

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 582 829**

51 Int. Cl.:

B01D 53/00 (2006.01)

F25J 3/02 (2006.01)

F23J 15/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.07.2011** **E 11173476 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.04.2016** **EP 2545977**

54 Título: **Integración térmica para separación criogénica de CO₂**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.09.2016

73 Titular/es:

GENERAL ELECTRIC TECHNOLOGY GMBH
(100.0%)
Brown Boveri Strasse 7
5400 Baden, CH

72 Inventor/es:

STALLMAN, OLAF

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 582 829 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

Integración térmica para separación criogénica de CO₂

CAMPO DE LA INVENCION

5 La presente invención se refiere a un método y a un sistema para separar CO₂ de una corriente de gas de chimenea rica en CO₂ mediante refrigeración de la corriente de gas de chimenea para condensar el CO₂ presente en ella.

ANTECEDENTES

10 En la combustión de un combustible, tal como carbón, petróleo, turba, residuos, etc., en una instalación de combustión, tal como una central térmica, se genera un gas de proceso caliente, conteniendo tal gas de proceso, entre otros componentes, dióxido de carbono CO₂. Con demandas medioambientales crecientes se han desarrollado distintos procesos para retirar dióxido de carbono del gas de proceso.

15 La captura de CO₂ a menudo comprende enfriamiento, o compresión y enfriamiento, del gas de chimenea para condensar CO₂ en forma líquida o sólida y separarle de los componentes de gas de chimenea no condensables, tales como N₂ y O₂. Antes de capturar el CO₂, es generalmente necesario limpiar el gas de chimenea rico en dióxido de carbono. La operación de limpieza de gas puede incluir en general la retirada de polvo, compuestos de azufre, metales, óxido de nitrógeno, etc.

20 El enfriamiento de los gases de chimenea a su temperatura de condensación puede ser conseguido por distintos medios, por ejemplo, utilizando un refrigerante externo adecuado. Los sistemas de captura de CO₂ que utilizan un refrigerante externo pueden ser caros, tanto en términos de costes de inversión como en términos de costes operativos. Como una alternativa, a menudo se utilizan sistemas de auto-refrigeración, en los que el gas de chimenea rico en CO₂ es comprimido, enfriado y expandido para conseguir la condensación del CO₂.

25 En estos sistemas el producto de CO₂ líquido es utilizado como un medio de refrigeración para el gas de chimenea rico en CO₂. Debido a las aproximaciones de temperatura ajustadas y al intercambio de calor simultáneo entre la condensación y los diferentes medios de evaporación en estos sistemas, la condensación de CO₂ es realizada generalmente utilizando intercambiadores de calor de aluminio soldado. Además de ser caro, el aluminio es sensible al ensuciamiento por muchos de los componentes de traza contenidos en los gases de chimenea a partir de la combustión de combustibles fósiles como mercurio y sustancias en partículas. Los sistemas de auto-refrigeración por lo tanto requieren generalmente esfuerzos prolongados para retirar los componentes dañinos en el gas de chimenea aguas arriba de la operación de condensación de CO₂, tal como filtros de partículas, adsorbentes de mercurio y separadores de SO_x/NO_x. Por lo tanto existe una demanda en los sistemas y método para hacer el equipo disponible en el método para la retirada de dióxido de carbono.

30 El documento EP 1 319 911 A1 describe un sistema de acuerdo con la parte de caracterización previa de la reivindicación 1.

RESUMEN DE LA INVENCION

35 Un objeto de la presente invención es proporcionar un sistema y un método para la retirada de dióxido de carbono de una corriente de gas de chimenea, por ejemplo generada en una caldera que quema un combustible en presencia de un gas que contiene oxígeno, aliviando el sistema y método al menos uno de los problemas mencionados anteriormente.

Los sistemas de tratamiento de gas de chimenea y los métodos para la retirada de CO₂ de la corriente de gas de chimenea de acuerdo con distintos aspectos descritos aquí permiten una separación de CO₂ más rentable utilizando diseños y materiales de intercambiador de calor simples y robustos.

40 De acuerdo con aspectos ilustrados aquí, se ha proporcionado un sistema de refrigeración para condensación de dióxido de carbono (CO₂) en una corriente de gas de chimenea, comprendiendo dicho sistema

un compresor de gas de chimenea,

al menos un secador de adsorción de gas de chimenea,

45 un sistema de refrigeración para condensación de dióxido de carbono (CO₂), en una corriente de gas de chimenea, comprendiendo dicho sistema un circuito de refrigeración que contiene un refrigerante, comprendiendo dicho circuito de refrigeración;

un compresor refrigerante de múltiples etapas,

un condensador refrigerante,

un enfriador refrigerante,

un enfriador de gas de chimenea,
al menos un condensador,

y

una columna de destilación que permite la destilación;

- 5 en el que el refrigerador de gas de chimenea está dispuesto entre el compresor de gas de chimenea y el secador de adsorción de gas de chimenea y el secador de adsorción de gas de chimenea y al menos un condensador están dispuestos en serie aguas arriba de la columna de destilación.

De acuerdo con algunas realizaciones, el sistema de tratamiento de gas de chimenea comprende además otro condensador, estando dispuesto en serie, el primer condensador, aguas arriba del condensador.

- 10 Disponiendo dos o más condensadores en serie, que tienen separadores de gas/líquido situados entre ellos, se puede optimizar la eficiencia de consumo de energía cuando el enfriamiento puede ser realizado paso a paso, en vez de en un solo paso.

De acuerdo con las realizaciones, el sistema de tratamiento de gas de chimenea que comprende además un intercambiador de calor configurado para enfriar al menos una parte del refrigerante condensado utilizando el gas de chimenea empobrecido en CO₂ del segundo condensador de CO₂.

- 15 De acuerdo con algunas realizaciones, el sistema de tratamiento de gas de chimenea comprende además un primer intercambiador de calor configurado para enfriar al menos una parte del refrigerante condensado utilizando el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente de la columna de destilación,

- 20 un segundo intercambiador de calor configurado para recalentar el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente del primer enfriador de refrigerante utilizando gas de chimenea caliente procedente del compresor de gas de chimenea;

un primer dispositivo de expansión del gas de chimenea configurado para expandir el gas de chimenea empobrecido en CO₂ comprimido recalentado procedente del primer intercambiador de calor,

- 25 un tercer intercambiador de calor configurado para enfriar además el refrigerante condensado del primer enfriador de refrigerante utilizando el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente del dispositivo de expansión del gas de chimenea,

un cuarto intercambiador de calor configurado para recalentar el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente del segundo intercambiador de calor utilizando gas de chimenea caliente procedente del compresor de gas de chimenea,

- 30 un segundo dispositivo de expansión del gas de chimenea configurado para expandir el gas de chimenea empobrecido en CO₂ comprimido recalentado procedente del segundo intercambiador de calor, y

opcionalmente, un quinto intercambiador de calor configurado para recalentar el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente del tercer intercambiador.

De acuerdo con algunas realizaciones, el sistema de tratamiento de gas de chimenea comprende además

- 35 un primer intercambiador de calor configurado para enfriar al menos una parte del refrigerante condensado utilizando el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente de la columna de destilación,

un segundo intercambiador de calor configurado para recalentar el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente del primer intercambiador utilizando gas de chimenea caliente procedente del compresor de gas de chimenea,

- 40 un primer dispositivo de expansión del gas de chimenea configurado para expandir el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente del segundo intercambiador de calor,

un tercer intercambiador de calor configurado para enfriar además el refrigerante condensado del primer intercambiador de calor utilizando el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente del dispositivo de expansión del gas de chimenea;

- 45 un segundo dispositivo de expansión del gas de chimenea configurado para expandir el gas de chimenea de empobrecido en CO₂ comprimido recalentado procedente del segundo intercambiador de calor, y

un cuarto intercambiador de calor configurado para recalentar el gas de chimenea empobrecido en CO₂

procedente del tercer intercambiador.

5 De acuerdo con algunas realizaciones, el sistema de tratamiento de gas de chimenea comprende además una unidad de reducción catalítica selectiva (SCR) para la retirada de óxidos de nitrógeno (NO_x) procedentes de la corriente de gas de chimenea, dispuesta aguas abajo del secador de adsorción de gas de chimenea, con referencia a la dirección de flujo general de la corriente de gas de chimenea empobrecido en CO₂.

De acuerdo con aspectos ilustrados aquí, se ha proporcionado un método para condensación de dióxido de carbono (CO₂) en una corriente de gas de chimenea que utiliza una corriente de circulación de un refrigerante externo, comprendiendo dicho método

10 a) compresión y condensación al menos parcial de refrigerante externo para obtener refrigerante externo condensado,

b) condensación de CO₂ en la corriente de gas de chimenea mediante refrigeración de la corriente de gas de chimenea a través de evaporación al menos parcial de refrigerante externo condensado obtenido en la operación a),

c) separación mediante destilación del CO₂ condensado procedente de la corriente de gas de chimenea, y

15 d) enfriamiento del refrigerante externo condensado para utilizar en la refrigeración de la operación b) utilizando el CO₂ condensado separado en la operación c).

