

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 602 988**

51 Int. Cl.:

B01D 53/50 (2006.01)

B01D 53/62 (2006.01)

B01D 53/75 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.10.2012** **E 12188666 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.08.2016** **EP 2722096**

54 Título: **Desulfuración en un sistema de ciclo de calcio regenerativo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.02.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**STALLMANN, OLAF;
HEINZ, GERHARD y
KOSS, PETER ULRICH**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 602 988 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

Desulfuración en un sistema de ciclo de calcio regenerativo

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a sistemas y métodos para la captura de dióxido de carbono de gases de combustión utilizando sistemas de ciclo de calcio regenerativo.

Antecedentes de la invención

10 En la combustión de combustible, por ejemplo carbón, petróleo, turba, residuos, gas natural, etc. en una planta de combustión tal como una planta de energía, se utiliza un gas de proceso que comprende, entre otros componentes, dióxido de carbono en grandes cantidades. Los efectos negativos del dióxido de carbono sobre el cambio climático son bien conocidos y hay una fuerte demanda para reducir las emisiones de dióxido de carbono generadas. Esta demanda se aplica no sólo a las diferentes plantas de energía como las de arriba, sino también a otras situaciones y otras industrias en donde se genera CO₂ en sus procesos o por su consumo de energía, por ejemplo en la industria del cemento y la industria del acero. Hay una gran cantidad de diferentes métodos y disposiciones para reducir la emisión de dióxido de carbono.

15 Sin embargo, común para los métodos es que la separación de dióxido de carbono de los gases de escape generados en las diferentes plantas industriales como las de arriba consumen energía y son costosas y hay una necesidad de encontrar formas más eficientes.

20 En uno de los métodos para la captura de CO₂, conocido como ciclo de calcio regenerativo (RCC), la separación de CO₂ del gas de combustión puede tener lugar mediante la captura a través de un ciclo de carbonatación y calcinación combinado. En tales métodos, cal (CaO) se puede utilizar como un agente sorbente para el dióxido de carbono, formando carbonato de calcio (CaCO₃) durante la llamada reacción de carbonatación. El CaCO₃ formado se regenera posteriormente por calentamiento, por lo que la denominada reacción de calcinación produce dióxido de carbono y CaO.

25 Un método y un sistema para un ciclo de calcio regenerativo (RCC) se describe en el documento US 6.737.031. Más específicamente, se describe en el mismo un método para la captura de dióxido de azufre (SO₂) y dióxido de carbono (CO₂). Para la captura del dióxido de carbono, el método comprende etapas en las que el dióxido de carbono presente en los gases de combustión es capturado por la carbonización en el hogar y luego es liberado por la descarbonización y el dióxido de carbono liberado es transferido para su posterior tratamiento o almacenamiento.

30 Aunque se puede hacer que un sistema de RCC, p. ej., como se describe en el documento US 6.737.031, sea más eficiente en energía que otros sistemas disponibles para la captura y el almacenamiento de carbono, aún tiene un impacto negativo en la eficiencia global de la planta de energía. Hay necesidad de mejorar los sistemas de RCC que reduzcan aún más el impacto en la eficiencia global de la planta de energía.

Los documentos EP 2 299 176 y WO 2007/045048 describen un método y un sistema de acuerdo con las partes precaracterizantes de las reivindicaciones 1 y 9.

35 Sumario de la invención

La presente invención se refiere a mejoras en métodos y sistemas integrados para la combustión y la captura de CO₂ utilizando un ciclo de calcio regenerativo (RCC). Más particularmente, la presente invención se contempla para su implementación en una planta de energía.

40 De acuerdo con un aspecto ilustrado en esta memoria, se proporciona un método para la combustión de un combustible y el tratamiento del gas de combustión resultante, comprendiendo dicho método:

la combustión de un combustible con aire u oxígeno para producir una corriente de gas de combustión caliente que contiene al menos dióxido de carbono (CO₂) y dióxido de azufre (SO₂),

poner en contacto la corriente de gas de combustión con óxido de calcio (CaO) sólido en un reactor de carbonatación (120) que opera a una temperatura a la que el CO₂ en el gas de combustión reacciona con CaO para formar carbonato de calcio (CaCO₃) sólido,

- 5 calentar el CaCO₃ formado en el reactor de carbonatación en un reactor de calcinación (130) que opera a una temperatura a la que el CaCO₃ se convierte en CaO y CO₂, por lo que dicho calentamiento se efectúa, al menos parcialmente, por intercambio de calor indirecto con la corriente de gas de combustión caliente de la combustión, y hacer recircular el CaO formado en el reactor de calcinación de nuevo al reactor de carbonatación, caracterizado porque
10 el gas de combustión utilizado para el intercambio de calor indirecto en el reactor de calcinación se somete a continuación a desulfuración en seco antes de que se ponga en contacto con CaO en el reactor de carbonatación.

- 15 La desulfuración en métodos y sistemas integrados para la combustión y captura de CO₂ utilizando un ciclo de calcio regenerativo (RCC) ha sido previamente realizado por adsorción mediante CaO de SO₂ en el reactor de carbonatación simultáneamente con la adsorción mediante CaO de CO₂. Aunque dicha coadsorción de SO₂ y CO₂ proporciona una separación eficiente de SO₂ del gas de combustión, también hay algunos inconvenientes. SO₂ reacciona con CaO para formar CaSO₄ (yeso). El CaSO₄ es estable al calor y no se descompone junto con el CaCO₃ en el reactor de calcinación. Dado que CaSO₄ se acumula en la circulación adsorbente en el RCC, la capacidad de adsorción del sistema se reduce, y la tasa de recirculación del RCC se debe aumentar.

