

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 523 442**

51 Int. Cl.:

B01D 53/50 (2006.01)

B01D 53/26 (2006.01)

B01D 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.12.2009** **E 09178055 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.09.2014** **EP 2335804**

54 Título: **Método y dispositivo para purificar un gas de chimenea rico en dióxido de carbono**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.11.2014

73 Titular/es:

ALSTOM TECHNOLOGY LTD (100.0%)
Brown Boveri Strasse 7
5400 Baden, CH

72 Inventor/es:

WANG, WUYIN y
GRUBBSTROM, JÖRGEN

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 523 442 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

Método y dispositivo para purificar un gas de chimenea rico en dióxido de carbono.

Campo de la Invención

5 La presente invención se refiere a un método de purificación de un gas de chimenea rico en dióxido de carbono que contiene dióxido de azufre generado en una caldera que quema un combustible en presencia de un gas que contiene oxígeno gaseoso.

La presente invención se refiere también a un sistema de caldera.

Antecedentes de la Invención

10 En la combustión de un combustible, tal como carbón, petróleo, turba, desechos, etc., en una planta de combustión, tal como una central termoeléctrica, se genera un gas de proceso caliente, conteniendo dicho gas de proceso, entre otros componentes, óxidos de azufre, tales como dióxido de azufre, SO₂, y dióxido de carbono CO₂. Con las exigencias ambientales crecientes se han desarrollado diversos procesos para eliminación de dióxido de carbono del gas de proceso. Uno de tales procesos es el denominado proceso oxi-fuel. En un proceso oxi-fuel un combustible, tal como los combustibles arriba mencionados, se quema en presencia de un gas pobre en nitrógeno. El oxígeno gaseoso, que es proporcionado por una fuente de oxígeno, se suministra a una caldera en la cual el oxígeno gaseoso oxida el combustible. En el proceso de combustión oxi-fuel se produce un gas de chimenea rico en dióxido de carbono, cuyo contenido en dióxido de carbono puede comprimirse en una unidad separada y desecharse a fin de reducir la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera.

20 Un ejemplo de una caldera oxi-fuel se describe en US 2007/0243119. La caldera oxi-fuel del documento US 2007/0243119 genera un gas de proceso al que se hace referencia como gas de chimenea. El gas de chimenea se dirige a un colector de partículas para eliminación de las partículas de polvo del gas de chimenea. Después de ello, el gas de chimenea se dirige a una unidad constituida por una torre de pulverización en la cual se elimina el dióxido de azufre poniéndolo en contacto con una lechada de caliza. La unidad de la torre de refrigeración proporciona también una refrigeración del gas de chimenea para condensar una porción del contenido de agua del gas de chimenea.

25 US 2009/0013871 da a conocer un sistema de caldera oxi-fuel que comprende una unidad de pretratamiento. La unidad de pretratamiento puede comprender un paso de desulfuración y un paso de refrigeración.

Sumario de la Invención

30 Un objeto de la presente invención es proporcionar un método de purificación de un gas de chimenea rico en dióxido de carbono que contiene dióxido de azufre generado en una caldera que quema un combustible en presencia de un gas que contiene oxígeno gaseoso, siendo el método más eficiente con respecto a eficiencia de eliminación y/o costes de operación comparado con el método de la técnica anterior.

Este objeto se consigue por un método conforme a la reivindicación 1.

35 Una ventaja de este método es que la eliminación de la mayor porción del contenido de dióxido de azufre del gas de chimenea rico en dióxido de carbono puede realizarse en el primer dispositivo de purificación del gas de una manera que está optimizada con respecto a eficiencia de eliminación del dióxido de azufre, sin tener que dar cuenta de la refrigeración del gas. Muchos dispositivos de purificación de gases que son eficientes para eliminación de dióxido de azufre incluyen lechadas y/o materiales de polvo húmedo que comprenden absorbentes basados en calcio, siendo tales absorbentes propensos a causar incrustaciones, en particular a las temperaturas más bajas que pueden llegar a ser interesantes en una refrigeración para causar condensación. Adicionalmente, una condensación en el primer dispositivo de purificación del gas puede causar también problemas con el control del balance de agua del primer dispositivo de purificación del gas. Por tanto, la realización de la eliminación principal del dióxido de azufre en un primer dispositivo de purificación del gas, que está optimizado para dicha tarea, y la realización de la refrigeración en el segundo dispositivo de purificación del gas, que está separado del primer dispositivo de purificación del gas, proporciona una operación eficiente y duradera.

45 Dicho paso de refrigeración, en dicho segundo dispositivo de purificación del gas, el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado para condensar agua del mismo, comprende poner el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente depurado en contacto directo con un líquido de refrigeración. Una ventaja de esto es que el líquido de refrigeración enfriará eficientemente el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado, y eliminará también gran porción del contenido remanente de dióxido de azufre del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado. Por tanto, el segundo dispositivo de purificación del gas actuará como un dispositivo de depuración del gas, además de su función como refrigerante, proporcionando un gas de chimenea rico en dióxido de carbono muy puro como producto final.

El valor de pH del líquido de refrigeración se controla de modo que esté comprendido en el intervalo de pH 4-6,5 por suministro de una sustancia alcalina que tiene una solubilidad en agua a 20°C de al menos 50 g/litro a dicho líquido de refrigeración. Una ventaja de esto es que un pH de 4-6,5, y más preferiblemente un pH de 4,5-6, hace eficiente la eliminación del dióxido de azufre, consiguiendo con ello un efecto satisfactorio de purificación del gas en el segundo dispositivo de depuración del gas. La sustancia alcalina que tiene una solubilidad en agua a 20°C de al menos 50 g/litro tiene la ventaja de no añadir sólido alguno al líquido de refrigeración. Por tanto, el segundo dispositivo de purificación del gas estará operando con un líquido sustancialmente puro. Además de menos problemas con la formación de incrustaciones en el segundo dispositivo de purificación del gas, un proceso que utiliza una sustancia alcalina con una solubilidad alta tiene también la ventaja de proporcionar una eliminación eficiente del dióxido de azufre, dado que el absorbente está disponible fácilmente para dicha absorción. Preferiblemente, la sustancia alcalina se selecciona del grupo de sustancias alcalinas que comprenden hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, y carbonato de sodio. Además de ser solubles en sí mismas, dichas sustancias tienen también la ventaja adicional de proporcionar con el dióxido de azufre absorbido compuestos tales como sulfato de sodio, Na_2SO_4 , que tienen también una solubilidad alta en agua, reduciendo con ello adicionalmente los problemas con la formación de incrustaciones en el segundo dispositivo de purificación del gas.

Conforme a una realización, dicho líquido de refrigeración contiene menos de 10 gramos/litro de sólidos. Una ventaja de esta realización es que el segundo dispositivo de purificación del gas que opera a una concentración muy baja de sólidos en el líquido de refrigeración presentará pocos problemas con la formación de incrustaciones, y problemas de desgaste bajos. Por tanto, los costes de inversión y operación del segundo dispositivo de purificación del gas se reducen.

Conforme a una realización, 50-90% en volumen del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado que sale del primer dispositivo de purificación del gas se recircula a la caldera sin que dicha porción se haga pasar primeramente a través del segundo dispositivo de purificación del gas. Una ventaja de esta realización es que la porción de gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado que debe recircularse se devuelve a la caldera sin ser tratada en el segundo dispositivo de purificación del gas. Esto ahorra tanto costes de inversión, dado que el segundo dispositivo de purificación del gas puede hacerse más pequeño cuando no precisa tratar el flujo total del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado, como costes de operación, dado que el enfriamiento y la depuración del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado se efectúan solamente de aquella porción del gas que va a dirigirse realmente a la unidad que comprime, o trata de otro modo, el gas de chimenea rico en dióxido de carbono para su eliminación final. Adicionalmente, en el caso en que la caldera es una caldera oxi-fuel, un propósito de la recirculación de una porción del gas de chimenea es la dilución de los gases de combustión en la caldera. Por tanto, la eliminación de una porción del contenido de vapor de agua de la porción del gas de chimenea que debe recircularse no es ventajosa, dado que ello reduciría el efecto de dilución, dando como resultado necesidad de aumento adicional de la tasa de recirculación.