De acuerdo con algunos métodos, dicho refrigerante externo es propano o propileno.

De acuerdo con algunos métodos, dicho refrigerante externo es amoníaco. Las características descritas anteriormente y otras están ejemplificadas por las siguientes figuras y por la descripción detallada. Objetos y características adicionales de la presente invención resultarán evidentes a partir de la descripción.

20 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Con referencia ahora a las figuras, que son realizaciones ejemplares:

La fig. 1 representa esquemáticamente una realización de un sistema de separación de CO₂.

La fig. 2 representa esquemáticamente una realización de un sistema de separación de CO₂.

La fig. 3 representa esquemáticamente una realización de un sistema de separación de CO₂.

25 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE REALIZACIONES PREFERIDAS

Las presiones están aquí en unidad "bar", e indican presiones absolutas a menos que se indique de otra manera.

30 Los términos "indirecto" o "indirectamente" son utilizados aquí en conexión con el intercambio de calor entre dos fluidos, tal como calentamiento, refrigeración o enfriamiento, indican que el intercambio de calor ocurre sin mezclar los dos fluidos juntos. Tal intercambio de calor indirecto puede por ejemplo ser realizado en un intercambiador de calor de contacto indirecto, en el que las corrientes de fluido permanecen separadas y el calor se transfiere continuamente a través de una pared divisoria impermeable.

35 El sistema de refrigeración o sistema de tratamiento de gas de chimenea de los distintos aspectos descritos aquí puede por ejemplo ser implementado en una instalación de combustión, tal como un sistema de caldera con quema de combustibles fósiles. Las aplicaciones del sistema y método, no están limitadas, típicamente son útiles para todas las corrientes de gas que tienen una concentración de CO₂ aumentada, por ejemplo una concentración de CO₂ por encima del 50%.

40 Típicamente, el gas de chimenea que deja un sistema de caldera de oxi-combustión de combustibles fósiles contendrá el 50-80% por volumen de dióxido de carbono. El equilibrio del "gas de chimenea rico en dióxido de carbono" será aproximadamente el 15-40% por volumen de vapor de agua (H₂O), 2-7% por volumen de oxígeno (O₂), ya que un ligero exceso de oxígeno es a menudo preferido en la caldera, y de forma total aproximadamente el 0-10% por volumen de otros gases, incluyendo principalmente nitrógeno (N₂) y argón (Ar), ya que rara vez puede evitarse completamente alguna fuga de aire.

45 El gas de chimenea rico en dióxido de carbono generado en un sistema de caldera de oxi-combustión de combustibles fósiles puede comprender típicamente contaminantes en la forma de, por ejemplo, partículas de polvo, ácido clorhídrico, HCl, óxidos nitrosos, NO_x, óxidos de azufre, SO_x, y metales pesados, incluyendo mercurio, Hg.

La separación de CO₂ en las realizaciones descritas aquí es conseguida por medio de compresión del gas de chimenea y condensación por refrigeración. La fig.1 ilustra esquemáticamente un sistema de separación de CO₂ para condensación de dióxido de carbono (CO₂) en una corriente de gas de chimenea. El sistema de separación de CO₂ de la

fig. 1 puede ser implementado en cualquier sistema de caldera de oxi-combustión de combustibles fósiles. El sistema 10 de separación de CO₂ comprende un conducto 55 de gas de chimenea operativo para reenviar el gas de chimenea desde una caldera a un apilamiento, opcionalmente a través de una o más unidades de tratamiento de gas de chimenea, tales como un dispositivo de retirada de polvo, un sistema de retirada de dióxido de azufre, y un condensador de gas de chimenea.

El sistema 10 de separación de CO₂ puede comprender opcionalmente al menos un compresor 44 que tiene al menos una, y típicamente de dos a diez etapas de compresión para comprimir el gas de chimenea rico en dióxido de carbono. El compresor de gas de chimenea es operativo para comprimir el gas de chimenea a una presión a la que el CO₂ gaseoso es convertido a forma líquida cuando la temperatura del gas de chimenea es reducida en al menos un condensador 70 de CO₂, por ejemplo en dos condensadores 64, 70 de CO₂. El gas de chimenea rico en dióxido de carbono es comprimido generalmente a una presión de aproximadamente 20 bar o superior, tal como aproximadamente 33 bar, en el compresor de múltiples etapas. Cada etapa de compresión podría estar dispuesta como una unidad separada. Como una alternativa varias etapas de compresión podrían ser operadas por un árbol de accionamiento común. El compresor 44 también puede comprender una unidad de enfriamiento intermedia (no mostrada), aguas abajo de una o más de las etapas de compresión. La unidad de enfriamiento intermedia puede además estar configurada para recoger y desechar cualquier condensado líquido formado durante la compresión y/o el enfriamiento del gas de chimenea rico en dióxido de carbono.

El sistema 10 de separación de CO₂ comprende un sistema de refrigeración 50 que tiene un circuito de refrigeración 51 que contiene refrigerante en forma líquida y/o vapor. Un número de refrigerantes diferentes pueden ser utilizados para suministrar las funciones de enfriamiento y condensación requeridas para condensación de CO₂ en el sistema de refrigeración. Ejemplos de refrigerantes que pueden ser utilizados incluyen propano (R290) y propileno (R1270) y mezclas de los mismos. Otra opción es amoníaco. También se pueden utilizar si se desea otros refrigerantes que tengan las propiedades termodinámicas y químicas deseadas.

El circuito de refrigeración 51 comprende un compresor 52 de refrigerante de múltiples etapas configurado para comprimir el refrigerante a una presión predeterminada. El compresor 52 de múltiples etapas puede por ejemplo tener tres o más etapas de compresión, cada etapa de compresión configurada para comprimir el refrigerante a un cierto nivel de presión. El compresor 52 de múltiples etapas puede estar provisto con un enfriamiento intermedio entre dos o más de las etapas de compresión. Refrigerante gaseoso, frío es comprimido desde una baja presión dentro del compresor 52 de múltiples etapas a una presión P0, por ejemplo en el intervalo de aproximadamente 8 a 25 bar (dependiendo del refrigerante y de la temperatura media de condensación), y dirigido hacia el condensador 53 de refrigerante. El refrigerante de alta presión es entonces condensado sustancialmente dentro del condensador 53 de refrigerante que puede ser enfriado por agua, aire forzado o similar.

El refrigerante condensado es distribuido a un enfriador 60 de gas de chimenea, a un primer condensador 64 de CO₂ y a un segundo condensador 70 de CO₂, donde es utilizado para enfriar el gas de chimenea que contiene CO₂.

El enfriador 60 de gas de chimenea comprende un dispositivo de dosificación, por ejemplo una válvula de expansión (no mostrada), para reducir la presión e inducir la evaporación del refrigerante condensado. El enfriador de gas de chimenea comprende además un intercambiador de calor, en el que el refrigerante es expandido a una presión P1, por ejemplo aproximadamente 5 bar, y el refrigerante en ebullición es utilizado para enfriar directamente la corriente de gas de chimenea a una temperatura en el intervalo de aproximadamente 10-20 °C. El agua que se precipita desde el gas de chimenea durante el enfriamiento en el enfriador de gas de chimenea es separado de la corriente de gas de chimenea y retirado a través de la tubería 61. El gas de chimenea enfriado empobrecido en vapor de agua procedente del enfriador de gas de chimenea es entonces reenviado al primer condensador 64 de CO₂, opcionalmente a través de un secador de adsorción (no mostrado).

El primer condensador 64 de CO₂ comprende un dispositivo de dosificación, por ejemplo una válvula de expansión (no mostrada), para reducir la presión e inducir la evaporación del refrigerante condensado. El primer condensador 64 de CO₂ comprende además un intercambiador de calor, en el que el refrigerante licuado es expandido a una presión P2 (<P1), por ejemplo de aproximadamente 2,7 bar, y el refrigerante en ebullición es utilizado para enfriar indirectamente la corriente de gas de chimenea a una temperatura de aproximadamente -20 °C, haciendo que al menos una parte del CO₂ procedente del gas de chimenea se condense. El primer condensador 64 de CO₂ comprende además un primer separador 65 de gas/líquido. El separador 65 de gas/líquido separa CO₂ condensado en forma líquida del gas de chimenea empobrecido en CO₂ parcialmente residual (gas de ventilación). El CO₂ licuado deja el separador 65 de gas/líquido a través de la tubería 66 y es bombeado a un tambor de producto de CO₂ por la bomba 67 de producto de CO₂. El gas de ventilación deja el separador 65 de gas/líquido a través de la tubería 68.

