

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 708 356**

51 Int. Cl.:

C10J 3/58	(2006.01)	C10J 3/72	(2006.01)
C10B 57/14	(2006.01)	B01J 23/755	(2006.01)
C10J 3/64	(2006.01)	C10K 3/00	(2006.01)
C10B 57/00	(2006.01)	C10K 3/02	(2006.01)
C10J 3/62	(2006.01)	C10K 3/04	(2006.01)
C10J 3/20	(2006.01)	C10B 47/06	(2006.01)
B01J 21/18	(2006.01)		
B01J 23/745	(2006.01)		
C10J 3/32	(2006.01)		
C10J 3/38	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.07.2011 PCT/AU2011/000936**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **02.02.2012 WO12012823**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.07.2011 E 11811636 (7)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.10.2018 EP 2598616**

54 Título: **Un método para gasificar material carbonáceo y un sistema de gasificación**

30 Prioridad:

06.12.2010 AU 2010905356
27.07.2010 AU 2010903348

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.04.2019

73 Titular/es:

CURTIN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (100.0%)
Hayman Road
Bentley, W.A. 6102, AU

72 Inventor/es:

LI, CHUN-ZHU;
WU, HONGWEI;
ASADULLAH, MOHAMMAD y
WANG, XIAOSHAN

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 708 356 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

Un método para gasificar material carbonáceo y un sistema de gasificación

Campo de la invención

La presente invención se refiere a un método para gasificar material carbonáceo y a un sistema de gasificación.

5 Antecedentes de la invención

La gasificación se refiere a la conversión de un material sólido o líquido tal como un material carbonáceo en un combustible gaseoso. La gasificación resulta interesante para muchas tecnologías de emisiones bajas en las industrias química y energética.

10 La gasificación de un material carbonáceo se puede dividir conceptualmente en dos pasos, aunque no es posible una distinción clara entre los dos pasos. A medida que el material carbonáceo (sólido) se calienta, se libera una mezcla de gas y vapor ("componentes volátiles"), que incluye la humedad del material carbonáceo, a partir del material carbonáceo, lo que deja un residuo sólido ("residuo carbonizado"). Tanto los componentes volátiles como el residuo carbonizado reaccionan posteriormente con agentes de gasificación tales como H₂O y O₂ para formar un gas producto.

15 Los combustibles carbonáceos de rango inferior tales como carbón pardo (lignito), turba, biomasa y residuos sólidos son particularmente adecuados para la gasificación debido a sus elevadas reactividades de gasificación. Sin embargo, estos combustibles de rango inferior tienen varias propiedades específicas, que se deben considerar en el diseño y el funcionamiento de un gasificador para gasificar estos combustibles de rango inferior.

20 En primer lugar, los combustibles de rango inferior generalmente tienen rendimientos de componentes volátiles elevados, por ejemplo, un 80% en peso o más (en seco) para algunos tipos de biomasa. El reformado completo de los componentes alquitranados de los componentes volátiles es una de las consideraciones más importantes en el diseño de un gasificador, porque la eliminación del alquitrán es engorrosa y costosa.

25 En segundo lugar, los combustibles de rango inferior a menudo contienen especies metálicas alcalinotérreas y alcalinas (AAEM) bien dispersadas que se pueden volatilizar fácilmente durante la pirólisis y la gasificación. Las especies AAEM volatilizadas en el gas producto de la gasificación pueden provocar la corrosión/erosión de componentes de turbina/motor. Las especies AAEM volatilizadas también pueden reaccionar con los materiales del lecho (por ejemplo, arena) en un gasificador de lecho fluidizado, lo que da como resultado la aglomeración y desfluidificación de los materiales del lecho. Por otra parte, si estas especies AAEM quedan retenidas en el residuo carbonizado, pueden ser catalizadores excelentes para la gasificación del residuo carbonizado.

30 En tercer lugar, el residuo carbonizado y los componentes volátiles de los combustibles de rango inferior son muy reactivos. La interacción entre el residuo carbonizado y los componentes volátiles pueden aumentar la volatilización de sus especies metálicas inherentes (por ejemplo, Na en el carbón pardo y K en la biomasa), desactivar la estructura del residuo carbonizado y, por tanto, reducir la reactividad del residuo carbonizado. En el peor caso, las interacciones componentes volátiles-residuo carbonizado pueden prácticamente poner fin a la gasificación del residuo carbonizado. En presencia de interacciones componentes volátiles-residuo carbonizado, el hecho de aumentar la temperatura de gasificación no siempre da lugar a una mejora significativa en las velocidades de gasificación. De hecho, las interacciones componentes volátiles-residuo carbonizado repercuten en prácticamente todos los aspectos de la gasificación.

40 El consumo de oxígeno es una consideración importante en el diseño y el funcionamiento de un gasificador para lograr una eficiencia elevada. En muchos gasificadores los componentes volátiles, al ser más reactivos que el residuo carbonizado, tienden a reaccionar preferentemente con O₂, lo que deja el residuo carbonizado menos reactivo para que se gasifique lentamente con vapor y otros agentes de gasificación. Una situación más deseable sería que el residuo carbonizado menos reactivo reaccionase con O₂, lo que permitiría que los volátiles más reactivos se reformasen con vapor y otros agentes de gasificación.

45 El gas producto sin procesar puede contener trazas de alquitrán, especies inorgánicas volatilizadas (por ejemplo, álcalis) y especies formadoras de contaminantes (por ejemplo, NH₃, HCN y H₂S). Normalmente es necesario limpiarlo antes de que se pueda utilizar, por ejemplo, como un combustible gaseoso en una turbina/motor o como una materia prima para la síntesis química. La eliminación de varios componentes no deseados tales como materiales alquitranados, vapor de AAEM, materiales particulados y H₂S/NH₃/HCl del gas producto de gasificación normalmente aumenta la complejidad del proceso de gasificación global y conforma una parte importante del capital de gasificación y los costes de funcionamiento globales. Cuando estas especies no deseadas se eliminan mediante depuración de líquidos (por ejemplo, agua), se genera una corriente de residuos líquidos que se puede tratar adicionalmente a un gran coste. Se pueden emplear varios catalizadores convencionales para el reformado del alquitrán. Sin embargo, estos catalizadores con frecuencia se desactivan fácilmente.

5 El documento DE 10 2007 062414 A1 divulga un recipiente de gasificación para la pirólisis, gasificación y reformado de material carbonáceo, donde el material sin procesar entra en el recipiente mediante una tolva a través de una tubería y experimenta una pirólisis (zonas A, B, C). Los sólidos resultantes se desplazan hacia abajo hacia las zonas D, E, F, donde se gasifican mediante la adición de oxígeno. Los gases producidos en la zona de pirólisis se desplazan hacia arriba dentro del reactor y terminan en francobordo por encima del lecho fijado, donde se mezclan con oxígeno y vapor para reformar el gas de pirólisis en la zona G. El gas de síntesis producido se transfiere posteriormente a una zona de limpieza del gas producto.

10 El documento US2007/169412A1 muestra un gasificador/pirolizador, donde el gas de síntesis caliente está atravesando una filtración de gas caliente y un reactor catalítico de lecho empacado o fluido antes de avanzar hacia una limpieza del gas final.

Existe, por tanto, una necesidad de avance tecnológico.

Compendio de la invención

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un método para gasificar un material carbonáceo de acuerdo con la reivindicación 1.

15 El hecho de hacer pasar componentes volátiles parcialmente reformados y/o gas producto a través de un lecho de catalizador da como resultado varios efectos que incluyen la eliminación de residuos de alquitrán y otras impurezas tales como contaminantes inorgánicos y el aumento del contenido de hidrógeno del gas producto llevando a cabo la reacción de desplazamiento de gas de agua, lo que produce así un gas producto limpio.

20 El lecho de catalizador puede comprender un lecho móvil de residuo carbonizado o un catalizador soportado en residuo carbonizado. El lecho móvil puede ser un lecho móvil no isotérmico de residuo carbonizado o un catalizador soportado en residuo carbonizado. Los catalizadores de residuo carbonizado o soportados en residuo carbonizado se pueden preparar a partir de la pirólisis y/o gasificación parcial del material carbonáceo (que incluye aquel cargado con especies catalíticas). En un ejemplo, el proceso comprende el paso de descargar catalizador de residuo carbonizado o soportado en residuo carbonizado consumido del lecho de catalizador y gasificar el catalizador de residuo carbonizado o soportado en residuo carbonizado consumido para recuperar sus valores de energía. Los catalizadores de residuo carbonizado o soportados en residuo carbonizado consumidos o parcialmente consumidos también se pueden devolver al campo como un acondicionador de suelos, una fuente de nutrientes y/o para biosecuestro de carbono.

En otra realización, el lecho de catalizador es uno de una serie de lechos catalizadores.

30 En una realización de la invención, el paso de pirolizar el material carbonáceo comprende pirolizar el material carbonáceo durante un periodo de tiempo que sea suficientemente prolongado para convertir sustancialmente todo el material carbonáceo en componentes volátiles y residuo carbonizado.

35 En una realización, el paso de pirolizar el material carbonáceo comprende calentar el material carbonáceo con una corriente de gas caliente a contracorriente. El gas caliente se puede producir a partir de la gasificación del residuo carbonizado. El material carbonáceo puede experimentar pirólisis y gasificación (parcial) simultáneas.