Conforme a una realización, dicho paso de refrigeración, en el segundo dispositivo de purificación del gas, el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado para condensar agua del mismo comprende refrigerar el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado a una temperatura tal que el gas de chimenea rico en dióxido de carbono purificado comprende 0,5 a 8% en volumen de vapor de agua. Una ventaja de esta realización es que se dirige una cantidad muy pequeña de vapor de agua con el gas rico en dióxido de carbono purificado al paso de tratamiento siguiente, incluyendo dicho paso de tratamiento siguiente, por ejemplo, una compresión del gas de chimenea rico en dióxido de carbono purificado para el propósito de evacuación final del dióxido de carbono.

Conforme a una realización, al menos una porción del agua condensada formada en el segundo dispositivo de purificación del gas se dirige al primer dispositivo de purificación del gas como agua de reposición. Una ventaja de esta realización es que el agua condensada puede utilizarse en otras partes del proceso, y de una manera controlada tal que la operación del primer dispositivo de purificación del gas no se ve perturbada por el suministro a la misma de una cantidad demasiado alta de agua condensada. Una porción remanente, si acaso, del agua condensada puede tener una pureza tan alta que pueda utilizarse para riego de terrenos agrícolas y/o desechada sin tener que ser tratada primeramente en procesos exhaustivos de purificación del agua.

De acuerdo con una realización, dicho paso de eliminación de al menos 80% del contenido de dióxido de azufre del gas de chimenea generado en la caldera en un primer dispositivo de purificación del gas comprende poner el gas de chimenea generado en la caldera en contacto directo con un absorbente basado en calcio. Una ventaja de esta realización es que los absorbentes basados en calcio son a menudo comparativamente baratos y dan lugar a productos finales atractivos cuando se utilizan para eliminación de dióxido de azufre.

Un objeto adicional de la presente invención es proporcionar un sistema de caldera que comprende un sistema de purificación del gas para purificar un gas de chimenea rico en dióxido de carbono que contiene dióxido de azufre generado en una caldera que quema un combustible en presencia de un gas que contiene oxígeno gaseoso, siendo el sistema de purificación del gas más eficiente con respecto a eficiencia de eliminación y/o costes de operación comparado con el sistema de la técnica anterior.

Este objeto se consigue por medio de un sistema de caldera conforme a la reivindicación 9.

Una ventaja de este sistema de caldera es que el mismo proporciona una purificación del gas que es eficiente a la vez con relación a costes de operación, mantenimiento e inversión.

- Conforme a una realización, dicho segundo dispositivo de purificación del gas se proporciona con un dispositivo de control de pH que está operativo para controlar el valor de pH del líquido de refrigeración por suministro de una sustancia alcalina que tiene una solubilidad en agua a 20°C de al menos 50 g/litro a dicho líquido de refrigeración. Una ventaja de esta realización es que la eliminación de dióxido de azufre del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado se hace más eficiente. Una ventaja adicional es que el segundo dispositivo de purificación del gas puede estar hecho de materiales de acero más económicos, dado que el pH no descenderá a niveles muy bajos.
- Conforme a una realización, el segundo dispositivo de purificación del gas comprende un condensador que está provisto de un material de relleno para poner el líquido de refrigeración en contacto con el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado. Una ventaja de esta realización es que el contacto eficiente entre el líquido de refrigeración y el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado puede conseguirse de una manera que no genera una cantidad grande de gotitas líquidas muy pequeñas que podrían deteriorar el equipo aguas abajo.

Objetos y características adicionales de la presente invención resultarán evidentes a partir de la descripción y las reivindicaciones.

Breve Descripción de los Dibujos

La invención se describirá a continuación con mayor detalle con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

- Fig. 1 es una vista esquemática lateral de un sistema de caldera de acuerdo con una realización.
- Fig. 2 es una vista esquemática lateral de un sistema de caldera de acuerdo con una realización alternativa.
- Fig. 3 es una vista esquemática lateral de un segundo dispositivo de purificación del gas de acuerdo con una primera realización.
- Fig. 4 es una vista esquemática lateral de un segundo dispositivo de purificación del gas de acuerdo con una segunda realización.

Descripción de Realizaciones Preferidas

- Fig. 1 es una representación esquemática de un sistema de caldera 1, como se observa desde el costado del mismo. El sistema de caldera 1 comprende, como componentes principales, una caldera 2, que en esta realización es una caldera oxi-fuel, una turbina de vapor, indicada esquemáticamente como 4, un dispositivo de eliminación de partículas en forma de un precipitador electrostático 6, y un sistema 8 de purificación del gas. El sistema 8 de purificación del gas comprende, como sus componentes principales, un primer dispositivo de purificación del gas en forma de un lavador húmedo 10, y un segundo dispositivo de purificación del gas en forma de un condensador 12.

- Un combustible, tal como carbón o petróleo, está contenido en un almacenamiento de combustible 14, y puede suministrarse a la caldera 2 por una tubería de suministro 16. Una fuente de óxido gaseoso 18 está operativa para proporcionar oxígeno gaseoso de una manera que es conocida per se. La fuente de oxígeno gaseoso 18 puede ser una planta de separación de aire operativa para separar oxígeno gaseoso del aire, una membrana de separación de oxígeno, un tanque de almacenamiento, o cualquier otra fuente para suministrar oxígeno al sistema 1. Un conducto de suministro 20 está operativo para dirigir el oxígeno gaseoso producido, que comprende típicamente 90-99,9% en volumen de oxígeno, O₂, a la caldera 2. Un conducto 22 está operativo para dirigir gas de chimenea recirculado, que contiene dióxido de carbono, a la caldera 2. Como se indica en Fig. 1, el conducto del suministro 20 se une al conducto 22 aguas arriba de la caldera 2, de tal modo que el oxígeno gaseoso y el gas de chimenea recirculado, que contiene dióxido de carbono, pueden llegar a mezclarse uno con otro para formar una mezcla gaseosa que contiene típicamente alrededor de 20-50% en volumen de oxígeno gaseoso, siendo el resto principalmente dióxido de carbono y vapor de agua, aguas arriba de la caldera 2. Dado que prácticamente no entra cantidad alguna de aire en la caldera 2, no se suministra prácticamente cantidad alguna de nitrógeno gaseoso a la caldera 2. En la operación práctica, menos de 3% en volumen del volumen de gas suministrado a la caldera 2 es aire, que entra principalmente en la caldera 2 como una fuga de aire. La caldera 2 está operativa para quemar el combustible, que debe suministrarse por la tubería de suministro 16, en presencia del oxígeno gaseoso, mezclado con el gas de chimenea recirculado, que contiene dióxido de carbono, que debe suministrarse por el conducto 22. Una tubería de vapor 24 está operativa para dirigir vapor de agua, que se producirá en la caldera 2 como resultado de la combustión, a la tubería de vapor 4 que está operativa para generar energía en forma de energía eléctrica. Un conducto 26 está operativo para dirigir el gas de chimenea rico en dióxido de carbono generado en la caldera 2 al precipitador electrostático 6. Por "gas de chimenea rico en dióxido de carbono" se entiende que el gas de chimenea que sale de la caldera 2 por el conducto 26 contendrá al menos 40% en volumen de dióxido de carbono, CO₂. A menudo, más de 50% en volumen del gas de chimenea que sale de la caldera 2 será dióxido de carbono. El resto del "gas de chimenea rico en dióxido de carbono" será aproximadamente 20-50% en volumen de vapor de agua (H₂O), 2-7% en

volumen de oxígeno (O_2), dado que se prefiere a menudo un ligero exceso de oxígeno en la caldera 2, y en total aproximadamente 0-10% en volumen de otros gases, que incluyen principalmente nitrógeno (N_2) y argón (Ar), dado que alguna fuga de aire no puede evitarse por completo casi nunca.