El gas de ventilación parcialmente empobrecido en CO₂ es reenviado a través de la tubería 68 al segundo condensador 70 de CO₂. El segundo condensador 70 de CO₂ comprende un dispositivo de dosificación, por ejemplo una válvula de expansión (no mostrada), para reducir la presión e inducir la evaporación del refrigerante condensado. El segundo condensador 70 de CO₂ comprende además un intercambiador de calor, en el que el refrigerante licuado es expandido a una presión P3 (<P2), por ejemplo presión atmosférica (aproximadamente 1 bar), y el refrigerante en ebullición es utilizado para enfriar indirectamente la corriente de gas de chimenea a una temperatura de aproximadamente -42 °C,

haciendo que al menos una parte del CO₂ procedente del gas de chimenea se condense. La temperatura de refrigeración está limitada por la temperatura mínima que se puede alcanzar del refrigerante. Para propileno o propano, este límite de temperatura sería aproximadamente -45 °C a un nivel de presión ambiente.

5 La corriente de gas de chimenea parcialmente condensado procedente del segundo condensador 70 de CO₂ es reenviada a una columna de destilación 71 para purificación por destilación del líquido. La corriente es alimentada a la columna en la parte superior y la parte líquida sirve como el reflujo requerido. De este modo, la columna de destilación no requiere ningún sistema de condensación auxiliar para generación de reflujo. Consecuentemente, el coste de inversión total del sistema es minimizado. El CO₂ licuado discurre hacia abajo de la columna de destilación y es contactado intensamente con el gas que fluye hacia arriba. Este contacto es la extracción (destilación) de impurezas de traza del CO₂ líquido y así la concentración del CO₂ es aumentada. El CO₂ purificado deja la columna de destilación 71 a través de la tubería 72 a un equipo de transferencia calorífica 84 de columna de destilación. En el equipo de transferencia calorífica una parte del CO₂ es vaporizada para generar la corriente de gas requerida para la columna. El calor es proporcionado sub-enfriando una parte del refrigerante.

15 El líquido restante puede ser extraído bien desde el sumidero de columna o bien, como se ha mostrado, desde el equipo de transferencia calorífica y subsiguientemente, es bombeado a un tambor de producto de CO₂ por la bomba 86 de CO₂, a través de otro intercambiador de calor 85 donde el refrigerante es enfriado a aproximadamente 1-5 °C, por ejemplo 3-4 °C. Desde el tambor el producto de CO₂ es elevado de presión por la bomba 88 de producto de CO₂ al nivel requerido para otro tratamiento.

20 El sistema de refrigeración 50 comprende además un enfriador de refrigerante 80. El enfriador de refrigerante 80 comprende un intercambiador de calor configurado para enfriar refrigerante por contacto indirecto con CO₂ líquido purificado frío procedente de la columna de destilación 71.

La temperatura del CO₂ condensado procedente del primer y segundo condensadores 64, 70 de CO₂ puede por lo general ser de aproximadamente -20 °C y -42 °C respectivamente. La temperatura del refrigerante puede ser reducida desde el intervalo de aproximadamente 15-30 °C a aproximadamente 1 °C en el enfriador de refrigerante 80.

25 El refrigerante evaporado procedente del enfriador 60 de gas de chimenea, del primer condensador 64 de CO₂ y del segundo condensador 70 de CO₂ es devuelto al compresor 52 de múltiples etapas para una nueva compresión y, después de condensación, utilizado para un enfriamiento adicional de la corriente de gas de chimenea. El refrigerante evaporado procedente del enfriador 60 de gas de chimenea a una presión P1, por ejemplo de aproximadamente 5 bar, es reenviado a una primera etapa de compresión 52' del compresor 52 de múltiples etapas adecuado para recibir refrigerante a una presión de P1. El refrigerante evaporado procedente del primer condensador 64 de CO₂ a una presión P2, por ejemplo de aproximadamente 2,7 bar, es reenviado, opcionalmente a través de un tambor 56 de succión de compresor de refrigerante, a una segunda etapa de compresión 52'' del compresor 52 de múltiples etapas adecuado para recibir refrigerante a una presión de P2. El refrigerante evaporado procedente del segundo condensador 70 de CO₂ a una presión P3, por ejemplo de aproximadamente 1 bar, es reenviado, opcionalmente a través de un tambor 57 de succión de compresor de refrigerante, a una tercera etapa de compresión 52''' del compresor 52 de múltiples etapas adecuado para recibir refrigerante a una presión de P3. Las corrientes de refrigerante evaporado son entonces comprimidas de nuevo a presión P0 y reutilizadas en el circuito de refrigeración.

40 El producto de CO₂ líquido procedente del enfriador de refrigerante 80 puede ser recogido en un tambor 87 de producto de CO₂ y puede entonces ser bombeado por la bomba 88 de producto de CO₂ a un nivel de presión adecuado para transporte u otro tratamiento. Si la presión fuera aumentada a este nivel en una única operación en la bomba de producto de CO₂, la bomba introduciría demasiado calor en la corriente de producto de CO₂ y de este modo reduciría la función disponible para el enfriamiento del refrigerante en el enfriador de refrigerante y/o en el enfriador o enfriadores de refrigerante auxiliares.

45 La fig. 2 representa esquemáticamente una realización de un sistema de separación de CO₂ integrado en un sistema de tratamiento de gas de chimenea para retirar CO₂ de una corriente de gas de chimenea, por ejemplo una corriente de gas de chimenea generada por una caldera que quema un combustible en presencia de un gas que contiene oxígeno.

50 El sistema 110 de separación de CO₂ comprende al menos un compresor 144 que tiene al menos una, y típicamente de dos a diez etapas de compresión para comprimir el gas de chimenea rico en dióxido de carbono. El compresor 144 de gas de chimenea es operativo para comprimir el gas de chimenea a una presión a la que el CO₂ gaseoso es convertido a forma líquida cuando la temperatura del gas de chimenea es reducida en los condensadores 164, 170 de CO₂. El gas de chimenea rico en dióxido de carbono es generalmente comprimido a una presión de aproximadamente 20 bar o superior, tal como aproximadamente 33 bar, en el compresor de múltiples etapas. Cada etapa de compresión podría estar dispuesta como una unidad separada. Como una alternativa varias etapas de compresión podrían ser operadas por un árbol de accionamiento común. El compresor 144 también puede comprender una unidad de enfriamiento intermedia (no mostrada), aguas abajo de una o más de las etapas de compresión. La unidad de enfriamiento intermedia puede además estar configurada para recoger y desechar cualquier condensado líquido formado durante la compresión y/o enfriamiento del gas de chimenea rico en dióxido de carbono.

El agua residual puede causar la formación de hielo en los intercambiadores de calor de los condensadores de CO₂, dando como resultado eventualmente problemas con capacidad de enfriamiento reducida y obstrucción de los intercambiadores de calor. Previendo un secador de adsorción aguas arriba de los condensadores de CO₂, tales problemas son evitados, o al menos minimizados. Así, el sistema 110 de separación de CO₂ puede comprender además un secador de adsorción 162 operativo para retirar al menos una parte del vapor de agua que permanece en la corriente de gas de chimenea rico en CO₂. El secador de adsorción 162 está provisto con un paquete que comprende un adsorbente de vapor de agua, también denominado como un desecante, que tiene afinidad por el vapor de agua. El desecante puede, por ejemplo, ser gel de sílice, sulfato de calcio, cloruro de calcio, arcilla de montmorillonita, tamices moleculares, u otro material que es, como tal, conocido por su utilización como un desecante. Por consiguiente, cuando el gas de chimenea rico en dióxido de carbono comprimido y enfriado pasa a través del paquete, al menos una parte del contenido de vapor de agua del gas será adsorbida en el desecante del paquete. Como el vapor de agua en el gas de chimenea podría bloquear los intercambiadores de calor de los condensadores de CO₂, el punto de rocío o condensación del agua del gas de chimenea es reducido a aproximadamente -60 °C en el secador de adsorción. El material secador puede ser seleccionado preferiblemente de tal manera que puede resistir eventualmente la formación de ácidos. Esto permite omitir operaciones adicionales para la retirada de compuestos de SO_x y NO_x que podrían de otra manera dañar la integridad del adsorbente.

El secador de adsorción 162 puede estar provisto con un sistema de regeneración y calentamiento para regeneración intermitente de la capacidad de adsorción de vapor de agua del secador de adsorción. Un conducto de suministro 190 está previsto para suministrar un gas de regeneración al sistema. El gas de regeneración es preferiblemente un gas inerte que no reacciona con el paquete del secador de adsorción. Ejemplos de gases adecuados incluyen nitrógeno u otro gas inerte que, preferiblemente, contiene una baja cantidad de mercurio y de vapor de agua. Preferiblemente, gas de ventilación que comprende usualmente nitrógeno como uno de sus constituyentes principales, separado del dióxido de carbono en el sistema 110 de separación de CO₂ es utilizado como gas de regeneración. El sistema de regeneración comprende un calentador 191 que está adaptado para calentar el gas de regeneración. Un circuito de calentamiento está conectado al calentador para hacer circular un medio de calentamiento, tal como vapor, en el calentador. Para regeneración del material del paquete del secador de adsorción 162, el calentador puede calentar típicamente el gas de regeneración a una temperatura de aproximadamente 120-300 °C. Durante una secuencia de regeneración, el gas de regeneración calentado es suministrado al secador de adsorción 162 procedente del sistema de regeneración y de calentamiento. El gas de regeneración calienta el material del paquete y causa la desorción de vapor de agua.