40 En una realización, el paso de gasificar el residuo carbonizado comprende hacer reaccionar el residuo carbonizado con un agente de gasificación. El paso de gasificar el residuo carbonizado puede comprender hacer reaccionar el residuo carbonizado con una cantidad controlada de un gas que contiene oxígeno. El paso de gasificación se puede llevar a cabo aislado del paso de reformado de los componentes volátiles para minimizar las interacciones componentes volátiles-residuo carbonizado.

De acuerdo con un aspecto adicional de la presente invención, se proporciona un método para tratar el gas producto sin procesar producido a partir de la gasificación de materiales carbonáceos de rango inferior, donde el gas producto sin procesar contiene componentes volátiles parcialmente reformados, residuos de alquitrán y contaminantes, comprendiendo el método hacer pasar el gas producto sin procesar a través de un lecho de catalizador.

45 En una realización, el método para tratar el gas producto sin procesar comprende hacer pasar el gas producto sin procesar a través de un lecho de catalizador que comprende un lecho móvil de catalizador de residuo carbonizado o soportado en residuo carbonizado. Los residuos de alquitrán y otras impurezas tales como contaminantes inorgánicos se eliminan del gas producto sin procesar. Además, el contenido de hidrógeno del gas producto tratado en comparación con el gas producto sin procesar se aumenta llevando a cabo una reacción de desplazamiento de gas de agua.

50 El método puede comprender el paso de secar el material carbonáceo antes de pirolizar el material carbonáceo. Para las realizaciones donde el método comprende el paso de secar el material carbonáceo, el vapor producido a partir del paso de secado se puede emplear en el paso de reformado de los componentes volátiles.

De acuerdo con un aspecto adicional de la presente invención, se proporciona un sistema de gasificación para gasificar un material carbonáceo de acuerdo con la reivindicación 10.

De este modo, el sistema de gasificación de la presente invención reduce y habitualmente minimiza las interacciones componentes volátiles-residuo carbonizado.

5 La zona de limpieza del gas producto comprende un lecho de catalizador. Se apreciará que el lecho de catalizador puede comprender más de un lecho de catalizador dispuestos en serie.

En varias realizaciones de la invención, el sistema de gasificación se puede proveer con una entrada para la introducción de material carbonáceo en la zona de pirólisis, y una o más entradas para la introducción de agentes de gasificación tales como vapor y un gas que contiene oxígeno, en la zona de gasificación de residuo carbonizado. El sistema de gasificación también se puede proveer con una salida para retirar gas producto del lecho de catalizador.

10 El sistema de gasificación comprende un recipiente de gasificación que tiene definido en él las zonas de reformado, gasificación de residuo carbonizado y pirólisis.

En una realización de la invención, la zona de gasificación de residuo carbonizado se dispone en una parte inferior del recipiente de gasificación. La zona de reformado se puede disponer en una parte superior del recipiente de gasificación.

15 En una realización, la zona de gasificación de residuo carbonizado se provee además de un dispositivo de descarga de cenizas tal como una tolva cerrada, conectada de forma operativa a una salida dispuesta en una parte inferior del recipiente de gasificación.

20 En una realización de la invención, la zona de pirólisis se configura para que retenga el material carbonáceo en la zona de pirólisis durante un tiempo de residencia de duración suficiente para convertir sustancialmente todo el material carbonáceo en componentes volátiles y residuo carbonizado.

La zona de pirólisis se puede proveer de un pirolizador adaptado para que retenga el material carbonáceo en la zona de pirólisis durante un tiempo de residencia de duración suficiente para convertir sustancialmente todo el material carbonáceo en componentes volátiles y residuo carbonizado.

25 En una realización, una parte del residuo carbonizado formado en la zona de pirólisis se separa del material carbonáceo restante como un catalizador de limpieza del gas y se dirige a la zona de limpieza del gas producto.

En una realización, el sistema de gasificación comprende un recipiente separado tal como un reactor de lecho móvil, para pirolizar y/o gasificar parcialmente un material carbonáceo con el fin de preparar catalizadores de residuo carbonizado o soportados en residuo carbonizado, estando el sistema dispuesto para permitir que el material carbonáceo pirolizado y/o parcialmente gasificado se descargue en la zona de limpieza del producto de modo que actúe como los catalizadores para la limpieza del gas producto. El material carbonáceo puede ser la materia prima principal para la gasificación.

30 La zona de limpieza del gas producto puede coincidir con la zona de gasificación del residuo carbonizado, que se puede configurar y hacer funcionar en condiciones por las cuales el residuo carbonizado puede experimentar gasificación parcial o completa.

35 Se proporciona un aparato no acorde con la invención para pirolizar y gasificar parcialmente materiales carbonáceos, comprendiendo el aparato:

40 al menos un elemento que tiene una superficie dispuesta de modo que, cuando el aparato reciba material carbonáceo, el material carbonáceo recibido esté en contacto con la superficie durante un periodo de tiempo de duración suficiente para pirolizar el material carbonáceo;

donde el aparato se dispone de modo que la superficie reciba calor para pirolizar y gasificar parcialmente el material carbonáceo.

En una realización, la superficie tiene una parte con pendiente descendente dispuesta de modo que contribuya a poner en contacto el material carbonáceo con la superficie durante el periodo de tiempo.

45 El aparato puede comprender una pluralidad de superficies, estando cada superficie dispuesta para recibir material carbonáceo de modo que el material carbonáceo recibido esté en contacto con la respectiva superficie durante un periodo de tiempo de duración suficiente para pirolizar el material carbonáceo, estando cada superficie dispuesta para recibir calor para pirolizar y gasificar parcialmente el material carbonáceo. La pluralidad de superficies puede encontrarse en una disposición en cascada y el aparato puede estar dispuesto de modo que el material carbonáceo se transfiera a superficies sucesivas de la disposición en cascada después de un periodo de tiempo de duración suficiente para pirolizar el material carbonáceo.

El aparato comprende un agitador asociado con al menos un elemento, estando el agitador dispuesto de modo que agite el material carbonáceo en contacto con la superficie para transferir el material carbonáceo a una región por debajo de la superficie.

- 5 Cuando el aparato comprende la pluralidad de superficies en la disposición en cascada, el agitador se puede disponer de modo que transfiera el material carbonáceo a una superficie sucesiva de la disposición en cascada.

El aparato comprende una pluralidad de agitadores, estando cada agitador asociado con un elemento respectivo que tiene una superficie respectiva, estando cada agitador dispuesto de modo que transfiera el material carbonáceo a una superficie sucesiva de la disposición en cascada o, en el caso de una última superficie de la disposición en cascada, a una región por debajo de la última superficie de la disposición en cascada.

- 10 La pluralidad de superficies se puede disponer en una disposición en cascada vertical y el aparato puede comprender un eje rotable que se extienda verticalmente a través de la pluralidad de superficies donde los agitadores asociados con las respectivas superficies se pueden hacer funcionar mediante rotación del eje rotatorio.

Cada superficie sucesiva de la disposición en cascada vertical puede tener una parte con pendiente descendente que se moldee de forma complementaria a la superficie por encima de ella.

- 15 Breve descripción de las figuras

A continuación, se describirán realizaciones de la presente invención, únicamente a modo de ejemplo, en referencia a las figuras adjuntas, en las que:

La Figura 1 es un diagrama esquemático de un método para gasificar un material carbonáceo de acuerdo con una realización de la presente invención.

- 20 La Figura 2 es un diagrama esquemático de un sistema de gasificación de acuerdo con una realización de la presente invención.

La Figura 3 es un diagrama esquemático de una realización de un aparato para pirolizar un material carbonáceo que se puede utilizar en el sistema de gasificación mostrado en la Figura 2; y

- 25 La Figura 4 es un diagrama esquemático de un sistema de gasificación para gasificar un material carbonáceo de modo que se produzca residuo carbonizado y gas producto de acuerdo con una realización de la presente invención.

Descripción detallada

Las realizaciones de la presente invención se refieren a un método 10 para gasificar un material carbonáceo, un sistema de gasificación 20, 40, y un aparato 30 para pirolizar material carbonáceo tal como se describe en referencia a las Figuras 1 a 4.

- 30 Se apreciará que el método 10 se puede llevar a cabo en un recipiente de gasificación que tenga definidas integralmente en él una zona de pirólisis para pirolizar material carbonáceo, una zona de gasificación de residuo carbonizado para gasificar el residuo carbonizado con vapor y un gas que contenga oxígeno, una zona de reformado para el reformado de componentes volátiles con vapor con el fin de producir un gas producto y una zona de limpieza de gas para limpiar el gas producto. Una realización del recipiente de gasificación de acuerdo con la presente invención se describirá con más detalle en páginas posteriores de la descripción.

- 35 En su forma más amplia, y tal como se muestra en la Figura 1, el método de gasificación 10 comprende los pasos de pirolizar 12 el material carbonáceo para producir componentes volátiles y residuo carbonizado, separar 14 el residuo carbonizado y los componentes volátiles, gasificar 16 el residuo carbonizado, reformar 18 los componentes volátiles para producir un gas producto y limpiar 19 el gas producto.

- 40 La expresión "material carbonáceo" se utiliza en el sentido más amplio a lo largo de toda esta memoria descriptiva e incluye, sin carácter limitante, carbón tal como antracita, carbón bituminoso, carbón sub-bituminoso, carbón pardo, lignito y turba, biomasa, goma de desecho que incluye, sin carácter limitante, neumáticos de vehículos, materiales plásticos de desecho, desecho agrícola, mezclas de estos y mezclas de dichos materiales carbonáceos con otras sustancias. El método y el sistema de las realizaciones de la presente invención descritos en referencia a las Figuras 45 1 a 4 son particularmente adecuados para su uso con un material carbonáceo de rango inferior que tenga rendimientos de materia volátil elevados y contenidos de humedad elevados. El sistema descrito en referencia a la Figura 4 es especialmente adecuado para su uso con biomasa que tenga rendimientos de materia volátil elevados y contenidos de humedad elevados.