- 20 Se ha encontrado ahora que la desulfuración del gas de combustión se puede realizar ventajosamente antes de que el gas de combustión se ponga en contacto con el CaO en el reactor de carbonatación. Esta disposición permite una drástica reducción de la tasa de recirculación requerida en el sistema de RCC. La desulfuración se realiza lo más habitualmente utilizando, p. ej., piedra caliza en un proceso depurador en húmedo. Sin embargo, se ha encontrado que se puede lograr un cierto número de efectos sinérgicos beneficiosos mediante la realización del proceso de desulfuración a una temperatura más alta que la utilizada en los procesos de depuración en húmedo convencionales. Más específicamente, se ha encontrado que en los métodos y sistemas de la presente descripción,
25 la desulfuración debería realizarse preferiblemente a una temperatura en el intervalo de 200 °C a 700 °C. Esto se puede lograr mediante el uso de un proceso de desulfuración en seco (al que también se alude en esta memoria como DFGD). El proceso de desulfuración en seco puede comprender, por ejemplo, poner en contacto el gas de combustión con óxido de calcio (CaO) sólido a una temperatura, con lo que el SO₂ en el gas de combustión reacciona con CaO para formar sulfato de calcio (CaSO₄) sólido y la posterior separación del sulfato de calcio sólido formado utilizando una técnica de extracción de polvo adecuada, por ejemplo utilizando elementos de filtro de alta temperatura (a base de metal o material cerámico) y/o precipitación electrostática (ESP). Además, se ha encontrado que como el CaO para el proceso de desulfuración en seco, se puede emplear ventajosamente CaO agotado recuperado de, por ejemplo, los filtros de gases de combustión del sistema. Por supuesto, esto reduce el consumo general de CaO/CaCO₃ del método/sistema, así como la cantidad total de residuos.

- 35 De acuerdo con algunas formas de realización, la desulfuración se realiza a una temperatura en el intervalo de 200 °C a 700 °C.

De acuerdo con algunas formas de realización, la desulfuración se realiza a una temperatura en el intervalo de 200 °C a 400 °C, preferiblemente en el intervalo de 250 °C a 350 °C.

- 40 De acuerdo con algunas formas de realización, la desulfuración se realiza a una temperatura en el intervalo de 500 °C a 700 °C, preferiblemente en el intervalo de 550 °C a 650 °C.

De acuerdo con algunas formas de realización, la desulfuración comprende poner el gas de combustión en contacto con óxido de calcio (CaO) sólido a una temperatura a la que el SO₂ en el gas de combustión reacciona con CaO para formar sulfato de calcio (CaSO₄) sólido.

- 45 La desulfuración puede realizarse simplemente por inyección de CaO en la corriente de gas de combustión por medio de un equipo dedicado de inyección de CaO. La inyección puede realizarse en o aguas abajo de una zona de combustión del horno utilizado para el calentamiento del reactor de calcinación.

De acuerdo con algunas formas de realización, el CaO se inyecta en la zona de combustión del horno utilizado para el calentamiento del reactor de calcinación.

De acuerdo con algunas formas de realización, el CaO se inyecta en la corriente de gas de combustión aguas abajo de una zona de combustión del horno utilizado para el calentamiento del reactor de calcinación.

5 De acuerdo con algunas formas de realización, el CaO se inyecta en la corriente de gas de combustión en un dispositivo desulfurante dedicado dispuesto aguas abajo de una zona de combustión del horno utilizado para el calentamiento del reactor de calcinación.

Alternativamente, la desulfuración puede realizarse mediante inyección del gas de combustión en un lecho fluido circulante o de burbujeo de CaO, separado del reactor de calcinación.

10 De acuerdo con algunas formas de realización, el método comprende, además, la etapa de separar el polvo del gas de combustión desulfurado antes de que se puesto en contacto con CaO en el reactor de carbonatación. Esta etapa de separación de polvo puede servir para separar, al menos parcialmente, CaSO₄ sólido presente en el gas de combustión después de la desulfuración en seco.

15 De acuerdo con algunas formas de realización, el CaO utilizado para la desulfuración del gas de combustión, al menos parcialmente, comprende CaO recuperado del gas de combustión rico en CO₂ formado en el reactor de calcinación, de la corriente de gas de combustión aguas abajo del reactor de carbonatación y/o de CaO formado en el reactor de calcinación.

De acuerdo con algunas formas de realización, la temperatura en el reactor de carbonatación está en el intervalo de 550 a 750 °C, preferiblemente de aproximadamente 650 °C.

De acuerdo con algunas formas de realización, la temperatura en el reactor de calcinación está en el intervalo de 800 a 1100 °C, preferiblemente de aproximadamente 900 °C.

20 De acuerdo con otro aspecto ilustrado en esta memoria, se proporciona un sistema (100) para la combustión de un combustible y el tratamiento del gas de combustión resultante, comprendiendo dicho sistema:

25 un horno (101)
un reactor de carbonatación (120)
un reactor de calcinación (130)
un dispositivo desulfurante en seco (110)

en donde el horno (101) es operativo para la combustión de un combustible con aire u oxígeno para producir una corriente de gas de combustión caliente que contiene al menos dióxido de carbono (CO₂) y dióxido de azufre (SO₂),

30 el reactor de carbonatación (120) es operativo para poner la corriente de gas de combustión en contacto con óxido de calcio (CaO) sólido a una temperatura a la que el CO₂ en el gas de combustión reacciona con CaO para formar carbonato de calcio (CaCO₃) sólido,

el reactor de calcinación (130) es operativo para calentar CaCO₃ formado en el reactor de carbonatación a una temperatura a la que CaCO₃ se convierte en CaO y CO₂,

35 el reactor de calcinación (130) comprende medios para el calentamiento indirecto (104), en donde dicho calentamiento de CaCO₃ se efectúa, al menos parcialmente, por intercambio de calor indirecto con la corriente de gas de combustión caliente de la combustión, y

en donde

el dispositivo desulfurante en seco (110) es operativo para someter la corriente de gas de combustión a desulfuración antes de que se ponga en contacto con CaO en el reactor de carbonatación (120).

40 El sistema puede comprender, además, un sistema de recirculación de sólidos, operativo para enviar CaCO₃ del reactor de carbonatación al reactor de calcinación y para enviar CaO del reactor de calcinación al reactor de carbonatación. El sistema puede comprender también, adicionalmente, un sistema de suministro de CaO y/o CaCO₃ reciente para la reposición de CaO y/o CaCO₃ perdido a lo largo del proceso.

45 De acuerdo con algunas formas de realización, el dispositivo desulfurante en seco está configurado para funcionar a una temperatura en el intervalo de 200 °C a 700 °C.

De acuerdo con algunas formas de realización, el dispositivo desulfurante en seco es operativo para poner el gas de combustión en contacto con óxido de calcio (CaO) sólido a una temperatura a la que el SO₂ en el gas de combustión reacciona con CaO para formar sulfato de calcio (CaSO₄) sólido.