De acuerdo con una realización, el sistema puede estar provisto con dos secadores de adsorción paralelos, estando uno de esos secadores de adsorción en funcionamiento mientras el otro secador de adsorción paralelo se somete a regeneración. De acuerdo con otra realización, el gas de chimenea rico en dióxido de carbono podría ser emitido a la atmósfera durante la regeneración del paquete del secador de adsorción.

Con referencia a la fig. 2, el sistema 110 de separación de CO₂ de chimenea comprende un sistema de refrigeración 150 para condensación de dióxido de carbono en la corriente de gas de chimenea. El sistema de refrigeración 150 comprende un circuito de refrigeración 151 que contiene refrigerante en forma líquida y/o vapor. Un número de refrigerantes diferentes puede ser utilizado para suministrar funciones de enfriamiento y de condensación requeridas para condensación de CO₂ en el sistema de refrigeración. Ejemplos de refrigerantes que pueden ser utilizados incluyen propano (R290) y propileno (R1270) y mezclas de los mismos. También se pueden utilizar si se desea otros refrigerantes que tienen las propiedades termodinámicas y químicas.

El circuito de refrigeración 151 comprende un compresor 152 de refrigerante de múltiples etapas configurado para comprimir el refrigerante a una presión predeterminada. El compresor de múltiples etapas puede por ejemplo tener tres o más etapas de compresión, estando cada etapa de compresión configurada para comprimir el refrigerante a un cierto nivel de presión. El compresor de múltiples etapas puede estar provisto con enfriamiento intermedio entre dos o más de las etapas de compresión.

El refrigerante gaseoso, frío es comprimido desde una baja presión dentro del compresor 152 de múltiples etapas a una presión P₀, por ejemplo en el intervalo de aproximadamente 8 a aproximadamente 25 bar (dependiendo del refrigerante y de la temperatura media de condensación), y dirigido hacia el condensador 153 de refrigerante. El refrigerante de alta presión es entonces condensado sustancialmente dentro del condensador 153 de refrigerante que puede ser enfriado por agua, aire forzado o similar.

El refrigerante condensado es distribuido a un enfriador 160 de gas de chimenea, a un primer condensador 164 de CO₂ y a un segundo condensador 170 de CO₂, donde es utilizado para enfriar el gas de chimenea que contiene CO₂ que se desplaza en el conducto 155 de gas de chimenea.

El enfriador 160 de gas de chimenea comprende un dispositivo de dosificación, por ejemplo una válvula de expansión (no mostrada), para reducir la presión e inducir la evaporación del refrigerante condensado. El enfriador de gas de chimenea comprende además un intercambiador de calor, en el que el refrigerante es expandido a una presión P₁, por ejemplo de aproximadamente 5 bar, y el refrigerante en ebullición es utilizado para enfriar indirectamente la corriente de gas de chimenea a una temperatura en el intervalo de aproximadamente 6 a 20 °C. El agua que se precipita desde el gas de chimenea durante el enfriamiento en el enfriador de gas de chimenea es separado de la corriente de gas de chimenea y

retirado a través de la tubería 161. El gas de chimenea enfriado empobrecido en vapor de agua procedente del enfriador de gas de chimenea es entonces reenviado al secador de adsorción 162.

5 El gas de chimenea enfriado y secado procedente del secador de adsorción 162 es reenviado al primer condensador 164 de CO₂. El primer condensador de CO₂ comprende un dispositivo de dosificación, por ejemplo una válvula de expansión (no mostrada), para reducir la presión e inducir la evaporación del refrigerante condensado. El primer condensador de CO₂ comprende además un intercambiador de calor, en el que el refrigerante licuado es expandido a una presión P2 (<P1), por ejemplo de aproximadamente 2,7 bar, y el refrigerante en ebullición es utilizado para enfriar indirectamente la corriente de gas de chimenea a una temperatura de aproximadamente -20 °C, haciendo que al menos una parte del CO₂ del gas de chimenea se condense. El primer condensador 164 de CO₂ comprende además un primer separador 165 de gas/líquido. El separador 165 de gas/líquido separa CO₂ condensado en forma líquida procedente del gas de chimenea residual parcialmente empobrecido en CO₂ (gas de ventilación). El CO₂ licuado deja el separador 165 de gas/líquido a través de la tubería 166 y es reenviado a la columna de destilación 171.

15 El gas de ventilación parcialmente empobrecido en CO₂ es reenviado a través de la tubería 168 al segundo condensador 170 de CO₂. El segundo condensador 170 de CO₂ comprende un dispositivo de dosificación, por ejemplo una válvula de expansión (no mostrada), para reducir la presión e inducir la evaporación del refrigerante condensado. El segundo condensador de CO₂ comprende además un intercambiador de calor, en el que el refrigerante licuado es expandido a una presión P3 (<P2), por ejemplo una presión atmosférica (aproximadamente 1 bar), y el refrigerante en ebullición es utilizado para enfriar indirectamente la corriente de gas de chimenea a una temperatura de aproximadamente -42 °C, haciendo que al menos una parte del CO₂ procedente del gas de chimenea se condense. La temperatura de refrigeración está limitada por la temperatura mínima que se puede alcanzar del refrigerante. Para propileno o propano, este límite de temperatura sería de aproximadamente -45 °C al nivel de presión ambiente.

25 La corriente de gas de chimenea parcialmente condensado procedente del segundo condensador 170 de CO₂ es reenviada a una columna de destilación 171 para purificación por destilación del líquido. La corriente es alimentada a la columna en la parte superior y la parte líquida sirve como el reflujo requerido. De este modo, la columna de destilación no requiere ningún sistema de condensación auxiliar para generación de reflujo. Por consiguiente, el coste de inversión total del sistema es minimizado. El CO₂ licuado discurre hacia abajo de la columna de destilación y es contactado intensamente con el gas que fluye hacia arriba. Este contacto es extracción (separación) de impurezas de trazas del CO₂ líquido y así la concentración del CO₂ es aumentada. El CO₂ purificado deja la columna de destilación 171 a través de la tubería 172 a un equipo de transferencia calorífica 184 de columna de destilación. En el equipo de transferencia calorífica una parte del CO₂ es vaporizada para generar la corriente de gas requerida para la columna. El calor es proporcionado sub-enfriando una parte del refrigerante. El líquido restante puede ser extraído bien del sumidero de la columna o bien, como se ha mostrado, del equipo de transferencia calorífica y subsiguientemente, es bombeado a un tambor de producto de CO₂ por la bomba 186 de CO₂, a través de otro intercambiador de calor 185 donde el refrigerante es enfriado a aproximadamente 1-5 °C, por ejemplo 3-4 °C. Desde el tambor el producto de CO₂ es elevado de presión por la bomba 35 188 de producto de CO₂ al nivel requerido para tratamiento adicional.

El sistema 150 de refrigeración comprende además un enfriador 180 de refrigerante. El enfriador 180 de refrigerante comprende un intercambiador de calor configurado para enfriar refrigerante por contacto indirecto con el CO₂ líquido purificado frío procedente de la columna de destilación 171.

40 La temperatura del CO₂ condensado procedente del primer y segundo condensadores 164, 170 de CO₂ puede por lo general ser de aproximadamente -20 °C y -42 °C respectivamente. La temperatura del refrigerante puede ser reducida desde el intervalo de aproximadamente 15-30 °C a aproximadamente 1 °C en el enfriador 180 de refrigerante.

El sistema 150 de refrigeración comprende además un enfriador 180 de refrigerante. El enfriador 180 de refrigerante comprende un intercambiador de calor configurado para enfriar refrigerante por contacto indirecto con CO₂ líquido purificado frío procedente de la columna de destilación.

45 La temperatura del CO₂ condensado procedente del primer y segundo condensadores 164, 170 de CO₂ puede por lo general ser de aproximadamente -20 °C y -42 °C respectivamente. La temperatura del refrigerante puede ser reducida desde el intervalo de aproximadamente 15-30 °C a aproximadamente 1 °C en el enfriador 180 de refrigerante.

50 El refrigerante enfriado desde el enfriador 180 de refrigerante es dividido y distribuido a través de las tuberías 181, 182, 183 al enfriador 160 de gas de chimenea, al primer condensador 164 de CO₂ y al segundo condensador 170 de CO₂. La cantidad de refrigerante distribuido a cada uno del enfriador 160 de gas de chimenea, del primer condensador 164 de CO₂ y del segundo condensador 170 de CO₂ puede ser seleccionada de modo que proporcione la refrigeración deseada en cada intercambiador de calor.