- 50 En las realizaciones en las que el contenido de humedad del material carbonáceo es elevado tales como la biomasa, es preferible secar el material carbonáceo antes de pirolizar el material carbonáceo. Las ventajas de presecar el material carbonáceo son dobles. El presecado minimiza la aglomeración de partículas de material carbonáceo en las tolvas de almacenamiento y en los recipientes de gasificación.

Además, aunque es preferible que se introduzca de forma inherente una cierta cantidad de humedad en el recipiente de gasificación con el material carbonáceo, y posteriormente se convierta en vapor para su uso en la zona de reformado, un exceso de la cantidad de humedad aumentaría los requerimientos de energía dentro del recipiente de gasificación para convertir la humedad en vapor y daría como resultado eficiencias reducidas.

5 Por consiguiente, en una realización, el método 10 comprende un paso de secar el material carbonáceo antes de pirolizar el material carbonáceo.

En una forma de la invención, secar el material carbonáceo comprende poner en contacto el material carbonáceo con el gas producto del proceso en una disposición de intercambio de calor indirecto. El intercambio de calor indirecto con el gas producto se puede conseguir haciendo pasar el material carbonáceo a través de una secadora indirecta convencional tal como sabrán los expertos en la técnica. De esta forma, el calor sensible del gas producto se puede utilizar de forma eficiente en el método 10.

10 En una realización del método 10, la pirolización del material carbonáceo implica introducir un flujo continuo de material carbonáceo en una zona de pirólisis de un recipiente de gasificación. Con el fin de facilitar un flujo continuo de material carbonáceo en la zona de pirólisis y de minimizar la aglomeración de partículas, es preferible controlar el contenido de humedad del material carbonáceo, tal como se ha descrito anteriormente, y el tamaño de partícula del material carbonáceo.

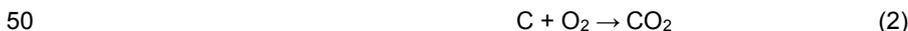
La pirolización del material carbonáceo comprende calentar el material carbonáceo, preferentemente calentando directamente el material carbonáceo con un gas caliente. El gas caliente se puede producir en la zona de gasificación de residuo carbonizado del recipiente de gasificación y se dirige en un intercambio de calor directo a contracorriente con el flujo continuo de material carbonáceo en la zona de pirólisis. La temperatura del gas caliente depende del tipo de material carbonáceo y puede estar en un intervalo de temperaturas de aproximadamente 900 °C a aproximadamente 1200 °C. El material carbonáceo puede experimentar pirólisis y gasificación parcial simultáneas a través de las reacciones con la corriente de gas caliente.

En una realización preferida, el flujo continuo de material carbonáceo desciende progresivamente a través de la zona de pirólisis durante un periodo de duración suficiente para garantizar una pirólisis sustancialmente completa del material carbonáceo a componentes volátiles y residuo carbonizado. En una realización, el flujo continuo de material carbonáceo desciende progresivamente a través de la zona de pirólisis por gravedad. En una realización alternativa, el flujo continuo de material carbonáceo desciende progresivamente a través de la zona de pirólisis mediante un medio de transferencia tal como un sinfín, un husillo, un lecho móvil o un medio de agitación asociado con un pirolizador tal como, por ejemplo, se describirá en referencia a la Figura 3.

Después de la pirólisis, los componentes volátiles ascienden a una zona de reformado del gasificador a la vez que el residuo carbonizado desciende a una zona de gasificación del gasificador. Ventajosamente, la pirólisis completa del material carbonáceo a componentes volátiles y residuo carbonizado permite la separación mejorada de los componentes volátiles y el residuo carbonizado a la zona de reformado y la zona de gasificación de residuo carbonizado, respectivamente, lo cual minimiza así las interacciones entre los componentes volátiles y el residuo carbonizado en la zona de gasificación de residuo carbonizado. En consecuencia, la ausencia sustancial de componentes volátiles en la zona de gasificación de residuo carbonizado facilita un aumento relativo en la velocidad de gasificación de residuo carbonizado, en comparación con procesos de la técnica anterior. En la ausencia sustancial de componentes volátiles, el oxígeno es consumido principalmente por el residuo carbonizado, lo que facilita la rápida gasificación del residuo carbonizado que es normalmente la etapa limitante de la velocidad. Por lo tanto, las realizaciones de la presente invención aumentan las velocidades de gasificación con cantidades mínimas de oxígeno para conseguir una eficiencia de gasificación elevada.

La gasificación del residuo carbonizado comprende introducir de agentes de gasificación tales como vapor y un gas que contiene oxígeno, en la zona de gasificación de residuo carbonizado y hacer reaccionar el residuo carbonizado con el vapor y el gas que contiene oxígeno.

En una realización de la invención, el gas que contiene oxígeno introducido en la zona de gasificación del residuo carbonizado puede comprender aire, oxígeno puro u oxígeno diluido. Las reacciones exotérmicas entre el oxígeno y el residuo carbonizado se pueden representar con reacciones simplificadas de la siguiente manera:



La reacción endotérmica entre el vapor y el residuo carbonizado se puede mostrar con una reacción simplificada:



La cantidad de gas que contiene oxígeno y/o vapor introducida en la zona de gasificación de residuo carbonizado se puede variar, respectivamente, para controlar la temperatura de funcionamiento de la zona de gasificación de residuo carbonizado.

La temperatura de funcionamiento requerida se puede determinar basándose en el balance de energía dentro del recipiente de gasificación entre varias zonas, que incluyen el lecho de catalizador para la limpieza del gas producto. Con el fin de conseguir una eficiencia de gasificación elevada, la velocidad de alimentación de oxígeno en la zona de gasificación de residuo carbonizado es preferentemente tan baja como sea práctico.

- 5 En una realización, el residuo carbonizado se consume sustancialmente en la zona de gasificación de residuo carbonizado, lo que da como resultado la producción de gas caliente y ceniza. La ceniza se puede descargar de la zona de gasificación de residuo carbonizado del recipiente de gasificación por medio de un dispositivo de descarga de ceniza tal como una tolva cerrada.

- 10 El gas caliente resultante de la gasificación de residuo carbonizado proporciona una fuente de calor para calentar y pirolizar material carbonáceo en la zona de pirólisis del recipiente de gasificación, para reformar componentes volátiles en la zona de reformado y para limpiar el gas producto en la zona de limpieza del gas.

Se apreciará que, en caso de un residuo carbonizado insuficiente para equilibrar la demanda de calor, incluido el modo “de arranque”, parte del gas producto producido en el método 10 podría ser reciclado y quemado en la zona de gasificación del residuo carbonizado o quemado en la zona de reformado.

- 15 El gas caliente fluye desde la zona de gasificación del residuo carbonizado hasta la zona de pirólisis y pasa en intercambio de calor directo a contracorriente con el material carbonáceo a medida que se mueve progresivamente a través de la zona de pirólisis y se piroliza. A medida que el gas caliente pasa a través de la zona de pirólisis, el gas caliente se mezcla con los componentes volátiles (que incluyen vapor) liberados a partir del material carbonáceo y fluye hacia la zona de reformado. De esta forma, el gas caliente contribuye a la separación de los componentes volátiles del residuo carbonizado producido en la zona de pirólisis.

- 20 El gas caliente también satisface las demandas energéticas de las reacciones de reformado de componentes volátiles endotérmicas en la zona de reformado. En la zona de reformado, los componentes volátiles y el vapor reaccionan endotérmicamente para producir un gas producto. En una realización, el reformado de componentes volátiles con vapor en la zona de reformado se lleva a cabo a una temperatura en un intervalo de aproximadamente 700 °C a aproximadamente 1000 °C. Ventajosamente, por lo tanto, parte del calor sensible del gas caliente producido en la zona de gasificación de residuo carbonizado se recupera como energía química en forma del gas producto.

- 30 Los agentes de gasificación en exceso en el gas caliente mencionado anteriormente entrarían en contacto y reaccionarían con la materia prima de pirolización, sus componentes volátiles y residuo carbonizado a medida que fluye hacia arriba.

El gas producto producido en la zona de reformado puede contener contaminantes orgánicos e inorgánicos. Los ejemplos de contaminantes incluyen, sin carácter limitante, residuos de alquitrán, NH₃, HCN, H₂S y especies de AAEM inorgánicas volatilizadas. Un gas producto que contiene contaminantes a menudo se denomina “gas producto sin procesar”.

- 35 El método 10 elimina convenientemente contaminantes orgánicos e inorgánicos del gas producto.

En una realización de la invención, el método 10 comprende además hacer pasar los componentes volátiles parcialmente reformados y/o el gas producto a través de un lecho de catalizador.

En una realización, el lecho de catalizador comprende un lecho móvil de catalizador no isotérmico. En otra realización, el lecho de catalizador es una pluralidad de lechos interconectados de forma fluida dispuestos en serie.

