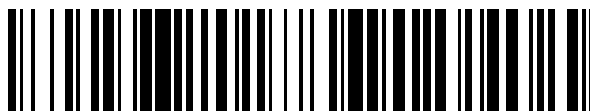


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 539 661**

51 Int. Cl.:

B01D 53/62 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.11.2009 E 09827213 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.03.2015 EP 2359925**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de combustión de biomasa y captura simultánea de dióxido de carbono en un combustor-carbonatador**

30 Prioridad:

21.11.2008 ES 200803325

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

02.07.2015

73 Titular/es:

**GAS NATURAL SDG, S.A. (100.0%)
Plaza del gas 1
08003 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

**ABANADES GARCÍA, JUAN CARLOS;
ALONSO CARREÑO, MÓNICA y
RODRÍGUEZ GÓMEZ, NURIA**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 539 661 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

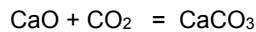
Procedimiento y dispositivo de combustión de biomasa y captura simultánea de dióxido de carbono en un combustor-carbonatador

Campo de la invención

5 La presente invención está comprendida dentro del campo de obtención de energía a partir de la combustión de biomasa, con captura simultánea de CO₂ para su almacenamiento posterior, y sin la liberación de cantidades significativas de dióxido de carbono. En concreto, la presente invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para la combustión de biomasa y captura de CO₂ simultánea, mediante CaO como absorbente del CO₂ generando carbonato cálcico. Posteriormente, el CaO se regenera en un calcinador, que puede ser acoplado al dispositivo de la invención.

Antecedentes de la invención

15 Actualmente, la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles se lleva a cabo fundamentalmente mediante procesos de combustión que generan importantes cantidades de CO₂, principal responsable del cambio climático. Por ello, se han propuesto en el estado de la técnica diferentes métodos para la captura del CO₂ liberado en estos procesos, entre los que cabe destacar los que se basan en la reacción de carbonatación-calcinación:



20 La patente US 5,520,894 describe un método de absorción de CO₂ con sólidos regenerables que incluyen, entre otros, MgO y/o CaO. La regeneración del carbonato formado se lleva a cabo mediante el calor obtenido de los gases de combustión. Esta solución es viable para el caso de la captura de CO₂ con MgO formándose un carbonato ya que las temperaturas de descomposición del MgCO₃ son moderadas. Sin embargo, para el caso del CaO como sorbente de CO₂, el sistema propuesto de regeneración mediante la calcinación de CaCO₃, no resulta viable en la práctica, ya que la demanda mínima de calor en el calcinador es muy elevada para eficacias de captura de CO₂ superiores al 70%. [Rodríguez y col., Heat requirements of a CaCO₃ calciner when integrated in a CO₂ capture system. Chemical Engineering Journal, 138, 1-3, 148-155, 2008]. Es decir, a las temperaturas habituales de combustión no está disponible en los gases de combustión, la temperatura mínima precisa para intercambiar el calor al calcinador de CaCO₃, el cual necesariamente por el equilibrio termodinámico, se debe operar a temperaturas superiores a 900°C para obtener CO₂ puro del regenerador.

30 Shimizu y col.; (Shimizu y col. A twin fluid-bed reactor for removal of CO₂ from combustion processes *Trans IChemE*, 77, A, 1999) publican un procedimiento para la utilización de CaO como absorbente del CO₂ procedente de los gases de combustión, con regeneración mediante calcinación en continuo de CaCO₃, para obtener una corriente concentrada de CO₂. El sistema propuesto utiliza como carbonatador y calcinador dos lechos fluidizados interconectados. El calcinador utiliza la oxi-combustión de carbón para suministrar el calor necesario a la etapa endotérmica de calcinación del CaCO₃ para dar CaO y CO₂. La desventaja de este sistema de captura de CO₂ es que requiere ser aplicado a una central térmica de alto rendimiento (generadora de la corriente de gas de combustión que se alimenta al carbonatador) para reducir al máximo la penalización energética de la costosa planta de separación de aire para producir el O₂ de alta pureza requerido en el calcinador.

40 El documento WO 03/080223 describe un procedimiento de combustión a temperaturas preferiblemente superiores a 1000°C, con separación integrada de CO₂ por carbonatación basado en la utilización de CaO como transportador de parte del calor generado en cámara de combustión, que es utilizado en el calcinador para mantener la reacción endotérmica de calcinación, y regenerar el CaO, sin la necesidad de utilizar una planta de separación de aire, como proponen Shimizu y col. Para transferir el calor necesario para alcanzar temperaturas de calcinación superiores a 900°C, se propone utilizar lechos fluidizados circulantes separados por paredes metálicas o, preferiblemente, interconectados mediante un flujo de sólidos inertes en la reacción de combustión, que transfieren calor desde la cámara de combustión al calcinador. La primera propuesta se ha descartado por falta de materiales adecuados.