- El precipitador electrostático 6, que puede ser de un tipo que es conocido per se, por ejemplo por US 4.502.872, elimina la mayor porción de las partículas de polvo del gas de chimenea rico en dióxido de carbono. Como alternativa a un precipitador electrostático, puede utilizarse un filtro de tela que es conocido per se, por ejemplo por US 4.336.035, para eliminar las partículas de polvo. Un conducto 28 está operativo para dirigir el gas de chimenea rico en dióxido de carbono desde el precipitador electrostático 6 al lavador húmedo 10 del sistema de purificación del gas 8.
- El lavador húmedo 10 es del tipo de lavador de torre, un tipo de lavador que es conocido per se, por ejemplo EP 0 162 536. El lavador húmedo 10, que está operativo para eliminar al menos una porción, y preferiblemente al menos 80%, del contenido de dióxido de azufre del gas de chimenea rico en dióxido de carbono que procede de la caldera 2 por el precipitador electrostático 6, comprende una bomba de circulación 30 que está operativa para hacer circular, en una tubería de circulación de lechada 32, una lechada de caliza desde el fondo del lavador húmedo 10 a un conjunto de toberas de lechada 34 dispuestas en la porción superior del lavador húmedo 10. Las toberas de lechada 34 están operativas para distribuir finamente la lechada de caliza en el lavador húmedo 10 y conseguir un contacto satisfactorio entre la lechada de caliza y el gas de chimenea que se envía al lavador húmedo 10 por el conducto 28 y que fluye en dirección sustancialmente vertical hacia arriba por el interior del lavador húmedo 10. La caliza nueva, $CaCO_3$, es suministrada al tubo de circulación 32 desde un suministro de absorbente que comprende un almacenamiento de caliza 36 y una tubería de suministro 38. En el lavador húmedo 10, el dióxido de azufre, SO_2 , reacciona con la caliza, $CaCO_3$, para formar sulfito de calcio, $CaSO_3$, que es oxidado subsiguientemente para formar yeso, $CaSO_4$. La oxidación del sulfito de calcio se realiza preferiblemente por borboteo de aire u oxígeno gaseoso a través de la lechada de caliza en una vasija externa, no representada en Fig. 1, a fin de evitar la mezcladura del aire de oxidación u oxígeno gaseoso con el gas de chimenea rico en dióxido de carbono. El yeso formado se retira del lavador húmedo 10 por una tubería de evacuación 40 y se envía a una unidad de deshidratación de yeso, indicada esquemáticamente como 42. El yeso deshidratado puede utilizarse comercialmente, por ejemplo en la producción de fibra prensada.

- Un gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado abandona el lavador húmedo 10 por un conducto 44 que dirige el gas de chimenea a un punto de distribución de gas 46. En el punto de distribución de gas 46, que está localizado entre el lavador húmedo 10 y el condensador 12, como se ve con respecto a la dirección del flujo del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado, el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado se divide en dos porciones, a saber un primer flujo, que por el conducto 22 se recircula de nuevo a la caldera 2, y un segundo flujo que por un conducto 48 se dirige al condensador 12. El condensador 12 está provisto de una bomba de circulación 50 que está operativa para hacer circular un líquido de refrigeración, por una tubería de circulación 52, en el condensador 12 de una manera que se describirá con mayor detalle más adelante en esta memoria.

- El líquido de refrigeración que se hace circular en el condensador 12 enfría el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado a una temperatura que es inferior a su temperatura de saturación, con respecto a vapor de agua, y, por tanto, causa una condensación de al menos una porción del contenido de vapor de agua del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado dirigido desde el lavador húmedo 10. El agua condensada sale del condensador 12 por una tubería de evacuación 54. Una porción del agua condensada que sale del condensador 12 por la tubería 54 se dirige al lavador húmedo 10 por una tubería 56 como agua de reposición. Una porción adicional del agua condensada se dirige, por una tubería 58, a una unidad de tratamiento de agua 60, en la cual el agua condensada se trata antes de ser reutilizada en el proceso, por ejemplo como agua de calderas, o ser desechada. El gas de chimenea rico en dióxido de carbono purificado sale del condensador 12 por un conducto 62 y se envía a una unidad de procesamiento de gas 64 en la cual el gas de chimenea rico en dióxido de carbono purificado se comprime para su evacuación.

- Fig. 2 ilustra un sistema de caldera 101 de acuerdo con una segunda realización. Varias partes del sistema de caldera 101 son similares al sistema de caldera 1, descrito anteriormente en esta memoria con referencia a Fig. 1, y dichas partes no se han descrito en detalle con referencia a Fig. 2, y les han sido asignados los mismos números de referencia que en Fig. 1. La diferencia principal entre el sistema de caldera 1 y el sistema de caldera 101 es que un sistema de purificación de gas 108 del sistema de caldera 101 comprende un primer dispositivo de purificación del gas en forma de un secador-absorbedor de aspersión 110. El segundo dispositivo de purificación del gas es un condensador 12, del mismo modo que en la realización ilustrada en Fig. 1. Volviendo a Fig. 2, el secador-absorbedor de pulverización 110, que puede ser de un tipo que es conocido per se, por ejemplo por US 4.755.366, comprende una cámara del secador de pulverización 111 y un eliminador de partículas de polvo 113. La cámara del secador de pulverización 111 comprende al menos un dispersor 134 que está operativo para atomizar una lechada de caliza y mezclar la lechada de caliza con el gas de chimenea rico en dióxido de carbono que proviene del precipitador electrostático 6 por el conducto 28. Dentro de la cámara del secador de pulverización 111, la lechada de caliza atomizada reacciona con el dióxido de azufre del gas de chimenea generado en la caldera 2, y forma un producto residual seco. El producto residual seco se recoge en el fondo de la cámara del secador de pulverización 111 y en el

eliminador de partículas 113 que puede ser un filtro de tela, que es conocido per se, por ejemplo por US 4.336.035. El producto residual seco se dirige luego hacia su evacuación, indicada esquemáticamente como 142. la lechada de caliza se prepara en un tanque de mezcla 139 al cual se suministra caliza nueva, CaCO_3 , desde un almacenamiento de caliza 136 por una tubería de suministro 138. La tubería 56 está operativa para dirigir agua condensada desde el condensador 12 al tanque de mezcla 139. En este caso, el agua condensada generada en el condensador 12 se utiliza como agua de reposición en la preparación de la lechada de caliza para el secador-absorbedor de pulverización 110.

Opcionalmente, una porción del producto residual seco recogido en la evacuación 142 puede recircularse al tanque de mezcla 139 para ser mezclada con la caliza nueva y el agua de reposición. Una bomba 130 está operativa para transportar lechada de caliza desde el tanque de mezcla 139 al dispersor 134 por una tubería de suministro 132. Las partes del sistema de caldera 101 no mencionadas específicamente tienen diseño y función similares a las de las partes correspondientes del sistema de caldera 1.

Fig. 3 ilustra el segundo dispositivo de purificación de gas en la forma del condensador 12 con mayor detalle. El condensador 12 comprende una torre 66, que está llena con un material de relleno 68 para proporcionar contacto satisfactorio entre el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado procedente del primer dispositivo de purificación del gas, es decir, del lavador húmedo 10 o del secador-absorbedor de pulverización 110, recirculándose el líquido de refrigeración en el condensador 12 por medio de la bomba 50 en la tubería 52. El material de relleno 68 podría ser del tipo denominado de relleno estructurado, del cual es un ejemplo Mellapak Plus, que está disponible de Sulzer Chemtech USA Inc, Tulsa, EE.UU., o un tipo denominado de relleno aleatorio, del cual es un ejemplo Jaeger Tri-Pack, que está disponible de Jaeger Products, Inc, Houston, EE.UU. Un distribuidor de líquido 70 está operativo para distribuir el líquido de refrigeración por todo el material de relleno. En este caso, el líquido de refrigeración comprende principalmente agua, que se pone en contacto directo con el gas de chimenea. El distribuidor de líquido 70, que puede ser, por ejemplo, Jaeger Modelo LD3 o Modelo LD4, que están disponibles de Jaeger Products, Inc., Houston, EE.UU., distribuye el líquido uniformemente por todo el material de relleno 68 sin causar una formación excesiva de gotitas líquidas pequeñas.

El gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado se suministra, por el conducto 48, al extremo inferior de la torre 66 y se desplaza verticalmente hacia arriba a través de la torre 66, poniéndose en contacto, en una modalidad de flujo en contracorriente, con el líquido de refrigeración que desciende a través del material de relleno 68. En el extremo superior de la torre 66 está dispuesto un eliminador de niebla 72. El eliminador de niebla 72 está operativo para eliminar gotitas líquidas del gas de chimenea. El gas de chimenea rico en dióxido de carbono purificado sale luego del condensador 12 por el conducto 62. Un ventilador 74 está operativo para dirigir el gas de chimenea rico en dióxido de carbono purificado a la unidad de procesamiento del gas 64 ilustrada anteriormente en esta memoria correspondiente a Fig. 1.