- 40 En una realización, el catalizador comprende un catalizador de metal de transición soportado sobre un sustrato de material carbonáceo. Este se puede producir a partir de la pirólisis y/o gasificación parcial del material carbonáceo que contiene o está impregnado con el metal. Como alternativa, el metal se puede cargar/impregnar en el residuo carbonizado siguiendo dichos métodos conocidos normalmente por los expertos en el campo. En una realización preferida, el catalizador comprende Fe y/o Ni soportados sobre residuo carbonizado. En otra realización, el catalizador puede ser el residuo carbonizado en sí. Ventajosamente, el residuo carbonizado producido a partir de la pirólisis de biomasa contiene abundantes especies catalíticas inherentes, particularmente especies AAEM, que están bien dispersadas en el interior del residuo carbonizado. Por consiguiente, el residuo carbonizado producido a partir de la pirólisis se puede utilizar para catalizar la descomposición de residuos de alquitrán en el gas producto. En los casos de catalizadores de residuo carbonizado o soportados en residuo carbonizado, los catalizadores se pueden producir a partir de la pirólisis de un material carbonáceo en un recipiente (por ejemplo, un lecho móvil) y posteriormente introducirse en la zona de limpieza de gas. El material carbonáceo puede ser la materia prima (por ejemplo, biomasa) a gasificar. En otra realización preferida, el catalizador comprende un núcleo de hierro (tratado tal como ilmenita).

- 55 El lecho de catalizador puede estar integrado con el recipiente de gasificación y en comunicación fluida con la zona de reformado. En ciertas realizaciones en las que el catalizador comprende un catalizador de residuo carbonizado o soportado en residuo carbonizado, el catalizador consumido puede descargarse en la zona de gasificación de

residuo carbonizado del recipiente de gasificación y posteriormente gasificarse. De esta forma, no se generan corrientes de desechos líquidos o sólidos adicionales a partir del tratamiento del gas producto tal como se ha descrito anteriormente.

5 El hecho de hacer pasar los componentes volátiles parcialmente reformados y/o el gas producto a través de un lecho de catalizador elimina de este los contaminantes inorgánicos. Los AAEM volatilizados condensan en la superficie del catalizador sólido a una temperatura apropiada y las partículas también son atrapadas por el lecho de catalizador. Otros contaminantes inorgánicos tales como NH_3 , H_2S y otros compuestos que contienen N, Cl o S se descomponen o adsorben mediante el contacto con el catalizador sólido. De esta forma, los contaminantes inorgánicos tales como AAEM son atrapados sobre el catalizador. Ventajosamente, los AAEM aumentan la reactividad del residuo carbonizado en la zona de gasificación del residuo carbonizado. Por consiguiente, el método 10 proporciona un medio por el cual los contaminantes inorgánicos de los componentes volátiles generados a partir de materiales carbonáceos de rango inferior se pueden utilizar de forma conveniente para aumentar la gasificación de residuo carbonizado. Los AAEM posteriormente se transforman en ceniza.

15 El hecho de hacer pasar los componentes volátiles parcialmente reformados y/o gas producto a través del lecho de catalizador también elimina contaminantes orgánicos tales como residuos de alquitrán, mediante reacciones de reformado catalizadas, por ejemplo, con vapor. Ventajosamente, esto recupera la energía térmica (calor sensible) en la energía química de los productos de reformado. Algunos residuos de alquitrán también se eliminan formando coque en la superficie del catalizador sólido. Además, el contenido de hidrógeno del gas producto se puede aumentar haciendo pasar el gas producto a través del lecho o los lechos de catalizador, porque al extremo de temperatura inferior del lecho de catalizador se favorece una reacción de desplazamiento de gas de agua ($\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$).

20 El paso de los componentes volátiles parcialmente reformados y/o gas producto a través del lecho de catalizador se puede llevar a cabo en un intervalo de temperatura de desde aproximadamente 1000 °C hasta aproximadamente 200 °C. Preferentemente, la temperatura del lecho de catalizador disminuye progresivamente hasta aproximadamente 200 °C en la dirección de flujo de gas.

A continuación, se describirán el sistema de gasificación 20 y un aparato 30 para pirolizar material carbonáceo para su uso en el sistema de gasificación 20 haciendo referencia a las Figuras 2 y 3.

30 El sistema de gasificación 20 comprende un recipiente de gasificación 21 que tiene cuatro zonas de reacción definidas íntegramente en él, concretamente una zona de pirólisis 22, una zona de gasificación de residuo carbonizado 23, una zona de reformado 25 y un lecho de catalizador 26. La zona de pirólisis 22 se encuentra en comunicación fluida con la zona de gasificación de residuo carbonizado 23 y la zona de reformado 25.

35 En general, el recipiente de gasificación 21 es un recipiente con orientación vertical que tiene un área transversal sustancialmente constante a lo largo de sustancialmente toda su longitud y/o a lo largo de una dirección de flujo de material y/o fluido. Donde supondría una ventaja variar el tiempo de residencia del material y/o fluido en el recipiente 21, y dependiendo de las características de composición del material carbonáceo, el área transversal del recipiente 21 se puede variar a lo largo de su longitud y/o a lo largo de la dirección de flujo de material y/o fluido. Preferentemente, el recipiente 21 posee un revestimiento refractario.

40 Una parte superior del recipiente de gasificación 21 está provisto de una entrada 28a para introducir un flujo continuo de material carbonáceo tal como biomasa mediante un alimentador 28. El alimentador 28 se encuentra en comunicación fluida con la entrada 28a del recipiente y preferentemente comprende un alimentador rotatorio para minimizar problemas de bloqueo. El alimentador 28 también comprende preferentemente un agitador asociado con una tolva para almacenar biomasa. El agitador se dispone de modo que minimice el potencial de obstrucción de biomasa en la tolva.

45 La zona de pirólisis 22 se provee de un aparato 30 (remítase a la Figura 3) para pirolizar material carbonáceo. Se puede emplear cualquier pirolizador adecuado tal como los conocidos por los expertos en la técnica. Los ejemplos ilustrativos de pirolizadores adecuados incluyen, sin carácter limitante, lechos móviles, pirolizadores de husillo/sinfín/caldera y una combinación de estos.

50 El aparato 30 se puede configurar para que facilite la transferencia del material carbonáceo progresivamente a través del pirolizador a la zona de gasificación de residuo carbonizado, por medio de gravedad o transferencia mecánica. Preferentemente, el aparato 30 está adaptado para retener el material carbonáceo en la zona de pirólisis durante un periodo de duración suficiente para convertir sustancialmente el material carbonáceo en residuo carbonizado y componentes volátiles.

55 En la realización mostrada en la Figura 2, la zona de pirólisis 22 se provee con el aparato 30 para calentar material carbonáceo con un gas calentado procedente de la zona de gasificación de residuo carbonizado 23 para producir componentes volátiles y residuo carbonizado. El aparato 30 se muestra en más detalle en la Figura 3.

En una forma preferida, el aparato 30 se espacia respecto a la zona de gasificación de residuo carbonizado 23 y la zona de reformado 25 para facilitar la separación eficaz del residuo carbonizado y los componentes volátiles resultantes producidos en el aparato 30.

5 El aparato 30 incluye tres pares de superficies cónicas 32, 34, 36. Se apreciará que el número de dichas superficies cónicas puede variar. Los pares de superficies cónicas 32, 34, 36 se espacian entre sí y se disponen en un alineamiento longitudinal espaciado a lo largo de la longitud de un eje rotable 31. Cada par de superficies cónicas 32, 34, 36 comprende una superficie cónica invertida superior 32a, 34a, 36a de una superficie cónica en posición vertical inferior enfrentada 32b, 34b, 36b.

10 Preferentemente, los pares de superficies cónicas 32, 34, 36 comprenden láminas de metal perforadas adecuadas para el paso de calor y, en particular, gas caliente a su través. Las láminas de metal también funcionan como conductores de calor eficaces para el calentamiento directo del material carbonáceo.

15 Las superficies cónicas en posición vertical inferiores 32b, 34b, 36b están provistas cada una de una abertura 32c, 34c, 36c, dispuesta de forma concéntrica respecto al eje 31. La finalidad de la abertura 32c, 34c, 36c es permitir el paso de material carbonáceo desde las superficies cónicas en posición vertical inferiores 32b, 34b, 36b hasta las superficies cónicas invertidas superiores 34a, 36a y la zona de gasificación de residuo carbonizado 23 dispuesta inmediatamente por debajo.

20 Además, el diámetro de la superficie cónica invertida superior 32a, 34a, 36a es menor que el diámetro de la superficie cónica en posición vertical inferior enfrentada 32b, 34b, 36b. De este modo, los materiales carbonáceos que se encuentran en la superficie cónica invertida superior 32a, 34a, 36a se pueden deslizar por fuera del borde de dicha superficie y caer en la superficie cónica en posición vertical inferior enfrentada 32b, 34b, 36b dispuesta inmediatamente por debajo.

25 El aparato 30 también incluye uno o más medios de agitación 32d, 34d, 36d asociados con cada par respectivo de superficies cónicas 32, 34, 36. Se apreciará que el número de medios de agitación no tiene que coincidir con el número de pares de superficies cónicas. Los medios de agitación 32d, 34d, 36d en esta realización particular son brazos rotatorios. Los brazos rotatorios se encuentran espaciados a una distancia corta (por ejemplo, 2-5 mm) por encima de las superficies cónicas invertidas superiores 32a, 34a, 36a y/o por encima de las superficies cónicas en posición vertical inferiores 32b, 34b, 36b. Los medios de agitación 32d, 34d, 36d se hacen funcionar mediante la rotación del eje rotable 31. La velocidad de rotación del eje 31 puede variar, dependiendo de las características del material carbonáceo, para controlar el tiempo de residencia de las partículas en la zona de pirólisis. En un ejemplo, 30 los brazos rotatorios rotan a una velocidad de 12 rpm.

