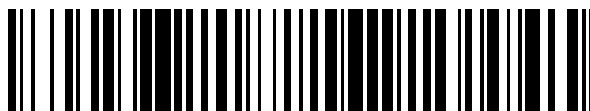


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 805 148**

51 Int. Cl.:

C10J 3/54 (2006.01)

C10J 3/56 (2006.01)

C10J 3/72 (2006.01)

C10J 3/84 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.03.2010 PCT/US2010/029217**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.10.2010 WO10120495**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.03.2010 E 10723431 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.06.2020 EP 2430127**

54 Título: **Sistema y proceso de gasificación de alimentación seca de dos etapas**

30 Prioridad:

01.04.2009 US 165784 P
26.03.2010 US 732290

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.02.2021

73 Titular/es:

LUMMUS TECHNOLOGY INC. (100.0%)
1515 Broad Street
Bloomfield, NJ 07003, US

72 Inventor/es:

JI, SHUNCHENG

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 805 148 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

Sistema y proceso de gasificación de alimentación seca de dos etapas

Campo de la descripción

5 La presente invención se refiere a un sistema y un proceso de gasificación para convertir una materia prima generalmente sólida, tal como un material carbonoso, en productos gaseosos deseables tales como gas de síntesis.

Antecedentes

10 Los procesos de gasificación se usan ampliamente para convertir materias primas sólidas o líquidas, tales como carbón, coque de petróleo y residuos de petróleo, en gas de síntesis (syngas). El gas de síntesis es una materia prima intermedia importante para la producción de productos químicos tales como hidrógeno, metanol, amoníaco, gas natural sintético o aceite de transporte sintético. El gas de síntesis puede usarse también para generar electricidad mediante un proceso conocido como Ciclo Combinado con Gasificación Integrada (IGCC).

15 La práctica común para los procesos de gasificación es poner en contacto una materia prima con oxígeno, directamente por encima de la temperatura de auto-ignición del combustible. El inconveniente de esta práctica es que una parte del calor de combustión se consume para calentar la materia prima y vaporizar la humedad transportada por la materia prima, siendo el resultado final una reducción en la eficiencia energética del proceso. Una menor eficiencia energética se traduce en un mayor consumo de materia prima y emisiones de gases invernadero. Por tanto, hay una necesidad de desarrollar un sistema de gasificación que supere el inconveniente anterior.

20 El documento US 4 069 024 A describe un sistema de gasificación de carbón de dos etapas en el cual gas de síntesis a alta temperatura producido en un gasificador de flujo descendente que contiene una alta cantidad de calor sensible se hace reaccionar posteriormente en un reactor pirolizador con una carga de material carbonoso y caliza, a una temperatura reducida, para utilizar el calor sensible contenido en el gas y producir simultáneamente un aumento en el contenido de hidrocarburo del mismo.

25 El documento W02008/138166 A1 describe un sistema de horno de generación de gas de carbón de lecho fluidizado circulante de carbón que comprende los siguientes equipos conectados sucesivamente: un horno de generación de gas de carbón, un separador de alta temperatura, un intercambiador de calor, un separador de baja temperatura y una caldera de calor residual.

Compendio

30 La presente descripción se refiere a un sistema y un proceso de gasificación de dos etapas de alimentación seca para gasificar materia prima, tal como materiales carbonosos, con una eficiencia energética mejorada junto con un menor consumo de materia prima y emisiones de CO₂.

35 Ciertas realizaciones describen un proceso para gasificar un material carbonoso que comprende las etapas de: (a) proporcionar un reactor de gasificación que comprende una sección superior del reactor y una sección inferior del reactor; (b) introducir una corriente de materia prima carbonosa sólida sustancialmente seca en la sección superior del reactor y hacerla reaccionar en su interior con un primer producto de mezcla de la sección inferior del reactor, formando de esta manera un segundo producto de mezcla, en donde el primer producto de mezcla comprende gas de síntesis y en donde el segundo producto de mezcla comprende un segundo producto sólido y un segundo producto gaseoso; (c) hacer pasar el segundo producto de mezcla a un primer dispositivo de separación, en donde el segundo producto sólido se separa del segundo producto gaseoso; (d) hacer pasar el segundo producto sólido separado a la sección inferior del reactor; (e) hacer pasar la corriente del segundo producto gaseoso que sale del primer dispositivo de separación a través de una unidad de recuperación de calor, reduciendo de esta manera la temperatura de la corriente del segundo producto gaseoso para proporcionar un segundo producto gaseoso enfriado y crear vapor; (f) hacer pasar el vapor producido en la etapa (e) a la sección inferior del reactor; (g) pulverizar una materia prima carbonosa sólida; (h) mezclar la materia prima carbonosa sólida pulverizada con el segundo producto gaseoso enfriado de la etapa (e) mediante una mezcladora sólido-gas para formar una mezcla sólido-gas caliente, en donde dicha mezcla sólido-gas caliente se mantiene a una temperatura en un intervalo de 148°C (300°F) a 537°C (1000°F); (i) separar la mezcla sólido-gas caliente en un segundo dispositivo de separación (150) para producir la materia prima carbonosa sólida sustancialmente seca de la etapa (b) y un segundo producto gaseoso separado; (j) hacer pasar el segundo producto gaseoso separado que sale del segundo dispositivo de separación a un dispositivo de filtración por partículas, en donde una corriente de sólidos residuales, finos y materiales en forma de partícula se elimina y se hace pasar a la sección superior del reactor; y (k) combinar una corriente de gas, la corriente del segundo producto sólido separado de la etapa (d) y el vapor producido en la unidad de recuperación de calor de la etapa (e) a la sección inferior del reactor y hacerlo reaccionar, desprendiéndose de esta manera calor y formándose el primer producto de mezcla que comprende gas de síntesis de la etapa (b), en donde la corriente de gas comprende un suministro de oxígeno seleccionado del grupo que consiste en un gas que contiene oxígeno, vapor y mezclas de los mismos.

