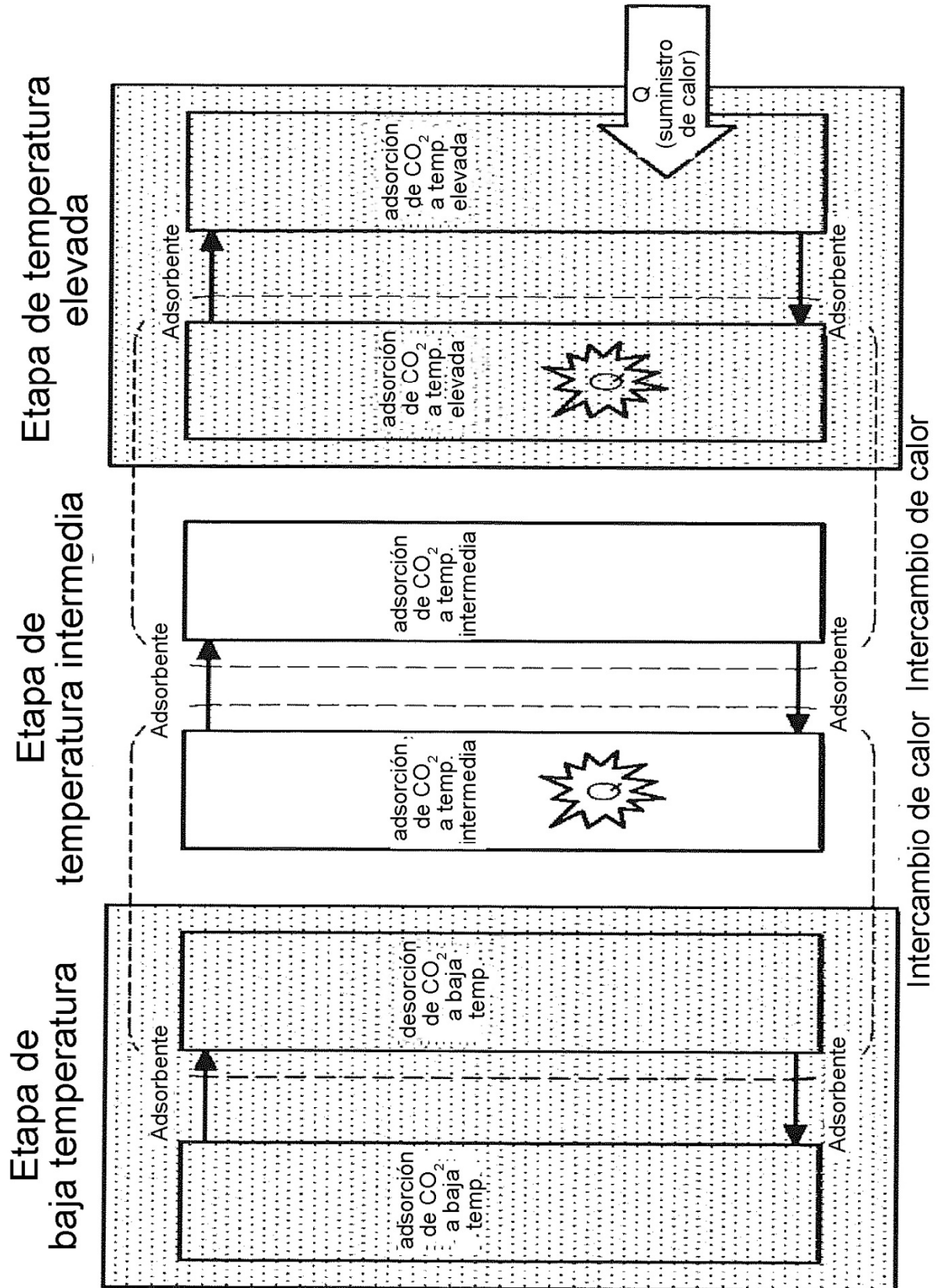
[Fig. 6]