Un cambiador de calor 76 está dispuesto en la tubería 52, como se ilustra en Fig. 3. El cambiador de calor 76 está operativo para enfriar el líquido de refrigeración que se transporta en la tubería 52. Un medio de refrigeración, tal como agua, agua que contiene glicol, etc., es suministrado al cambiador de calor 76 por una tubería 78, y sale del cambiador de calor 76 por una tubería 80. El medio de refrigeración puede proceder, por ejemplo, de una torre de refrigeración.

Un sensor de pH 82, está operativo para medir el pH del líquido de refrigeración que se dirige a la tubería 52. Una unidad de control 84 está operativa para recibir una señal procedente del sensor de pH 82. La unidad de control 84 está operativa para controlar el suministro de una sustancia alcalina desde un almacenamiento de sustancia alcalina 86. La sustancia alcalina puede ser, por ejemplo, hidróxido de sodio, NaOH , en solución acuosa. Por tanto, la unidad de control 84 está operativa para comparar el pH como se mide por medio del sensor de pH 82 con un punto de ajuste del pH. Cuando el pH medido por el sensor de pH 82 es inferior al punto de ajuste del pH, la unidad de control 84 envía una señal a un dispositivo de suministro de álcali en forma de una bomba 88 a fin de que se bombee sustancia alcalina desde el almacenamiento 86 por una tubería 90 a la tubería 52 con objeto de aumentar el pH del líquido de refrigeración.

Opcionalmente, puede proveerse un cambiador de calor gas-gas 92. Un conducto 94, ilustrado por una línea de trazos en Fig. 3, está operativo para dirigir al menos una porción del flujo del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado desde el conducto 48 al cambiador de calor 92, y para retornar luego nuevamente. Un conducto 96, ilustrado por una línea de trazos en Fig. 3, está operativo para dirigir al menos una porción del flujo del gas de chimenea rico en dióxido de carbono purificado desde el conducto 62 al cambiador de calor 92, y retornar luego al conducto 62.

La manera en que operan los sistemas de purificación de gas 8 y 108 se describirá a continuación por medio de un ejemplo, y con referencia a Figs. 1-3. El gas de chimenea rico en dióxido de carbono que contiene dióxido de azufre generado en la caldera 2 tiene típicamente una temperatura, en el conducto 28, de 120 a 200°C y entra en el sistema de purificación de gas 8 por el conducto 28. El gas de chimenea rico en dióxido de carbono que sale de la caldera 2 contiene típicamente 2000-15.000 mg/Nm³ de dióxido de azufre, SO_2 , sobre una base de gas seco, y vapor de agua, dióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno en las cantidades que se indican anteriormente en esta memoria. El gas de chimenea entra en el primer dispositivo de purificación de gas en la forma del lavador húmedo

10 y se pone en contacto con la lechada de caliza circulante, lo cual da como resultado una eliminación de al menos 80%, más preferiblemente al menos 90%, y muy preferiblemente al menos 95%, del contenido de dióxido de azufre del gas de chimenea rico en dióxido de carbono procedente de la caldera 2, generando con ello un gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado. Típicamente, el lavador húmedo 10 elimina 95-99,5% del dióxido de azufre, lo que significa que el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado que sale del lavador húmedo 10 por el conducto 44 tendrá típicamente un contenido de dióxido de azufre de 50-300 mg/Nm³ basado en gas seco, y una temperatura de 60-80°C. El gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado que sale del lavador húmedo 10 estará sustancialmente saturado con vapor de agua.

El contacto entre el gas de chimenea rico en dióxido de carbono que contiene dióxido de azufre y que tiene, después de su entrada en el lavador húmedo 10, una temperatura de 120-200°C, y la lechada de caliza que se suministra al lavador húmedo 10 da como resultado la evaporación de agua en el lavador húmedo 10. El agua condensada que se dirige al lavador húmedo 10 desde el condensador 12 por la tubería 56 repone el agua evaporada en el lavador húmedo 10. El contenido de agua del gas de chimenea aumentará algo como efecto de la evaporación. En este caso, el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado que sale del lavador húmedo 10 puede tener típicamente un contenido de vapor de agua de 24-56%.

En el caso de que se utilice un secador-absorbedor de pulverización 110, de acuerdo con la realización de Fig. 2, el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado que sale del secador-absorbedor de pulverización 110 puede tener típicamente una temperatura de 90-120°C, estando dicho gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado insaturado con respecto al vapor de agua, pero teniendo, como efecto de la evaporación de la porción de agua de la lechada de caliza en la cámara 111 del secador de pulverización, una concentración mayor de vapor de agua, típicamente 22-53% en volumen, que el gas de chimenea rico en dióxido de carbono que sale de la caldera 2.

Una porción, típicamente 50-90% en volumen, del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado que sale del lavador húmedo 10, por el conducto 44, se devuelve a la caldera 2 por el conducto 22. La porción del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado que se recircula a la caldera 2 no se dirige a través del condensador 12, haciendo posible diseñar el condensador 12 para una tasa menor de flujo de gas. La porción restante, típicamente 10-50% en volumen, del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado que sale del lavador húmedo 10 se dirige, por el conducto 48, al condensador 12. El medio de refrigeración suministrado al cambiador de calor 76 del condensador 12, como se ilustra en Fig. 3, tiene típicamente una temperatura de 0-30°C, enfriando por tanto el líquido de refrigeración que circula en la tubería 52 hasta, típicamente, 2-35°C. En el material de relleno 68 del condensador 12, el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado se enfría, después de contacto directo con el líquido de refrigeración, a una temperatura de típicamente 3-40°C. Como resultado de este enfriamiento, que es un enfriamiento hasta una temperatura inferior a la temperatura de saturación, con respecto al vapor de agua, del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado, se condensa agua en el interior del condensador 12. Por tanto, el gas de chimenea rico en dióxido de carbono purificado que sale del condensador 12 por el conducto 62 tendrá un contenido de agua de sólo 0,5 a 8% en volumen.

El contacto directo entre el líquido de refrigeración y el gas de chimenea en el material de relleno 68 del condensador 12 dará también como resultado una eliminación adicional de dióxido de azufre. Típicamente la eficiencia de eliminación con respecto a dióxido de azufre en el condensador 12 será al menos 70%, y a menudo hasta 95% o más. Por tanto, el gas de chimenea rico en dióxido de carbono purificado que sale del condensador 12 por el conducto 62 tendrá típicamente una concentración de dióxido de azufre de 5-60 mg/Nm³ basado en gas seco, o menor aún.

El dióxido de azufre que llega a disolverse en el líquido de refrigeración del condensador 12 dará como resultado una disminución del vapor del pH del líquido de refrigeración que circula en la tubería 52. El sensor de pH detecta dicha disminución en el valor de pH y ordena a la bomba 88 suministrar la sustancia alcalina desde el almacenamiento 86 a la tubería 52. El punto de ajuste para el valor de pH es típicamente pH 4-6,5, más preferiblemente pH 4,5-6. Se ha encontrado que dicho punto de ajuste proporciona una eliminación eficiente de dióxido de azufre, sin una eliminación grande e indeseable de dióxido de carbono del gas de chimenea. El control del valor de pH del líquido de refrigeración que circula en el condensador 12 controlará también la eficiencia de eliminación del dióxido de azufre. Por tanto, el punto de regulación del pH se ajusta típicamente a un valor tal que al menos el 70% del contenido de dióxido de azufre del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado se elimine en el condensador 12. Otras medidas de control de la eliminación del dióxido de azufre en el condensador 12 incluyen variación de la cantidad de líquido refrigerante bombeado por la bomba 50, y el tipo de relleno del condensador 12, influyendo también las últimas medidas en la refrigeración del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado.