55 La corriente de materia prima carbonosa sólida sustancialmente seca y los sólidos finos y materiales en forma de partículas residuales pueden introducirse en la sección superior del reactor mediante uno o más dispositivos de

alimentación. La corriente de gas, el segundo producto sólido que sale del primer dispositivo de separación, y el vapor producido de la unidad de recuperación de calor pueden introducirse en la sección inferior del reactor mediante uno o más dispositivos de dispersión. El material carbonoso se selecciona del grupo que consiste en carbón, lignito, coque de petróleo y mezclas de los mismos. El gas que contiene oxígeno puede seleccionarse de aire, aire enriquecido en oxígeno, oxígeno y mezclas de los mismos. La unidad de recuperación de calor puede seleccionarse del grupo que consiste en una caldera de tipo calor radiante, una caldera de tubo de agua, una caldera de tubo hervidor y combinaciones de las mismas. El primer y segundo dispositivos de separación pueden comprender cada uno un ciclón. La temperatura del segundo producto de mezcla que sale de la sección superior del gasificador puede ser entre aproximadamente 648°C (1200°F) y 1371°C (2500°F) antes de entrar en el primer dispositivo de separación, aunque preferiblemente es entre 815°C (1500°F) y 1093°C (2000°F). La mezcla sólido-gas caliente se mantiene preferiblemente a una temperatura en el intervalo de 260°C (500°F) a 426°C (800°F).

Ciertas realizaciones se refieren a un sistema para gasificar un material carbonoso que incluye: (a) una sección superior del reactor para hacer reaccionar una materia prima carbonosa sólida sustancialmente seca, una corriente de sólidos residuales reciclados, finos y materiales en forma de partículas, y un primer producto de mezcla desde una sección inferior del reactor para producir un segundo producto de mezcla, en donde el primer producto de mezcla comprende gas de síntesis, y el segundo producto de mezcla comprende una corriente del segundo producto sólido y una corriente del segundo producto gaseoso; (b) un primer dispositivo de separación para separar la corriente del segundo producto sólido de la corriente del segundo producto gaseoso, en donde la corriente del segundo producto sólido se introduce en la sección inferior del reactor; (c) una unidad de recuperación de calor para enfriar la temperatura de la corriente del segundo producto gaseoso para proporcionar un segundo producto gaseoso enfriado y producir vapor, en donde dicho vapor se hace pasar a la sección inferior del reactor; (d) una mezcladora sólido-gas (160) para mezclar una materia prima carbonosa sólida pulverizada con el segundo producto gaseoso enfriado de la parte (c) para formar una mezcla sólido-gas caliente, en donde la mezcladora (160) sólido-gas está configurada para mantener la mezcla sólido-gas caliente a una temperatura en el intervalo de 148°C (300°F) a 537°C (1000°F); (e) un segundo dispositivo de separación (150) para separar la mezcla sólido-gas caliente para producir la materia prima carbonosa sólida sustancialmente seca de la parte (a) y un segundo producto gaseoso separado; (f) un dispositivo de filtración de partículas para separar los sólidos residuales, finos y materiales en forma de partículas de la corriente del segundo producto gaseoso separado que sale del segundo dispositivo de separación, en donde los sólidos residuales separados, finos y materiales en forma de partículas se hacen pasar a la sección superior del reactor; (g) una sección inferior del reactor para hacer reaccionar una mezcla que comprende el segundo producto sólido separado que sale del primer dispositivo de separación, el vapor producido en la unidad de recuperación de calor y una corriente de gas, en donde dicha reacción produce calor y el primer producto de mezcla, en donde dicha corriente de gas comprende un suministro de oxígeno seleccionado del grupo que consiste en un gas que contiene oxígeno, vapor y mezclas de los mismos, y en donde el calor producido se recupera convirtiendo la corriente de materia prima sólida en el segundo producto de mezcla en la sección superior del reactor.

En ciertas realizaciones del sistema, la corriente del segundo producto sólido que sale del primer dispositivo de separación, el vapor que sale de la unidad de recuperación de calor y la corriente de gas de la parte (k) puede hacerse pasar a la sección inferior del reactor mediante uno o más dispositivos de dispersión. La materia prima carbonosa puede seleccionarse de carbón, lignito, coque de petróleo o mezclas de los mismos. El gas que contiene oxígeno puede ser aire, aire enriquecido en oxígeno, oxígeno o mezclas de los mismos. La unidad de recuperación de calor puede ser una caldera de tipo calor radiante, una caldera de tubo de agua, una caldera de tubo hervidor o combinaciones de las mismas. La temperatura del segundo producto de mezcla antes de entrar en el primer dispositivo de separación es entre 648°C (1200°F) y 1371°C (2500°F), aunque preferiblemente es entre 815°C (1500°F) y 1093°C (2000°F). La mezcla sólido-gas caliente se mantiene preferiblemente a una temperatura entre 260°C (500°F) y 426°C (800°F).