35 La rotación del eje rotable 31 provoca que los medios de agitación 32d, 34d, 36d disturben las partículas de material carbonáceo que se encuentran en las superficies cónicas en posición vertical inferiores 32b, 34b, 36b y hace que pasen a través de las respectivas aberturas 32c, 34c, 36c a las superficies cónicas invertidas inmediatamente por debajo de ellas. De forma similar, la rotación del eje rotable 31 provoca que los medios de agitación 32d, 34d, 36d disturben las partículas de material carbonáceo que se encuentran en las superficies cónicas invertidas superiores 32a, 34a, 36a y provoca que se deslicen y caigan por el borde de dichas superficies y se recojan en la superficie cónica en posición vertical inferior enfrentada 32b, 34b, 36b inmediatamente por debajo de ellas.

40 La velocidad de rotación del eje se puede modificar para variar el tiempo de residencia del material carbonáceo que se encuentra en las superficies cónicas invertidas superiores 32a, 34a, 36a y en las superficies cónicas en posición vertical inferiores enfrentadas 32b, 34b, 36b. De esta manera, el tiempo de residencia del material carbonáceo en el aparato 30 se puede controlar con el fin de permitir un periodo suficiente para que el material carbonáceo se convierta sustancialmente en residuo carbonizado y componentes volátiles.

45 La pendiente de las superficies cónicas se puede variar para controlar el periodo de tiempo que las partículas de material carbonáceo residen en dichas superficies. Como alternativa, las superficies cónicas se pueden rotar respecto a los medios de agitación.

50 Otros métodos adecuados conocidos por los expertos en la técnica para controlar el tiempo de residencia del material carbonáceo en el aparato 30 con el fin de promover la pirólisis sustancialmente completa del material carbonáceo a residuo carbonizado y componentes volátiles también se pueden emplear en el proceso y aparato de la presente invención. Además de las reacciones de pirólisis, la materia prima también experimentaría algunos grados de gasificación dentro del aparato 30.

55 La zona de gasificación de residuo carbonizado 23 se dispone en una parte inferior del recipiente 21. La zona de gasificación de residuo carbonizado 23 se puede proveer de uno o más lechos fijos o lechos móviles con parrillas para soportar el residuo carbonizado sobre ellas a la vez que permiten que el gas que contiene oxígeno y el vapor pasen a través del lecho o de los lechos móviles y reaccionen con el residuo carbonizado. Como alternativa, la zona de gasificación de residuo carbonizado 23 se puede proveer de un lecho fluidizado que burbujee y un distribuidor de gas para suministrar el gas que contiene oxígeno y vapor.

- En la realización mostrada en la Figura 2, el residuo carbonizado se gasifica en un lecho fijo con forma cónica. El recipiente 21 se provee de una entrada de gas que contiene oxígeno 23a y una entrada de vapor 23b. Se prevé que se utilizaría generalmente aire para aplicaciones a pequeña escala tales como gasificación de biomasa y que se utilizaría oxígeno puro o diluido para aplicaciones a gran escala tales como gasificación de carbón, particularmente cuando se pretende capturar y almacenar dióxido de carbono o cuando el gas producto se utiliza para sintetizar productos químicos y combustibles líquidos.
- La zona de gasificación de residuo carbonizado 23 se provee además de un dispositivo de descarga de cenizas 24 tal como una tolva cerrada.
- La zona de reformado 25 se dispone en una parte superior del recipiente 21 y comprende un vacío definido por la parte superior del recipiente 21 en la que pueden tener lugar reacciones de reformado de gas entre los componentes volátiles y el vapor.
- La zona de reformado 25 se encuentra en comunicación fluida con un lecho de catalizador 26. Preferentemente, el lecho de catalizador 26 es un lecho móvil de catalizador sólido o una serie de lechos de catalizador. En una realización, la disposición del lecho móvil es tal que el catalizador consumido se descarga en el recipiente 21. Por consiguiente, el lecho de catalizador 26 se provee de un dispositivo de descarga de catalizador sólido 26a para reaprovisionar el lecho móvil con catalizador sólido a medida que el catalizador se descarga del lecho de catalizador 26. El lecho de catalizador 26 se provee de una salida 27 para retirar gas producto.
- El catalizador sólido en el lecho de catalizador puede adoptar varias formas. Los catalizadores de metales de transición soportados en residuo carbonizado (por ejemplo, Fe y/o Ni) son realizaciones preferidas, que se pueden producir pirolizando y gasificando parcialmente un material carbonáceo (por ejemplo, biomasa o carbón pardo) cargado con metales de transición (por ejemplo, Fe y/o Ni). El residuo carbonizado en sí, sin cargar metales, puede ser el catalizador. Como alternativa, también se puede utilizar ilmenita, un mineral de hierro, como el catalizador sólido.
- En la Figura 4 se muestra una realización de un sistema 40 para producir gas producto y residuo carbonizado a partir de un material carbonáceo, en particular, biomasa. El sistema 40 es para su uso con realizaciones del método 10 que comprenden el paso adicional de exponer el gas producto y/o los componentes volátiles parcialmente reformados al residuo carbonizado. El residuo carbonizado producido por el método 10 se puede utilizar como carbón activado o como enmienda del suelo y/o para secuestro de carbono.
- En este ejemplo, una materia prima de material carbonáceo con un contenido de humedad de hasta aproximadamente un 60% en un almacén 50 se introduce en una secadora 52 donde la humedad de la materia prima se reduce, preferentemente hasta un contenido de humedad inferior a aproximadamente un 20%. El calor producido a partir de otros pasos del proceso se puede utilizar como un medio de calentamiento para la secadora 52.
- La materia prima parcialmente secada se introduce después al pirolizador 54 donde la materia prima se calienta para producir residuo carbonizado y componentes volátiles. Los inventores han mostrado que la pirólisis de la materia prima secada a una temperatura moderada tal como de aproximadamente 450 °C a aproximadamente 550 °C, liberaría una parte sustancial de los componentes volátiles potenciales de la materia prima. Además, a temperaturas de pirólisis moderadas, las especies inorgánicas tales como especies AAEM, tienden a quedar retenidas en el residuo carbonizado. La retención de especies inorgánicas en el residuo carbonizado es particularmente beneficiosa porque aumenta la actividad catalítica del residuo carbonizado y facilita el reciclado de nutrientes inorgánicos de vuelta al suelo en casos en los que se puede utilizar biomasa como la materia prima y el residuo carbonizado resultante se utiliza como una enmienda del suelo.
- El pirolizador 54 se puede configurar para que facilite la transferencia del residuo carbonizado desde el pirolizador 54 a un reactor 60, por medio de transferencia mecánica o gravedad. Antes de transferir el residuo carbonizado al reactor 60, el residuo carbonizado se puede transferir y mantener temporalmente en una cámara de almacenamiento (no mostrada) que se encuentre en comunicación fluida con el reactor 60. La cámara de almacenamiento se puede proveer de un medio de control para controlar una tasa de flujo de residuo carbonizado al reactor 60.
- Después de la pirólisis, los componentes volátiles se dirigen a un reformador de gas 56. El reformador de gas 56 se calienta y una cantidad deseada de vapor generado en la secadora 52 se introduce junto con un gas que contiene oxígeno (O₂) tal como oxígeno o aire, en el reformador de gas 56 mediante las entradas respectivas 56a y 56b donde los componentes volátiles experimentan reacciones de reformado de gas para producir un gas producto sin procesar que comprende en gran medida CO y H₂.
- Una parte del gas producto sin procesar y/o el residuo carbonizado se puede dirigir, tal como se indica mediante las líneas discontinuas 54a y 56c a una cámara de combustión 58 para la combustión con el fin de producir un gas a temperatura elevada que se puede utilizar para calentar el reformador de gas 56 y el reactor 60.
- El gas producto sin procesar producido en el reformador de gas 56 se introduce en el reactor 60 que también contiene residuo carbonizado producido a partir del pirolizador 54. El reactor 60 se calienta hasta una temperatura