El líquido de refrigeración que se hace circular por medio de la bomba 50 en el condensador 12 es preferiblemente un líquido claro, lo que significa que sólo están contenidas en el líquido circulante cantidades pequeñas de sólidos. Preferiblemente, la cantidad de sólidos en el líquido de refrigeración que circula en el condensador 12 es menor que 10 gramos/litro, preferiblemente menor que 5 gramos/litro. En comparación, la lechada que circula en el lavador húmedo 10, descrito anteriormente en esta memoria con referencia a Fig. 1, puede contener típicamente 150-300

gramos/litro de sólidos. Una ventaja de tener una concentración baja de sólidos en el líquido que circula en el condensador 12 es que la reutilización y purificación del agua condensada que sale del condensador 12 por la tubería 54 se hace más fácil, comparada con un agua condensada que está mezclada con una concentración elevada de partículas sólidas. Para conseguir una cantidad baja de sólidos en el líquido de refrigeración que circula en el condensador 12, la sustancia alcalina tiene preferiblemente una solubilidad alta en agua, también a temperaturas bajas. Preferiblemente, la sustancia alcalina que se almacena en el almacenamiento 86 y que se utiliza para controlar el pH del líquido de refrigeración que circula en el condensador 12 tiene una solubilidad en agua, a una temperatura de 20°C, de al menos 50 g/litro, más preferiblemente al menos 100 g/litro a 20°C. Ejemplos de sustancias alcalinas adecuadas incluyen hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de potasio (KOH), carbonato de sodio (Na₂CO₃), y bicarbonato de sodio (NaHCO₃). A menudo, la sustancia alcalina más preferida es hidróxido de sodio (NaOH).

Adicionalmente, el hecho de que ocurra una condensación importante en el material de relleno 68 proporciona una eliminación eficiente de trióxido de azufre, SO₃, que está presente en el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado en gran porción en forma de un aerosol. Sin ligarse a ninguna teoría, se cree que el agua que se condensa en el material de relleno 68 se condensa en gran proporción en las partículas de aerosol, haciendo que dichas partículas de aerosol crezcan hasta formar gotitas de un tamaño tal que llegan a ser capturadas por el líquido de refrigeración circulante que circula en el material de relleno 68.

El gas de chimenea se hace pasar luego a través del eliminador de niebla 72 que elimina la mayor porción de las gotitas líquidas que podrían haber sido arrastradas con el flujo de gas de chimenea. El gas de chimenea, al que puede hacerse referencia en esta etapa como gas de chimenea rico en dióxido de carbono purificado, sale luego del condensador 12 por el conducto 62. Opcionalmente, el gas de chimenea rico en dióxido de carbono purificado del conducto 62 puede recalentarse en el cambiador de calor 92 por medio del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado del conducto 48 como se describe con referencia a y se ilustra en Fig. 3. Dicho recalentamiento puede aumentar la temperatura del gas de chimenea rico en dióxido de carbono purificado del conducto 62 en 5-20°C. La ventaja del recalentamiento del gas de chimenea rico en dióxido de carbono purificado es que algunas de las gotitas muy pequeñas y la niebla que han pasado a través del eliminador de niebla 72 pueden llegar a evaporarse, lo cual puede ser una ventaja para la unidad de procesamiento del gas aguas abajo 64, ilustrada en Fig. 1. El recalentamiento del gas de chimenea rico en dióxido de carbono purificado en el cambiador de calor 92 puede construirse también por medio de otro medio de calentamiento, tal como el agua condensada en la bomba de circulación 52 aguas arriba del cambiador de calor 76, vapor de baja presión, o agua caliente procedente de otra parte del proceso.

Fig. 4 ilustra un condensador alternativo 212 que es del tipo de refrigerador tubular. Detalles ilustrados en Fig. 4 que tienen la misma función que los detalles correspondientes de Fig. 3 han recibido los mismos números de referencia. El condensador 212 tiene una torre 266. Una pluralidad de tubos 268 están dispuestos en la torre 266. El gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado se suministra, por el conducto 48, al extremo superior de la torre 266 y avanza verticalmente hacia abajo a lo largo de la torre 266, y por el interior de los tubos 268. El gas de chimenea sale del extremo inferior de la torre 266 por el conducto 62.

Una bomba 250 está operativa para hacer circular un líquido de refrigeración en una tubería 252 a la torre 266. El líquido de refrigeración se transporta dentro de la torre 266 por el exterior de los tubos 268. Por tanto, el enfriamiento en el condensador 212 es un proceso de enfriamiento indirecto, en el cual el gas de chimenea que se conduce por el interior de los tubos 268 es enfriado por medio del líquido de refrigeración que está en contacto con el exterior de los tubos 268. Dado que no existe contacto físico alguno entre el flujo de gas de chimenea y el líquido de refrigeración, el líquido de refrigeración no se contaminará. Un dispositivo de refrigeración en forma de una torre de refrigeración 276 está dispuesto a lo largo de la tubería 252 para enfriar el líquido de refrigeración que ha pasado a través de la torre 266 antes que el líquido se introduzca nuevamente en la torre 266. La torre de refrigeración 276 podría estar refrigerada por aire, indicado por las flechas A en Fig. 4, u otro medio. Tabiques separadores 270 están dispuestos en la torre 266 para mejorar el contacto entre el líquido de refrigeración y las superficies exteriores de los tubos 268.

Como resultado de la refrigeración del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado, se producirá en la torre 266 una condensación de una porción del contenido de agua del gas de chimenea. El condensado de agua líquida formado por dicha condensación fluirá hacia abajo a lo largo de los tubos 268 y terminará en la porción inferior de la torre 266. El condensado sale de la torre 266 por la tubería 54 que transporta el condensado al lavador húmedo 10, o al secador-absorbedor de pulverización 110, y a su evacuación, como se describe anteriormente en esta memoria con referencia a las Figs. 1 y 2. La condensación del agua en el interior de los tubos 268 dará como resultado la formación de una neblina de agua que capturará al menos una porción del contenido de dióxido de azufre del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado. Adicionalmente, pueden crecer partículas de aerosol como efecto de dicha condensación. Por tanto, el condensado líquido que sale de la torre 266 por la tubería 54 contendrá algo de dióxido de azufre capturado, y algo de aerosol de dióxido de azufre capturado.

Opcionalmente, algo del condensado de agua líquida puede recircularse para pasar a través de los tubos 268 una vez más. Dicha recirculación podría conseguirse por medio de un tubo 253, ilustrado con una línea de puntos en Fig. 4, y una bomba no representada. Podría utilizarse también un dispositivo de control de pH del tipo ilustrado en Fig. 3

para controlar el valor de pH del condensado recirculado a un pH de 4-6,5. El propósito de dicha recirculación podría ser aumentar la eliminación de contaminantes, tales como dióxido de azufre, por puesta del flujo de gas de chimenea que fluye a través del tubo 268 en contacto directo con una cantidad incrementada de líquido.

Un eliminador de niebla 272 está dispuesto en la porción inferior de la torre 266 con la finalidad de eliminar gotitas de condensado del gas de chimenea rico en dióxido de carbono purificado antes de dejar que el gas de chimenea rico en dióxido de carbono purificado salga de la torre 266 por el conducto 62. Como alternativa a, o en combinación con, la disposición horizontal del eliminador de niebla 272 ilustrado en Fig. 4, puede estar dispuesto un eliminador de niebla en una posición vertical en el conducto 62, y/o en la transición entre la torre 266 y el conducto 62.

Se apreciará que son posibles numerosas variantes de las realizaciones arriba descritas dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

Se ha descrito anteriormente en esta memoria que el segundo dispositivo de purificación del gas es un condensador 12 que tiene un relleno, en el cual el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado se pone en contacto directo con un líquido de refrigeración, o un condensador 212 que tiene tubos 268, en los cuales el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado es enfriado indirectamente por medio del líquido de refrigeración. Se apreciará que pueden utilizarse también otros tipos de condensadores, con inclusión de torres de refrigeración abiertas en las cuales el líquido de refrigeración es atomizado por medio de toberas de atomización, y se pone subsiguientemente en contacto directo con el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado.

Se ha descrito anteriormente en esta memoria que se suministra caliza, CaCO_3 , al lavador número 10, o al secador-absorbedor de pulverización 110. Se apreciará que pueden utilizarse también otros absorbentes, que incluyen sorbentes que comprenden cal hidratada, Ca(OH)_2 . La utilización de absorbentes que comprenden calcio, tales como caliza, CaCO_3 , y cal hidratada, Ca(OH)_2 , presenta las ventajas de producir un producto residual que comprende yeso, CaSO_4 , o sulfito de calcio, CaSO_3 , los dos cuales son comparativamente inocuos y fáciles de eliminar, o incluso de reutilizar, particularmente en el caso del yeso. Una ventaja adicional es que los absorbentes que contienen calcio son comparativamente baratos.