55 El producto de CO₂ líquido procedente del enfriador 180 de refrigerante puede ser recogido en un tambor 187 de producto de CO₂ y puede entonces ser bombeado por la bomba 188 de producto de CO₂ a un nivel de presión adecuado para transporte u otro tratamiento. Si la presión fuera aumentada a este nivel en una sola operación en la bomba de producto de CO₂, la bomba introduciría demasiado calor en la corriente de producto de CO₂ y de este modo reduciría la función disponible para el enfriamiento del refrigerante en el enfriador de refrigerante y/o en el enfriador o enfriadores de

refrigerante auxiliares.

El sistema 150 de refrigeración en la fig. 2 comprende además una disposición para enfriar previamente al menos una parte del refrigerante condensado que llega procedente del condensador de refrigerante utilizando el gas de chimenea empobrecido en CO₂ frío procedente del segundo condensador de CO₂. La disposición comprende un primer intercambiador de calor 192 configurado para enfriar el refrigerante que llega procedente del condensador 153 de refrigerante, por contacto indirecto con gas de chimenea empobrecido en CO₂ frío procedente del segundo condensador 170 de CO₂ a través de la tubería 174. Un segundo intercambiador de calor 193 está configurado para recalentar el gas de chimenea empobrecido en CO₂ frío procedente del primer intercambiador de calor 192 utilizando gas de chimenea caliente procedente del compresor 144 de gas de chimenea. Un dispositivo de expansión 194 de gas de chimenea está configurado para expandir el gas de chimenea empobrecido en CO₂ comprimido recalentado desde el segundo intercambiador de calor lo que resulta en una reducción de temperatura del gas de chimenea. El gas de chimenea procedente del dispositivo de expansión 194 de gas de chimenea es reenviado a un tercer intercambiador de calor 195 donde es utilizado para enfriar adicionalmente el refrigerante condensado procedente del primer intercambiador de calor.

Opcionalmente, la disposición comprende además un cuarto intercambiador de calor 196 configurado para recalentar el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente del tercer intercambiador de calor 195 utilizando gas de chimenea caliente procedente del compresor 144 de gas de chimenea, un segundo dispositivo de expansión 197 de gas de chimenea configurado para expandir el gas de chimenea empobrecido en CO₂ recalentado desde el cuarto intercambiador de calor 196 lo que da como resultado una reducción de temperatura del gas de chimenea, y un quinto intercambiador de calor 198 configurado para recalentar el gas de chimenea expandido procedente del segundo dispositivo de expansión 197 de gas de chimenea utilizando gas de chimenea caliente procedente del compresor 144 de gas de chimenea. Esta disposición opcional proporciona un gas de chimenea recalentado que es adecuado, posiblemente después de un calentamiento adicional en un calentador 191 de gas de regeneración, para utilizar como un gas de regeneración para regeneración del secador de adsorción 162 como se ha descrito anteriormente. El gas de chimenea recalentado puede ser reenviado a una unidad SCR (opcional) para la retirada de óxidos de nitrógeno del gas de chimenea por reducción catalítica selectiva a N₂.

El refrigerante evaporado procedente del enfriador 160 de gas de chimenea, del primer condensador 164 de CO₂ y del segundo condensador 170 de CO₂ es devuelto al compresor 152 de múltiples etapas para una nueva compresión y utilización para enfriamiento adicional de la corriente de gas de chimenea. El refrigerante evaporado procedente del enfriador 160 de gas de chimenea a una presión P1, por ejemplo de aproximadamente 5 bar, es reenviado a una primera etapa de compresión 152' del compresor 152 de múltiples etapas adecuado para recibir refrigerante a una presión de P1. El refrigerante evaporado procedente del primer condensador 164 de CO₂ a una presión P2, por ejemplo de aproximadamente 2,7 bar, es reenviado, opcionalmente a través de un tambor 156 de succión de compresor de refrigerante, a una segunda etapa de compresión 152'' del compresor 152 de múltiples etapas adecuada para recibir refrigerante a una presión de P2. El refrigerante evaporado procedente del segundo condensador 170 de CO₂ a una presión P3, por ejemplo de aproximadamente 1 bar, es reenviado opcionalmente a través de un tambor 157 de succión de compresor de refrigerante, a una tercera etapa de compresión 152''' del compresor 152 de múltiples etapas adecuado para recibir refrigerante a una presión de P3. Las corrientes de refrigerante evaporado son entonces de nuevo comprimidas a una presión P0 y reutilizadas en el circuito de refrigeración.

Con referencia a la fig. 3, el sistema 210 de separación de CO₂ comprende un sistema 250 de refrigeración. El sistema 250 de refrigeración comprende un circuito 251 de refrigeración que contiene refrigerante en forma líquida y/o vapor. Se puede utilizar un número de refrigerantes diferentes para suministrar las funciones de enfriamiento y condensación requeridas para condensación de CO₂ en el sistema de refrigeración. Ejemplos de refrigerantes que pueden ser utilizados incluyen R290 (propano) y propileno R1270 y mezclas de los mismos. Otra opción de refrigerantes es el amoníaco. También pueden utilizarse si se desea otros refrigerantes que tengan las propiedades termodinámicas y químicas deseadas.

El circuito de refrigeración comprende un compresor 252 de refrigerante de múltiples etapas configurado para comprimir el refrigerante a una presión predeterminada. El compresor de múltiples etapas puede por ejemplo tener tres o más etapas de compresión, cada etapa de compresión configurada para comprimir el refrigerante a un cierto nivel de presión. El compresor de múltiples etapas puede estar provisto con un enfriamiento intermedio entre dos o más de las etapas de compresión.

El refrigerante gaseoso, frío es comprimido desde una baja presión dentro del compresor 252 de múltiples etapas a una presión P0, por ejemplo en el intervalo de aproximadamente 8 a aproximadamente 25 bar (dependiendo del refrigerante y de la temperatura media de condensación), y dirigido hacia el condensador 253 de refrigerante. El refrigerante de alta presión es entonces condensado sustancialmente dentro del condensador 253 de refrigerante que puede ser enfriado por agua, aire forzado o similar.

El circuito 251 de refrigeración comprende una división por líquido que divide el flujo de refrigerante procedente del condensador 253 de refrigerante en una primera y segunda partes.

La primera parte del refrigerante condensado es dirigida a través de una tubería 254a a un enfriador 280 de refrigerante

configurado para enfriar la parte de refrigerante condensado utilizando CO₂ líquido separado en la columna de destilación 271. La segunda parte del refrigerante condensado es dirigida a través de la tubería 254b a una disposición de intercambiador de calor configurada para enfriar una segunda parte del refrigerante condensado utilizando el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente del segundo condensador 270 de CO₂.

- 5 La primera parte del refrigerante condensado es reenviada desde el condensador de refrigerante 253 al enfriador de refrigerante 280 a través de la tubería 254a. En enfriador de refrigerante comprende un intercambiador de calor configurado para enfriar refrigerante por contacto indirecto con CO₂ condensado frío procedente de la columna de destilación 271.

- 10 La corriente de gas de chimenea parcialmente condensado procedente del segundo condensador 270 de CO₂ es reenviada a una columna de destilación 271 para purificación por destilación del líquido.

- 15 La corriente es alimentada a la columna en la parte superior y la parte líquida sirve como el reflujo requerido. De este modo, la columna de destilación no requiere ningún sistema de condensación auxiliar para generación de reflujo. Por consiguiente, el coste de inversión total del sistema es minimizado. El CO₂ licuado discurre hacia abajo de la columna de destilación y es contactado intensamente con el gas que fluye hacia arriba. Este contacto es la extracción (separación) de impurezas de trazas de CO₂ líquido y así la concentración de CO₂ es aumentada. El CO₂ purificado deja la columna de destilación 271 a través de la tubería 272 a un equipo de transferencia calorífica de la columna destilación 284. En el equipo de transferencia calorífica una parte del CO₂ es vaporizada para generar la corriente de gas requerida para la columna. El calor es proporcionado sub-enfriando la corriente de gas requerida para la columna. El calor es proporcionado sub-enfriando una parte del refrigerante. El líquido restante puede ser extraído bien desde el sumidero de la columna o bien, como se ha mostrado, desde el equipo de transferencia calorífica y subsiguientemente, es bombeado a un tambor de producto de CO₂ por la bomba 81 de CO₂, a través de otro intercambiador de calor 285 donde el refrigerante es enfriado a aproximadamente 1-5 °C, por ejemplo 3-4 °C. Desde el tambor el producto de CO₂ es elevado de presión por la bomba 288 de producto de CO₂ al nivel requerido para otro tratamiento.

- 25 El sistema de refrigeración 250 comprende además un enfriador 280 de refrigerante. El enfriador 280 de refrigerante comprende un intercambiador de calor configurado para enfriar refrigerante por contacto indirecto con el CO₂ líquido purificado frío procedente de la columna de destilación 71.