45 El documento WO 2004/097297 describe un procedimiento de combustión con captura de CO₂ que incluye un reactor de lecho fluidizado burbujeante a presión. En dicho reactor se llevan a cabo tres reacciones simultáneas: combustión del material de carbono alimentado al reactor, captura "in situ" del CO₂ generado durante la combustión y captura "in situ" del SO₂ generado durante la combustión. Las dos últimas reacciones son posibles gracias a que el reactor se alimenta de forma continua con una corriente de CaO, obtenida por combustión de carbón en condiciones de oxi-combustión. Por tanto, este procedimiento presenta la desventaja de que requiere una planta de separación de aire para producir O₂. El combustible de la invención es preferiblemente coque de petróleo o cualquier otro combustible sólido de bajo contenido en cenizas, para evitar problemas con las altas temperaturas de regeneración (>1.000°C) en el lecho fluidizado a presión. Esta patente describe sistemas de combustión a alta presión debido al hecho de que que son los únicos en los que es posible combinar altas velocidades de combustión de combustibles sólidos con poca reactividad, como coque de petróleo, y altas eficacias de carbonatación y de retención de sulfatación.

Abanades y col., (Abanades, J. C.; y col. Fluidized Bed Combustion Systems Integrating CO₂ Capture with CaO.

Environ. Sci. Tech. 2005, 39(8), 2861; y Abanades, J.C., y col. In-situ capture of CO₂ in a fluidized bed combustor. 17th Int. Conf. on Fluidized Bed Combustion, FL-USA, ASME. Mayo 2003. Paper 10) describen un procedimiento similar al de la solicitud WO 2004/097297, pero a presión atmosférica y solo válido para combustibles de alta reactividad y muy bajo contenido en azufre como la biomasa. El procedimiento consiste en la combustión de biomasa y la captura simultánea "in situ" del CO₂ para capturar el CO₂ formado por carbonatación trabajando entorno a 700°C. Sin embargo, no se ha podido demostrar la viabilidad del procedimiento (C. Salvador, y col. Capture of CO₂ with CaO in a pilot fluidized bed carbonator. Experimental results and reactor model. 7th Congress on Greenhouse Gas Control Technologies-GHGT-7; Vancouver, Canada; Sep. 2004) principalmente por llevarse a cabo en lecho fluidizado burbujeante, con una gran segregación en el lecho de la reacción de combustión que impide el necesario contacto entre el CO₂ y las partículas absorbentes de CaO.

El documento "Calcium looping activities at IVD" 4th International workshop on in situ CO₂ removal (7-8 mayo2008), páginas 1-40 describe una planta piloto de captura de CO₂ a partir de gas de combustión.

El documento Hughes y col., " Design, process simulation and construction of an atmospheric dual fluidized bed combustion system for in situ CO₂ capture using high temperature sorbents" Fuel Processing Technology, Elsevier, vol. 86, n.º 14-15, 1 octubre de 2005, páginas 1523-1531, da a conocer un dispositivo para combustión de biomasa y captura de CO₂ generado en dicha combustión.

La solicitud de patente DE102007015082 describe el procedimiento y dispositivo para la separación de dióxido de carbono a partir de gas de escape de una planta que quema combustibles, tales como gas natural, petróleo, carbón y biomasa con yeso quemado, comprende llevar a cabo la calcinación de caliza a través de calor que se conduce en un intercambiador de calor de alta temperatura a partir del mismo procedimiento o a través de calor residual que se conduce en un procedimiento a alta temperatura. El calor liberado durante la adsorción se usa nuevamente en el mismo procedimiento o se devuelve en el procedimiento. La separación y la calcinación se llevan a cabo en dos capas de turbulencia convergentes. El procedimiento y dispositivo para la separación de dióxido de carbono a partir de gas de escape de una planta que quema combustibles, tales como gas natural, petróleo, carbón, biomasa con yeso quemado, comprende llevar a cabo la calcinación de caliza a través de calor que se conduce en un intercambiador de calor de alta temperatura a partir del mismo procedimiento o a través de calor residual que se conduce en un procedimiento a alta temperatura. El calor liberado durante la adsorción se usa nuevamente en el mismo procedimiento o se devuelve en el procedimiento. La separación y la calcinación se llevan a cabo en dos capas de turbulencia convergentes mediante las que el flujo de los materiales del lecho invierte una de las capas de turbulencia y el aflujo de los materiales del lecho invierte la otra capa de turbulencia. La calcinación se lleva a cabo en un intercambiador de calor de alta temperatura en corriente flotante, mientras que la adsorción de dióxido de carbono tiene lugar a través de la capa de turbulencia en la corriente de gas de combustión en una zona de temperatura adecuada entre las superficies de convección de calor del generador de vapor.