Breve descripción de los dibujos

Para una descripción más detallada de las realizaciones, se hace referencia ahora a los dibujos adjuntos, en donde:

La FIG. 1 es una representación esquemática de un sistema útil en y un diagrama de flujo de proceso gráfico para un ejemplo, que no es parte de la presente invención.

La FIG. 2 es una representación esquemática de un sistema útil en y un diagrama de flujo de proceso gráfico para una realización alternativa de la presente invención.

Descripción detallada

La siguiente descripción detallada hace referencia a los dibujos adjuntos que ilustran ejemplos específicos que no están de acuerdo con la invención y realizaciones en las que la invención puede realizarse de forma práctica. Las realizaciones pretenden describir aspectos de la invención en detalle suficiente para posibilitar a los expertos en la materia la realización práctica de la invención. Sin embargo, pueden utilizarse otras realizaciones y pueden hacerse cambios sin alejarse del alcance de la presente invención. Por tanto, el alcance de la presente invención no está limitado solo a las realizaciones específicas descritas en la presente memoria sino más bien, el alcance está definido únicamente por las reivindicaciones adjuntas.

Haciendo referencia al ejemplo de la FIG. 1 y la realización mostrada en la FIG. 2, diversas realizaciones de la presente invención proporcionan un reactor de gasificación, indicado en forma general por el número de referencia 10, que tiene una sección 30 inferior del reactor y una sección 40 superior del reactor. La primera etapa del proceso de gasificación tiene lugar en la sección 30 inferior del reactor y la segunda etapa del proceso de gasificación tiene lugar en la sección 40 superior del reactor. La sección 30 inferior del reactor define la zona de reacción de la primera etapa y se denominará alternativamente como zona de reacción de la primera etapa. La sección 40 superior del reactor define la zona de reacción de la segunda etapa, y se denominará alternativamente como zona de reacción de la segunda etapa.

Según el ejemplo representado en la FIG. 1 y la realización mostrada en la FIG. 2, una materia sólida se pulveriza (por métodos que se conocen en la técnica, pero que están fuera del alcance de esta descripción) antes de entrar en un sistema 100 de alimentación tal como, pero sin que ello pretenda ser limitante, un sistema de tolva de carbón. La corriente sólida pulverizada que comprende material carbonoso en forma de partículas del sistema 100 de alimentación se inyecta en la sección 40 superior del reactor 10 de gasificación a través de los dispositivos 80 y/o 80a de alimentación, o dispositivos de alimentación adicionales (no mostrados). El material carbonoso entra en contacto entonces con el gas de síntesis caliente que sube desde la sección 30 inferior del reactor 10 de gasificación. El material carbonoso se seca y una parte de este se gasifica mediante reacciones de pirólisis tales como la reacción de vapor de carbón ($C + H_2O \rightarrow CO + H_2$). Las reacciones de pirólisis son endotérmicas, por tanto, la temperatura de la mezcla de material carbonoso y gas de síntesis disminuye a medida que la mezcla se desplaza hacia arriba a través de la sección 40 superior. En el momento en el que el segundo producto de mezcla que comprende materiales en forma de partículas sólidos sin reaccionar (por ejemplo residuo de carbón) y una corriente del segundo producto gaseoso (por ejemplo gas de síntesis) dejan la parte superior de la sección 40 superior del gasificador 10, la temperatura del segundo producto de mezcla cae al intervalo entre 648°C (1200°F) y 1371°C (2500°F), aunque preferiblemente en el intervalo entre 815°C (1500°F) y 1093°C (2000°F).

Además según el ejemplo mostrado en la FIG. 1 y la realización mostrada en la FIG. 2, el segundo producto de mezcla, que comprende materiales en forma de partículas sólidos sin reaccionar y una corriente del segundo producto gaseoso, sale de la sección 40 superior del reactor y se envía a un primer dispositivo 50 de separación. El primer dispositivo 50 de separación divide el segundo producto de mezcla en una corriente del segundo producto sólido y una corriente del segundo producto gaseoso, dejando solo una pequeña fracción de sólidos finos residuales en la corriente del segundo producto gaseoso. La corriente del segundo producto sólido cae por la fuerza gravitacional, y sale del primer dispositivo 50 de separación a través de una salida 70. La corriente del segundo producto sólido se recicla entonces de vuelta a la sección 30 inferior del reactor del gasificador 10 a través de los dispositivos 60 y/o 60a de dispersión. Estos dispositivos mezclan los sólidos reciclados con un oxidante gaseoso durante la adición de los sólidos y el oxidante a la primera etapa del reactor. La construcción de tales dispositivos de dispersión la entienden comúnmente los expertos habituales en la materia.

Además, según el ejemplo mostrado en la FIG. 1 y la realización mostrada en la FIG. 2, la corriente del segundo producto sólido (que incluye principalmente residuo de carbón) reacciona con oxígeno en presencia de vapor súper calentado en la sección 30 inferior (o zona de reacción de la primera etapa) del gasificador 10. Las reacciones principales en la primera etapa son $C + O_2 \rightarrow \frac{1}{2} CO_2$ y $\frac{1}{2} C + O_2 \rightarrow CO$. Estas reacciones exotérmicas elevan la temperatura del gas en la primera etapa a entre 1093°C (2000°F) y 1926°C (3500°F). El gas de síntesis caliente producido en la sección 30 inferior del reactor fluye hacia arriba hacia la sección 40 superior del reactor donde entra en contacto con la materia prima carbonosa. Las partículas de materia prima se secan y calientan a una temperatura elevada mediante el gas de síntesis caliente, después las partículas secas reaccionan con vapor para generar CO e hidrógeno. Las reacciones principales en la segunda etapa son la reacción carbono-vapor y $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ y la reacción agua-gas $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$. La reacción carbono-vapor forma CO y H_2 , aumentando de esta manera el rendimiento de estos gases utilizables.