- 5 El dispositivo desulfurante en seco puede comprender un equipo de inyección de CaO dedicado, operativo para la inyección de CaO en la corriente de gas de combustión. El equipo de inyección de CaO puede estar dispuesto en o aguas abajo de una zona de combustión del horno utilizado para el calentamiento del reactor de calcinación.

De acuerdo con algunas formas de realización, el equipo de inyección de CaO está dispuesto en la zona de combustión del horno utilizado para el calentamiento del reactor de calcinación.

- 10 De acuerdo con algunas formas de realización, el equipo de inyección de CaO está dispuesto en el conducto de gases de combustión (105) aguas abajo de una zona de combustión del horno utilizado para el calentamiento del reactor de calcinación.

De acuerdo con algunas formas de realización, el equipo de inyección de CaO está dispuesto en un reactor dedicado dispuesto aguas abajo de una zona de combustión del horno utilizado para el calentamiento del reactor de calcinación.

- 15 Alternativamente, el dispositivo desulfurante puede comprender un reactor de lecho fluido circulante o de burbujeo dedicado, operativo para poner el gas de combustión en contacto con un lecho fluido circulación o de burbujeo de CaO a una temperatura en donde SO₂ en el gas de combustión reacciona con CaO para formar sulfato de calcio (CaSO₄) sólido.

- 20 De acuerdo con algunas formas de realización, el dispositivo desulfurante en seco está en conexión fluida con y configurado para recibir CaO recuperado de una unidad de separación de polvo (132) operativo para separar CaO del gas de combustión rico en CO₂ formado en el reactor de calcinación.

De acuerdo con algunas formas de realización, el dispositivo desulfurante en seco está en conexión fluida con y está configurado para recibir CaO recuperado de una unidad de separación de polvo (124) operativa para separar CaO de la corriente de gas de combustión aguas abajo del reactor de carbonatación.

- 25 De acuerdo con algunas formas de realización, el dispositivo desulfurante en seco está en conexión fluida con y está configurado para recibir CaO formado en el reactor de calcinación.

- 30 De acuerdo con algunas formas de realización, el sistema comprende, además, una unidad de separación de polvo (115) operativa para la separación de polvo del gas de combustión desulfurado antes de que sea puesto en contacto con CaO en el reactor de carbonatación (120). Esta unidad de separación de polvo puede servir para separar, al menos parcialmente, CaSO₄ sólido presente en el gas de combustión aguas abajo del dispositivo desulfurante en seco.

- 35 El método o sistema de acuerdo con uno cualquiera de los aspectos de la invención puede ser un método o sistema de ciclo de calcio regenerativo (RCC) o un método o sistema de combustión y de ciclo de calcio regenerativo (RCC) integrado. Por la expresión "método o sistema de combustión y de ciclo de calcio regenerativo (RCC) integrado" tal como se utiliza en esta memoria se entiende un sistema para la combustión de un combustible, p. ej., en una planta de energía, en donde el calor procedente de los gases de combustión de la combustión se utiliza para calentar el reactor de calcinación.

- 40 El método o sistema de acuerdo con uno cualquiera de los aspectos de la invención puede ser hecho funcionar como una unidad de generación de energía integrada independiente, en donde el calor generado durante la combustión en el sistema de RCC se utiliza para la generación de energía. El método o sistema de acuerdo con uno cualquiera de los aspectos de la invención también puede ser hecho funcionar como un sistema de captura de CO₂ para una unidad de generación de energía separada (p. ej., un sistema de caldera), en el que el gas de combustión generado por la unidad de generación de energía separada se combina con el gas de combustión generado durante la combustión en el sistema RCC.

De acuerdo con algunas formas de realización, el reactor de carbonatación y/o el reactor de calcinación que puede comprender el método o sistema de acuerdo con una cualquiera de los aspectos de la invención es/son ambos del tipo de lecho fluido. De acuerdo con algunas formas de realización, el reactor de carbonatación y el reactor de calcinación son ambos del tipo de lecho fluido circulante. De acuerdo con algunas formas de realización, el reactor de carbonatación es del tipo de lecho fluido circulante y el reactor de calcinación es del tipo de lecho fluido burbujeante.

Las características descritas anteriormente y otras características se ejemplifican mediante las siguientes figuras y descripción detallada.

Breve descripción de los Dibujos

10 Con referencia ahora a los dibujos, que son formas de realización a modo de ejemplo, y en los elementos similares se numeran igual:

la Figura 1 representa esquemáticamente un sistema de combustión y RCC integrado y con el gas de combustión dirigido en el reactor de carbonatación calentado contra gases de escape del reactor de carbonatación.

15 La Figura 2 representa esquemáticamente un sistema de combustión y RCC integrado con la desulfuración de gas de combustión en seco y el gas de combustión dirigido en el reactor de carbonatación calentado frente al gas del reactor de calcinación.

Descripción de formas de realización preferidas

Una forma de realización del sistema de la invención se ilustra adicionalmente en la Figura 1.

20 En esta memoria, el sistema (100) se implementa en unión con una unidad de proceso de combustión que comprende un horno (101), en donde el dióxido de carbono en el gas de escape generado ha de ser capturado por el sistema de RCC. El sistema se calienta por calentamiento indirecto del reactor de calcinación (130) por el horno (101) que es alimentado con combustible a través de la tubería (102) y aire y/u oxígeno a través del conducto (103).

25 El gas de combustión generado por la combustión en el horno (101) que comprende, entre otros componentes, dióxido de carbono y dióxido de azufre, se envía a través del conducto (105) al dispositivo desulfurante de gases de combustión en seco (DFGD) (110) operativo para reducir el contenido en SO₂ del gas de combustión. El DFGD (110) se describirá más en detalle más adelante.