Por tanto, y a la vista de todo lo expuesto, sigue existiendo la necesidad en el estado de la técnica de proporcionar un procedimiento y un dispositivo alternativos para la combustión y carbonatación "in situ" que supere al menos en parte los problemas del estado de la técnica mencionados, y sea más eficaz desde un punto de vista energético y económico, y por ello sea interesante para su escalado a nivel industrial.

Sumario de la invención

La presente invención se define por las reivindicaciones adjuntas. De esta manera, la invención se refiere a:

1. Dispositivo adecuado para combustión de biomasa y captura simultánea del CO₂ generado en dicha combustión, que comprende:
 - (i) un combustor-carbonatador (a) de lecho fluidizado circulante adecuado para resistir temperaturas de entre 550 y 700 °C y que tiene una entrada para biomasa (1) y aire (2) y una salida para una primera corriente (3) de sólidos y gases;
 - (ii) un primer de ciclón (b) de reciclo conectado a la salida del combustor-carbonatador para separar la primera corriente (3) de sólidos y gases en una primera corriente de sólidos (5) para reciclarse al combustor-carbonatador y una segunda corriente (4) de sólidos y gases;
 - (iii) un segundo ciclón (c), para recibir la segunda corriente (4) de sólidos y gases a partir del primer ciclón (b) y separar esta segunda corriente en una segunda corriente de sólidos (7) y una corriente de gas (6);
 - (iv) un calcinador (B) para recibir la segunda corriente de sólidos (7) a partir del segundo ciclón (c) y calcinar esta corriente, un separador para recibir la corriente calcinada (8) a partir del calcinador y separar esta corriente en una tercera corriente de sólidos (10) y una corriente de CO₂ (9);
 - (v) un lecho fluidizado (d) para recibir la tercera corriente de sólidos (10), siendo adecuado el lecho fluidizado (d) para fluidizarse con vapor o CO₂ (13) y estando provisto de medios para separar una cuarta corriente de sólidos (14) para reciclarse al combustor-carbonatador;

(vi) con medios para purgar una quinta corriente de sólidos (11) del lecho fluidizado (d), y medios para alimentar caliza fresca (12) al lecho fluidizado (d).

2. Procedimiento para la combustión de biomasa y captura simultánea del CO₂ generado en dicha combustión, que comprende las etapas de:

- 5
- alimentar biomasa y aire a un combustor-carbonatador de lecho fluidizado circulante y efectuar en el mismo la combustión de biomasa y carbonatación simultánea de CaO para generar CaCO₃ a una temperatura comprendida entre 550 y 700 °C,
- 10
- separar una primera corriente (3) de sólidos y gases del combustor-carbonatador en un primer ciclón (b) en una primera corriente de sólidos (5) y una segunda corriente (4) de sólidos y gases y reciclar la primera corriente de sólidos al combustor-carbonatador;
- separar la segunda corriente de sólidos y gases en un segundo ciclón (c), en una segunda corriente de sólidos (7) y una corriente de gas (6) y conducir la segunda corriente de sólidos a un calcinador (B);
- 15
- calcinar continuamente el CaCO₃ contenido en la segunda corriente de sólidos y separar el CO₂ resultante que contiene la corriente del calcinador en una corriente de CO₂ (9) y una tercera corriente de sólidos (10);
- llevar la tercera corriente de sólidos a un lecho fluidizado (d) que se fluidiza con vapor o CO₂ (13)
 - alimentar continuamente caliza fresca (12) al lecho fluidizado (d),
 - purgar continuamente una quinta corriente de sólidos (11) del lecho fluidizado (d); y
- 20
- retirar una cuarta corriente de sólidos (14) del lecho fluidizado y alimentar esta corriente al combustor-carbonatador (a), caracterizado porque esta cuarta corriente de sólidos está comprendida entre 5 y 20 veces el flujo molar de carbono alimentado con la biomasa y el combustor-carbonatador que contiene por cada m² de su sección transversal una cantidad de CaO en forma particulada de al menos 500 Kg, permaneciendo estable dicha cantidad en el lecho.
- 25
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, que comprende adicionalmente recuperar calor a partir de una o más de las siguientes corrientes que resultan del procedimiento:
- a partir de la tercera corriente de sólidos (10) que se recibe en el lecho fluidizado (d) que se fluidiza con vapor o CO₂ (13);
 - a partir de la corriente de gases (6) del ciclón secundario (c),
 - a partir de la quinta corriente de sólidos (11);
- 30
- a partir de la primera corriente de sólidos (5) reciclada al combustor-carbonator.

Breve descripción de las figuras

Figura 1: muestra un diagrama del dispositivo de combustión-carbonatación de la invención y un diagrama de flujo del procedimiento de la invención.

35 **Figura 2:** muestra una gráfica en la que se representan las eficacias experimentales de captura de CO₂ obtenidas en el dispositivo de combustión-carbonatación de la invención a distintos tiempos junto con las máximas eficacias permitidas por el equilibrio en las condiciones presentes en el dispositivo en esos mismos tiempos.