La temperatura del CO₂ condensado procedente del primer y segundo condensadores 264, 270 de CO₂ puede por lo general ser de aproximadamente -20 °C y -42 °C respectivamente. La temperatura del refrigerante puede ser reducida desde el intervalo de aproximadamente 15-30 °C a aproximadamente 1 °C en el enfriador 280 de refrigerante.

- 30 La cantidad de refrigerante distribuido a cada uno del enfriador 260 de gas de chimenea, del primer condensador 264 de CO₂ y del segundo condensador 270 de CO₂ puede ser seleccionada de modo que proporcione la refrigeración deseada en cada intercambiador de calor.

- 35 El enfriador de gas de chimenea 260 comprende un dispositivo de dosificación, por ejemplo una válvula de expansión (no mostrada), para reducir la presión e inducir la evaporación del refrigerante condensado. El enfriador de gas de chimenea comprende además un intercambiador de calor, en el que el refrigerante es expandido a una presión P1, por ejemplo de aproximadamente 5 bar, y el refrigerante en ebullición es utilizado para enfriar indirectamente la corriente de gas de chimenea a una temperatura en el intervalo de aproximadamente 6 a 20 °C. El agua que se precipita desde el gas de combustión durante el enfriamiento en el enfriador de gas de chimenea es separada de la corriente de gas de chimenea y retirada a través de la tubería 261. El gas de chimenea enfriado empobrecido en vapor de agua procedente del enfriador de gas de chimenea es entonces reenviado al primer condensador 264 de CO₂, opcionalmente a través de un secador de adsorción 262.

- 45 El primer condensador de CO₂ comprende un dispositivo de dosificación, por ejemplo una válvula de expansión (no mostrada), para reducir la presión e inducir la evaporación del refrigerante condensado. El primer condensador de CO₂ comprende además un intercambiador de calor, en el que el refrigerante licuado se expande a una presión P2 (<P1), por ejemplo de aproximadamente 2,7 bar, y el refrigerante en ebullición es utilizado para enfriar indirectamente la corriente de gas de chimenea a una temperatura de aproximadamente -20 °C, haciendo que al menos una parte del CO₂ procedente del gas de chimenea se condense. El primer condensador 264 de CO₂ comprende además un primer separador 265 de gas/líquido. El separador 265 de gas/líquido separa CO₂ condensado en forma líquida del gas de chimenea residual parcialmente empobrecido en CO₂ (gas de ventilación). El CO₂ licuado deja el separador 265 de gas/líquido a través de la tubería 266 y es bombeado por una bomba de producto de CO₂ a una presión, por ejemplo de aproximadamente 60 bar, suficiente para impedir la evaporación del producto de CO₂ cuando es utilizado para enfriar el refrigerante en el enfriador 280 de refrigerante. El gas de ventilación deja el separador 265 de gas/líquido a través de la tubería 268.

- 55 El gas de ventilación parcialmente empobrecido en CO₂ es reenviado a través de la tubería 268 al segundo condensador 270 de CO₂. El segundo condensador de CO₂ comprende un dispositivo de dosificación, por ejemplo una válvula de expansión (no mostrada), para reducir la presión e inducir la evaporación del refrigerante condensado. El segundo condensador de CO₂ comprende además un intercambiador de calor, en el que el refrigerante licuado es expandido a una presión P3 (<P2), por ejemplo presión atmosférica (aproximadamente 1 bar), y el refrigerante en ebullición es

utilizado para enfriar indirectamente la corriente de gas de chimenea a una temperatura de aproximadamente -42 °C, haciendo que al menos una parte del CO₂ procedente del gas de chimenea se condense. La temperatura de refrigeración está limitada por la temperatura mínima que se puede alcanzar del refrigerante. Para propileno o propano, este límite de temperatura sería de aproximadamente -45 °C a un nivel de presión ambiente. El segundo condensador de CO₂ comprende además un separador 271 de gas/líquido. El separador 271 de gas/líquido separa el CO₂ condensado en forma líquida del gas de chimenea residual parcialmente empobrecido en CO₂ (gas de ventilación).

La corriente de gas de chimenea parcialmente condensado procedente del segundo condensador 270 de CO₂ es reenviada a una columna de destilación 271 para purificación por destilación del líquido. La corriente es alimentada a la columna en la parte superior y la parte líquida sirve como el reflujo requerido. De este modo, la columna de destilación no requiere ningún sistema de condensación auxiliar para generación de reflujo. Consecuentemente, el coste de inversión total del sistema es minimizado. El CO₂ licuado discurre hacia abajo de la columna de destilación y es contactado intensamente con el gas que fluye hacia arriba. Este contacto es la extracción (destilación) de impurezas de traza del CO₂ líquido y así la concentración del CO₂ es aumentada. El CO₂ purificado deja la columna de destilación 271 a través de la tubería 272 a un equipo de transferencia calorífica 284 de columna de destilación. En el equipo de transferencia calorífica una parte del CO₂ es vaporizada para generar la corriente de gas requerida para la columna. El calor es proporcionado sub-enfriando una parte del refrigerante.

El líquido restante puede ser extraído bien desde el sumidero de columna o bien, como se ha mostrado, desde el equipo de transferencia calorífica y subsiguientemente, es bombeado a un tambor de producto de CO₂ por la bomba 286 de CO₂, a través de otro intercambiador de calor donde el refrigerante es enfriado a aproximadamente 1-5 °C, por ejemplo 3-4 °C. Desde el tambor el producto de CO₂ es elevado de presión por la bomba 288 de producto de CO₂ al nivel requerido para otro tratamiento.

Si la presión fuera aumentada a este nivel en una sola operación en la bomba de producto de CO₂, la bomba introduciría demasiado calor en la corriente de producto de CO₂ y de este modo reduciría la función disponible para el enfriamiento del refrigerante en el enfriador 280 de refrigerante.

La segunda parte del refrigerante condensado es dirigida a través de la tubería 254b a una disposición de intercambiador de calor configurada para enfriar una segunda parte del refrigerante condensado utilizando el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente del segundo condensador 270 de CO₂. La disposición de intercambiador de calor comprende dos intercambiadores de calor 292a, 292b dispuestos en paralelo. La segunda parte del refrigerante condensado procedente del condensador de refrigerante está dividida en dos sub-corrientes, cada una dirigida hacia uno de los dos intercambiadores de calor a través de las tuberías 254b1 y 254b2 respectivamente. El intercambiador de calor 292a está configurado para enfriar la sub-corriente 254b1 del refrigerante condensado utilizando gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente del segundo condensador 270 de CO₂. El intercambiador de calor 293 está configurado para recalentar el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente del intercambiador de calor 292a utilizando el gas de chimenea caliente procedente del compresor 244 de gas de chimenea. Un dispositivo de expansión 294 de gas de chimenea está configurado para expandir el gas de chimenea empobrecido en CO₂ comprimido recalentado procedente del intercambiador de calor 293. El intercambiador de calor 292b está configurado para enfriar la sub-corriente 254b2 del refrigerante condensado utilizando gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente del dispositivo de expansión 294 de gas de chimenea. La primera y segunda sub-corrientes enfriadas procedentes de los intercambiadores de calor 292a, 292b son combinadas y reenviadas a través de la tubería 295 a la tubería 283, donde es combinada con el refrigerante que llega procedente del enfriador 286 de refrigerante auxiliar.

Opcionalmente, la disposición comprende además un cuarto intercambiador de calor 296 configurado para recalentar el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente del intercambiador de calor 292b utilizando gas de chimenea caliente procedente del compresor 244 de gas de chimenea, un segundo dispositivo de expansión 297 de gas de chimenea configurado para expandir el gas de chimenea empobrecido en CO₂ recalentado desde el intercambiador de calor 296 lo que da como resultado una reducción de temperatura del gas de chimenea, y un intercambiador de calor 298 configurado para recalentar el gas de chimenea expandido procedente del segundo dispositivo de expansión 297 de gas de chimenea utilizando gas de chimenea caliente procedente del compresor 244 de gas de chimenea. Esta disposición opcional proporciona un gas de chimenea recalentado que es adecuado, posiblemente después de un calentamiento adicional en un calentador 291 de gas de regeneración, para utilizar como un gas de regeneración para regeneración del secador de adsorción 262 como se ha descrito anteriormente.

Opcionalmente, el gas de chimenea recalentado puede ser reenviado a una unidad SCR (opcional) para la retirada de óxidos de nitrógeno del gas de chimenea por reducción catalítica selectiva a N₂.