30 El gas de combustión con un contenido reducido en SO₂ es enviado desde el DFGD (110) a una unidad de separación de polvo (115) operativa para la separación de polvo del gas de combustión desulfurado, con lo cual los sólidos, p. ej., CaSO₄ sólido, presente en el gas de combustión es al menos parcialmente separado antes de la introducción del gas de combustión en el reactor de carbonatación (120). La unidad de separación de polvo (115) puede comprender, por ejemplo, un dispositivo de precipitación electrostática (ESP) o cualquier otro dispositivo de separación de polvo adecuado. Además de CaSO₄ sólido, el gas de combustión que abandona el DFGD (110) también puede comprender cenizas volantes que también son separadas, al menos parcialmente, por la unidad de separación de polvo (115). La unidad de separación de polvo (115) puede comprender, en algunas formas de realización, un sistema de separación de polvo por etapas que permite la separación de CaSO₄ y cenizas volantes. Esta disposición produce CaSO₄ de mayor calidad y cenizas subproductos con una viabilidad comercial mejorada.

40 Opcionalmente, el gas de escape puede ser acondicionado adicionalmente en una unidad para el acondicionamiento del gas de combustión (no mostrado) antes de su introducción en el reactor de carbonatación (120). El acondicionamiento opcional puede incluir, por ejemplo, el tratamiento del gas de escape mediante la separación de gases NO_x (DeNO_x).

45 El gas de combustión procedente de la unidad de separación de polvo (115) (y opcionalmente, además, la unidad de acondicionamiento de gas de combustión adicional) se presuriza haciéndola pasar por la unidad de ventilador (116) y se precalienta por el intercambiador de calor (117) antes de la introducción en el reactor de carbonatación (120), el reactor para la captura de dióxido de carbono. El reactor de carbonatación (120) también se puede designar como "el carbonatador" y la reacción de "carbonatación".

El gas de escape es presurizado, preferentemente, a una presión en el intervalo de 50 mbarg a 400 mbarg, preferiblemente a aproximadamente 100 mbarg, y se calienta a una temperatura en el intervalo de 300 °C a 600 °C para una sorción optimizada.

5 La reacción principal que tiene lugar en el reactor de carbonatación corresponde a $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$. La reacción es exotérmica y tiene lugar a una temperatura en el intervalo de 550 a 750 °C. El reactor de carbonatación se hace funcionar típicamente a una temperatura en el intervalo de 600 °C a 700 °C, preferiblemente a aproximadamente 650 °C.

10 Los gases de escape con un contenido reducido de dióxido de carbono CO_2 enviados desde el reactor de carbonatación (120) a través del conducto (121) pueden ser opcionalmente enfriados en múltiples etapas, p. ej., en intercambiadores de calor (122), (117) y (123). El calor recuperado en estos intercambiadores de calor puede emplearse, por ejemplo (como se muestra para el intercambiador de calor (117) en la Figura 1), para el precalentamiento del gas de escape que será introducido en el reactor de carbonatación (120) o en otros intercambiadores de calor.

15 Después del enfriamiento opcional en múltiples etapas, el gas de combustión se somete a la separación de polvo en una unidad de separación de polvo (124) (p. ej., que comprende un dispositivo de precipitación electrostática (ESP) o cualquier otro dispositivo de separación de polvo adecuado). En la unidad de separación de polvo (124) polvo de CaO y CaCO_3 transportado junto con el gas de combustión del reactor de carbonatación se separa del gas de combustión antes del envío de los gases de combustión a la pila (128) para la liberación a la atmósfera.

20 En la realización de la Figura 1, el reactor de carbonatación (120) y el reactor de calcinación (130) son ambos del tipo de lecho fluido circulante. Un lecho de partículas sólidas es fluidizado mediante una corriente de gas que pasa a través del lecho. En el reactor de carbonatación (120), la fluidización se efectúa por el vapor de gas enviado desde el DFGD (110) y la unidad de separación de polvo (115) a través de la unidad de ventilador (116). En el reactor de calcinación (130), la fluidización se efectúa por una porción de la corriente de gas de combustión rica en CO_2 recirculada al reactor de calcinación (130) a través del conducto (134) y preferiblemente presurizada en una unidad de ventilador (180). Los sólidos presentes en la corriente de gas que abandona el lecho son capturados por una unidad de ciclón.

30 En una realización alternativa del sistema (no mostrada), el reactor de calcinación de lecho fluido circulante ha sido reemplazado por un reactor de calcinación lecho burbujeante. Un reactor de calcinación de lecho burbujeante puede ser ventajoso, ya que la tasa de desgaste del CaO en sistemas de este tipo es mucho menor debido a la velocidad del sólido más baja.

El sistema de la invención que utiliza el ciclo de calcio regenerativo comprende la circulación de material sólido entre el reactor de carbonatación (120) y el reactor de calcinación (130).

35 El sistema puede comprender, además, un sistema de recirculación de sólidos, operativo para el envío de CaCO_3 del reactor de carbonatación al reactor de calcinación y para el envío de CaO del reactor de calcinación al reactor de carbonatación.

40 Desde el reactor de carbonatación (120), material sólido que es rico en carbonato de calcio CaCO_3 , pero que también contiene una cierta cantidad de cal, CaO , así como otros componentes, es transferido al reactor de calcinación (130) a través de la tubería (125). La corriente de material sólido es dividida para diferentes destinos del material sólido, una primera parte de la corriente de material sólido en la tubería (125) se hace recircular de nuevo al reactor de carbonatación (120) a través de la tubería (125a). Una segunda parte del material sólido es transferida, a través del conducto (125b), al reactor de calcinación (130).

El sistema puede comprender también, adicionalmente, un sistema de suministro de CaO y/o CaCO_3 reciente para la reposición de CaO y/o CaCO_3 perdido a lo largo del proceso.