Descripción de la invención

40 En un primer aspecto, la invención se refiere a un nuevo dispositivo, en adelante dispositivo de la invención, para la combustión de biomasa y captura simultánea del CO₂ para capturar el CO₂ generado en dicha combustión, que comprende:

(i) un combustor-carbonatador (a) de lecho fluidizado circulante que se alimenta con biomasa (1) y aire (2), emite una corriente de sólidos y gases (3), opera a una temperatura de entre 550 y 700 °C, y comprende una cantidad de CaO de al menos 500 kg de CaO/m².

45 En el contexto de la invención la expresión "una cantidad de CaO de al menos 500 kg de CaO/m²" se refiere a una cantidad de CaO de al menos 500 kg por cada m² de sección transversal del reactor de combustión-carbonatación.

En una realización preferente del dispositivo de la invención el combustor-carbonatador (a) opera a una temperatura comprendida entre 600 y 650 °C. La cantidad de al menos 500 kg de CaO/m² de CaO en el lecho del combustor-carbonatador es importante para que tengan lugar de forma simultánea las reacciones de combustión de biomasa y

carbonatación del CaO.

En otra realización preferente la cantidad de CaO en el combustor-carbonatador está comprendida entre 1000-2000 kg de CaO/m².

5 La cantidad de CaO debe permanecer estable en el lecho. La estabilidad debe conseguirse mediante el aporte de las corrientes (5) y (14) al combustor-carbonatador. El aporte mínimo de sólidos al combustor-carbonatador lo constituye la corriente (14). Este aporte de CaO desde el calcinador B es el necesario para obtener altas eficacias (por ejemplo, superiores al 70 %) en la captura de CO₂ mediante la reacción de carbonatación. Dicho aporte ha sido determinado experimentalmente por los inventores y está comprendido entre 5 y 20 veces el flujo molar de carbono alimentado con la biomasa al combustor-carbonatador. Además, el CaO del combustor-carbonatador se renueva de forma continua en el dispositivo de la invención mediante la alimentación continua de CaCO₃ en forma de caliza fresca (12) y la purga continua de sólidos (11).

En una realización particular, el dispositivo de la invención comprende, además del combustor-carbonatador (a) los siguientes elementos (Figura 1):

- 15 (ii) un primer ciclón (b) de reciclo de sólidos, al que llega la corriente (3), que separa sólidos (5) que entran en el combustor-carbonatador, y del que sale una corriente de sólidos y gases (4);
- (iii) un ciclón secundario (c) de reciclo de sólidos, al que llega la corriente (4), que separa sólidos (7) que entran en el calcinador (B) y del que sale una corriente de gas (6);
- (iv) un calcinador (B) del que sale una corriente (8) que se separa en CO₂ y sólidos (10);
- 20 (v) un lecho fluidizado (d) que se fluidiza con vapor o CO₂ (13) al que llegan los sólidos (10), y del que salen sólidos (14) que entran en el combustor-carbonatador; y
- (vi) medios para purgar sólidos (11) del lecho fluidizado (d), y medios para alimentar caliza fresca (12) al lecho fluidizado (d).

25 Mediante los ciclones primario y secundario se garantiza un doble reciclo de sólidos (5) y (14) al combustor-carbonatador (a) que garantiza inventarios de sólidos en el lecho de una cantidad de CaO de al menos 500 kg/m² en el reactor de combustión-carbonatación. El ciclón primario se diseña para operar con eficacias de separación de sólidos comprendidas entre el 70 y el 90 %, permitiendo la salida de una corriente (4) que comprende sólidos al ciclón secundario (c), el cual recibe los gases y sólidos que salen del ciclón primario y separa, por una parte una corriente de sólidos (7) parcialmente carbonatada que se destina al calcinador B, y por otra parte, una corriente de gas con un contenido reducido de CO₂ (6) con presiones parciales de CO₂ entre 0,005-0,035 atmósferas.

30 En el calcinador B se calcina continuamente el sólido (7) parcialmente carbonatado regenerando el CaO y generando una corriente pura o fácil de purificar de CO₂ (9) que se puede almacenar geológicamente de forma permanente. La calcinación es un proceso endotérmico y la energía necesaria para la reacción se puede obtener por ejemplo quemando una parte de un combustible, como biomasa, carbón etc., en presencia de oxígeno obtenido opcionalmente de una planta de separación de aire según se conoce del estado de la técnica.

35 El CaO se encuentra en forma particulada. La elección de la granulometría del CaO, el diseño de las interconexiones entre elementos del dispositivo de la invención desde el punto de vista de la transferencia de sólidos entre ellos, así como la separación de los sólidos de los gases que los arrastran se realiza mediante elementos y procedimientos del estado de la técnica relativos a sistemas fluidizados gas/sólido.