Se ha descrito anteriormente en esta memoria que el lavador húmedo 10 de Fig. 1 es del tipo denominado lavador de torre, como se da a conocer en EP 0 162 536. Se apreciará que pueden utilizarse también otros tipos de lavadores húmedos. Un ejemplo de un lavador húmedo que puede utilizarse como alternativa al lavador húmedo 10 dado a conocer con referencia a Fig. 1, es el denominado lavador de lecho de borboteo. En un lavador de lecho de borboteo, un ejemplo del cual se da a conocer en WO 2005/007274, el gas de chimenea se dirige a través de una placa perforada sobre la cual se hace pasar una capa fluyente de una lechada que contiene caliza. Por el contacto entre la capa fluyente de lechada y el gas de chimenea, el dióxido de azufre es capturado en la capa fluyente de lechada, proporcionando por tanto un gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado.

Se ha descrito anteriormente en esta memoria, con referencia a Fig. 2, que puede utilizarse un secador-absorbedor de pulverización 110 para eliminar dióxido de azufre de un gas de chimenea. Se apreciará que pueden utilizarse también otros tipos de lavadores que proporcionan un producto final seco. Un lavador de este tipo se da a conocer en WO 2004/026443. El lavador dado a conocer en WO 2004/026443 es un tipo de lavador de polvo húmedo que comprende un mezclador en el cual un material de polvo recirculado se mezcla con absorbente fresco, tal como cal hidratada, Ca(OH)_2 , y agua para formar un polvo húmedo, que se mezcla luego con el gas de chimenea. El polvo húmedo reacciona con el dióxido de azufre del gas de chimenea para formar un producto de reacción sólido y seco que se separa luego en un filtro, tal como un filtro de tela.

Para resumir, un sistema de purificación de gas 8 para purificación de un gas de chimenea rico en dióxido de carbono que contiene dióxido de azufre generado en una caldera 2, comprende un primer dispositivo de purificación de gas 10 que está operativo para eliminar al menos 80% del contenido de dióxido de azufre del gas de chimenea generado en la caldera 2, generando con ello un gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado, y un segundo dispositivo de purificación de gas 12, que está separado del primer dispositivo de purificación de gas 10 y que está operativo para recibir al menos una porción del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado que ha pasado a través del primer dispositivo de purificación de gas 10. El segundo dispositivo de purificación de gas 12 está operativo para eliminar al menos una porción del contenido de agua del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado por refrigeración del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado para condensar agua contenida en el mismo.

Si bien la invención se ha descrito con referencia a cierto número de realizaciones preferidas, será comprendido por los expertos en la técnica que pueden hacerse diversos cambios y pueden sustituirse equivalentes en lugar de los elementos de las mismas sin desviarse del alcance de la invención. Adicionalmente, pueden hacerse muchas modificaciones para adaptar una situación o un material particulares a la doctrina de la invención sin desviarse del alcance esencial de la misma. Por tanto, debe entenderse que la invención no se limita a las realizaciones particulares dadas a conocer como el modo óptimo contemplado para realización de esta invención, sino que la invención incluirá todas las realizaciones que caigan dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Además, el

uso de los términos primero, segundo, etc no designa ningún orden de importancia sino que, en lugar de ello, los términos primero, segundo, etc se utilizan para distinguir un elemento de otro.

REIVINDICACIONES

1. Un método de purificación de un gas de chimenea rico en dióxido de carbono que contiene dióxido de azufre generado en una caldera (2) que quema un combustible en presencia de un gas que contiene oxígeno gaseoso, en donde el gas de chimenea rico en dióxido de carbono que sale de la caldera (2) contiene al menos 40% en volumen de CO₂, comprendiendo el método
 - 5 eliminar al menos 80% del contenido de dióxido de azufre del gas de chimenea generado en la caldera (2) en un primer dispositivo de purificación de gas (10; 110) a fin de generar un gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado,
 - 10 dirigir al menos una porción del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado a un segundo dispositivo de purificación de gas (12; 212) que está separado del primer dispositivo de purificación de gas (10; 110),
 - 15 enfriar, en dicho segundo dispositivo de purificación de gas (12, 212), el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado a fin de condensar agua del mismo, generando con ello un gas de chimenea rico en dióxido de carbono purificado que tiene una concentración menor de vapor de agua que el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado, caracterizado porque en dicho paso de enfriamiento, en el segundo dispositivo de purificación de gas (12; 212), el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado para condensar agua del mismo, comprende poner el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado en contacto directo con un líquido de refrigeración, en donde el valor de pH del líquido de refrigeración se controla de modo que esté comprendido dentro del intervalo de pH 4-6,5, por suministro de una sustancia alcalina que tiene una solubilidad en agua a 20°C de al menos 50 g/litro a dicho líquido de refrigeración.
 - 20
2. Un método conforme a la reivindicación 1, en donde dicha sustancia alcalina se selecciona del grupo de sustancias alcalinas que comprenden hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, y carbonato de sodio.
3. Un método conforme a una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicho líquido de refrigeración comprende menos de 10 gramos/litro de sólidos.
- 25 4. Un método conforme a una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde 50-90% en volumen del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado que sale del primer dispositivo de purificación de gas (10; 110) se recircula a la caldera (2) sin que dicha porción se haga pasar primeramente a través del segundo dispositivo de purificación de gas (12; 212).
5. Un método conforme a una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicho paso de refrigeración, en el segundo dispositivo de purificación de gas (12; 212) el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado para condensar agua del mismo comprende enfriar el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado a una temperatura tal que el gas de chimenea rico en dióxido de carbono purificado comprende 0,5 a 8% en volumen de vapor de agua.
- 30 6. Un método conforme a una cualquiera de las reivindicaciones que anteceden, en donde al menos una porción del agua condensada formada en el segundo dispositivo de purificación de gas (12; 212) se envía al primer dispositivo de purificación de gas (10; 110) como agua de reposición.
7. Un método conforme a una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicho paso de eliminación de al menos 80% del contenido de dióxido de azufre del gas de chimenea generado en la caldera (2) en un primer dispositivo de purificación de gas (10; 110), comprende poner el gas de chimenea generado en la caldera (2) en
 - 40 contacto directo con un absorbente basado en calcio.
 8. Un método conforme a una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicho segundo dispositivo de purificación de gas (12) se controla para eliminar al menos 70% del contenido de dióxido de azufre del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado.
 9. Un sistema de caldera para generación de energía por medio del suministro de un combustible, oxígeno gaseoso y gas de chimenea rico en dióxido de carbono recirculado a una caldera (2), estando la caldera (2) operativa para quemar el combustible con generación de un gas de chimenea rico en dióxido de carbono que contiene dióxido de azufre, en donde el gas de chimenea rico en dióxido de carbono que sale de la caldera (2) contiene al menos 40% en volumen de CO₂, en donde el sistema de caldera (1; 101) comprende un sistema de purificación de gas,
 - 45 en donde el sistema de purificación de gas (8; 108) comprende
 - 50 un primer dispositivo de purificación de gas (10; 110) que está operativo para recibir el gas de chimenea rico en dióxido de carbono generado en la caldera (2) y para eliminar al menos una porción del contenido de dióxido de azufre del gas de chimenea generado en la caldera (2), generando con ello un gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado, y