45 En el reactor de calcinación (130) el carbonato de calcio CaCO_3 se calienta para efectuar la descomposición de CaCO_3 en cal CaO y dióxido de carbono CO_2 . El reactor de calcinación (130) también se denomina "el calcinador" y el proceso también se denomina "calcinación". La reacción principal del reactor de calcinación corresponde a $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$. La reacción es endotérmica y se lleva a cabo a una temperatura en el intervalo de 800 °C a 1100 °C,

típicamente a una temperatura de aproximadamente 900 °C. El reactor de calcinación (130) es calentado por calentamiento indirecto a través del horno (101). Esta disposición permite el uso de combustibles de calidad variable. Dependiendo de la calidad del combustible, más o menos de oxígeno puede ser suministrado al horno. Si se utiliza combustible de alta calidad para el calentamiento del aparato, el horno puede ser alimentado con aire, si es de menor calidad, el aire puede mezclarse con oxígeno, o puede ser oxígeno puro. El gas de combustión rico en dióxido de carbono generado por el horno (101) para el calentamiento indirecto del reactor de calcinación puede comprender típicamente, además de CO₂, contaminantes en forma de, por ejemplo, óxidos de azufre SO_x (p. ej., SO₂), partículas de polvo, ácido clorhídrico, HCl, óxidos de nitrógeno NO_x y metales pesados que incluyen mercurio, Hg. Si la concentración de los gases tales como el oxígeno (O₂), nitrógeno (N₂), etc., introducidos más frecuentemente durante la carbonatación, es alta, puede requerirse en el sistema una etapa de separación. De lo contrario, el tratamiento adicional del gas de combustión rico en dióxido de carbono se puede realizar en sistemas de compresión y/o de secado.

Los términos "indirecta" o "indirectamente", tal como se utilizan en esta memoria, en relación con el intercambio de calor entre dos medios, tales como calentamiento, enfriamiento o enfriamiento rápido, designan que el intercambio de calor se produce sin mezclar los dos medios juntos. Por la expresión "intercambio de calor indirecto", tal como se utiliza en esta memoria, se quiere dar a entender un intercambiador de calor configurado para intercambio indirecto de calor. El intercambiador de calor puede adaptarse para gases (gas/gas), líquidos (líquido/líquido), sólidos (sólido/sólido) o cualquier combinación de los mismos (p. ej., gas/líquido). El intercambiador de calor puede ser, por ejemplo, del tipo de envuelta y tubos. Tipos y dimensiones adecuados de los intercambiadores de calor se identifican fácilmente por la persona experta en la técnica.

En la realización de la Figura 1, El horno (101) está dispuesto en unión directa con el reactor de calcinación (130), de manera que el gas de combustión caliente formado durante la combustión en el horno (101) es dirigido a una disposición de calentamiento indirecto (104) del reactor de calcinación (130). La disposición de calentamiento indirecto (104) puede comprender, por ejemplo, tubos de transferencia de calor dispuestos para transferir calor desde el gas de combustión caliente que fluye a través de los tubos al lecho fluido dentro del reactor de calcinación.

El material sólido que comprende principalmente cal, CaO, producido por la descomposición del carbonato de calcio es transferido desde el reactor de calcinación (130) a través de la tubería (135) al reactor de carbonatación (120). La tubería (135) se divide en la tubería (135a), a través de la cual se hace recircular una primera porción de la corriente sólida de nuevo al reactor de calcinación (130), y la tubería (135b), a través de la cual se transfiere una segunda porción de la corriente sólida al reactor de carbonatación (120).

Un intercambiador de calor (137) está dispuesto entre el reactor de carbonatación (120) y el reactor de calcinación (130) y es operativo para precalentar el material sólido transferido desde el reactor de carbonatación a través de la tubería (125b), utilizando el calor del material sólido transferido desde el reactor de calcinación a través de la tubería (135b). El intercambiador de calor (137) puede ser, por ejemplo, un intercambiador de calor transversal que transfiere calor desde el material sólido del reactor de calcinación con el material sólido del reactor de carbonatación (intercambiador de calor sólido/sólido).

El gas de escape rico en CO₂ generado en el reactor de calcinación (130) es separado de material sólido, p. ej., utilizando ciclones u otros métodos para separar material sólido de una corriente gaseosa. El material sólido se hace recircular al lecho fluido a través del conducto (135) y (135a). El gas enriquecido en CO₂ es transferido desde el reactor de calcinación a través del conducto (131) para su posterior procesamiento, p. ej., incluyendo la recuperación de calor y la separación de material en partículas.

El polvo generado durante el proceso de calcinación en el reactor de calcinación (130) puede ser extraído y separado del circuito de recirculación para su posterior procesamiento en una unidad de separación de polvo (132), por ejemplo que comprende un precipitador electrostático (ESP). Además, el calor del gas rico en CO₂ se puede recuperar mediante un intercambiador de calor (133) antes de que el gas sea transferido para el procesamiento adicional opcional en una unidad de procesamiento de gas (GPU) (140) tal como compresión, almacenamiento, etc.

Después de la separación del polvo, una parte del gas de escape rico en dióxido de carbono puede ser hecho recircular al reactor de calcinación (130) a través del conducto (134). El gas de escape se presuriza preferentemente en un ventilador (180) y es precalentado por el gas de escape caliente en el conducto (131) utilizando un intercambiador de calor gas/gas (136) antes de ser reintroducido en el reactor de calcinación (130), a través del conducto (134).

Opcionalmente, el gas de escape rico dióxido de carbono, o al menos una parte del mismo, puede combinarse, a través del conducto (138), con gas en el conducto (105), haciendo recircular el gas de escape caliente utilizado para el calentamiento indirecto del reactor de calcinación al reactor de carbonatación (120).

5 Otra opción es introducir una parte del gas enriquecido en dióxido de carbono, a través del conducto 139, al conducto (102) alimentando el horno (101) con aire y/u oxígeno.

El gas de escape caliente que comprende dióxido de carbono CO₂ generado para el calentamiento indirecto del reactor de calcinación (130), es enviado al reactor de carbonatación (120), a través del conducto (105).

El calor procedente del gas de escape caliente generado para el calentamiento indirecto del reactor de calcinación puede ser opcionalmente recuperado por el intercambiador de calor (106) (calentador de gas/gas).

10 Tal como se mencionó anteriormente, el gas de combustión generado por la combustión en el horno (101) y que comprende, entre otros componentes, dióxido de carbono y dióxido de azufre, es enviado, a través del conducto (105), al dispositivo desulfurante de gas de combustión en seco (110) (DFGD), operativo para reducir el contenido de SO₂ del gas de combustión. El dispositivo desulfurante de gas de combustión en seco puede comprender simplemente un equipo de inyección de CaO dedicado, operativo para la inyección de CaO en la corriente de gas de combustión. El equipo de inyección de CaO puede estar dispuesto en o aguas abajo de una zona de combustión del horno (101) que se utiliza para el calentamiento del reactor de calcinación (130). De acuerdo con algunas formas de realización, el equipo de inyección de CaO está dispuesto en la zona de combustión del horno (101). De acuerdo con algunas formas de realización, el equipo de inyección de CaO está dispuesto en el conducto de gas de combustión (105) aguas abajo de una zona de combustión del horno (101). De acuerdo con algunas realizaciones, el equipo de inyección de CaO está dispuesto en un reactor dedicado dispuesto aguas abajo de una zona de combustión del horno utilizado para el calentamiento del reactor de calcinación. En la realización de la Figura 1, el equipo de inyección de CaO está dispuesto en un reactor dedicado, DFGD (110), dispuesto aguas abajo de una zona de combustión del horno (101).