40 En lecho fluidizado burbujeante (d) que se fluidiza con vapor o CO₂ (13) permite por una parte recuperar calor de los sólidos (10) del segundo reciclo, y por otra parte, alimentar continuamente caliza fresca y purgar continuamente sólidos agotados con lo que la cantidad de CaO en el combustor-carbonatador se mantiene constante asegurando el eficaz funcionamiento del dispositivo de la invención. Estos sólidos agotados comprenden CaO, cenizas y sustancias inertes en el combustor-carbonatador y en el calcinador. El lecho fluidizado burbujeante (d) actúa como una válvula de sólidos que permite la recuperación de calor de la corriente de sólidos que entra en el combustor-carbonatador desde el calcinador.

45 El dispositivo de la invención comprende además del combustor-carbonatador (a):

- (ii) un ciclón (b) de reciclo de sólidos, al que llega la corriente (3), que separa los sólidos de los gases; y
- (iii) una válvula de sólidos que separa la corriente de sólidos que sale del ciclón en dos corrientes, de las cuales una se recircula al combustor-carbonatador y la otra se lleva al calcinador.

50 De este modo también es posible mantener un inventario de sólidos en el combustor-carbonatador por encima de 500 kg de CaO/m², a la vez que se mantiene una intensa circulación de sólidos con el calcinador.

La presente invención se refiere a un procedimiento para la combustión de biomasa y captura simultánea del CO₂ para

capturar el CO₂ generado en dicha combustión, que comprende una etapa de:

a) combustión de biomasa y carbonatación simultánea de CaO para generar CaCO₃ en un combustor-carbonatador de lecho fluidizado circulante que presenta una cantidad de CaO de al menos 500 kg de CaO/m² a una temperatura comprendida entre 550 y 700 °C.

5 Este procedimiento, en adelante procedimiento de la invención puede llevarse a cabo en un dispositivo como el de la presente invención.

En una realización preferente del procedimiento de la invención, la combustión y carbonatación tienen lugar en un combustor-carbonatador de lecho fluidizado circulante a una temperatura comprendida entre 600 y 650 °C.

10 Aunque las reacciones de combustión y carbonatación tengan lugar a temperaturas entre 550-700 °C, se prefiere el intervalo de entre 600-650 °C ya que se ha comprobado que así puede hacerse un uso más eficaz del calor generado en las reacciones de combustión y carbonatación manteniendo altas velocidades de reacción y eficacias de combustión. Los inventores han observado en ensayos realizados en un prototipo de lechos fluidizados circulantes interconectados, que el procedimiento de la invención llevado a cabo a estas temperaturas maximiza la captura de CO₂ en el combustor-carbonatador alcanzando eficacias de carbonatación superiores al 80 % y eficacias de combustión superiores al 95 %.

En la Figura 2 se presentan los resultados obtenidos en una realización particular del procedimiento y del dispositivo de la invención.

En una realización particular la combustión y carbonatación tienen lugar en un combustor-carbonatador de lecho fluidizado que presenta una cantidad de CaO comprendida entre 1000 y 2000 kg de CaO/m².

20 El procedimiento de la invención comprende las siguientes etapas:

- separar sólidos de la corriente de salida (3) del combustor-carbonatador (a) en un ciclón primario (b) reciclándolos (5) al combustor-carbonatador y separándolos de una corriente de salida (4);

- separar sólidos de la corriente de salida (4) del ciclón primario (b) en un ciclón secundario (c) conduciéndolos a un calcinador (B) y separándolos de una corriente de gas (6);

25 - calcinar continuamente el CaCO₃ para separar CO₂ (9) de una corriente de sólidos (10);

- llevar la corriente de sólidos (10) a un lecho fluidizado (d),

- alimentar continuamente caliza fresca (12) al lecho fluidizado (d),

- purgar continuamente sólidos (11) del lecho fluidizado (d) y

- alimentar una corriente (14) desde el lecho fluidizado (d) al combustor-carbonatador (a).

30 El procedimiento de la invención comprende además:

(ii) separar en un ciclón (b) de reciclado de sólidos, al que llega la corriente (3), los sólidos de los gases; y

(iii) separar mediante una válvula de sólidos la corriente de sólidos que sale del ciclón (b) en dos corrientes, de las cuales una se recicla al combustor-carbonatador y otra se lleva al calcinador-carbonatador.

35 El procedimiento de la invención comprende, además, recuperar calor liberado en las reacciones de combustión y carbonatación, a partir de una o más de las corrientes resultantes del procedimiento. En una realización particular el calor se recupera de una o más de las siguientes corrientes:

-a partir de la corriente de sólidos (10) en el lecho fluidizado (d) que se fluidiza con vapor o CO₂,

-a partir de la corriente de gases (6) del ciclón secundario (c),

-a partir de la corriente de sólidos purgada (11);

40 -a partir de la corriente (5) de retorno de sólidos al combustor-carbonatador.