Haciendo referencia de nuevo al ejemplo mostrado en la FIG. 1 y la realización mostrada en la FIG. 2, la temperatura de la primera etapa es mayor que el punto de fusión de ceniza. En consecuencia, las partículas de ceniza arrastradas se aglomeran y convierten en una escoria fundida viscosa que fluye hacia abajo por los laterales del gasificador para salir del reactor a través del agujero para colada 20 y entrar en la cámara de inactivación. La escoria se inactiva con agua y finalmente se recoge como un producto de escoria sólido. Típicamente, el vapor añadido a la sección 30 inferior del reactor se genera en la unidad 180 de recuperación de calor. Se alimenta agua 170 en la unidad 180 de recuperación de calor, y se calienta mediante el gas de síntesis caliente que sale de la sección 40 superior del gasificador 10. El vapor producido se dirige entonces a la sección 30 inferior del gasificador 10 a través de los dispositivos 60 y/o 60a de dispersión.

Haciendo referencia adicional a la FIG. 1, la corriente del segundo producto gaseoso que sale del primer dispositivo 50 de separación comprende hidrógeno, monóxido de carbono, una pequeña cantidad de metano, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, nitrógeno, dióxido de carbono y una pequeña fracción de sólidos finos residuales. Después de hacerlo pasar a través de la unidad 180 de recuperación de calor, el gas de síntesis enfriado se introduce posteriormente en un dispositivo 110 de filtración de partículas, mediante el cual los sólidos finos y materiales en forma de partículas residuales se eliminan y reciclan de vuelta a la sección 30 inferior del gasificador 10.

En la realización representada en la FIG. 2, la materia prima sólida se pulveriza antes de que entre en el sistema 100 de alimentación de tal manera, pero sin que ello pretenda ser limitante, un sistema de tolva de carbón. La corriente de

sólido pulverizado que comprende material carbonoso en forma de partículas del sistema de alimentación se envía a una mezcladora 160 sólido-gas donde entra en contacto con el gas de síntesis templado que sale de la unidad 180 de recuperación de calor. La función de la mezcladora 160 es proporcionar un tiempo de residencia suficiente para reducir el contenido de humedad de la materia prima, produciendo de esta manera una materia prima sustancialmente seca.

5 La temperatura del gas de síntesis templado de la unidad 180 de recuperación de calor se mantiene en un intervalo entre aproximadamente 148°C (300°F) y 537°C (1000°F), aunque preferiblemente en un intervalo entre aproximadamente 260°C (500°F) y 426°C (800°F) para evitar la formación de alquitranes en la mezcladora 160. La formación de alquitrán no es deseable puesto que contamina el gas de síntesis y hace que el tratamiento aguas abajo del gas y el agua residual sean más caros.

10 Haciendo referencia adicional a la FIG. 2, la mezcla sólido-gas caliente que sale de la mezcladora 160 se hace pasar a través de un segundo dispositivo 150 de separación, que divide la mezcla sólido-gas caliente en una corriente del segundo producto sólido y una corriente del segundo producto gaseoso, dejando solo una pequeña fracción de sólidos finos residuales en la corriente de gas. En ciertas realizaciones, el primer dispositivo de separación puede comprender un ciclón u otro método disponible en el mercado para separar partículas de una corriente de gas. La corriente del
15 segundo producto sólido que sale del segundo dispositivo 150 de separación se recicla de vuelta a la sección 40 superior del reactor del gasificador 10 a través de los dispositivos 80 y/u 80a de dispersión, o dispositivos de alimentación adicionales (no mostrados). La corriente del segundo producto gaseoso que sale del segundo dispositivo 150 de separación se introduce después en un dispositivo 110 de filtración de partículas, en el cual los finos y materiales en forma de partículas sólidos residuales se eliminan y reciclan de vuelta a la sección 40 superior del
20 gasificador 10 a través de los dispositivos 80 y/u 80a de alimentación (o dispositivos de alimentación adicionales) como materia prima para la reacción de la segunda etapa. El producto gaseoso que sale del dispositivo 110 de filtración comprende un gas de síntesis en bruto que está en gran medida exento de materiales en forma de partículas. Este gas de síntesis en bruto puede limpiarse adicionalmente usando procesos que están fuera del alcance de esta descripción.

25 Haciendo referencia adicional a la FIG. 2, tanto el segundo producto sólido que sale del segundo dispositivo 150 de separación como los finos y materiales en forma de partículas sólidos residuales que salen del dispositivo 110 de filtración de partículas entran en contacto entonces con el gas de síntesis caliente que sube desde la sección 30 inferior del gasificador 10. El material carbonoso se desvolatiliza y una parte de los sólidos se gasifica mediante reacciones de pirólisis en las cuales se producen H₂ y CO. Los sólidos sin reaccionar son esencialmente residuos de carbón y ceniza. Las reacciones de pirólisis que predominan en la sección 40 superior del gasificador 10 son altamente
30 endotérmicas. De esta manera, la temperatura de la mezcla de material carbonoso y de gas de síntesis disminuye a medida que se desplaza hacia arriba a través de la sección 40 superior. En el momento en el que el segundo producto de mezcla, que comprende la corriente del segundo producto sólido (por ejemplo residuo de carbón) y la corriente del segundo producto gaseoso (por ejemplo gas de síntesis) dejan la parte superior de la sección 40 superior del
35 gasificador 10, la temperatura del segundo producto de mezcla está en el intervalo entre 648°C (1200°F) y 1371°C (2500°F), aunque preferiblemente en el intervalo entre 815°C (1500°F) y 1093°C (2000°F).