- un segundo dispositivo de purificación de gas (12; 212), que está separado del primer dispositivo de purificación de gas (10; 110) y que está operativo para recibir al menos una porción del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado que ha pasado a través del primer dispositivo de purificación de gas (10; 110), estando el segundo dispositivo de purificación de gas (12; 212) operativo para eliminar al menos una porción del contenido de agua del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado por enfriamiento del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado para condensar agua del mismo, generando con ello un gas de chimenea rico en dióxido de carbono purificado que tiene una menor concentración de vapor de agua menor que el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado, caracterizado por que dicho segundo dispositivo de purificación de gas que comprende un condensador (12; 212) que está operativo para poner el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado en contacto directo con un líquido de refrigeración, en donde dicho segundo dispositivo de purificación de gas (12; 212) está provisto de un dispositivo de control de pH (82, 84, 86, 88, 90) que está operativo para controlar el valor del pH del líquido de refrigeración por suministro de una sustancia alcalina que tiene una solubilidad en agua a 20°C de al menos 50 gramos/litro a dicho líquido de refrigeración.
10. Un sistema de caldera conforme a la reivindicación 9, en donde dicho condensador (12) está provisto de un material de relleno (68) para poner el líquido de refrigeración en contacto con el gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado.
11. Un sistema de caldera conforme a la reivindicación 9, en donde dicho segundo dispositivo de purificación de gas es un condensador tubular (212) que está operativo para contacto indirecto del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado.
12. Un sistema de caldera conforme a una cualquiera de las reivindicaciones 9-11, en donde está provisto un conducto (22) entre dicho primer (10) y dicho segundo dispositivo de purificación de gas (12), como se ven con respecto a la dirección del flujo del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado, para recirculación de una porción del gas de chimenea rico en dióxido de carbono parcialmente purificado que sale del primer dispositivo de purificación de gas (10) retornando de nuevo a la caldera (2) sin que dicha porción se haga pasar primeramente a través del segundo dispositivo de purificación de gas (12).
13. Un sistema de caldera conforme a una cualquiera de las reivindicaciones 9-12, en donde dicho primer dispositivo de purificación de gas (10; 110) está provisto de un dispositivo de suministro de absorbente (36, 38; 136, 138), que está operativo para suministrar un absorbente que contiene calcio a dicho primer dispositivo de purificación de gas (10; 110).
14. Un sistema de caldera conforme a una cualquiera de las reivindicaciones 9-13, en donde está provista una tubería (54, 56) para dirigir al menos una porción del agua condensada en el segundo dispositivo de purificación de gas (12; 212) a dicho primer dispositivo de purificación de gas (10; 110) como agua de reposición.