El calor recuperado se utiliza en un ciclo de vapor para generar electricidad o vapor en un nuevo ciclo de vapor, o para integrarse como nueva fuente de calor en el ciclo de vapor de una central eléctrica existente de mayor tamaño. En este último caso, los gases calientes de combustión con bajo contenido en CO₂ (6) se pueden alimentar a los gases de combustión de una central termoeléctrica de carbón para recuperar el calor del mismo y diluir el contenido de carbono fósil en la corriente de gases de combustión de carbón.

Una de las ventajas adicionales del procedimiento de la invención, reside en que es un proceso que puede integrarse

como fuente de calor en una termoeléctrica, generando electricidad con emisiones negativas de CO₂, dado que el carbono captado de la atmósfera por la biomasa durante su crecimiento es capturado mediante este procedimiento, y puede ser almacenado en forma pura y permanente en el subsuelo.

5 A continuación se presentan un ejemplo ilustrativo de la invención que se expone para una mejor comprensión de la invención y en ningún caso debe considerarse como una limitación del ámbito de la misma.

Ejemplo

Ejemplo 1:

10 Para la puesta en práctica del procedimiento y el dispositivo de la invención se utilizó un prototipo que consistía en dos reactores con un diámetro de 100 mm y una altura de 3,2 m interconectados mediante ciclones, tuberías de descarga de sólidos (*standpipes*) y válvulas fluidizadas de sólidos (*loop seals*). Uno de los reactores se ha operado como combustor-carbonatador y el otro reactor como calcinador continuo para suministrar continuamente CaO calcinado al combustor-carbonatador.

La Figura 2 es una gráfica en la que se representan los resultados obtenidos, la eficacia de captura (%) en el reactor de combustión-carbonatación de este prototipo experimental de lechos fluidizados interconectados, frente al tiempo.

15 Se han realizado multitud de experimentos con dos tipos de biomasa (serrín y huesos machacados de oliva), distintas velocidades de alimentación de biomasa y de aire, y distintos caudales de circulación de sólidos (aproximadamente entre 0,5-5 kg/m²s). La línea (Equilibrio) de la Figura 2 indica la eficacia de captura de CO₂ máxima permitida por el equilibrio de CaO/CaCO₃ según la temperatura y composición gases de combustión individuales (no mostradas en aras de simplicidad). Los resultados que se muestran en la Figura 2 (Experimental) incluyen tres situaciones extremas:
20 estados del sistema con muy baja eficacia de captura de CO₂ por falta de material activo en el lecho, estado estable del sistema con una eficacia de captura intermedia y estados inestables con muy alta eficacia de captura de CO₂.