- de hasta aproximadamente 900 °C y el residuo carbonizado en él se comporta como un catalizador sólido para descomponer catalíticamente residuos de alquitrán contenidos en el gas producto sin procesar con el fin de formar CO, H₂ y otros gases combustibles. Algunos residuos de alquitrán también se eliminan mediante la formación de coque en la superficie del residuo carbonizado. Otros contaminantes inorgánicos también son eliminados del gas producto sin procesar por el residuo carbonizado. Por ejemplo, las especies AAEM y partículas inorgánicas liberadas también pueden ser atrapadas por el residuo carbonizado y otros contaminantes inorgánicos tales como NH₃, H₂S y otros compuestos que contienen N, Cl o S se descomponen o adsorben mediante contacto con el residuo carbonizado. De esta forma, los contaminantes inorgánicos tales como AAEM son capturados sobre el residuo carbonizado. Ventajosamente, las AAEM aumentan la reactividad del residuo carbonizado.
- 5 El gas producto sin procesar puede contener vapor en exceso y las condiciones de funcionamiento en el reactor 60 son tales que, a medida que el gas producto se pone en contacto con el residuo carbonizado en el reactor 60, el residuo carbonizado se puede gasificar parcialmente.
- 10 La gasificación parcial del residuo carbonizado en el reactor 60 se debería llevar a cabo preferentemente a una temperatura de aproximadamente 700 °C a aproximadamente 900 °C. Ventajosamente, estas temperaturas promueven la formación de sitios catalíticamente activos en el residuo carbonizado para la descomposición de residuos de alquitrán y la activación de carbono.
- 15 Después de la gasificación parcial, el residuo carbonizado consumido producido mediante el proceso de la presente invención tiene un área superficial elevada, habitualmente superior a aproximadamente 700 m² por gramo de residuo carbonizado. Algunos posibles contaminantes (por ejemplo, orgánicos) en el residuo carbonizado también se eliminan en el proceso de gasificación parcial. Cabe destacar, en este intervalo de temperaturas, que las especies AAEM inherentes en el residuo carbonizado se transforman en formas más lixiviables, que facilitan el reciclado de los nutrientes inorgánicos al campo.
- 20 El residuo carbonizado consumido descargado desde el reactor 60 se almacena en un contenedor 64. El residuo carbonizado consumido contiene abundantes especies AAEM y otros nutrientes inorgánicos, y se puede devolver fácilmente al suelo como una enmienda del suelo. El reciclado del residuo carbonizado de esta manera tiene dos ventajas importantes: (1) la devolución de nutrientes inorgánicos en el residuo carbonizado al campo y (2) el secuestro de carbono, lo que, por tanto, reduce las emisiones de carbono en relación con la generación de energía. Estos factores son importantes para el desarrollo sostenible de comunidades regionales y rurales a largo plazo.
- 25 Las cantidades relativas de residuo carbonizado y gas producto producidas mediante el método 40 (es decir, relación de residuo carbonizado a gas producto) se pueden variar. En una realización, el reactor 60 comprende una zona de gasificación parcial y una zona de gasificación completa. La zona de gasificación parcial del reactor 60 se hace funcionar en condiciones en las que el residuo carbonizado se gasifica parcialmente para producir gas producto y residuo carbonizado consumido, mientras que la zona de gasificación completa del reactor 60 se hace funcionar en condiciones en las que se gasifica residuo carbonizado para producir gas producto y ceniza. Cuando se requiere un volumen mayor de gas producto limpio, se puede transferir una proporción relativamente mayor de residuo carbonizado a la zona de gasificación completa del reactor 60. Como alternativa, cuando se requiere un volumen mayor de residuo carbonizado consumido, se puede transferir una proporción relativamente mayor de residuo carbonizado a la zona de gasificación parcial del reactor 60.
- 30 El sistema 20 o 40 se puede proveer de medios para estabilizar, mantener y/o variar la distribución de temperaturas dentro del recipiente de gasificación. Dichos medios pueden incluir controladores para controlar las tasas de alimentación de gas que contiene oxígeno y/o vapor. Por ejemplo, con el fin de elevar la temperatura en la zona de gasificación de residuo carbonizado, se puede proporcionar más gas que contiene oxígeno para promover las reacciones exotérmicas con residuo carbonizado en ella.
- 35 En algunas realizaciones, el sistema 20 o 40 comprende además una pluralidad de sensores y sondas de muestreo de gases y sólidos.
- 40 Tal como se ha descrito anteriormente en detalle, las realizaciones de la presente invención proporcionan un método de gasificación eficaz, especialmente para los materiales carbonáceos de rango inferior, para fabricar un gas producto de una calidad relativamente elevada para fines tales como generación de electricidad, producción de calor y síntesis química.
- 45 Las realizaciones de la presente invención también proporcionan catalizadores sólidos capaces de eliminar residuos de alquitrán, otros contaminantes y especies formadoras de contaminantes de la corriente de gas producto, así como capaces de aumentar el contenido de hidrógeno en el gas producto.
- 50 También se apreciará que el calor sensible del gas producto se puede utilizar eficazmente en un intercambio de calor indirecto con otras corrientes de procesos en la presente invención tales como vapor, antes de que dichas corrientes se introduzcan en la zona de gasificación de residuo carbonizado. Como alternativa, el calor sensible del gas producto se puede utilizar para secar el material carbonáceo antes de que experimente gasificación.
- 55

En algunas realizaciones, particularmente en el modo de arranque del método de gasificación 10, el gas producto se puede someter a combustión en la zona de gasificación de residuo carbonizado para elevar la temperatura de funcionamiento en ella y/o someter a combustión en la zona de reformado para elevar la temperatura en ella.

5 También se sobreentenderá que aunque la descripción anterior se refiere a secuencias específicas de pasos del método, las piezas de sistemas, aparatos y equipos y su configuración se proporcionan para fines ilustrativos únicamente y no se pretende que limiten el alcance de la presente invención de ningún modo.

10 Las realizaciones de la presente invención podrían mejorar la eficacia de gasificación. La tecnología se puede utilizar de forma adecuada en, por ejemplo, las industrias química y energética. En particular, los inventores proponen que las realizaciones de la presente invención son adecuadas para la generación de potencia distribuida utilizando biomasa de una distribución de tamaños de partícula relativamente amplia.

Ventajosamente, el método 10 integra la pirólisis, el reformado de componentes volátiles, la gasificación de residuo carbonizado y la limpieza del gas producto para proporcionar una configuración de gasificador compacto para una eficiencia y economía del proceso mejoradas.

15 Resultará evidente para un experto en la técnica relevante que algunas realizaciones de la presente invención pueden proporcionar ventajas sobre la técnica anterior, que incluyen, sin carácter limitante, las siguientes:

- proporcionar un proceso de gasificación, especialmente para gasificar materiales carbonáceos de rango inferior que se puede llevar a cabo en un único recipiente de gasificación que integra gasificación con limpieza de gas caliente;
- minimizar las interacciones entre los componentes volátiles y el residuo carbonizado durante la gasificación de residuo carbonizado, lo que da lugar a una velocidad mayor de gasificación de residuo carbonizado;
- minimizar el consumo de oxígeno directo por parte de los componentes volátiles y sus productos de reformado;
- promover la reacción directa de residuo carbonizado con oxígeno en la zona de gasificación de residuo carbonizado para generar el calor requerido para varias reacciones dentro del recipiente de gasificación, con lo cual se recupera la energía térmica de los productos de gasificación de residuo carbonizado en la forma de energía química en forma del gas producto;
- minimizar el consumo total de oxígeno para una eficiencia de gasificación maximizada;
- minimizar la cantidad de residuos de alquitrán en el gas producto, un problema que habitualmente surge en la gasificación de materiales carbonáceos de rango inferior, mediante el reformado de los residuos de alquitrán con un catalizador;
- minimizar la volatilización de especies inorgánicas, en particular AAEM, que son habituales en materiales carbonáceos de rango inferior;
- eliminar las AAEM volatilizadas y las impurezas formadoras de contaminantes tales como NH₃, HCN y H₂S con el catalizador;
- el catalizador consumido puede descargarse, como forma de eliminación, en la zona de gasificación de residuo carbonizado y gasificarse oxidativamente, con lo cual contribuye a la producción de energía térmica en el recipiente sin generar una corriente de desecho líquido o sólido adicional;
- el catalizador se puede utilizar para promover la reacción de desplazamiento de gas de agua, con lo cual aumenta el contenido de hidrógeno del gas producto final sin los problemas convencionales asociados con la desactivación, regeneración y eliminación del catalizador.

En la descripción de la invención, excepto donde el contexto requiera lo contrario debido a un lenguaje expreso o una implicación necesaria, los términos “comprender” o variaciones tales como “comprende” o “que comprende” se utilizan en un sentido inclusivo, es decir, para especificar la presencia de las características indicadas, pero no para excluir la presencia o adición de características adicionales en varias realizaciones de la invención.