25 Alternativamente, el dispositivo desulfurante puede comprender un reactor de lecho fluido circulante o de burbujeo dedicado, operativo para poner el gas de combustión en contacto con lecho fluido de CaO circulante o de burbujeo a una temperatura, con lo que SO₂ en el gas de combustión reacciona con CaO para formar sulfato de calcio (CaSO₄) sólido.

30 En el DFGD (110), el gas de combustión se pone en contacto con óxido de calcio (CaO) sólido a una temperatura en el intervalo de en el intervalo de 200 °C a 700 °C. A estas temperaturas, el CaO reacciona con SO₂ presente en el gas de combustión para formar sulfato de calcio (CaSO₄) sólido. En algunas formas de realización, la desulfuración se realiza a una temperatura en el intervalo de 200 °C a 400 °C, preferiblemente en el intervalo de 250 °C a 350 °C. En otras formas de realización, la desulfuración se realiza a una temperatura en el intervalo de 500 °C a 700 °C, preferiblemente en el intervalo de 550 °C a 650 °C.

35 El óxido de calcio (CaO) sólido que se utiliza para la desulfuración del gas de combustión en el DFGD (110) comprende, al menos parcialmente, CaO recuperado del gas de combustión rico en CO₂ formado en el reactor de calcinación (130), de la corriente de gas de combustión aguas abajo del reactor de carbonatación (120) y/o de CaO formado en el reactor de calcinación, p. ej., de la corriente de alimentación de CaO del reactor de carbonatación. El CaO utilizada en el DFGD (110) puede comprender, por ejemplo, CaO recogido de la unidad de separación de polvo (132), operativa para separar el polvo de la corriente de gas de combustión rica en CO₂ que abandona el reactor de calcinación (130), enviado al DFGD a través del conducto (151). El CaO utilizado en el DFGD (110) puede comprender también CaO recogido de la unidad de separación de polvo (124) operativa para separar el polvo de la corriente de gas de combustión que abandona el reactor de carbonatación (120), enviado al DFGD a través del conducto (152). El CaO utilizado en el DFGD también puede comprender CaO extraído de la corriente de alimentación de CaO (135b) del reactor de carbonatación, enviado al DFGD a través del conducto (153), opcionalmente con enfriamiento del CaO en el intercambiador de calor (154). En una forma de realización alternativa, el CaO, o al menos una parte del mismo, es dirigido al horno (101) a través del conducto (155).

50 Una forma de realización del sistema de la invención se ilustra adicionalmente en la Figura 2. La forma de realización de la Figura 2 es mayoritariamente idéntica a la realización de la Figura 1, con la excepción de que en la Figura 2, el gas de combustión enviado a través del conducto (105) al dispositivo desulfurante de gas de combustión en seco (DFGD) (110) es sometido a un intercambio de calor en el intercambiador de calor (117), siendo enviado el

gas de combustión presurizado desde la unidad de ventilador (116) al reactor de carbonatación (120). Esta configuración puede disminuir adicionalmente el impacto global del sistema de captura RCC de CO₂ en la eficiencia global de la planta de energía.

- 5 Tal como se utiliza en esta memoria, el término "desulfuración" se refiere a un procedimiento para la separación (al menos parcial) de dióxido de azufre, SO₂, a partir de una corriente de gas de combustión. Un "dispositivo desulfurante" se refiere a un aparato dedicado a la separación de SO₂ de una corriente de gas de combustión.

Ventajas obtenidas por la presente invención incluyen:

La presente invención reduce el impacto del sistema de captura RCC de CO₂ en la eficiencia global de la planta de energía.

- 10 La presente invención evita la acumulación de CaSO₄ en la circulación adsorbente de RCC que, de otro modo, causaría la capacidad de adsorción del sistema a ser reducida.

La disposición de la invención permite una reducción drástica de la tasa de recirculación requerida en el sistema de RCC.

- 15 La desulfuración a una temperatura en el intervalo de 200 °C a 700 °C reduce la necesidad de enfriamiento y recalentamiento del gas de combustión para la desulfuración.

La invención proporciona utilizar CaO agotado recuperado, por ejemplo, de los filtros de gas de combustión del sistema para la desulfuración. Esto reduce el consumo general de CaO/CaCO₃ del método/sistema, así como la cantidad total de residuos.

- 20 La calidad del combustible para el calentamiento del sistema puede variar ampliamente, ya que el calentamiento se lleva a cabo indirectamente en el reactor de calcinación, el calcinador.

El producto CO₂ capturado es de alta pureza, ya que no se produce un arrastre directo de impurezas en el producto CO₂. Impurezas y contaminantes son adsorbidos principalmente por el CaO.

REIVINDICACIONES

1. Un método para la combustión de un combustible y el tratamiento del gas de combustión resultante, comprendiendo dicho método:
 - 5 la combustión de un combustible con aire u oxígeno para producir una corriente de gas de combustión caliente que contiene al menos dióxido de carbono (CO₂) y dióxido de azufre (SO₂),
 - poner en contacto la corriente de gas de combustión con óxido de calcio (CaO) sólido en un reactor de carbonatación (120) que opera a una temperatura a la que el CO₂ en el gas de combustión reacciona con CaO para formar carbonato de calcio (CaCO₃) sólido,
 - 10 calentar el CaCO₃ formado en el reactor de carbonatación en un reactor de calcinación (130) que opera a una temperatura a la que el CaCO₃ se convierte en CaO y CO₂, por lo que dicho calentamiento se efectúa, al menos parcialmente, por intercambio de calor indirecto con la corriente de gas de combustión caliente de la combustión, y hacer recircular el CaO formado en el reactor de calcinación de nuevo al reactor de carbonatación, caracterizado porque
 - 15 el gas de combustión utilizado para el intercambio de calor indirecto en el reactor de calcinación se somete a continuación a desulfuración en seco antes de que se ponga en contacto con CaO en el reactor de carbonatación, el polvo se separa del gas de combustión desulfurado antes de ponerlo en contacto con CaO en el reactor de carbonatación.