En la Figura 2 se muestra como entorno a las 15:10, la eficacia de captura desciende abruptamente debido a que se para la alimentación de sólidos del combustor-carbonatador para intentar medir la velocidad de circulación de dichos sólidos. Esto se traduce en una desaparición rápida de los sólidos en el combustor-carbonatador, que opera en esa
25 situación como un combustor de biomasa sin captura de CO₂. Cuando se restaura el caudal de aire a la válvula de sólidos (*loop seal*), la eficacia de captura aumenta hasta un valor de el 88 %. Esta eficacia corresponde a un lecho con suficientes partículas de CaO activas en su inventario, en este caso debido a la entrada rápida de CaO del calcinador cuando comienza la aireación de la válvula de sólidos. Estos sólidos se carbonatan y por tanto el lecho pierde progresivamente capacidad de absorción de CO₂. Solo la alimentación continua de sólidos desde el calcinador sostiene
30 eficacias de captura aproximadamente estables entre el 40-50 %. Finalmente entorno a las 15:40, se cargan 3,2 kg de sólidos parcialmente calcinados y la eficacia de captura se incrementa hasta valores entorno al 96,6 % a las 15:45, para descender a valores entorno al 76,6 % a las 15:50, debido nuevamente a la pérdida de material activo en el combustor-carbonatador.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo adecuado para combustión de biomasa y captura simultánea del CO₂ generado en dicha combustión, que comprende:
 - 5 (i) un combustor-carbonatador (a) de lecho fluidizado circulante adecuado para resistir temperaturas de entre 550 y 700 °C y que tiene una entrada para biomasa (1) y aire (2) y una salida para una primera corriente (3) de sólidos y gases;
 - (ii) un primer de ciclón (b) de reciclo conectado a la salida del combustor-carbonatador para separar la primera corriente (3) de sólidos y gases en una primera corriente de sólidos (5) para reciclarse al combustor-carbonatador y una segunda corriente (4) de sólidos y gases;
 - 10 (iii) un segundo ciclón (c), para recibir la segunda corriente (4) de sólidos y gases del primer ciclón (b) y separar esta segunda corriente en una segunda corriente de sólidos (7) y una corriente de gas (6);
 - (iv) un calcinador (B) para recibir la segunda corriente de sólidos (7) del segundo ciclón (c) y calcinar esta corriente, un separador para recibir la corriente calcinada (8) a partir del calcinador y separar esta corriente en una tercera corriente de sólidos (10) y una corriente de CO₂ (9);
 - 15 (v) un lecho fluidizado (d) para recibir la tercera corriente de sólidos (10), siendo adecuado el lecho fluidizado (d) para fluidizarse con vapor o CO₂ (13) y estando provisto de medios para separar una cuarta corriente de sólidos (14) para reciclarse al combustor-carbonatador;
 - (vi) con medios para purgar una quinta corriente de sólidos (11) del lecho fluidizado (d), y medios para alimentar caliza fresca (12) al lecho fluidizado (d).
- 20 2. Procedimiento para la combustión de biomasa y captura simultánea del CO₂ generado en dicha combustión, que comprende las etapas de:
 - alimentar biomasa y aire a un combustor-carbonatador de lecho fluidizado circulante y efectuar en el mismo la combustión de biomasa y carbonatación simultánea de CaO para generar CaCO₃ a una temperatura comprendida entre 550 y 700 °C,
 - 25 - separar una primera corriente (3) de sólidos y gases del combustor-carbonatador en un primer ciclón (b) en una primera corriente de sólidos (5) y una segunda corriente (4) de sólidos y gases y reciclar la primera corriente de sólidos al combustor-carbonatador;
 - separar la segunda corriente de sólidos y gases en un segundo ciclón (c), en una segunda corriente de sólidos (7) y una corriente de gas (6) y conducir la segunda corriente de sólidos a un calcinador (B);
 - 30 - calcinar continuamente el CaCO₃ contenido en la segunda corriente de sólidos y separar el CO₂ resultante que contiene la corriente del calcinador en una corriente de CO₂ (9) y una tercera corriente de sólidos (10);
 - llevar la tercera corriente de sólidos a un lecho fluidizado (d) que se fluidiza con vapor o CO₂ (13)
 - alimentar continuamente caliza fresca (12) al lecho fluidizado (d),
 - 35 - purgar continuamente una quinta corriente de sólidos (11) del lecho fluidizado (d); y
 - retirar una cuarta corriente de sólidos (14) del lecho fluidizado y alimentar esta corriente al combustor-carbonatador (a), **caracterizado porque** esta cuarta corriente de sólidos está comprendida entre 5 y 20 veces el flujo molar de carbono alimentado con la biomasa y el combustor-carbonatador que contiene por cada m² de su sección transversal una cantidad de CaO en forma particulada de al menos 500 kg, permaneciendo estable dicha cantidad en el lecho.
 - 40
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, que comprende adicionalmente recuperar calor a partir de una o más de las siguientes corrientes que resultan del procedimiento:
 - a partir de la tercera corriente de sólidos (10) que se recibe en el lecho fluidizado (d) que se fluidiza con vapor o CO₂ (13);
 - 45 - a partir de la corriente de gases (6) del ciclón secundario (c),
 - a partir de la quinta corriente de sólidos (11);
 - a partir de la primera corriente de sólidos (5) reciclada al combustor-carbonator.

ES 2 539 661 T3

- a partir de la tercera corriente de sólidos (10) que se recibe en el lecho fluidizado (d) que se fluidiza con vapor o CO₂ (13);
- a partir de la corriente de gases (6) del ciclón secundario (c),
- a partir de la quinta corriente de sólidos (11);
- a partir de la primera corriente de sólidos (5) reciclada al combustor.