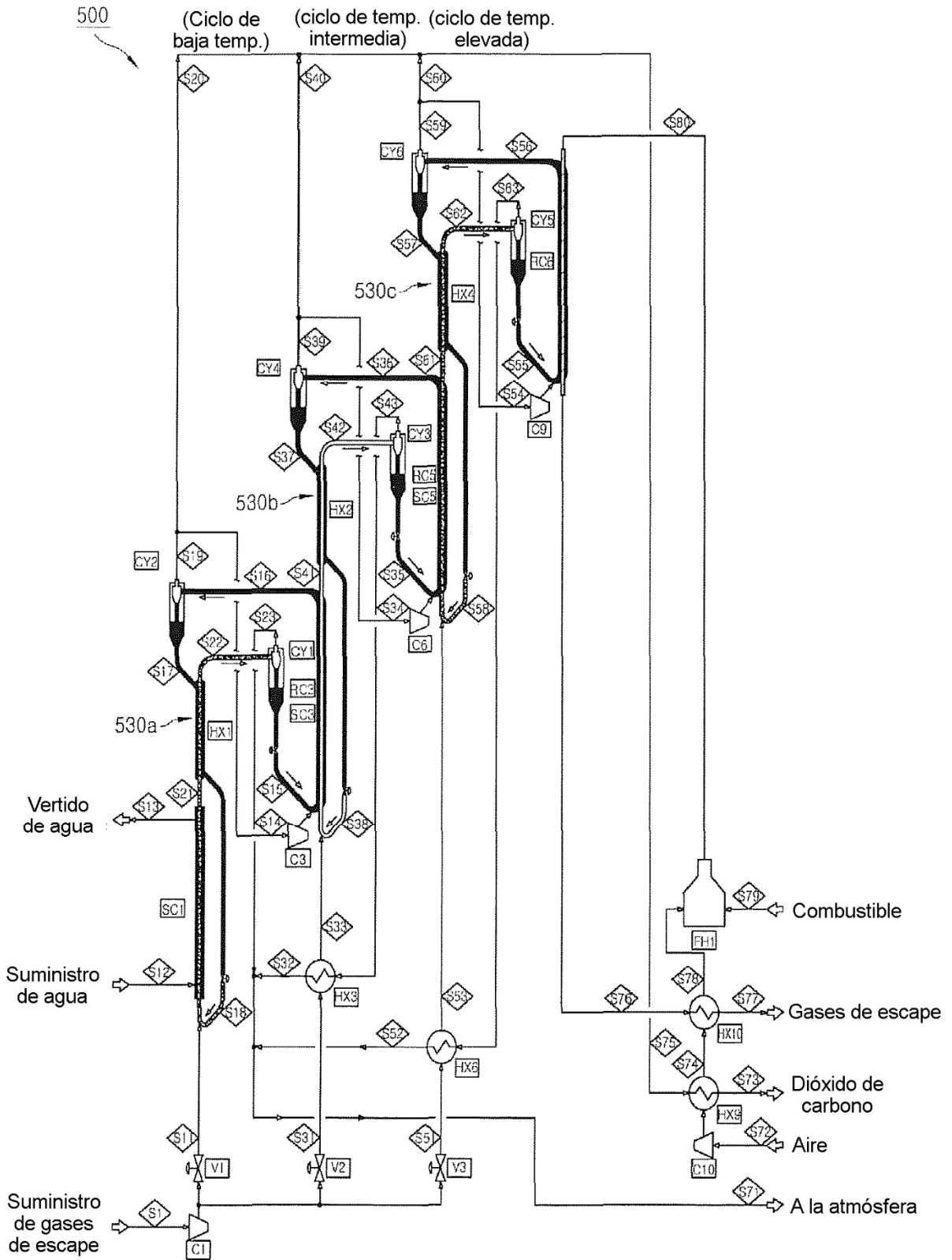
[Fig. 7]



[Fig. 8]



[Fig. 9]



[Fig. 10]