2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la desulfuración se lleva a cabo a una temperatura en el intervalo de 200 °C a 700 °C.

- 20 3. El método de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la desulfuración se lleva a cabo a una temperatura en el intervalo de 200 °C a 400 °C, preferiblemente en el intervalo de 250 °C a 350 °C.

4. El método de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la desulfuración se lleva a cabo a una temperatura en el intervalo de 500 °C a 700 °C, preferiblemente en el intervalo de 550 °C a 650 °C.

- 25 5. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la desulfuración comprende poner en contacto el gas de combustión con óxido de calcio (CaO) sólido a una temperatura, con lo que el SO₂ en el gas de combustión reacciona con CaO para formar sulfato de calcio (CaSO₄) sólido.

6. El método de acuerdo con la reivindicación 1 ó 5, en el que el CaO utilizado para la desulfuración del gas de combustión comprende, al menos parcialmente, CaO recuperado del gas de combustión rico en CO₂ formado en el reactor de calcinación, de la corriente de gas de combustión aguas abajo del reactor de carbonatación y/o del CaO formado en el reactor de calcinación.

- 30 7. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la temperatura en el reactor de carbonatación está en el intervalo de 550 a 750 °C, de preferencia, aproximadamente 650 °C.

8. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la temperatura en el reactor de calcinación está en el intervalo de 800 a 1100 °C, de preferencia, aproximadamente 900 °C.

- 35 9. Un sistema (100) para la combustión de un combustible y el tratamiento del gas de combustión resultante, comprendiendo dicho sistema:
 - un horno (101)
 - un reactor de carbonatación (120)
 - un reactor de calcinación (130)
 - 40 un dispositivo desulfurante en seco (110)

en donde el horno (101) es operativo para la combustión de un combustible con aire u oxígeno para producir una corriente de gas de combustión caliente que contiene al menos dióxido de carbono (CO₂) y dióxido de azufre (SO₂),

45 el reactor de carbonatación (120) es operativo para poner la corriente de gas de combustión en contacto con óxido de calcio (CaO) sólido a una temperatura a la que el CO₂ en el gas de combustión reacciona con CaO para formar carbonato de calcio (CaCO₃) sólido,

el reactor de calcinación (130) es operativo para calentar CaCO_3 formado en el reactor de carbonatación a una temperatura a la que CaCO_3 se convierte en CaO y CO_2 .

5 el reactor de calcinación (130) comprende medios para el calentamiento indirecto (104), en donde dicho calentamiento de CaCO_3 se efectúa, al menos parcialmente, por intercambio de calor indirecto con la corriente de gas de combustión caliente de la combustión, y

caracterizado por que

el dispositivo desulfurante en seco (110) es operativo para someter la corriente de gas de combustión procedente del reactor de calcinación (130) a desulfuración en seco antes de que se ponga en contacto con CaO en el reactor de carbonatación (120), y

10 está prevista una unidad de separación de polvo (115), siendo la unidad de separación de polvo (115) operativa para la separación de polvo a partir del gas de combustión desulfurado antes de que se ponga en contacto con CaO en el reactor de carbonatación (120).

10. El sistema de acuerdo con la reivindicación 9, en donde el dispositivo desulfurante en seco está configurado para funcionar a una temperatura en el intervalo de 200 °C a 700 °C.

15 11. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9-10, en el que el dispositivo desulfurante en seco es operativo para poner en contacto el gas de combustión con óxido de calcio (CaO) sólido a una temperatura, con lo que el SO_2 en el gas de combustión reacciona con CaO para formar sulfato de calcio (CaSO_4) sólido.

20 12. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9-11, en el que el dispositivo desulfurante en seco está en conexión de fluido con y está configurado para recibir CaO recuperado de una unidad de separación de polvo (132) operativa para separar CaO del gas de combustión rico en CO_2 formado en el reactor de calcinación.

13. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9-12, en el que el dispositivo desulfurante en seco está en conexión de fluido con y está configurado para recibir CaO recuperado de una unidad de separación de polvo (124) operativa para separar CaO de la corriente de gas de combustión aguas abajo del reactor de carbonatación.

25 14. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9-13, en el que el dispositivo desulfurante en seco está en conexión de fluido con y está configurado para recibir CaO formado en el reactor de calcinación.