5

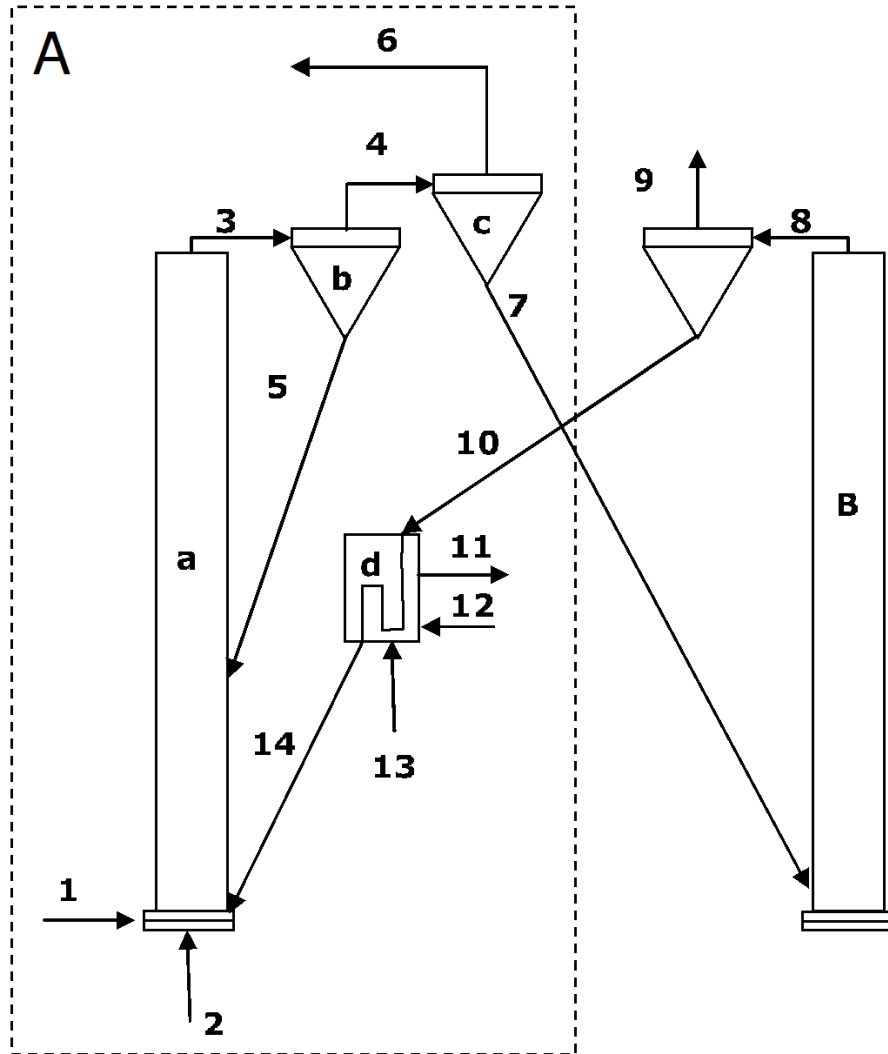


FIG. 1

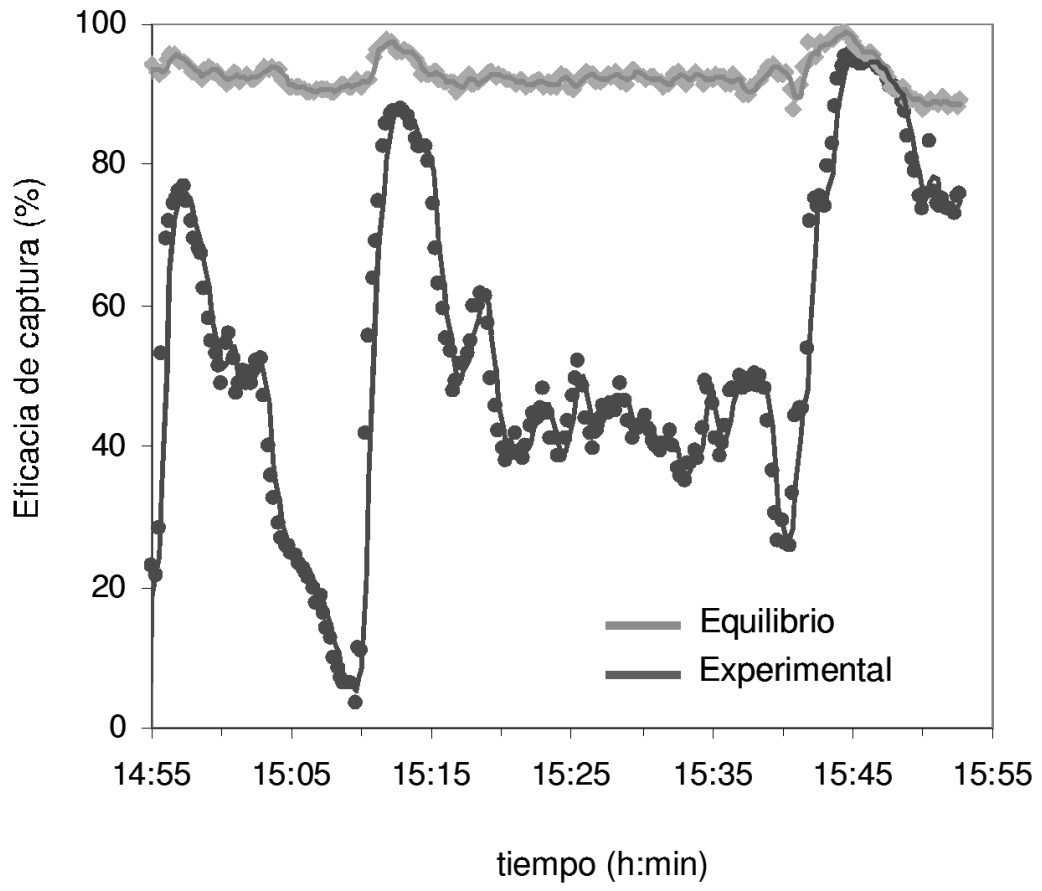


FIG. 2