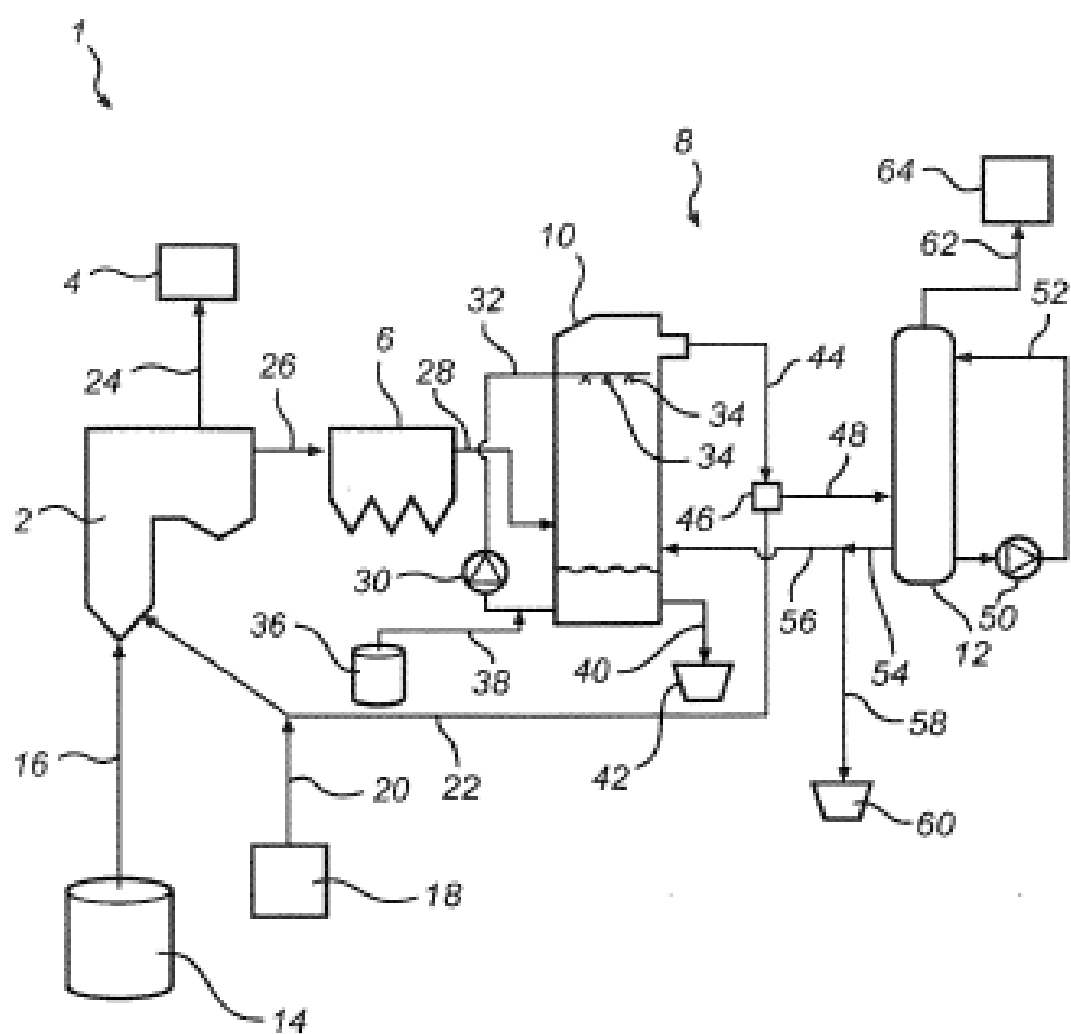


Fig. 1

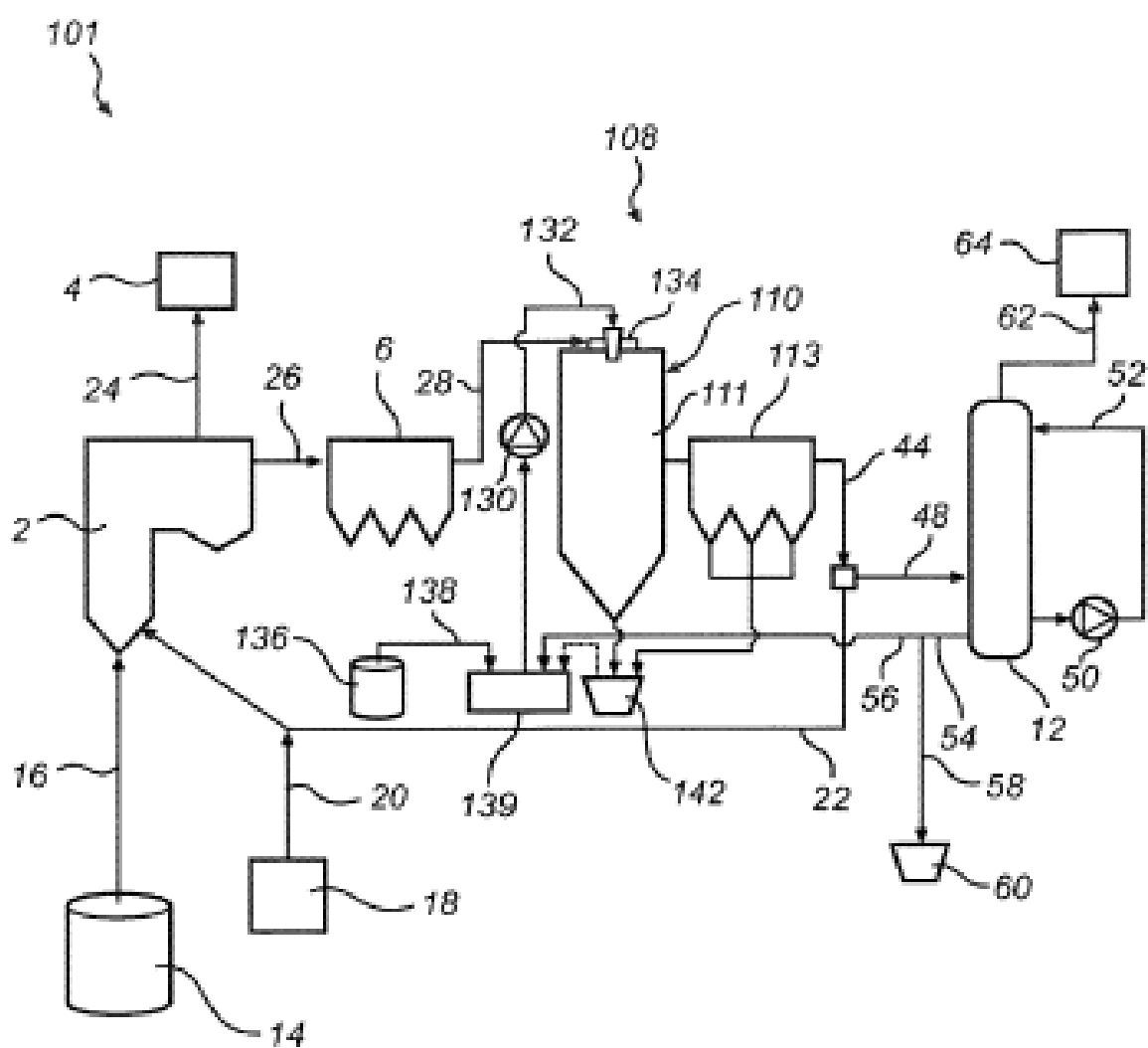


Fig. 2

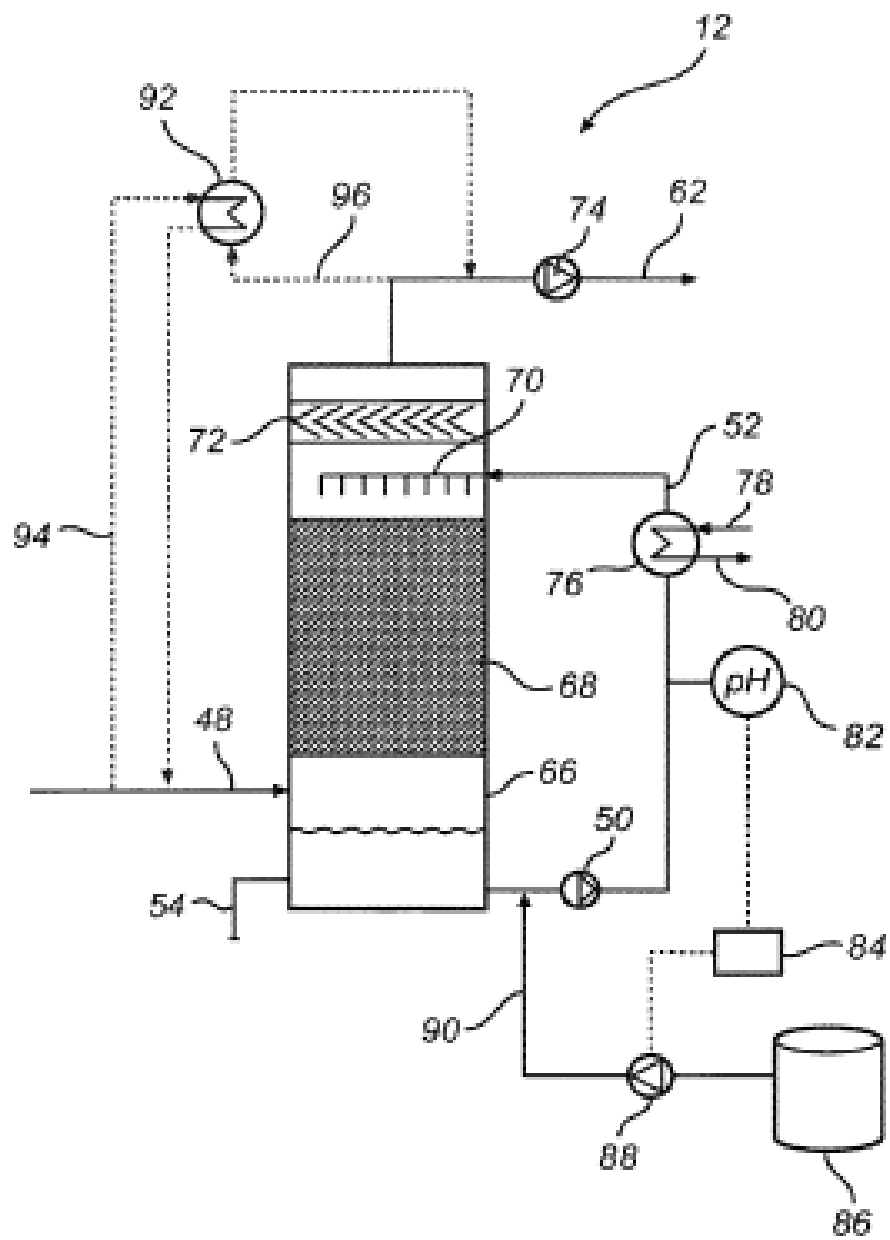


Fig. 3

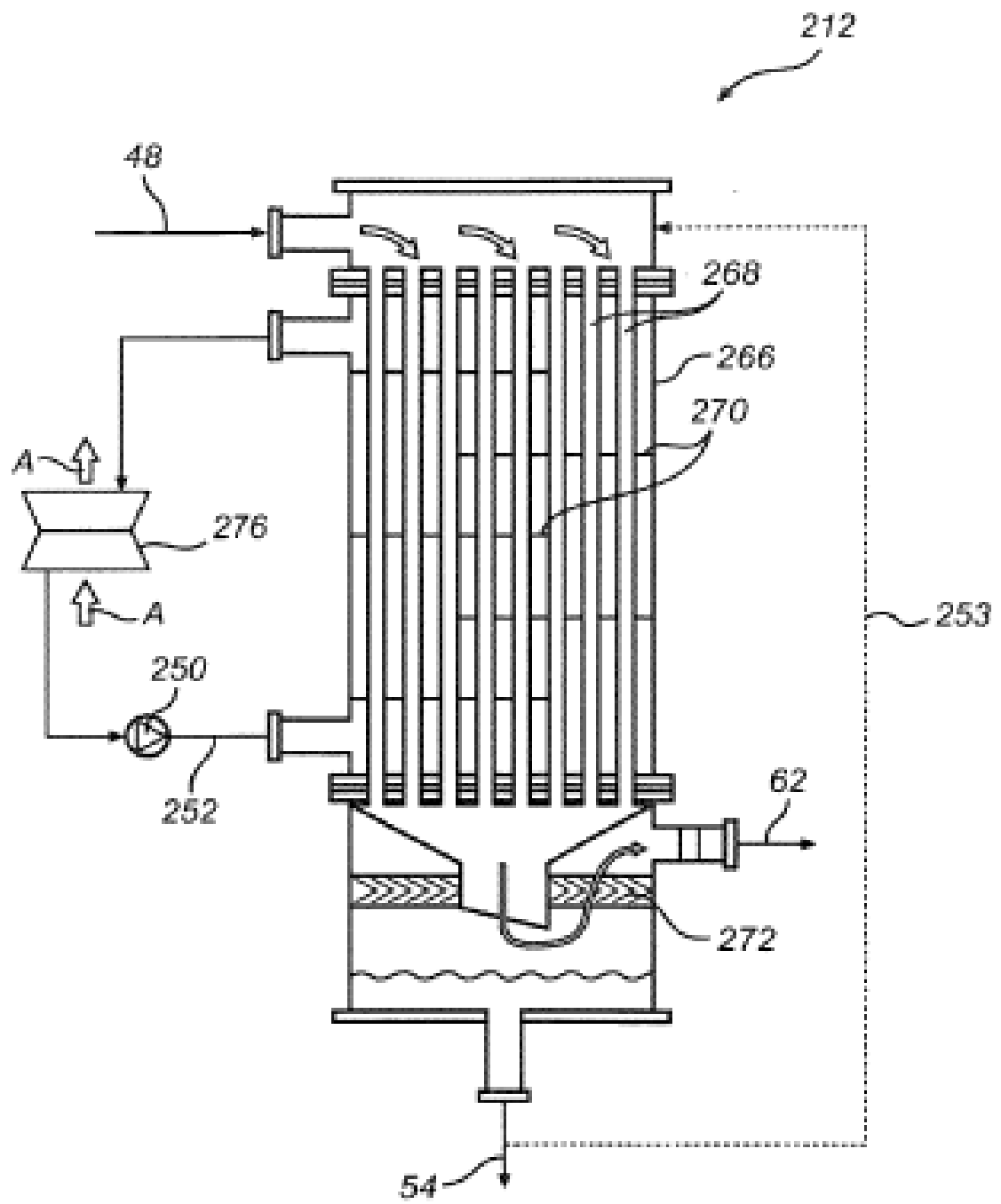


Fig. 4