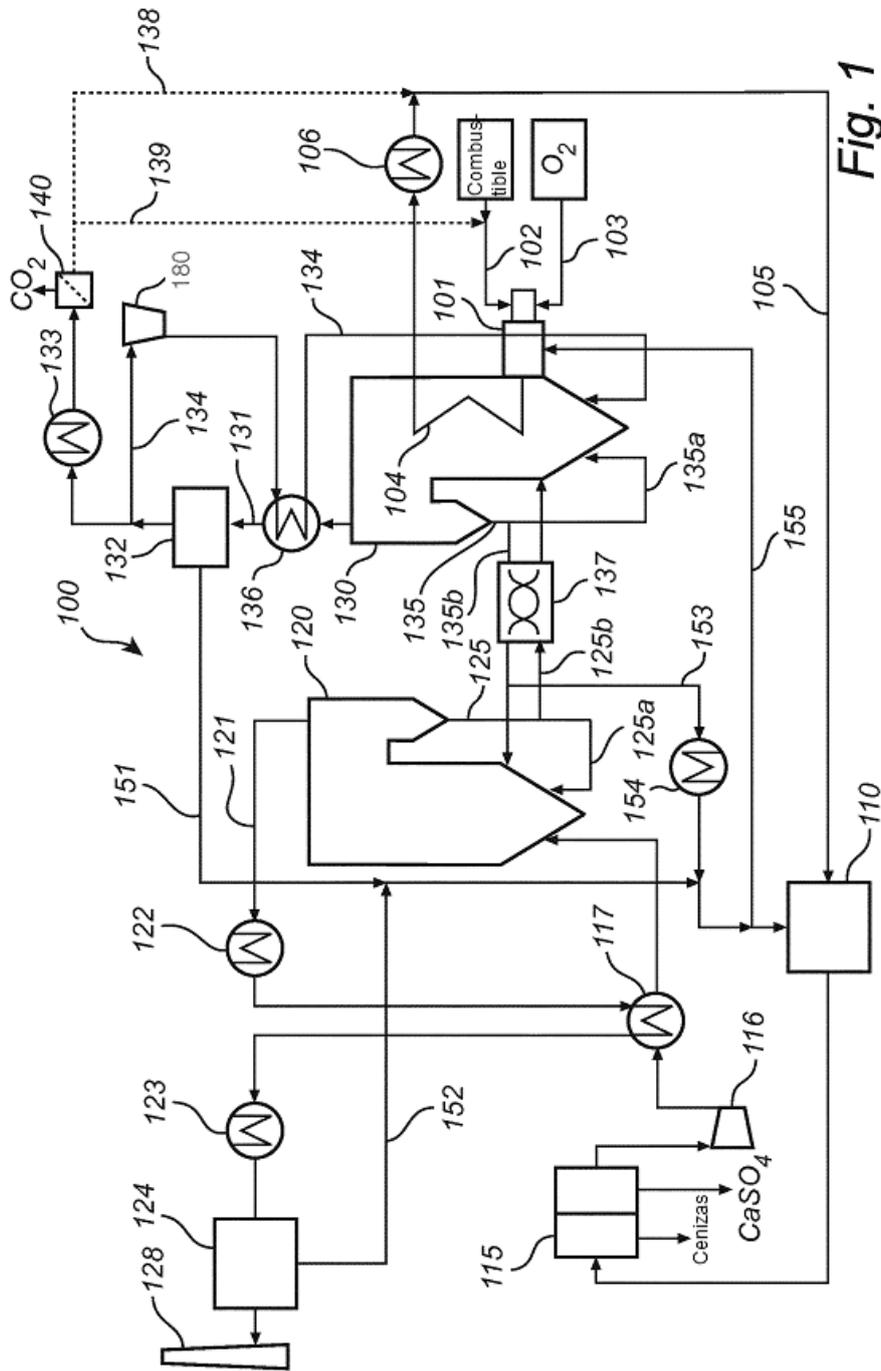


Fig. 1

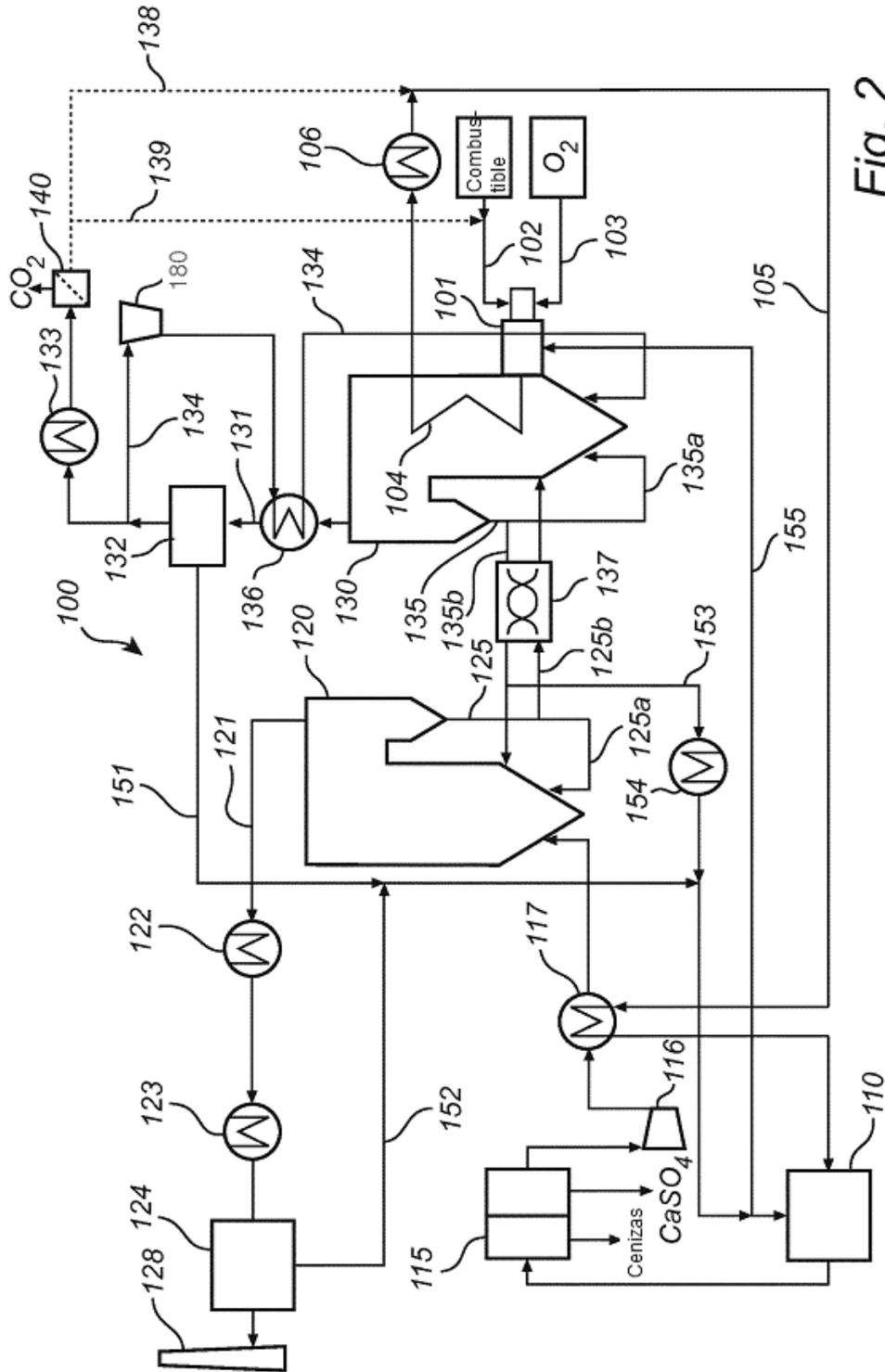


Fig. 2