El refrigerante evaporado procedente del enfriador 260 de gas de chimenea, del primer condensador 264 de CO₂ y del segundo condensador 270 de CO₂ es devuelto al compresor 252 de múltiples etapas para una nueva compresión y utilización para enfriamiento adicional de la corriente de gas de chimenea. El refrigerante evaporado procedente del enfriador 260 de gas de chimenea a una presión P1, por ejemplo de aproximadamente 5 bar, es reenviado a una primera etapa de compresión 252' del compresor 252 de múltiples etapas adecuado para recibir refrigerante a una presión de P1. El refrigerante evaporado procedente del primer condensador 264 de CO₂ a una presión P2, por ejemplo de aproximadamente 2,7 bar, es reenviado, opcionalmente a través de un tambor 256 de succión de compresor de

5 refrigerante, a una segunda etapa de compresión 252'' del compresor 252 de múltiples etapas adecuada para recibir refrigerante a una presión de P2. El refrigerante evaporado procedente del segundo condensador 270 de CO₂ a una presión P3, por ejemplo de aproximadamente 1 bar, es reenviado opcionalmente a través de un tambor 257 de succión de compresor de refrigerante, a una tercera etapa de compresión 252''' del compresor 252 de múltiples etapas adecuado para recibir refrigerante a una presión de P3. Las corrientes de refrigerante evaporado son entonces de nuevo comprimidas en el compresor 252 de múltiples etapas a una presión P0 y reutilizadas en el circuito de refrigeración.

Ventajas de realizaciones descritas aquí anteriormente incluyen:

- Menor consumo de energía en comparación con sistemas de separación de CO₂ refrigerados convencionales;
- 10 - Permitir la utilización de diseños y materiales de intercambiador de calor robustos, simples que son robustos contra el ensuciamiento y la corrosión;
- No es necesario equipo de pulido de gas de chimenea por razones de tratamiento;
- Permitir un diseño más simple del equipo;
- Permitir un equipo más convencional y simple y la utilización de acero al carbono aguas abajo del secador;
- Permitir el transporte del CO₂ a través de bombeo en lugar de compresión más costosa;
- 15 - Esquema de tratamiento más simple que no tiene sistema auxiliar de columna como condensador de vapor auxiliar, tambor de reflujo y bomba de reflujo.

20 Aunque el invento se ha descrito con referencia a un número de realizaciones preferidas, se entenderá por los expertos en la técnica que pueden hacerse varios cambios y equivalentes pueden ser sustituidos para elementos del mismo sin salir del marco del invento. Además, pueden hacerse muchas modificaciones para adaptar una situación o material particular a las enseñanzas del invento sin salir del marco esencial del mismo. Por lo tanto, se pretende que el invento no esté limitado a las realizaciones particulares descritas como el mejor modo contemplado para llevar a cabo este invento, pero el invento incluirá todas las realizaciones que caen dentro del marco de las reivindicaciones adjuntas. Además, la utilización del término primero, segundo, etc. no indica ningún orden o importancia, sino que los términos primero, segundo, etc. son utilizados para distinguir un elemento de otro.

25

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de tratamiento de gas de chimenea para retirar o eliminar CO₂ de una corriente de gas de chimenea, que comprende
- un compresor (144, 244) de gas de chimenea,
- 5 al menos un secador de adsorción (162, 262) de gas de chimenea aguas abajo del compresor (144, 244) de gas de chimenea,
- un sistema de refrigeración adecuado para condensación de dióxido de carbono (CO₂), en una corriente de gas de chimenea, comprendiendo dicho sistema un circuito de refrigeración (151, 251) que contiene un refrigerante,
- en el que dicho circuito de refrigeración comprende:
- 10 un compresor (152, 252) de refrigerante de múltiples etapas,
- un condensador (153, 253) de refrigerante aguas abajo del compresor (152, 252) de refrigerante de múltiples etapas,
- un enfriador (180, 280) de refrigerante aguas abajo del compresor (153, 253) de refrigerante,
- un enfriador (160, 260) de gas de chimenea,
- 15 al menos un condensador (170, 270) que tiene un fluido de enfriamiento para el gas de chimenea que es suministrado al enfriador (180, 280) de refrigerante y es suministrado al compresor (152, 252) de refrigerante de múltiples etapas, estando al menos el condensador (170, 270) aguas abajo del secador de adsorción (162, 262),
- y
- 20 una columna de destilación (171, 271) adecuada para permitir destilación suministrada con el gas de chimenea enfriado por el enfriador (160, 260) de gas de chimenea y al menos un condensador (170, 270); teniendo la columna de destilación (171, 271) un equipo de transferencia calorífica (184, 284) adecuado para vaporizar una parte del dióxido de carbono para generar la corriente de gas requerida para la columna de destilación (171, 271), siendo proporcionado el calor al equipo de transferencia calorífica por el refrigerante enfriando el refrigerante en el enfriador de refrigerante por contacto indirecto con el CO₂ líquido purificado procedente de la columna de destilación,
- 25 en el que el enfriador de gas de chimenea está dispuesto entre el compresor de gas de chimenea y el secador de adsorción de gas de chimenea y el secador de adsorción de gas de chimenea y al menos un condensador están dispuestos en serie aguas arriba de la columna de destilación,
- caracterizado por que
- 30 dicho sistema comprende un primer condensador (164, 264) que está dispuesto en serie aguas arriba del condensador (170, 270) y aguas abajo del secador de adsorción (162, 262) de gas de combustión, en el que el primer condensador (164, 264) es suministrado con un refrigerante procedente del enfriador (180, 280) de refrigerante y suministra el refrigerante al compresor (152, 252) de refrigerante de múltiples etapas,
- el enfriador (160, 260) de gas de chimenea tiene un fluido de enfriamiento para el gas de chimenea que es suministrado desde el enfriador de refrigerante (180, 280) y es suministrado al compresor (152, 252) de refrigerante de
- 35 múltiples etapas,
- el enfriador (160, 260) de gas de chimenea comprende una válvula de expansión adecuada para reducir la presión e inducir la evaporación del refrigerante condensado, y un intercambiador de calor, en el que el refrigerante es adecuado para ser expandido a una presión P1 y el refrigerante en ebullición es adecuado para ser utilizado para enfriar indirectamente la corriente de gas de chimenea,
- 40 el primer condensador (164, 264) comprende una válvula de expansión, adecuada para reducir le presión e inducir la evaporación del refrigerante condensado y un intercambiador de calor, en el que el refrigerante licuado es adecuado para ser expandido a una presión P2 inferior que P1 y el refrigerante en ebullición es utilizado para enfriar indirectamente la corriente de gas de chimenea,
- 45 el condensador (170, 270) comprende una válvula de expansión adecuada para reducir la presión e inducir la evaporación del refrigerante condensado y un intercambiador de calor, en el que el refrigerante licuado es adecuado para ser expandido a una presión P3 inferior que P2 y el refrigerante en ebullición es utilizado para enfriar indirectamente la corriente de gas de chimenea.
2. Un sistema de tratamiento de gas de chimenea según la reivindicación 1, comprendiendo además dicho sistema

- un primer intercambiador de calor (192) configurado para enfriar al menos una parte del refrigerante condensado utilizando el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente de la columna de destilación,
- 5 un segundo intercambiador de calor (193) configurado para recalentar el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente del enfriador de refrigerante utilizando gas de chimenea caliente procedente del compresor de gas de chimenea,
- un primer dispositivo de expansión (194) de gas de chimenea configurado para expandir el gas de chimenea empobrecido en CO₂ comprimido recalentado procedente del primer intercambiador de calor,
- 10 un tercer intercambiador de calor (195) configurado para enfriar adicionalmente el refrigerante condensado procedente del enfriador de refrigerante utilizando el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente del dispositivo de expansión de gas de chimenea,
- un cuarto intercambiador de calor (196) configurado para recalentar el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente del segundo intercambiador de calor utilizando gas de chimenea caliente procedente del compresor de gas de chimenea,
- un segundo dispositivo de expansión (197) de gas de chimenea configurado para expandir el gas de chimenea empobrecido en CO₂ comprimido recalentado procedente del segundo intercambiador de calor, y
- 15 opcionalmente, un quinto intercambiador de calor (198) configurado para recalentar el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente del tercer intercambiador.
3. Un sistema de tratamiento de gas de chimenea según la reivindicación 1, comprendiendo además dicho sistema
- un primer intercambiador de calor (192) configurado para enfriar al menos una parte del refrigerante condensado utilizando el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente de la columna de destilación,
- 20 un segundo intercambiador de calor (193) configurado para recalentar el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente del primer intercambiador de calor utilizando gas de chimenea caliente procedente del compresor de gas de chimenea,
- un primer dispositivo de expansión (194) de gas de chimenea configurado para expandir el gas de chimenea empobrecido en CO₂ comprimido recalentado procedente del segundo intercambiador de calor,
- 25 un tercer intercambiador de calor (195) configurado para enfriar adicionalmente el refrigerante condensado procedente del primer intercambiador de calor utilizando el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente del dispositivo de expansión de gas de chimenea,
- un segundo dispositivo de expansión (197) de gas de chimenea configurado para expandir el gas de chimenea empobrecido en CO₂ comprimido recalentado procedente del segundo intercambiador de calor, y
- 30 un cuarto intercambiador de calor (196) configurado para recalentar el gas de chimenea empobrecido en CO₂ procedente del tercer intercambiador.
4. Un sistema de tratamiento de gas de chimenea según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, comprendiendo además dicho sistema
- 35 una unidad de reducción catalítica selectiva (SCR) para la retirada de óxidos de nitrógeno (NO_x) de la corriente de gas de chimenea, dispuesta aguas abajo del secador de adsorción de gas de chimenea, con referencia a la dirección de flujo general de la corriente de gas de chimenea.