Haciendo referencia adicional a la FIG. 2, el segundo producto de mezcla que comprende la corriente del segundo producto sólido y la corriente del segundo producto gaseoso que sale de la sección 40 superior del reactor se envía a un primer dispositivo 50 de separación, que separa la mezcla en una corriente del segundo producto sólido y una
40 corriente del segundo producto gaseoso, dejando solo una pequeña fracción de sólidos finos residuales en la corriente del segundo producto gaseoso. La corriente del segundo producto sólido que sale del dispositivo 50 de separación se recicla de vuelta a la sección 30 inferior del reactor del gasificador 10 a través de los dispositivos 60 y/o 60a de dispersión, como materia prima para la reacción de la primera etapa.

Además según la realización mostrada en la FIG. 2, la corriente del segundo producto sólido (que principalmente incluye residuos de carbón) reacciona con oxígeno en presencia de vapor súper calentado en la primera etapa en la
45 sección 30 inferior del gasificador 10. Las reacciones principales que ocurren en la primera etapa incluyen $C + O_2 \rightarrow CO_2$ y $C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO$ que son ambas altamente exotérmicas. Como resultado, la temperatura dentro de la primera etapa se mantiene en un intervalo entre 1093°C (2000°F) y 1926°C (3500°F). El calor producido por la zona 30 de reacción de la primera etapa y llevado hacia arriba por la corriente de gas se usa para las reacciones de pirólisis en la segunda etapa
50 que predominan en la sección 40 superior del reactor que no ha experimentado combustión, incluyendo vaporización de la humedad llevada por la alimentación, la reacción carbono-vapor y la reacción agua-gas entre el CO y H₂O.

Haciendo referencia de nuevo a la realización mostrada en la FIG. 2, la temperatura de la primera etapa es mayor que el punto de fusión de ceniza. En consecuencia, las partículas de ceniza arrastradas se aglomeran y convierten en una
55 escoria fundida viscosa que fluye hacia abajo por los laterales del gasificador para salir por el reactor a través del agujero para colada 20 y entrar en la cámara de inactivación. La escoria se inactiva con agua y finalmente se recoge como producto de escoria sólido. El vapor añadido a la sección 30 inferior del reactor puede generarse desde una unidad 180 de recuperación de calor usando el calor del gas de síntesis caliente que sale de la segunda etapa (sección superior) del gasificador 10.

Haciendo referencia adicional a la FIG. 2, la corriente del segundo producto gaseoso que sale del primer dispositivo
60 50 de separación comprende hidrógeno, monóxido de carbono, una pequeña cantidad de metano, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, nitrógeno, dióxido de carbono y una pequeña fracción de sólidos finos residuales. Después de

pasar a través de la unidad 180 de recuperación de calor, el gas de síntesis templado se envía a una mezcladora 160 donde entra en contacto con la materia prima sólida pulverizada, formando así una mezcla sólido-gas caliente que sirve para secar la materia prima. La temperatura de la mezcla sólido-gas caliente en la mezcladora 160 se mantiene en un intervalo entre aproximadamente 148°C (300°F) y 537°C (1000°F), aunque preferiblemente entre aproximadamente 260°C (500°F) y 426°C (800°F) para minimizar la formación de alquitrán. La mezcla sólido-gas caliente que sale de la mezcladora 160 se introduce a continuación en un dispositivo 110 de filtración de partículas, mediante el cual los sólidos finos residuales y materiales en forma de partícula se eliminan y reciclan de vuelta a la sección 40 superior del gasificador 10 como se ha descrito anteriormente.

En ciertas realizaciones como se muestra en la FIG. 2, y como se ilustra en el ejemplo de la FIG. 1, el residuo de carbón reciclado, una corriente de un gas que contiene oxígeno y vapor entran en la sección 30 inferior del reactor 10 de gasificación a través de los dispositivos 60 y/o 60a de dispersión, que están localizados en cualquier extremo de las partes que se extienden horizontalmente de la sección 30 inferior. Pueden usarse más de dos dispositivos de dispersión, por ejemplo, cuatro, separados en 90 grados. Los conjuntos de dispositivos de dispersión pueden estar también a diferentes niveles y no necesitan estar en el mismo plano.

Haciendo referencia de nuevo al ejemplo representado en la FIG. 1 y la realización representada en la FIG. 2, la sección 40 superior del reactor que no ha experimentado combustión conecta directamente con la parte superior de la sección 30 inferior del reactor que sí ha experimentado combustión, de modo que los productos de reacción calientes se transportan directamente desde la sección inferior del reactor a la sección 40 superior del reactor. Esto minimiza las pérdidas de calor en los productos de reacción gaseosos y sólidos atrapados, aumentando de esta manera la eficiencia del proceso.