45

REIVINDICACIONES

1. Un método para gasificar un material carbonáceo (10), comprendiendo el método los pasos de:
 pirolizar el material carbonáceo para producir componentes volátiles y residuo carbonizado (12);
 5 separar el residuo carbonizado y los componentes volátiles (14);
 gasificar el residuo carbonizado (16);
 reformar los componentes volátiles para producir un gas producto (18); y
 hacer pasar componentes volátiles parcialmente reformados y/o gas producto (19) a través de una zona de
 limpieza de gas producto;
 10 **caracterizado por que**
 al menos los pasos de pirolizar el material carbonáceo (12), gasificar el residuo carbonizado (16) y reformar
 los componentes volátiles para producir un gas producto (18) se llevan a cabo en un recipiente (21) que
 tiene una zona de pirólisis (22), una zona de gasificación de residuo carbonizado (23) y una zona de
 reformado (25),
 15 por el cual después de la pirólisis (12), los componentes volátiles ascienden a la zona de reformado (25) y
 el residuo carbonizado desciende a la zona de gasificación (23);
 por el cual la zona de limpieza de gas producto comprende al menos un lecho de catalizador (26); y
 por el cual la zona de limpieza de gas producto se encuentra en comunicación fluida con la zona de
 20 reformado (25) en una disposición por la cual los componentes volátiles parcialmente reformados y/o el gas
 producto pasan a través de la zona de limpieza de gas producto.
2. El método (10) de la reivindicación 1, donde el paso de pirolizar el material carbonáceo (12) se lleva a cabo
 utilizando un pirolizador adaptado para que retenga el material carbonáceo en la zona de pirólisis durante
 un tiempo de residencia de una duración suficiente para convertir sustancialmente todo el material
 carbonáceo en componentes volátiles y residuo carbonizado.
- 25 3. El método (10) de las reivindicaciones 1 o 2, donde el lecho de catalizador (26) comprende residuo
 carbonizado, un catalizador soportado en residuo carbonizado o ilmenita.
- 30 4. El método (10) de la reivindicación 3, donde, cuando el lecho de catalizador (26) comprende un catalizador
 de residuo carbonizado o soportado en residuo carbonizado, el catalizador de residuo carbonizado o
 soportado en residuo carbonizado se prepara a partir de la pirólisis y/o gasificación parcial del material
 carbonáceo.
- 35 5. El método (10) de la reivindicación 3 o la reivindicación 4, donde el método (10) comprende además
 descargar catalizador de residuo carbonizado o soportado en residuo carbonizado consumido desde el
 lecho de catalizador (26) y gasificar el catalizador de residuo carbonizado o soportado en residuo
 carbonizado consumido.
- 40 6. El método (10) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, donde los componentes volátiles parcialmente
 reformados y/o el gas producto pasan a través del lecho de catalizador para eliminar los contaminantes
 inorgánicos de este.
- 45 7. El método (10) de la reivindicación 6, donde los contaminantes inorgánicos comprenden especies o
 partículas metálicas alcalinas o alcalinotérreas volatilizadas.
8. El método (10) de la reivindicación 6, donde los contaminantes inorgánicos comprenden compuestos que
 contienen N, S o Cl.
9. El método (10) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, donde los componentes volátiles parcialmente
 reformados y/o el gas producto pasan a través del lecho de catalizador para eliminar contaminantes
 orgánicos de este mediante reacciones de reformado catalizadas, donde los contaminantes orgánicos
 comprenden residuos de alquitrán.
10. Un sistema de gasificación (20) para gasificar un material carbonáceo, comprendiendo el sistema de
 gasificación (20):

una zona de reformado (25) para el reformado de componentes volátiles con el fin de producir un gas producto;

una zona de gasificación de residuo carbonizado (23) para gasificar residuo carbonizado;

5 una zona de pirólisis (22) para pirolizar material carbonáceo que se dispone en posición intermedia respecto a la zona de reformado (25) y la zona de gasificación de residuo carbonizado (23), estando la zona de pirólisis (22) en comunicación fluida con la zona de reformado (25) y la zona de gasificación de residuo carbonizado (23) en una disposición mediante la cual los componentes volátiles y el residuo carbonizado formados en la zona de pirólisis (22) se separan y dirigen de modo que los componentes volátiles asciendan a la zona de reformado (25) y el residuo carbonizado descienda a la zona de gasificación de residuo carbonizado (23), respectivamente; y

10 una zona de limpieza de gas producto en comunicación fluida con la zona de reformado (25) en una disposición por la cual los componentes volátiles parcialmente reformados y/o el gas producto se hacen pasar a través de la zona de limpieza de gas producto;

caracterizado por que

15 el sistema de gasificación (20) comprende un recipiente (21) que tiene definido en él las zonas de reformado (25), gasificación de residuo carbonizado (23) y pirólisis (22); y

la zona de limpieza de gas producto comprende al menos un lecho de catalizador (26).

20 11. El sistema (20) de la reivindicación 10, donde la zona de pirólisis (22) comprende un pirolizador adaptado para que retenga el material carbonáceo en la zona de pirólisis durante un tiempo de residencia de duración suficiente para convertir sustancialmente todo el material carbonáceo en componentes volátiles y residuo carbonizado.

12. El sistema (20) de la reivindicación 10 o la reivindicación 11, donde una parte del residuo carbonizado formado en la zona de pirólisis (22) se separa del material carbonáceo restante como un catalizador de limpieza de gases y se dirige a la zona de limpieza de gas producto.