40

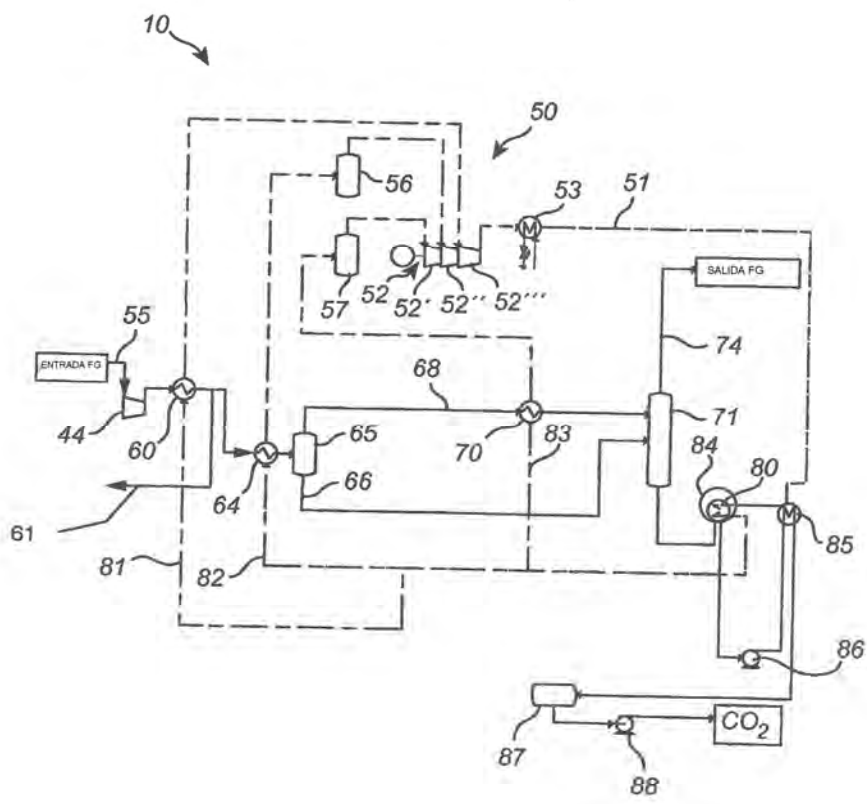


Fig. 1

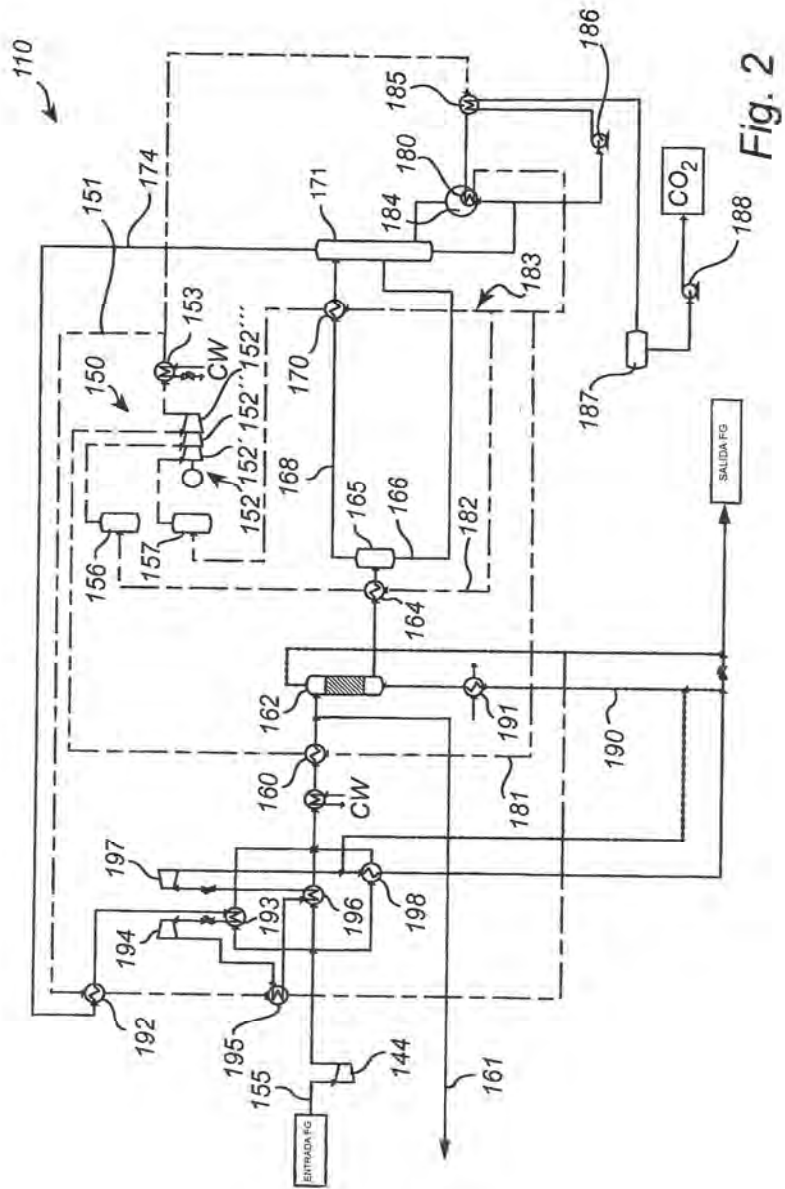


Fig. 2

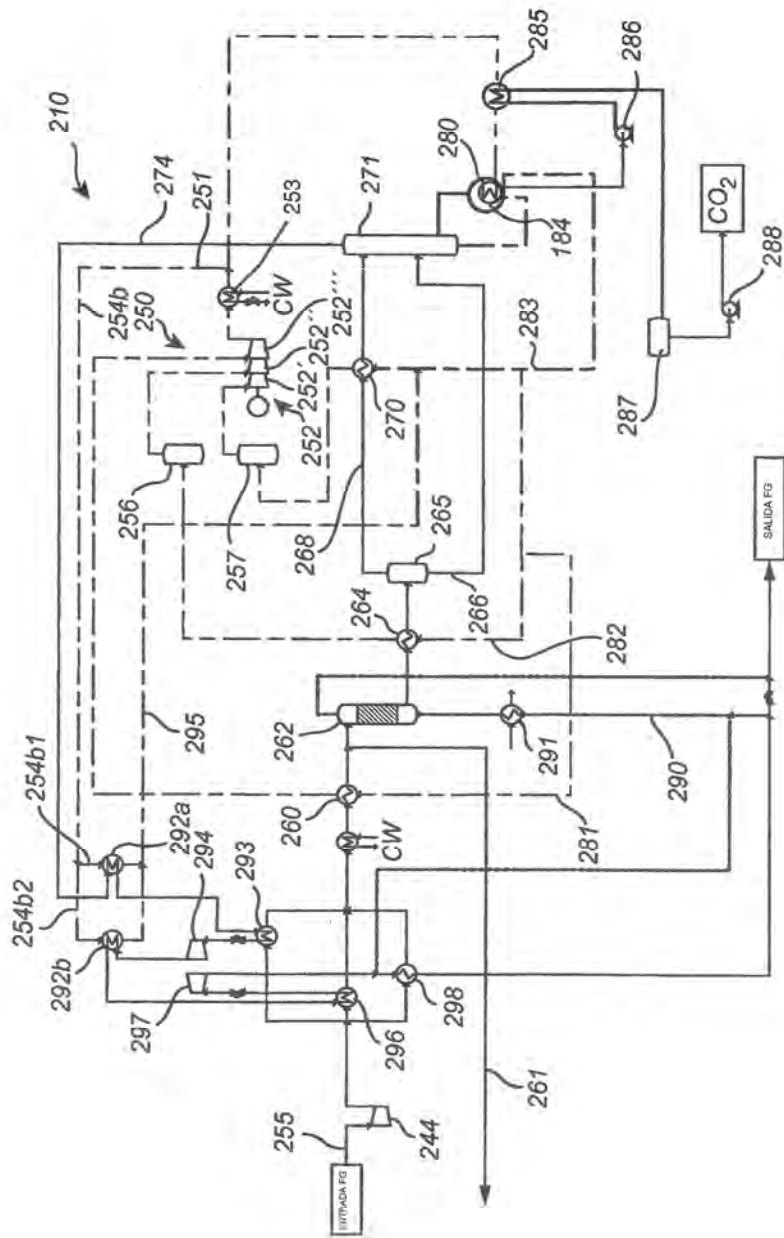


Fig. 3