Haciendo referencia adicionalmente al ejemplo representado en la FIG. 1 y la realización representada en la FIG. 2, los dispositivos 60 y/o 60a de dispersión proporcionan una alimentación atomizada de los sólidos en forma de partículas tales como carbón residual. Los dispositivos de dispersión pueden ser del tipo que tiene un tubo central para los sólidos y un espacio anular que rodea al tubo central que contiene el gas de atomización que se abre a una zona de mezclado común interna o externamente. Además, el dispositivo 80 y/u 80a de alimentación de la sección 40 superior del reactor que no ha experimentado combustión puede ser similar también a los dispositivos de dispersión descritos anteriormente en la presente memoria. Los dispositivos 60 y/o 60a de dispersión, o los dispositivos 80 y/u 80a de alimentación pueden ser como conocen convencionalmente los expertos en la materia.

Los materiales usados para construir el reactor 10 de gasificación no son críticos. Preferiblemente, aunque no necesariamente, las paredes del reactor son de acero y están revestidas con una fibra aislante colable o cerámica o ladrillo refractario, tal como un ladrillo que contiene alto contenido de cromo en la sección 30 inferior del reactor y un medio denso, tal como el usado en aplicaciones de altos hornos y sin escoria en la sección 40 superior del reactor, para reducir la pérdida de calor y proteger la vasija de la escoria fundida corrosiva y a alta temperatura, así como también proporcionar un mejor control de temperatura, todo lo cual está disponible en el mercado de varias fuentes. El uso de este tipo de sistema proporciona los altos valores de recuperación de calor de los sólidos carbonosos usados en el proceso. Opcional y alternativamente, las paredes pueden estar no revestidas, proporcionando un sistema de "pared fría" para la sección 30 inferior del reactor que sí ha experimentado combustión y, opcionalmente, la sección 40 superior del reactor que no ha experimentado combustión. El término "pared fría", como se usa en la presente memoria, significa que las paredes están enfriadas mediante una camisa de enfriamiento con un medio de enfriamiento, como se conoce convencionalmente en la técnica para los sistemas de gasificación de carbón de la técnica anterior. En tal sistema, la escoria se congela en la pared interior enfriada y, de esta manera, protege las paredes de metal de la camisa de enfriamiento frente a la degradación por calor.

Las condiciones físicas de la reacción en la primera etapa del proceso en la sección 30 inferior del reactor se controlan y mantienen para asegurar una gasificación rápida del residuo de carbón a temperaturas por encima del punto de fusión de la ceniza para producir una escoria fundida desde la ceniza fundida que tiene una viscosidad no mayor que aproximadamente 25 Pa.s (250 poises). Esta escoria drena desde el reactor a través del agujero para colada 20, y se procesa adicionalmente en unidades fuera del alcance de este documento.

Las condiciones físicas de la reacción en la segunda etapa del proceso de gasificación en la sección 40 superior del reactor se controlan para asegurar una gasificación rápida y calentamiento del carbón por encima de su intervalo de plasticidad. La temperatura de la sección 30 inferior del reactor se mantiene en un intervalo entre 815°C (1500°F) y 1926°C (3500°F), preferiblemente en un intervalo entre 1093°C (2000°F) y 1760°C (3200°F) y, lo más preferiblemente, en un intervalo entre 1204°C (2200°F) y 1648°C (3000°F). Las presiones dentro tanto de la sección 40 superior del reactor como de la sección 30 inferior del gasificador 10 se mantienen a presión atmosférica o mayor.

Como se usa en la presente memoria, la expresión "gas que contiene oxígeno" que se alimenta a la sección 30 inferior del reactor se define como cualquier gas que contenga al menos 20 por ciento de oxígeno. Los gases que contienen oxígeno preferidos incluyen oxígeno, aire y aire enriquecido en oxígeno.

Puede utilizarse cualquier material carbonoso en forma de partículas como materia prima para las realizaciones descritas en la presente memoria. Preferiblemente, sin embargo, el material carbonoso en forma de partículas es carbón que incluye, sin que ello pretenda ser limitante, lignito, carbón bituminoso, carbón sub-bituminoso y cualquier

combinación de los mismos. Los materiales carbonosos adicionales son coque derivado de carbón, residuos de carbón, residuo de licuefacción de carbón, carbono en forma de partículas, coque de petróleo, sólidos carbonosos derivados de esquisto, arenas de alquitrán, brea, biomasa, lodos de depuradora concentrados, basuras, cauchos y mezclas de los mismos. Los materiales ejemplificados anteriormente pueden estar en forma de sólidos triturados.

- 5 Cuando la materia prima es carbón o coque de petróleo, esta puede pulverizarse antes de la adición a la sección superior del reactor. En general, puede usarse cualquier material carbonoso finamente dividido, y puede emplearse cualquiera de los métodos conocidos de reducción del tamaño de partícula de los sólidos en forma de partículas. Los ejemplos de tales métodos incluyen el uso de molinos de bolas, de paletas y de martillos. Aunque el tamaño de partícula no es crítico, se prefieren partículas de carbono finamente divididas, siendo típico el carbón pulverizado
- 10 usado como combustible en las centrales eléctricas alimentadas con carbón. Tal carbón tiene una distribución de tamaño de partícula tal que el 90% (en peso) del carbón pasa a través de un tamiz de malla 200. Puede usarse también un tamaño de partícula promedio más grueso que malla 100 para materiales más reactivos, siempre que pueda prepararse una suspensión estable y que no sedimente.