25

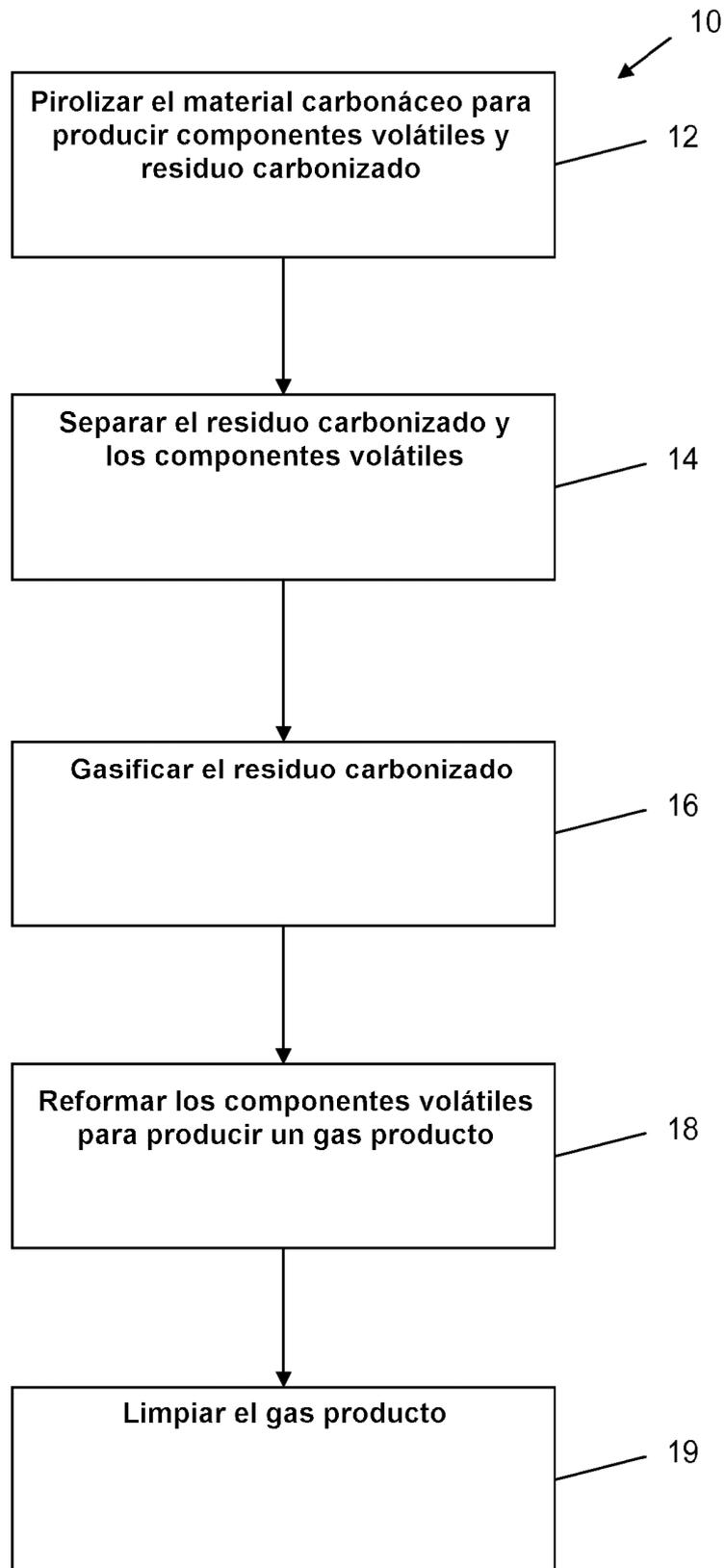


Figura 1

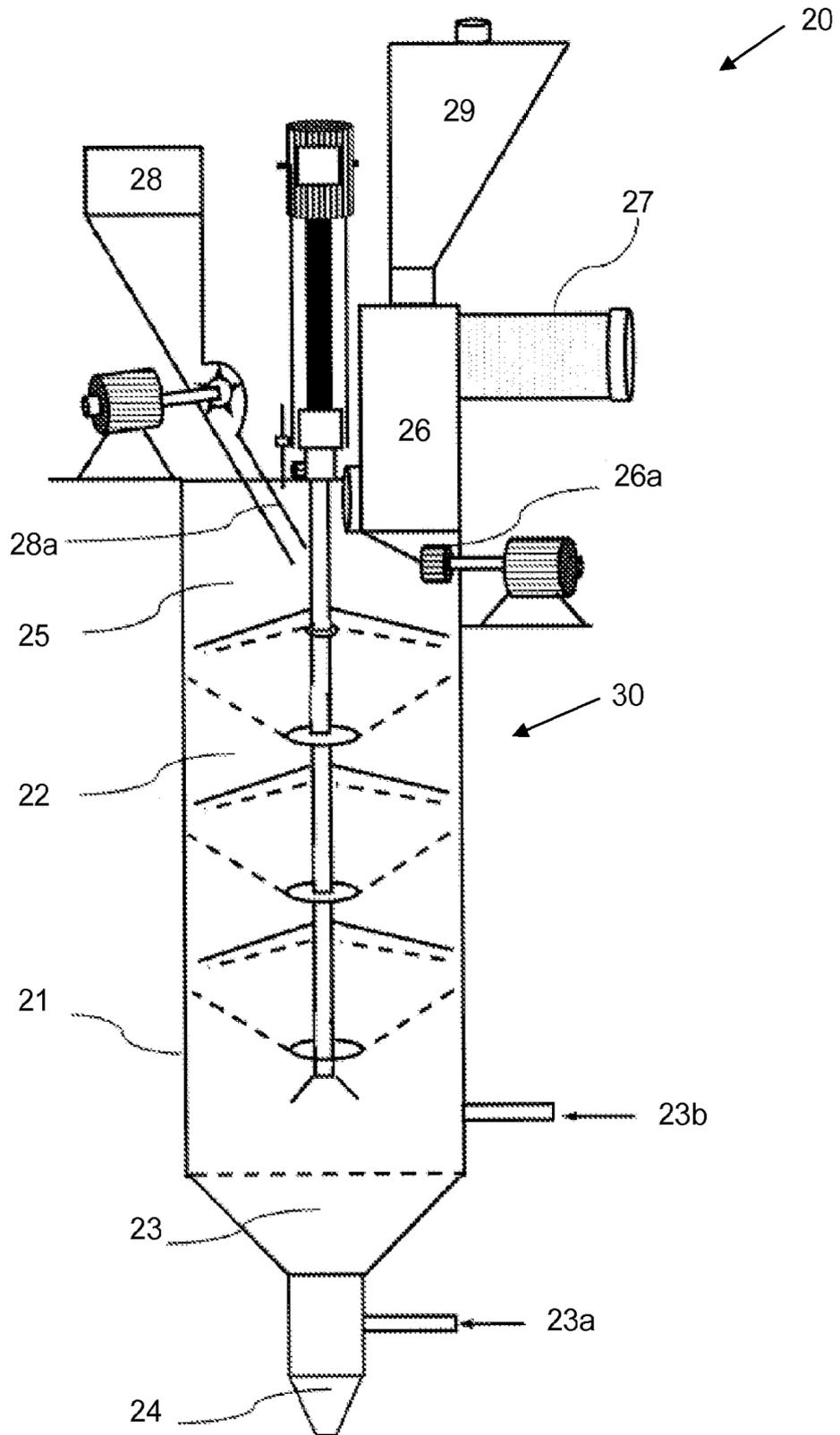


Figura 2

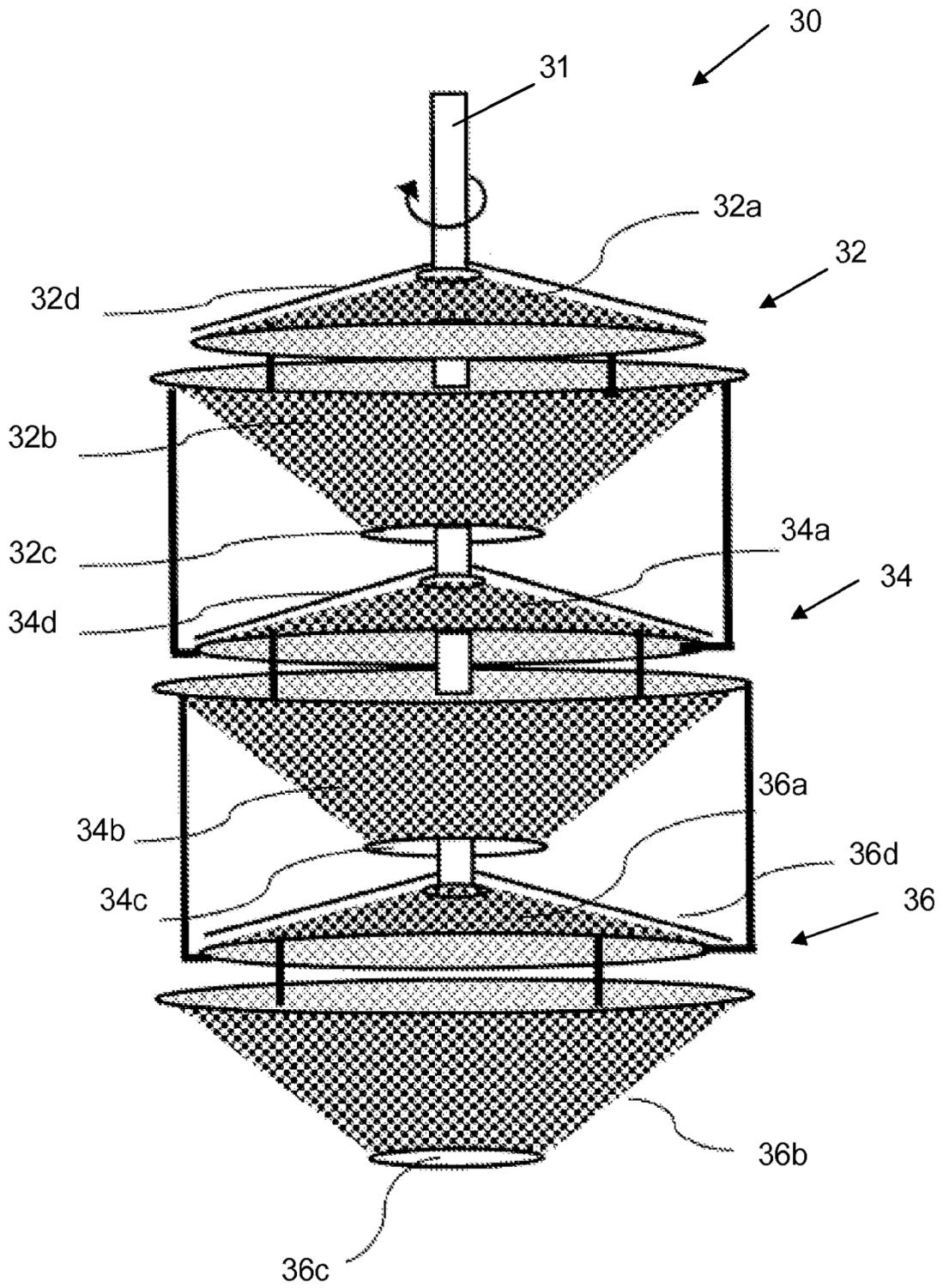


Figura 3

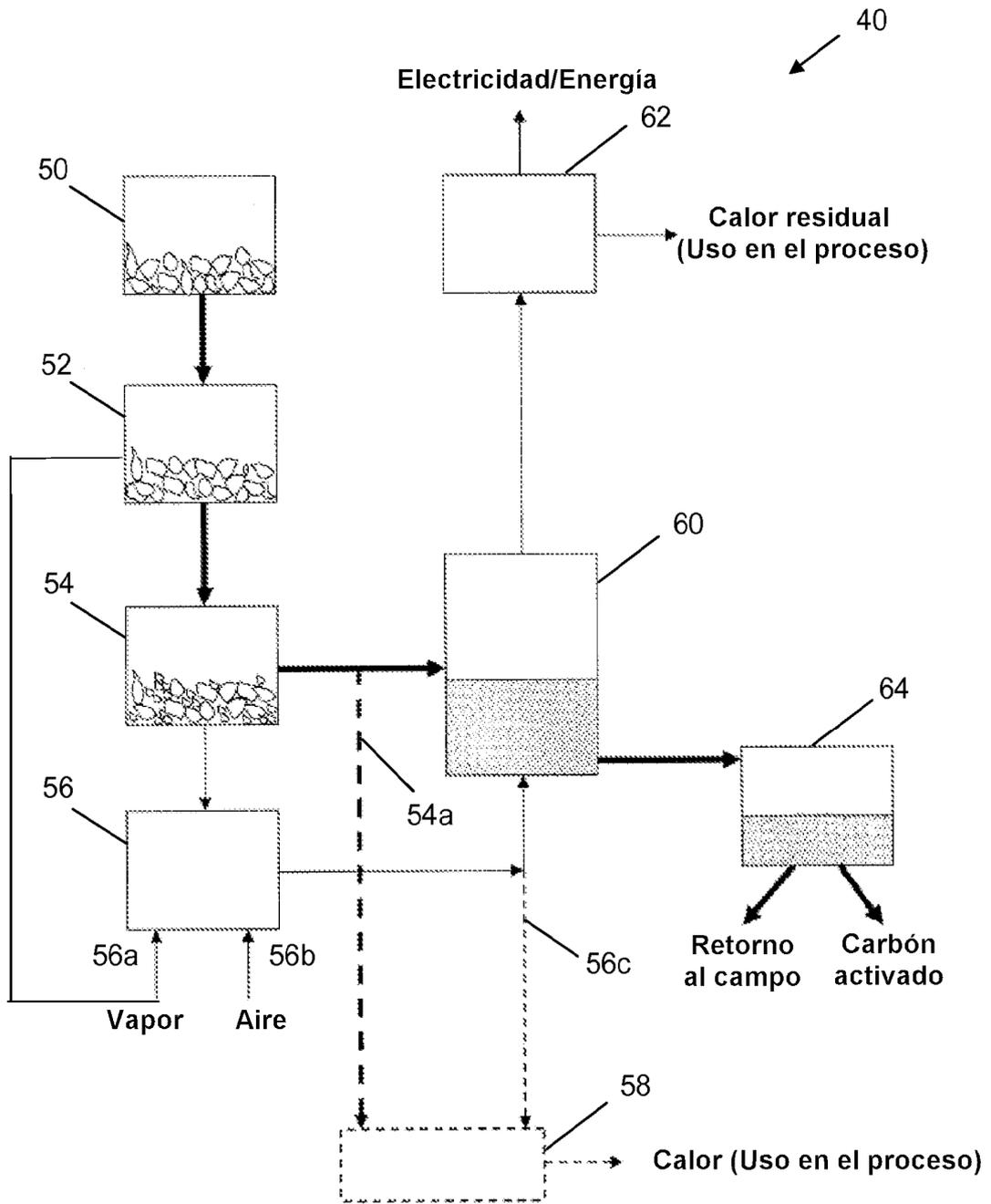


Figura 4