- 15 Como se usa en la presente memoria, la expresión "residuo de carbón" se refiere a carbón que no ha experimentado combustión y partículas de cenizas que permanecen atrapadas dentro del sistema de gasificación después de la producción de diversos productos.

Como se usa en la presente memoria, la expresión "sustancialmente seco" significa que carece de un contenido de humedad significativo, pero no es necesariamente sinónimo de sequedad absoluta.

Ejemplo

- 20 La Tabla 1 demuestra el rendimiento del proceso y el sistema de alimentación seca de dos etapas descritos en la presente memoria. Se realizó una simulación por ordenador del proceso como se describe en la presente memoria, basándose en carbón de Illinois 6, con la presión del gasificador ajustada a 3,60 MPa (523 psia), y ajustando la temperatura del gas que sale de la segunda etapa del gasificador a 1032°C (1890°F). Con los parámetros de proceso enumerados en la Tabla 1, la eficiencia de gas frío calculada para el proceso era de 84,6%. Esta eficiencia de gas frío
- 25 calculada es un 10% mayor que la conseguida con la actual proceso de gasificación de alimentación en suspensión E-Gas™ (Conoco Phillips Co.), mientras que se calcula que el consumo de oxígeno se reduce en un 15% frente al proceso E-Gas™.

TABLA 1

Gasto másico de oxígeno (kg/h (libra/h))	6,98E+04 (1,54E+05)
HHV de carbón (seco), (kJ/kg (btu/libra))	29075 (12,500)
Caudal de carbón (seco) (kg/h (libra/h))	1,01E+05 (2,23E+05)
HHV total de carbón, (MJ/h (btu/h))	2,94E+12 (2,79E+09)
Rendimiento de síntesis neto:	
H ₂ (kg/h (libra/h))	7,62E+03 (1,68E+04)
CH ₄ (kg/h (libra/h))	1,10E+02 (2,43E+02)
CO (kg/h (libra/h))	1,38E+5 (3,06E+05)
HHV total del gas de síntesis (MJ/h (btu/h)) (H ₂ , CO y CH ₄)	2,48E+12 (2,36E+09)
Oxígeno/carbón (seco), (peso/peso)	0,69
Eficiencia del gas de síntesis frío (HHV)	84,6%

- 30 No se pretende que el alcance de protección buscado quede limitado por la descripción o los ejemplos expuestos anteriormente, sino únicamente por las reivindicaciones que siguen.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para gasificar material carbonoso, que comprende las etapas de:

- (a) proporcionar un reactor (10) de gasificación que comprende una sección (40) superior del reactor y una sección (30) inferior del reactor;
- 5 (b) introducir una corriente de materia prima carbonosa sólida sustancialmente seca, opcionalmente seleccionada del grupo que consiste en carbón, lignito, coque de petróleo y mezclas de los mismos, en la sección (40) superior del reactor y hacerla reaccionar en su interior con un primer producto de mezcla de la sección (30) inferior del reactor, formando de esta manera un segundo producto de mezcla,
en donde el primer producto de mezcla comprende gas de síntesis, y
10 en donde el segundo producto de mezcla comprende un segundo producto sólido y un segundo producto gaseoso;
- (c) hacer pasar el segundo producto de mezcla a un primer dispositivo (50) de separación, en donde el segundo producto sólido se separa del segundo producto gaseoso;
- (d) hacer pasar el segundo producto sólido separado a la sección (30) inferior del reactor;
- 15 (e) hacer pasar la corriente del segundo producto gaseoso que sale del primer dispositivo (50) de separación a través de la unidad (180) de recuperación de calor, reduciendo de esta manera la temperatura de la corriente del segundo producto gaseoso para proporcionar un segundo producto gaseoso enfriado y crear vapor;
- (f) hacer pasar el vapor producido en la etapa (e) a la sección (30) inferior del reactor;
- (g) pulverizar una materia prima carbonosa sólida;
- 20 (h) mezclar la materia prima carbonosa sólida pulverizada con el segundo producto gaseoso enfriado de la etapa (e) mediante una mezcladora (160) sólido-gas para formar una mezcla sólido-gas caliente, en donde la mezcla sólido-gas caliente se mantiene a una temperatura en un intervalo de 148°C (300°F) a 537°C (1000°F);
- (i) separar la mezcla sólido-gas caliente en un segundo dispositivo (150) de separación para producir la materia prima carbonosa sólida sustancialmente seca de la etapa (b) y un segundo producto gaseoso separado;
- 25 (j) hacer pasar el segundo producto gaseoso separado que sale del segundo dispositivo (150) de separación a un dispositivo (110) de filtración de partículas,
en donde una corriente de los sólidos residuales, finos y materiales en forma de partículas se elimina y se hace pasar a la sección (40) superior del reactor;
- 30 (k) combinar una corriente de gas, la corriente del segundo producto sólido separado de la etapa (d) y el vapor producido en la unidad (180) de recuperación de calor de la etapa (e) en la sección (30) inferior del reactor y hacerles reaccionar, desprendiéndose de esta manera calor y formándose el primer producto de mezcla que comprende gas de síntesis de la etapa (b),
en donde la corriente de gas comprende un suministro de oxígeno seleccionado del grupo que consiste en gas que contiene oxígeno, vapor y mezclas de los mismos.
- 35 2. El proceso de la reivindicación 1, en donde dicha corriente de materia prima carbonosa sólida sustancialmente seca y dichos sólidos residuales, finos y materiales en forma de partículas se hacen pasar a dicha sección (40) superior del reactor mediante uno o más dispositivos (80, 80a) de alimentación.
3. El proceso de la reivindicación 1, en donde la corriente de gas de la parte (k), el segundo producto sólido que sale del primer dispositivo (50) de separación y el vapor producido dentro de la unidad (180) de recuperación de calor se hacen pasar a la sección (30) inferior del reactor mediante uno o más dispositivos (60, 60a) de dispersión.
- 40 4. El proceso de la reivindicación 1,
en donde el gas que contiene oxígeno se selecciona del grupo que consiste en aire, aire enriquecido en oxígeno, oxígeno y mezclas de los mismos,
en donde la unidad (180) de recuperación de calor se selecciona del grupo que consiste en una caldera de tipo calor radiante, una caldera de tubo agua, una caldera de tubo hervidor y combinaciones de las mismas.
- 45 5. El proceso de la reivindicación 1, en donde la temperatura del segundo producto de mezcla antes de entrar en dicho primer dispositivo de separación es entre 648°C (1200°F) y 1371°C (2500°F), opcionalmente entre 816°C (1500°F) y 1093°C (2000°F).

6. El proceso de la reivindicación 1, en donde la mezcla sólido-gas caliente se mantiene a una temperatura en un intervalo de 260°C (500°F) a 426°C (800°F).

7. El proceso de la reivindicación 1, en donde cada uno del primer y segundo dispositivos (50, 150) de separación comprende un ciclón.

5 8. Un sistema para la gasificación de un material carbonoso, que comprende:

(a) una sección (40) superior del reactor para hacer reaccionar:

i) una materia prima carbonosa sólida sustancialmente seca, opcionalmente seleccionada del grupo que consiste en carbón, lignito, coque de petróleo y mezclas de los mismos,

ii) sólidos residuales reciclados, finos y materiales en forma de partículas, y

10 iii) un primer producto de mezcla de una sección (30) inferior del reactor para producir un segundo producto de mezcla,

en donde el primer producto de mezcla comprende gas de síntesis y el segundo producto de mezcla comprende una corriente del segundo producto de mezcla y una corriente del segundo producto gaseoso;

15 (b) un primer dispositivo (50) de separación para separar la corriente del segundo producto sólido de la corriente del segundo producto gaseoso,

en donde el segundo producto sólido se introduce en la sección (30) inferior del reactor;

(c) una unidad (180) de recuperación de calor para enfriar la temperatura de la corriente del segundo producto gaseoso para proporcionar un segundo producto gaseoso enfriado y producir vapor,

en donde dicho vapor se hace pasar a dicha sección inferior del reactor;

20 (d) una mezcladora (160) sólido-gas para mezclar una materia prima carbonosa sólida pulverizada con el segundo producto gaseoso enfriado de la parte (c) para formar una mezcla sólido-gas caliente, en donde la mezcladora (160) sólido-gas está configurada para mantener la mezcla sólido-gas caliente a una temperatura en un intervalo de 148°C (300°F) a 537°C (1000°F);

25 (e) un segundo dispositivo (150) de separación para separar la mezcla sólido-gas caliente para producir la materia prima carbonosa sólida sustancialmente seca de la parte (a) y un segundo producto gaseoso separado;

(f) un dispositivo (110) de filtración de partículas para separar los sólidos residuales, los finos y los materiales en forma de partículas de la corriente del segundo producto gaseoso separado que sale del segundo dispositivo (150) de separación,

30 en donde los sólidos residuales, los finos y los materiales en forma de partícula separados se hacen pasar a la sección (40) superior del reactor;

(g) una sección (30) inferior del reactor para hacer reaccionar una mezcla que comprende:

i) el segundo producto sólido separado que sale del primer dispositivo (50) de separación;

ii) el vapor producido en la unidad (180) de recuperación de calor;

iii) una corriente de gas;

35 en donde dicha reacción produce calor y dicho primer producto de mezcla de la parte (a),

en donde la corriente de gas comprende un suministro de oxígeno seleccionado del grupo que consiste en gas que contiene oxígeno, vapor y mezclas de los mismos, y

en donde el calor producido en la sección (30) inferior del reactor se recupera convirtiendo la corriente de materia prima sólida en el segundo producto de mezcla en la sección (40) superior del reactor.

40 9. El sistema de la reivindicación 8, en donde la corriente del segundo producto sólido que sale del primer dispositivo (50) de separación, el vapor que sale de la unidad (180) de recuperación de calor y la corriente de gas de la parte (k) se hacen pasar a la sección (30) inferior del reactor mediante uno o más dispositivos (60, 60a) de dispersión.

10. El sistema de la reivindicación 8,

45 en donde el gas que contiene oxígeno se selecciona del grupo que consiste en aire, aire enriquecido en oxígeno, oxígeno y mezclas de los mismos,

en donde la unidad (180) de recuperación de calor se selecciona del grupo que consiste en una caldera de tipo calor radiante, una caldera de tubo de agua, una caldera de tubo hervidor y combinaciones de las mismas.

11. El sistema de la reivindicación 8, en donde la mezcladora (160) sólido-gas está configurada para mantener la mezcla sólido-gas caliente a una temperatura entre 260°C (500°F) y 426°C (800°F).

- 5 12. El sistema de la reivindicación 8, en donde cada uno del primer y segundo dispositivos (50, 150) de separación comprende un ciclón.

FIG. 1:

