

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 967 540**

(51) Int. Cl.:

B01J 6/00 (2006.01)
B01J 8/00 (2006.01)
B01J 8/08 (2006.01)
B01J 8/16 (2006.01)
B01J 8/18 (2006.01)
B01J 8/32 (2006.01)
C04B 7/45 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.03.2021 PCT/EP2021/058478**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **07.10.2021 WO21198358**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.03.2021 E 21717359 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.11.2023 EP 4126328**

(54) Título: **Reactor y método para la conversión de un material carbonoso**

(30) Prioridad:

03.04.2020 DK PA202000392

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.04.2024

(73) Titular/es:

**FLSMIDTH A/S (100.0%)
Vigerslev Allé 77
2500 Valby, DK**

(72) Inventor/es:

**SCHMIDT, IVER, BLANKENBERG;
DRIVSHOLM, MORTEN, HVIDBJERG;
CEDERGAARD, NIELS, OLE y
JENSEN, LARS, SKAARUP**

(74) Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 967 540 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

Reactor y método para la conversión de un material carbonoso

Campo de invención

5 La presente invención se refiere a un método para convertir un combustible carbonoso, por ejemplo, combustibles alternativos, en condiciones reductoras en volátiles y un material convertido y separar sustancialmente los volátiles. La invención se refiere, además, a un reactor adecuado para llevar a cabo este método.

Antecedentes

10 Se sabe que la producción de cemento es una gran emisora de emisiones como la de CO₂. Para que la producción sea más sostenible, es deseable utilizar combustibles alternativos para proporcionar energía térmica a la operación de fabricación de cemento. Anteriormente, esto se utilizaba inyectando combustibles alternativos directamente en un calcinador. Sin embargo, el tiempo necesario para el secado y posterior desvolatilización de dichos combustibles dependerá del contenido de agua del combustible y del tamaño y forma de las partículas del combustible y de la composición química del combustible, todos los cuales varían ampliamente para los combustibles alternativos. Un tiempo de residencia insuficiente para los combustibles alternativos normalmente da como resultado una combustión incompleta de los combustibles alternativos en el calcinador debido al tiempo de residencia limitado de las partículas, y el perfil de temperatura del calcinador se ve afectado. Como resultado, en la mayoría de los casos, la cantidad de energía térmica que un calcinador puede obtener a partir de combustibles alternativos es limitada.

20 El cemento se fabrica a altas temperaturas y, por lo tanto, una instalación de fabricación de cemento puede ser una instalación deseada para utilizar combustibles alternativos, dado que parte de la energía ya utilizada para calentar las materias primas del cemento puede utilizarse para convertir combustibles alternativos de baja calidad o para quemar desechos peligrosos de manera segura. La harina cruda de cemento consiste en partículas finas que forman un polvo, que es difícil de fluidizar. Una de las principales razones de esto son las importantes fuerzas de cohesión entre partículas que mejoran la aglomeración de partículas. En 1973, D. Geldart desarrolló un sistema de clasificación de polvo, que clasifica los polvos según sus características de fluidización. [Geldart, D., Powder Technol., 7, (1973), 285].

25 Uno de los tipos en el sistema de clasificación de Geldart son los materiales tipo C, o materiales Geldart C, los cuales se caracterizan por no ser aptos para la fluidización. La harina cruda de cemento contiene una cantidad significativa de dichas partículas de Geldart C y exhibe un comportamiento de fluidización como un material Geldart C. De este modo, al intentar fluidificar dichos materiales, luego se producen grietas y canalizaciones, lo que da como resultado una fluidización pobre e inestable.

30 Los materiales Geldart C suelen tener menos de 30 micrómetros y se consideran cohesivos. Las partículas tan pequeñas tienden a comportarse más como grupos de partículas, que como partículas independientes individuales.

35 El comportamiento de fluidización de una mezcla de partículas gruesas y finas se define por el comportamiento de fluidización de la fracción fina en un amplio intervalo de composición. De este modo, una mezcla de harina cruda de cemento en partículas finas y partículas de carbón más gruesas típicamente exhibirá un comportamiento de fluidización similar a la harina cruda de cemento, y solo cuando la fracción gruesa se vuelve dominante, entonces son las características de fluidización de las partículas gruesas las que determinarán el comportamiento de fluidización.

40 En la patente europea EP 3405728, se utilizan combustibles alternativos sometiendo dicho combustible a pirólisis inicial dentro de un reactor con sello de bucle en forma de U en donde pulsos de gas fluidizan las partículas para facilitar el movimiento de los sólidos a través del reactor. Durante la operación, la mezcla de combustibles alternativos y harina de cemento caliente en una atmósfera reductora da como resultado una gran formación de gases. Para obtener una operación estable, el dimensionamiento adecuado es esencial con una solución de este tipo, que puede generar una gran huella y un alto CAPEX. Durante una operación estable, el aire pulsado forma un lecho denso y el flujo de sólidos dentro del reactor es un patrón de flujo tipo pistón. Es importante que el combustible y la harina de cemento caliente se mezclen adecuadamente antes de llegar al lecho denso, ya que, de lo contrario, se pueden formar puntos calientes o fríos que pueden provocar una baja conversión o riesgo de corrosión a alta temperatura.

45 Los combustibles alternativos normalmente pueden consistir en partículas sólidas sustancialmente mayores que la harina de cemento. Por lo tanto, las partículas con una densidad mayor que la del lecho de harina pueden sedimentarse fuera del lecho de harina. Esto puede incluir tanto material carbonoso como partículas no carbonosas como piedras y metales. Además de las partículas mayores que la harina de cemento que se introducen, las partículas también pueden 50 aglomerarse o fusionarse en el lecho para formar partículas más grandes, grumos o acumulaciones. Si hay áreas en el lecho que no están bien aireadas, estas se vuelven particularmente propensas a formar acumulaciones, si el material del lecho tiene tendencia a consolidarse. Esto es promovido por especies volátiles en los hornos de cemento a temperaturas elevadas o por material carbonoso parcialmente fundido. La sedimentación puede perturbar la aireación efectiva y, con el tiempo, puede bloquear una fracción sustancial del conducto a través del cual fluye la harina de cemento aireada.

55 El documento US 2010/281878 A1 describe un reactor para convertir material carbonoso con calentamiento indirecto.

Sería ventajoso, por lo tanto, tener un reactor y un método novedosos en los que se puedan utilizar combustibles alternativos de manera eficiente, que pueda proporcionar una aireación adecuada y que pueda reducir los riesgos de formación de acumulaciones y sedimentaciones que puedan perturbar el funcionamiento.

Compendio de la invención

- 5 Con estos antecedentes, por lo tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un método, mediante el cual es posible mitigar algunos de los inconvenientes de la técnica anterior. En un aspecto de la invención, estos y otros objetos se obtienen mediante un método para la conversión de un material carbonoso que comprende las etapas de:
- proporcionar un material carbonoso que tenga una temperatura de conversión;
- 10 proporcionar un material en polvo que tenga una temperatura superior a la temperatura de conversión del material carbonoso;
- poner en contacto el material carbonoso y el material en polvo en una atmósfera configurada para no oxidar más que parcialmente el carbono a CO₂, obtener al menos una conversión parcial del material carbonoso en un material convertido y un producto volátil;
- 15 separar por gravedad específica dirigiendo un flujo de gas que comprende el producto volátil en una dirección sustancialmente ascendente para proporcionar una primera fracción que comprende sustancialmente el producto volátil y una segunda fracción que comprende sustancialmente componentes adicionales, en donde el contacto entre el material carbonoso y el material en polvo tiene lugar en al menos dos regímenes de flujo diferentes.
- Este método proporciona una conversión eficiente de material carbonoso en un material convertido y un producto volátil, que están separados y, por lo tanto, pueden procesarse posteriormente por separado. Los volátiles pueden 20 utilizarse, p. ej., como combustible. La ventaja de utilizar un material sólido como portador de energía para el proceso de conversión es, entre otros, que el gas presente en la corriente de producto es menor y normalmente inerte. Además, el disipador térmico del material en polvo ayuda a estabilizar la temperatura y, por tanto, proporciona un proceso resistente a las caídas de temperatura debidas a reacciones endotérmicas, así como a los aumentos de temperatura debidos, p. ej., a la oxidación parcial del material carbonoso.
- 25 A medida que el material carbonoso y el material en polvo entran en contacto, el producto volátil se formará a medida que se convierta el material carbonoso. Debido a que los productos volátiles están en forma de gas en las condiciones del proceso y tienen un volumen mayor que los materiales sólidos, la formación de productos volátiles proporciona un flujo de gas sustancialmente ascendente. El flujo de gas puede transportar partículas en dirección sustancialmente ascendente si la velocidad del flujo de gas está por encima de la velocidad de arrastre de los sólidos.
- 30 Se debe controlar el desarrollo de volátiles, ajustando, por ejemplo, la temperatura de entrada del material en polvo, la cantidad de material en polvo y/o el tiempo de contacto entre el material carbonoso y el material en polvo, de modo que el material carbonoso, el material en polvo y/o el material convertido se ponga en contacto en al menos dos regímenes de flujo diferentes. Preferiblemente, los regímenes de flujo son una fase densa inferior y una fase diluida superior que comprende más volátiles. La fase diluida se forma mediante la formación y el flujo ascendente de volátiles 35 que proporcionan un flujo ascendente de material carbonoso y material en polvo. El flujo ascendente de gas que comprende volátiles y el material carbonoso y el material en polvo continúan hasta que el gas se separa en la primera fracción, después de lo cual el material carbonoso y el material en polvo fluyen hacia abajo debido a la gravedad.
- Los regímenes de flujo doble proporcionan una mejor mezcla y contacto entre el material carbonoso y el material en polvo y proporcionan condiciones de conversión más estables para evitar la formación de puntos calientes y fríos.
- 40 Por material en polvo se entiende un material que se comporta como un polvo cuando se somete a aireación pulsada independientemente de la distribución del tamaño de las partículas y que comprende otros constituyentes sólidos hasta una concentración que no comprometa este comportamiento. Este puede ser, por ejemplo, harina de cemento.
- Los componentes adicionales pueden comprender el material en polvo, el material convertido y, opcionalmente, el material carbonoso no convertido o parcialmente convertido.
- 45 El material carbonoso es un material que comprende carbono y que tiene energía almacenada en el carbono, de manera que el material carbonoso pueda utilizarse como combustible. El material carbonoso puede ser preferiblemente combustibles y residuos alternativos, combustibles de biomasa, o mezclas de los mismos en forma de sólidos o fluidos.
- 50 La atmósfera, configurada para oxidar no más que parcialmente el carbono a CO₂, comprende una cantidad limitada de oxígeno, es decir, una cantidad de oxígeno menor que la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar completamente el material carbonoso proporcionado. Por lo tanto, la atmósfera puede estar configurada para oxidar solo parcialmente el carbono. Preferiblemente, la atmósfera puede ser una atmósfera reductora que comprende gases reductores. La atmósfera puede incluso estar sustancialmente libre de oxígeno para no proporcionar sustancialmente ninguna oxidación del carbono.

Por al menos una conversión parcial del material carbonoso se entiende que se convierte al menos una parte del material carbonoso. Preferiblemente, el material en polvo se añade en una cantidad y a una temperatura en donde sustancialmente todo el material carbonoso se convierte después de haber entrado en contacto con el material en polvo.

- 5 Los volátiles son productos que se encuentran en estado gaseoso en las condiciones del proceso, como H₂, CO, CO₂, CH₄, H₂O, más generalmente escrito como C_xH_yO_zN_vS_wCl_u (donde x, y, z, v, w, u pueden tener valores diferentes) o mezclas de los mismos.

La conversión del material carbonoso es un proceso a temperaturas elevadas en donde el material cambia su composición química y/o en donde el material sufre un cambio de fase. La conversión de los materiales carbonosos, así como las especies intermedias, puede incluir pirólisis, gasificación, craqueo, oxidación parcial, o combinaciones de las mismas. La conversión, así como la selectividad del producto de las reacciones que involucran material carbonoso, podrían controlarse mediante la coalimentación de correactivos selectivos o precursores de los mismos, p. ej., H₂O, correactivos alcalinos o ácidos en estado gaseoso, líquido, disuelto o sólido. Asimismo, las reacciones podrían manipularse mediante la coadición de sólidos con propiedades catalíticas en el entorno del proceso dado. Los sólidos coagregados catalíticamente activos podrían actuar directamente sobre el material carbonoso o sobre productos intermedios seleccionados.

Como ejemplo, se puede añadir un catalizador que contenga níquel para mejorar la formación de gas de síntesis CO + H₂.

20 Por temperatura de conversión se entiende la temperatura a la que el material carbonoso comienza a sufrir dicha conversión.

El flujo de gas que comprende el producto volátil pueden ser gases formados por la conversión del material carbonoso que comprende opcionalmente un gas añadido adicional.

25 Por la expresión "una primera fracción que comprende sustancialmente el producto volátil" se entiende que al menos el 50 % en peso del material carbonoso, el material en polvo y el material convertido se han separado de los volátiles. Preferiblemente, se ha separado más del 75 % en peso, o incluso el 90 % en peso. Por la expresión "una segunda fracción que comprende sustancialmente componentes adicionales" se entiende que como máximo un 30 % en volumen de los volátiles desarrollados durante la conversión están presentes en la segunda fracción. Preferiblemente, en la segunda fracción hay presente un máximo de 20 % en volumen de los volátiles o más preferiblemente un máximo de 10 % en volumen de los volátiles desarrollados durante la conversión.

30 Todas las direcciones a las que se hace referencia son relativas a la dirección de gravedad de la Tierra.

En una realización preferida de la invención, la velocidad del flujo de gas en dirección sustancialmente ascendente se reduce a una velocidad por debajo de la velocidad de arrastre de los componentes adicionales.

35 Al reducir la velocidad por debajo de la velocidad de arrastre, es posible formar una zona de chorro en la que los sólidos caen hacia abajo y proporcionar así un gas que comprende menos materiales sólidos y forma un tercer régimen de flujo, una denominada zona de sedimentación situada encima de la zona diluida. La zona de sedimentación comprende menos sólidos que la zona de pulverización/zona diluida y comprende sustancialmente el producto volátil. A medida que la velocidad disminuye hacia la velocidad de arrastre, el flujo de gas transporta progresivamente menos sólidos y, por tanto, se vuelve más diluido. Cuando la velocidad del flujo de gas es menor que la velocidad de arrastre, los sólidos ya no son transportados por el flujo de gas. De esta manera, el flujo de gas que comprende el producto volátil queda sustancialmente libre de sólidos y se puede obtener a partir del método un gas más puro que comprende volátiles.

40 La velocidad del flujo de gas depende del desarrollo de volátiles durante la conversión. Si se logra una conversión alta o se obtienen muchos volátiles, la velocidad suele ser alta. Si la conversión es baja y/o se obtienen pocos volátiles, la velocidad puede estar cerca o incluso por debajo de la velocidad de arrastre de los componentes adicionales. En este caso, será necesario proporcionar un flujo de gas o un precursor de gas para aumentar el volumen de gas y por lo tanto aumentar la velocidad del gas por encima de la velocidad de arrastre de los sólidos. Por lo tanto, se puede decir que el flujo de gas tendrá que reducirse o ser inferior a la velocidad de arrastre de los componentes adicionales.

45 La velocidad de arrastre depende del tamaño de la partícula, de la densidad, de la forma y del peso. También puede denominarse velocidad mínima de recogida o transporte, ya que es la velocidad a la que el gas puede recoger partículas específicas. Una forma particular de disminuir la velocidad del flujo de gas es aumentando el área de flujo del gas, es decir, aumentar el área de flujo del gas desde una primera área de flujo a una segunda área de flujo más grande.

50 En una realización preferida, el método comprende la etapa adicional de fluidizar el material carbonoso y el material en polvo calentado.

55 La fluidización del material carbonoso y el material en polvo calentado proporciona una mejor mezcla de los materiales,

ya que las partículas se encuentran en un estado dinámico similar a un fluido. La fluidización de las partículas se puede lograr proporcionando un flujo sustancial ascendente de un fluido fluidizante, p. ej., un gas como el vapor, el nitrógeno o el aire. El efecto de fluidización también podría lograrse mediante la introducción de un precursor, que se convierte en un fluido fluidizante cuando entra en contacto con el entorno del proceso o una unidad de preacondicionamiento.

- 5 Se puede decir que la adición de gas de fluidización o precursor al material carbonoso y al material en polvo calentado se puede añadir desde cualquier dirección. Tras agregarse, el gas de fluidización debido a su baja densidad fluirá hacia arriba.

En una realización preferida de la invención, la fluidización del material carbonoso y del material en polvo calentado se logra proporcionando pulsos de fluido, preferiblemente en una dirección sustancialmente ascendente.

- 10 La cantidad de líquido, como el aire, requerido para fluidizar partículas mediante pulsos de fluido es mucho menor que mediante un flujo continuo de fluido. Esto proporciona una fluidización más eficiente, una menor adición de fluido fluidizante al reactor, un menor transporte del fluido y posteriormente menos fluido para desempolvar y/o limpiar.

15 Adicionalmente, en algún caso, podría preferirse introducir el fluido de fluidización en una combinación de un flujo sustancialmente constante y un flujo pulsado, en donde la composición puede ser similar o diferente en los diferentes tipos de flujo de fluidización. Otra solución preferida es tener un flujo de fluidización de flujo constante enriquecido por un compuesto que tenga una presión de vapor adecuada cuando entre en contacto con el fluido de fluidización antes de ingresar al proceso. Esto puede lograrse, p. ej., haciendo burbujeante una corriente de gas, como aire, a través de un líquido y, por lo tanto, saturándolo con vapores del líquido correspondientes a la presión de vapor.

- 20 En una realización preferida de la invención, el método comprende la etapa adicional de proporcionar un gas reactivo y poner en contacto el gas reactivo con una mezcla del material pulverizado calentado y el material carbonoso.

El gas reactivo se puede añadir junto con el material carbonoso y/o el material pulverizado calentado y de ese modo utilizarse para transportar los materiales al interior del reactor. Como alternativa, el gas reactivo se puede agregar directamente a la atmósfera configurado para oxidar no más que parcialmente el carbono a CO₂. También se pueden agregar reactivos en un estado sólido, líquido o disuelto, que luego se evapora en las condiciones del proceso.

- 25 Adicionalmente, los reactivos podrían agregarse en forma de precursores, que se convierten en reactivos cuando se someten al entorno del proceso.

El gas reactivo puede ser un gas que comprende oxígeno, como el aire, oxígeno puro y/o CO₂.

- 30 Al proporcionar el gas reactivo, a la atmósfera configurada para oxidar no más que parcialmente el carbono a CO₂, es posible pirolizar o incluso gasificar el material carbonoso en una atmósfera con poco o ningún contenido de oxígeno antes de la combustión, que solo tiene lugar después de la adición del gas reactivo. Esto proporciona el efecto de que la cantidad de material de carbono oxidado y no oxidado se puede equilibrar para un propósito específico. Como ejemplo, se puede agregar H₂O para mejorar la gasificación o para ajustar la composición del producto. Se puede agregar O₂ para mejorar las reacciones exotérmicas, p. ej., oxidación del carbón. La adición de O₂ puede ayudar de este modo a equilibrar la conversión de material de carbono a través de reacciones de pirolización endotérmica y reacciones exotérmicas sin un efecto no deseable sobre el rendimiento y la composición del producto, es decir, para mejorar el equilibrio energético.

- 35 En una realización preferida de la invención, el material en polvo y el material carbonoso se ponen en contacto y se transportan en un flujo arrastrado en la atmósfera configurado para oxidar no más que parcialmente el carbono. Preferiblemente, el flujo arrastrado está en una dirección sustancialmente descendente. Si las partículas se fluidizan, el fluido fluidizante se proporciona preferiblemente en contracorriente desde una dirección sustancialmente opuesta al flujo arrastrado.

40 El flujo arrastrado proporciona un tiempo de contacto controlado entre el material carbonoso y el material en polvo. El flujo arrastrado proporciona una mejor mezcla del material carbonoso y el material en polvo ya que el flujo arrastrado es opuesto a la dirección del flujo de gas que comprende volátiles. Esto mejora la transferencia de calor entre el gas, el polvo y el material carbonoso, lo que da como resultado una conversión mejorada del material carbonoso.

- 45 El fluido fluidizante puede ser el gas reactivo. Esta configuración proporciona que el material carbonoso se convierta al menos parcialmente durante el transporte de flujo arrastrado y posteriormente se queme al menos parcialmente debido a la entrada de gas reactivo.

50 En una realización preferida de la invención, el material carbonoso y el material en polvo se proporcionan en una relación de masa de 1:20 a 1:2, como 1:5.

- 55 Esta relación proporciona una buena base para que el lecho compuesto sólido responda como un material en polvo que puede controlarse. Esta relación proporciona un buen contacto entre el polvo y el material carbonoso y garantiza que, si el material carbonoso se vuelve pegajoso (goma), quede recubierto con el material en polvo. Esto es especialmente importante si el material carbonoso contiene trozos más grandes de material carbonoso que forman intermedios pegajosos cuando se someten a calentamiento, p. ej., trozos más grandes de plástico o neumáticos.

Adicionalmente, esta relación garantiza que la capacidad de disipación térmica del material en polvo pueda estabilizar la temperatura del proceso frente a variaciones de temperatura tanto bajas como altas.

En una realización preferida de la invención, la relación de oxígeno a la atmósfera total después de proporcionar un gas reactivo a la atmósfera configurado para oxidar no más que parcialmente el carbono, es decir, lambda está por debajo de 0,2, como por debajo de 0,1, preferiblemente 0,05, más preferiblemente 0,03.

Controlar el oxígeno (O_2) al entorno del proceso para no oxidar más que parcialmente el carbono limita las reacciones secundarias, incluida la oxidación de los hidrocarburos formados a CO_2 y agua que limita el rendimiento de los productos deseados. Asimismo, la oxidación excesiva puede provocar aumentos de temperatura no deseados que pueden desestabilizar el entorno del proceso y provocar una composición del producto no deseada.

10 En una realización preferida de la invención, el material en polvo y el material carbonoso se ponen en contacto y se mantienen por encima de la temperatura de conversión durante al menos 30 segundos, como al menos 120 segundos. Preferiblemente, el material en polvo y el material carbonoso se ponen en contacto durante hasta 600 segundos.

15 Habitualmente, un tiempo de conversión de material carbonoso que se convierte fácilmente es de aproximadamente 30 a 120 segundos a una temperatura superior a la temperatura de conversión. Sin embargo, con un tiempo de contacto de hasta 600 segundos, se puede garantizar que los materiales carbonosos voluminosos, como astillas de madera gruesas, neumáticos y otros materiales difíciles de degradar puedan convertirse al menos parcialmente.

En una realización preferida de la invención, el material en polvo calentado tiene una temperatura de aproximadamente 600 °C a 1000 °C, preferiblemente de 700 °C a 850 °C, tal como 800 °C.

20 Esta temperatura garantiza que una pequeña entrada de oxígeno al proceso solo dé lugar a una combustión parcial y, por tanto, reduce la necesidad de seguros contra fugas. Esta temperatura es suficiente para una rápida conversión de material carbonoso en volátiles. Por razones de seguridad, el material en polvo calentado debe tener una temperatura suficiente para llevar a cabo la conversión a una temperatura superior a la temperatura de autoignición de la mezcla que comprende volátiles, para evitar una explosión en caso de una gran cantidad de oxígeno arrastrado, p. ej., debido a una fuga.

25 En una realización preferida de la invención, el material en polvo es harina de cemento y preferiblemente en donde el calentamiento de la harina de cemento se lleva a cabo en un proceso de fabricación de clínker de cemento, como en el precalentador o calcinador del proceso de fabricación de clínker de cemento.

En una realización preferida, el material carbonoso se puede seleccionar de los grupos que comprenden combustibles alternativos y residuales, combustibles de biomasa y combustibles fósiles.

30 Los combustibles alternativos podrán seleccionarse de la lista que comprende: residuos municipales, llantas destrozadas, muebles, alfombras, desechos de madera, desechos del jardín, residuos de cocina y otros residuos domésticos, lodo de papel, papel, lodos de depuradora, residuos líquidos, tierra decolorante, piezas de automóvil, plástico, fardos de plástico y desechos médicos peligrosos.

Los combustibles fósiles pueden ser lignito, antracita, carbón bituminoso, coque de petróleo, etc.

35 La biomasa incluye paja, madera, etc.

Según otro aspecto, la invención se refiere a un reactor para convertir un material carbonoso, el reactor está configurado para alojar un material en polvo sólido y tiene una porción superior y una porción inferior, comprendiendo el reactor:

40 al menos una entrada sólida para proporcionar material sólido tal como material carbonoso y/o un material en polvo al reactor, la entrada de sólidos está situada preferiblemente en la parte superior del reactor,

al menos una salida de material sólido que comprende un medio de ajuste configurado para ajustar la cantidad de material sólido en el reactor,

una salida de gas situada preferiblemente en la porción superior del reactor,

45 y un medio de separación gas-sólido configurado para separar un gas de un material sólido, preferiblemente situado en la porción superior del reactor.

Al tener un reactor según la invención, la mayor separación de sólidos y gases tiene lugar en el reactor, en lugar de p. ej., en un ciclón cercano. Por lo tanto, la presente invención proporciona una huella reducida, ya que los conductos de transporte a un ciclón y ciclones adicionales son redundantes.

50 En la parte superior del reactor se añaden material sólido en forma de material carbonoso y un material en polvo calentado. La conversión del material carbonoso tiene lugar cuando el material carbonoso entra en contacto y es calentado por el material en polvo calentado hacia la salida del sólido. Durante la conversión, los volátiles forman un

- flujo ascendente hacia la salida del gas. Esta configuración que tiene tanto la entrada de sólidos como la salida de gas situadas en la parte superior proporciona un contraflujo entre los sólidos y el gas y proporciona un mayor tiempo de contacto entre los sólidos añadidos al reactor y los sólidos y gases que ya están en el reactor. También se consigue una mejor mezcla y transferencia de calor.
- 5 Preferiblemente, el reactor puede separar al menos el 75 %, como al menos el 90 % de los sólidos del gas. El patrón de flujo a contracorriente también reduce el efecto adverso de reacciones secundarias que involucran a los hidrocarburos formados.
- En una realización preferida de la invención, el medio de separación de gas-sólido está configurado para separar gases y sólidos usando la gravedad como fuerza dominante para reducir la velocidad del gas por debajo de una velocidad de arrastre de los sólidos.
- 10 En una o más realizaciones, el reactor puede configurarse para proporcionar al menos dos regímenes de flujo diferentes.
- La reducción de la velocidad por debajo de la velocidad de arrastre forma una fase densa generalmente en la parte inferior del reactor y una fase diluida generalmente en la parte superior del reactor donde tiene lugar la reducción de la velocidad. En la zona del reactor donde la velocidad cae por debajo de la velocidad de arrastre se forma una zona de chorro.
- 15 Preferiblemente, el reactor puede configurarse para proporcionar al menos tres regímenes de flujo diferentes. El tercer régimen de flujo es una zona de sedimentación que comprende sustancialmente gas. La zona de sedimentación está situada encima de la zona de pulverización/zona densa y generalmente está situada cerca de la salida de gas.
- 20 En una realización preferida, el reactor comprende al menos una entrada de material sólido situada en la zona de pulverización y/o al menos una entrada de material sólido situada en la zona de sedimentación.
- El medio de separación gas-sólido que tiene la gravedad como fuerza dominante tiene preferiblemente un flujo en dirección horizontal o más preferiblemente ascendente. Por dirección ascendente se entiende cualquier dirección con un desplazamiento vertical con respecto a la horizontal.
- 25 Si el flujo de gas y sólidos se separa en el medio de separación de gas-sólido que tiene un ángulo de desplazamiento horizontal o relativamente bajo con respecto a la horizontal, p. ej., en un conducto, las partículas sólidas se depositarán en el fondo del conducto debido a la gravedad y la fricción entre los sólidos y la superficie del conducto. Como la dirección del flujo es más cercana a la vertical que a la horizontal, proporciona la ventaja de que se evita que los sólidos se acumulen, p. ej., en un conducto, sino que caen hacia la parte inferior del reactor. La última configuración proporciona diferentes zonas a diferentes alturas en el reactor, ya que el gas comprenderá menos sólidos cuanto mayor sea la ubicación en el reactor. En la porción inferior del reactor el gas será denso, es decir, comprenden una gran cantidad de sólidos, mientras que en la porción superior del reactor el gas estará diluido, es decir, comprenden una baja cantidad de sólidos.
- 30 Las velocidades del gas en el reactor se deben principalmente al desarrollo de volátiles y normalmente están entre 1 y 10 m/s. Un flujo que tiene una velocidad en este intervalo normalmente es demasiado bajo para la separación en un ciclón sin proporcionar un ventilador o un suministro adicional de gas para aumentar la velocidad.
- 35 En una realización preferida de la invención, el medio de separación gas-sólido es una sección de la parte superior del reactor que tiene un valor de dimensión de la sección transversal mayor que la parte inferior.
- 40 El valor de la dimensión de la sección transversal puede ser un diámetro o una sección transversal dependiendo de la forma del reactor. A medida que aumenta el valor de la dimensión de la sección transversal, la velocidad del flujo de gas disminuirá. Preferiblemente, la porción superior del reactor tiene un valor de dimensión de sección transversal para disminuir la velocidad del gas por debajo de la velocidad de arrastre. Este aumento en el área de flujo proporciona una alta disminución de la velocidad en una altura pequeña, lo que permite un reactor más compacto.
- 45 En una realización preferida de la invención, la salida de material sólido está situada en la porción inferior del reactor. El medio de ajuste ajusta el nivel o la cantidad de sólidos en el reactor.
- Este ajuste puede basarse en el peso o altura de la columna de sólidos en el reactor y regular el volumen de sólidos que sale del reactor.
- 50 El medio de ajuste puede ser, por ejemplo, un alimentador de tornillo. Según un parámetro de entrada, el alimentador de tornillo puede regular la velocidad a la que se eliminan los sólidos del reactor. El parámetro de entrada puede basarse en una medición de altura realizada por un láser, una medida de peso de una báscula, un sensor de partículas, etc., de modo que haya una cantidad constante de sólidos presentes en el reactor.
- En una realización preferida de la invención, el reactor comprende adicionalmente medios de fluidización adaptados para fluidizar material en polvo sólido. El medio de fluidización está situado preferiblemente en la porción inferior del

reactor y en donde el medio de ajuste es un conducto que tiene una configuración de trampa de fluido.

El medio de fluidización proporciona una mezcla eficiente de partículas en el reactor. Adicionalmente, el estado dinámico similar a un fluido de las partículas fluidizadas permite que el medio de ajuste se configure como una trampa/sifón de fluido. De esta manera, la forma de la configuración de la trampa de fluido determina la cantidad de

- 5 material en polvo en el reactor, más específicamente, la altura de la trampa de fluido determina el nivel de material en el reactor. Si una cantidad de material en polvo mayor que esta cantidad está presente en el reactor, el aumento de altura da como resultado una mayor presión de "fluido" y, por lo tanto, el material en polvo simplemente fluirá a través de la trampa de fluido para igualar la diferencia de presión.

10 El medio de fluidización puede ser una pluralidad de boquillas distribuidas en la parte inferior del reactor para proporcionar un fluido o preferiblemente un gas. Preferiblemente, el gas puede proporcionarse a través de un distribuidor permeable al gas que consiste en, por ejemplo, placas de metal sinterizadas, material cerámico poroso y material similar poroso que tiene preferiblemente una porosidad entre aproximadamente 5 micrómetros y aproximadamente 100 micrómetros. El distribuidor permeable debe poder soportar las condiciones operativas localizadas del reactor y una cámara de aireación subyacente a través de la cual se suministra el gas.

15 La configuración de trampa de fluido puede comprender un primer y un segundo conducto. El primer conducto está situado centralmente entre el reactor y el segundo conducto. Está unido de manera fluida a la porción inferior del reactor y a una porción inferior del segundo conducto, permitiendo así que el polvo fluya desde el reactor, a través del primer conducto, hasta la porción superior del segundo conducto. La altura del segundo conducto determina de este modo la cantidad de sólidos en el reactor.

20 En una realización preferida, el reactor está orientado para proporcionar una dirección vertical sustancial del flujo, el primer conducto está orientado para proporcionar una dirección de flujo sustancialmente horizontal y el segundo conducto está orientado para proporcionar una dirección de flujo sustancialmente vertical.

Preferiblemente, el primer y/o el segundo conducto comprenden adicionalmente un medio de fluidización. Preferiblemente, el reactor junto con el primer conducto y el segundo conducto tienen una forma sustancial de U o de J que proporciona el efecto de sifón/trampa de fluido.

25 El primer conducto, situado entre el reactor y el segundo conducto, puede tener preferiblemente un suelo que comprende un medio de aireación configurado para fluidizar y guiar el material en polvo desde el reactor hasta el segundo conducto.

30 Preferiblemente, el primer conducto está configurado con un medio para garantizar que las partículas densas y/o no combustibles sean guiadas hacia uno o más puntos de salida. El punto de salida puede ser un punto de drenaje situado entre el reactor y el segundo conducto, como en una porción inferior del primer conducto.

El material se puede drenar fuera de esta abertura del punto de drenaje mediante un sistema de compuerta que elimina preferiblemente el material cerca de la salida, incluido el material sedimentado.

35 Para proporcionar un drenaje más eficaz, se prefiere que se proporcione un flujo continuo de material al punto de drenaje y que el material no se retenga antes de alcanzar el punto de drenaje. El punto de drenaje se puede utilizar durante una operación continua, cuando se detiene el flujo de harina, al drenar el material o durante el mantenimiento para eliminar acumulaciones de material no deseadas.

40 En una realización preferida, una parte del suelo está inclinada en un ángulo de al menos 40° con respecto al plano horizontal. Preferiblemente, el suelo puede tener una inclinación de entre 40° y 50°, como 41°, 42°, 43°, 44°, 45°, 46°, 47°, 48° o 50°. En una realización preferida de la invención, el flujo de material sólido, por lo tanto, se inicia en el reactor como un flujo sustancialmente vertical, seguido de una dirección parcialmente hacia abajo a lo largo del suelo inclinado del primer conducto hacia una porción inferior y central del primer conducto. El material en polvo puede entonces fluir parcialmente hacia arriba a lo largo de un suelo inclinado situado enfrente, antes de llegar al segundo conducto.

45 Preferiblemente, la sección transversal del primer conducto está inclinada hacia una línea central axial.

Preferiblemente, el medio de aireación está distribuido por el suelo del primer conducto.

El suelo inclinado asegura que los materiales densos y no combustibles sean guiados hacia una porción inferior central del primer conducto y para evitar acumulaciones en el fondo/suelo del primer conducto, el reactor y/o el segundo conducto.

50 También es posible proporcionar una configuración de trampa de fluido en la entrada de material. Esto proporciona un ambiente cerrado entre las dos trampas de fluido, es decir, un reactor aislado que está separado de otros procesos acoplados.

Preferiblemente, el medio de fluidización está adaptado para fluidizar material en polvo proporcionando impulsos de gas.

Para superar los problemas de fluidización de polvos cohesivos, p. ej., polvos Geldart C, es necesario romper o alterar los craqueos y canales formados en el lecho de polvo. Esto se puede lograr añadiendo al menos una proporción del gas de fluidización en forma de pulsos. Por la presente, los craqueos o canales formados al introducir el medio de fluidización colapsan en la pausa entre los pulsos, lo que da como resultado una reorganización del lecho de polvo

- 5 antes de que se introduzca el siguiente pulso de medio de fluidización. De este modo, los craqueos o canales se formarán y colapsarán una y otra vez, dando como resultado un lecho casi fluidizado que tiene características similares a un lecho fluidizado a pesar de estar formado por partículas que no se fluidizan mediante un flujo constante.

La fluidización mediante pulsos de gas en lugar de un flujo de gas continuo también permite una fluidización más eficiente con menos gas.

- 10 En una realización preferida de la invención, el segundo conducto comprende un medio de separación gas-sólido. Preferiblemente, el medio de separación gas-sólido es una sección del segundo conducto que tiene un valor de dimensión de sección transversal mayor, lo que demuestra un área de flujo mayor. Al tener un aumento en el área de flujo, el segundo conducto está configurado para reducir la velocidad del gas y de ese modo proporcionar al menos dos regímenes de flujo diferentes, una fase densa inferior y una zona de chorro/zona diluida superior.

- 15 Preferiblemente, el segundo conducto puede configurarse para proporcionar al menos tres regímenes de flujo diferentes. El tercer régimen de flujo es una zona de sedimentación que comprende sustancialmente gas. La zona de sedimentación está situada encima de la zona de pulverización/zona densa y generalmente está situada cerca de la salida de gas.

- 20 En una realización preferida de la invención, el reactor está configurado para comprender dos zonas de expulsión diferentes y, opcionalmente, dos zonas de sedimentación diferentes.

En una realización preferida de la invención, el primer conducto está configurado para proporcionar una capa protectora de sólidos sobre al menos una porción de la superficie inferior del primer conducto.

- 25 Esto se logra proporcionando un valor de dimensión de la sección transversal del primer conducto que varía a lo largo de la longitud del conducto. Preferiblemente, el valor de la dimensión de la sección transversal puede aumentar y luego disminuir a lo largo del conducto. Preferiblemente, el valor de la dimensión de la sección transversal aumenta hacia medio punto del conducto y luego disminuye. Se prefiere que el primer conducto tenga un valor de dimensión de la sección transversal mayor en el punto medio que los valores de dimensión de la sección transversal del reactor y el segundo conducto.

Este diseño puede denominarse diseño de radio extendido de la configuración de trampa de fluido.

- 30 Se ha observado que el patrón de flujo en una configuración de trampa de fluido tiene un patrón de tipo pistón. Esto da como resultado un patrón de vectores en el que los vectores "internos" en relación con el punto de inflexión tienen un tiempo de residencia menor en comparación con los vectores externos. A medida que aumenta el valor de la dimensión de la sección transversal en el primer conducto, el conducto excede el diámetro hidráulico del tramo de entrada. Se ha descubierto que los vectores "fuera" de este diámetro se reducen gradualmente hasta cero, es decir, forma una capa casi estacionaria.

35 De este modo, un diseño de radio extendido da como resultado la formación autógena de una capa casi estacionaria de material que actúa como una capa protectora entre los sólidos en movimiento y las superficies estacionarias. El radio extendido también es directamente aplicable en otras situaciones donde la geometría permite un cambio en la dirección del flujo de polvo.

- 40 En una realización preferida de la invención el primer conducto comprende una malla interna.

- 45 La formación de una capa protectora se puede reforzar colocando una rejilla o malla adecuada en el lado del material del conducto. El tamaño de paso y la geometría óptimos variarán dependiendo de los tipos de material que se procesen, así como de la posible presencia de objetos extraños con propiedades que difieran significativamente de los materiales que se procesen en la unidad. Estos objetos extraños podrían ser partes de la construcción aguas arriba, como escombros refractarios, guijarros o piezas metálicas de SRF. De este modo, la rejilla debe diseñarse de tal manera que estos objetos extraños no la bloquen ni provoquen un mal funcionamiento de la función de aireación. Preferiblemente, el tamaño de malla corresponde a una abertura de 15 a 50 mm.

- 50 En una realización preferida de la invención, el reactor está conectado de manera fluida al segundo conducto por medio de un conducto de derivación unido a la porción superior del reactor y la porción superior del segundo conducto. Esto permite que el gas en la parte superior del reactor que está diluido, es decir, comprenden una pequeña cantidad de sólidos para fluir hacia el segundo conducto.

- 55 Cuando se produzca la introducción de especies gaseosas o la formación de volátiles, se vuelve importante en el reactor, entonces es preferible hacer disposiciones para evitar grandes diferencias de presión entre el reactor y el segundo conducto con el fin de establecer una operación estable. Esto se puede obtener conectando los dos conductos en lugares donde se diluirá el gas. En una realización preferida, la salida de gas está situada junto al

conducto de derivación entre el reactor y el segundo conducto.

Otras realizaciones actualmente preferidas y otras ventajas resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada y de las reivindicaciones dependientes adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

- 5 La invención se describirá con más detalle a continuación mediante ejemplos no limitantes de realizaciones actualmente preferidas y con referencia a los dibujos esquemáticos, en los que:
- la figura 1 muestra una vista esquemática en sección transversal de un reactor para convertir un material carbonoso según una realización de la invención;
- 10 la figura 2 muestra una vista esquemática en sección transversal de un reactor para convertir un compuesto carbonoso según otra realización de la invención, en donde el reactor comprende un tornillo de material para regular el material sólido en el reactor;
- la figura 3 muestra una vista esquemática en sección transversal de un reactor para convertir un material carbonoso según otra realización de la invención, en donde el reactor comprende un primer y un segundo conducto que, junto con el reactor, forma una forma de U esencial;
- 15 la figura 4 muestra una vista esquemática en sección transversal de un reactor para convertir un material carbonoso según otra realización más de la invención, en donde el reactor comprende un conducto de derivación de gas;
- la figura 5 muestra una vista esquemática en sección transversal de un reactor para convertir un material carbonoso según otra realización de la invención, en donde el segundo conducto tiene un aumento en el área de flujo;
- 20 la figura 6 muestra una vista esquemática en sección transversal de un reactor para convertir un material carbonoso según otra realización de la invención en donde el reactor tiene un diseño de radio extendido; y
- la figura 7 muestra una visión general esquemática de un extracto de un proceso de fabricación de cemento que comprende un reactor según una realización de la invención.

25 Descripción detallada

La figura 1 muestra un dibujo esquemático de un reactor 1 para convertir un material carbonoso. El reactor 1 tiene una cámara de reactor 2 que está configurada para alojar un material en polvo sólido. El reactor 1 tiene una porción inferior 10 y una porción superior 11 y comprende una entrada de material sólido 20 para proporcionar material sólido a la porción superior 11 del reactor 1. La entrada de material sólido 20 puede estar situada en el lateral como se muestra o, como alternativa, en la parte superior. La entrada de material sólido 20 es adecuada para permitir la entrada de material carbonoso y/o un material en polvo al reactor.

Una salida de gas 26 está situada en la parte superior 11 del reactor 1 y una salida de material sólido 21 está situada en la parte inferior 10 del reactor 1. La salida de material sólido 21 comprende medios de ajuste configurados para ajustar el nivel y/o la cantidad de material sólido en el reactor.

35 La cámara del reactor 2 y la ubicación de la entrada de material sólido 20, la salida de gas 26 y la salida de material sólido 21 están dispuestas para proporcionar separación gas-sólido. En la realización particular, esto se logra teniendo la salida de gas en la parte superior 11 y la salida de material sólido en la parte inferior 10 y situadas a diferentes alturas espaciadas de modo que el flujo de gas en la salida de gas tenga una velocidad por debajo de una velocidad de arrastre.

40 Durante el uso previsto, se añade a la cámara de reacción 2 un material carbonoso que tiene una temperatura de conversión junto con un material en polvo que tiene una temperatura superior a la temperatura de conversión del material carbonoso. Los sólidos pueden transportarse neumáticamente a la cámara del reactor 2 o pueden alimentarse mecánicamente. En la figura 1, tanto el material en polvo como el material carbonoso se añaden a través de la entrada de material sólido 20, pero también se pueden añadir a través de diferentes entradas, como se muestra en la figura 2.

45 El reactor 1 funciona con un entorno dentro de la cámara del reactor 2 que está configurado para oxidar no más que parcialmente el carbono a CO₂. Preferiblemente, la relación de oxígeno a la atmósfera total en la cámara de reacción (λ) es inferior a 0,15, como por debajo de 0,12, preferiblemente 0,05, más preferiblemente 0,03.

50 El material carbonoso y el material en polvo caen hacia abajo dentro de la cámara de reacción 2 mientras entran en contacto. A medida que el material carbonoso se calienta hasta o por encima de la temperatura de conversión, tiene lugar la conversión del material carbonoso en un material convertido y un producto volátil. El material convertido, junto con el material en polvo y el material carbonoso no convertido, caerá más hacia el fondo de la cámara de reacción 2. El medio de ajuste en la salida de material sólido 21 ajustan la cantidad de material sólido en la porción inferior 10 de la cámara del reactor 2. Este ajuste se puede hacer de acuerdo con la altura de columna deseada del material sólido

y/o para obtener un tiempo de retención deseado para permitir que el material carbonoso se convierta. El tiempo de retención debe ser de al menos 30 segundos, pero, dependiendo de las especificaciones (tipo, tamaño, temperatura de conversión, etc.) del combustible carbonoso, el tiempo de retención puede ser de al menos 120 segundos y hasta aproximadamente 600 segundos.

- 5 Los volátiles convertidos a partir del material carbonoso fluyen hacia arriba hacia la salida de gas 26 en contra del flujo descendente de sólidos. Esto asegura una mejor mezcla y transferencia de calor entre los sólidos. Las dimensiones del reactor 1 están configuradas de manera que la velocidad del gas en la salida 26 de gas esté por debajo de una velocidad de arrastre, de modo que se transporten pocos o ningún sólido a través de la salida 26 de gas. La velocidad del gas se puede controlar ajustando la temperatura en el reactor 1, ajustando el tiempo de retención o añadiendo un gas a través de una entrada de gas 25.

Pasando ahora a la figura 2, que muestra un reactor 1 según otra realización de la invención. El reactor tiene una cámara de reactor 2 que tiene una porción inferior 10 y una porción superior 11. El área de flujo de la cámara de reacción 2 aumenta en la parte superior 11 de la cámara del reactor 2, debido a un valor creciente de la dimensión de la sección transversal (el diámetro) de la cámara del reactor 2. Cuando los volátiles fluyen hacia arriba desde la porción inferior 10 a la porción superior 11, la presión y también la velocidad del gas se reducen por debajo de la velocidad de arrastre de los sólidos. En la realización mostrada, el reactor 1 tiene dos entradas de material sólido 20a y 20b, ambos situados en la porción superior 11. Se puede añadir material carbonoso a la cámara del reactor 2 a través de la entrada de material 20a, lo que permite que el material carbonoso intercambie calor con los volátiles calientes antes de que entre en contacto con el material en polvo que ingresa a la cámara del reactor a través de la entrada de material sólido 20b. La salida de material sólido 21 está situada en la parte inferior 10 adyacente a un tornillo alimentado 22. El tornillo alimentado 22 transporta mecánicamente el material sólido desde la porción inferior 10 de la cámara del reactor 2. La velocidad de rotación del tornillo de alimentación 22 se puede ajustar para mantener un nivel constante de materiales sólidos en la cámara del reactor 2.

Volviendo ahora a la figura 3 que muestra el reactor 1 según otra realización más de la invención, en donde la porción inferior 10 del reactor 1 tiene una configuración de trampa de fluido en forma de U y el medio para ajustar materiales sólidos en el reactor 1 son una o más entradas de fluido 25 configuradas para inyectar fluidos y de ese modo fluidizar el material en polvo. El reactor 1 comprende un primer conducto 5 que, visto en la vista en sección transversal, tiene esencialmente forma de medio anillo con sus dos aberturas orientadas hacia arriba. Un extremo del primer conducto está conectado de manera fluida a la porción inferior de la cámara 2 del reactor. Un segundo conducto 6 está orientado sustancialmente vertical y tiene su extremo inferior unido de manera fluida al otro extremo del primer conducto 5. Las entradas de fluido 25 están situadas en la parte inferior del primer conducto 5. Al inyectar fluido a través de las entradas de fluido 25 y fluidizar el material en polvo en el reactor 1, es el peso de la columna de material en la cámara del reactor 2 y el segundo conducto 6 junto con la ubicación de la salida de material sólido 21 lo que determina cuánto polvo hay en el reactor 1. El diámetro en al menos una parte de la porción superior 11 aumenta gradualmente hacia la parte superior de la cámara del reactor 2 para proporcionar una porción de forma cónica 15. Esto proporciona un área de flujo que aumenta gradualmente en la cámara del reactor. Se puede decir que el aumento en el área de flujo puede ser un aumento repentino.

El método de conversión de material carbonoso y las trayectorias de flujo en el reactor 1 se describirán ahora con más detalle con referencia a la figura 4, que muestra un reactor 1 que comprende un conducto de derivación 28 que conecta de manera fluida la porción superior 11 de la cámara del reactor 2 con el extremo superior del segundo conducto 6. Una salida de gas 27 está situada en el conducto de derivación 28.

Durante el uso previsto, se añade un material carbonoso y un material en polvo a la cámara 2 del reactor a través de la entrada 20a de material sólido, 20b y/o 20c. El material carbonoso tiene una temperatura de conversión y el material en polvo tiene una temperatura superior a la temperatura de conversión. Una vez añadidos a la cámara del reactor 2, el material carbonoso y el material en polvo entran en contacto y el material carbonoso comienza a convertirse en un material convertido y un producto volátil. La atmósfera dentro de la cámara del reactor 2 está configurada para oxidar no más que parcialmente el carbono a CO₂. Durante el uso, los sólidos (es decir, material carbonoso, material en polvo y material convertido) caen debido a la gravedad desde la parte superior 11 hacia la parte inferior 10 y llenan el primer conducto 5. Al inyectar un gas a través de las entradas de fluido 25, los sólidos se fluidizan y se distribuyen entre la porción inferior 10 de la cámara del reactor 2, el primer conducto 5 y el segundo conducto 6. Las líneas de puntos 50 ilustran la altura de la columna de sólidos en la situación en donde la columna fluidizada de sólidos en la cámara del reactor 2 y el segundo conducto 6 tienen la misma densidad, es decir, tienen la misma altura. Debajo de las líneas de puntos 50 los sólidos están presentes en una fase densa. El borde superior 51 en el conducto 6 determina la altura de la columna fluidizada de sólidos en el conducto 6 y, por tanto, también la altura de la columna fluidizada de sólidos en la parte inferior 10 de la cámara del reactor 2. Cuando los sólidos se acumulan más allá de la altura 50, los sólidos fluyen a través del primer conducto 5 y el segundo conducto 6 en un patrón de tipo flujo pistón por encima del borde superior 51 para ajustar el equilibrio entre el peso de las dos columnas de sólidos fluidizados. La dirección del flujo de los sólidos está indicada por las flechas marcadas con "S". La conversión del material carbonoso en volátiles y material convertido tiene lugar tanto en la cámara del reactor 2, el primer conducto 5 y el segundo conducto 6. La dirección del flujo de los volátiles y los gases de fluidización está indicada por las flechas marcadas con (G). Debido al desarrollo de volátiles, el flujo de gas ascendente en la parte inferior 10 de la cámara del reactor 2 normalmente tiene una velocidad mayor que la velocidad de arrastre de los sólidos. Por lo tanto, los gases recogen los sólidos y los elevan

hacia la parte superior 11 de la cámara del reactor 2, formando un área en la cámara del reactor con una baja concentración de sólidos, es decir, una zona diluida. Esta zona se encuentra por encima de la línea de puntos 50. Cuando los gases y sólidos alcanzan la porción de forma cónica 15, la velocidad cae por debajo de la velocidad de arrastre y los sólidos ya no pueden estar suspendidos en el gas. Esto proporciona una zona de expulsión donde los sólidos vuelven a caer hacia la parte inferior 10 de la cámara del reactor 2 y el gas continúa hacia arriba sustancialmente libre de sólidos. Este flujo de sólidos es similar a una fuente y está ilustrado por las flechas "S" en la parte superior 11 de la cámara del reactor 2. Durante la operación, los sólidos fluirán en varias direcciones como lo ilustran las flechas marcadas con "S", pero mirando desde una vista general del balance de materiales, los sólidos se moverán desde la porción superior 11 a través de la porción inferior 10, el primer conducto 5 y el segundo conducto 6.

10 Cualquier volátil que se desarrolle en el segundo conducto 6 fluirá hacia arriba junto con los sólidos. Una vez que el flujo de sólidos y gas pasa el borde superior 51, sustancialmente todos los sólidos fluirán a través de la salida de material sólido 21 mientras que los gases continuarán hacia arriba a través del conducto de derivación 28 hacia la salida de gas 26 y/o 27.

15 El gas proporcionado a través de la entrada de fluido 25 se proporciona preferiblemente en pulsos que proporcionan una fluidización más eficiente con menos cantidad de gas. El gas puede comprender un gas reactivo, un gas inerte o combinaciones de los mismos.

20 Volviendo ahora a la figura 5 que muestra un reactor 1 según otra realización más, en donde el segundo conducto 6 tiene un aumento en el área de flujo. El aumento en el área de flujo puede ser un aumento gradual o un aumento repentino que permite que la velocidad de cualquier flujo de gas en el segundo conducto disminuya por debajo de la velocidad de arrastre de los sólidos. La realización mostrada en la figura 5 tiene dos zonas de chorro. Esto es beneficioso cuando solo tiene lugar una conversión parcial del material carbonoso en la cámara 2 del reactor y cuando podría tener lugar una conversión significativa en el primer conducto 5 o incluso en el segundo conducto 6. Si el segundo conducto 6 no tiene el tamaño adecuado para contener los volátiles desarrollados, el desarrollo de volátiles puede resultar en una velocidad del gas superior a la velocidad de arrastre de los sólidos. Esto da como resultado que la fase densa en el segundo conducto 6 se diluya y se forme un patrón de flujo no deseado que implica un flujo de volátiles y sólidos hacia la salida de gas 27. Al aumentar la dimensión de la sección transversal de una parte del segundo conducto 6 para proporcionar una parte que tenga un área de flujo aumentada, se establece una zona de expulsión y sedimentación donde el polvo arrastrado cae y eventualmente se derrama sobre el borde 51 hacia la salida de material sólido 21. Esto da como resultado una corriente de sólidos estable desde la cámara del reactor 2 hasta la salida 21, lo que mejora significativamente el funcionamiento del proceso global y permite un menor tamaño del segundo conducto 6. Si el reactor 1 se hace funcionar con material carbonoso fácilmente convertible, la formación de volátiles tiene lugar esencialmente en la cámara del reactor 2. En esta situación, la realización de la figura 4 puede ser suficiente para un funcionamiento estable. Si el reactor 1 se hace funcionar con trozos más grandes de material carbonoso o material carbonoso que es más difícil de convertir, el desarrollo de volátiles puede tener lugar a lo largo de todo el reactor o incluso principalmente en el segundo conducto. En esta situación, una zona de chorro y una zona de sedimentación en el segundo conducto, o tanto en la cámara del reactor 2 como en el segundo conducto 6, son beneficiosas para la operación estable del reactor 1.

30 Pasando ahora a la figura 6, que muestra el reactor 1 según otra realización más, en donde el primer conducto 5 tiene un diseño denominado de radio extendido. Puede verse que el valor de la sección transversal (es decir, la distancia) entre la pared del conducto superior 32 y la pared del conducto inferior 31 varía a través del primer conducto 5. Opcionalmente, se sitúa una malla 30 en el primer conducto 5 a una distancia constante de la pared superior del conducto 32. Esto proporciona un vacío sólido y libre 35 debajo de la malla 30. La malla asegura que los sólidos no estén en contacto directo con la pared del conducto inferior 31. Cuando se proporciona gas reactivo a través de las entradas de fluido 25, se puede observar un aumento de temperatura localizado debido a la oxidación del material carbonoso. La malla 30 asegura que la pared del conducto inferior 31 no se dañe por las temperaturas elevadas, p. ej., debido a la acumulación de material o a la corrosión a alta temperatura que se puede esperar cuando se quema con combustibles alternativos que contienen cloruros y/o azufre. La malla 30 es fácilmente reemplazable en comparación con el primer conducto 5.

35 40 45 50 El reactor 1 mostrado en la figura 5 solo tiene la salida de gas 27. Por lo tanto, los volátiles y el gas reactivo de la cámara 2 del reactor fluirán desde la parte superior 11 de la cámara 2 de reactivo a través del conducto 28 de derivación hacia la salida de gas 27.

55 Volviendo ahora a la figura 7 que muestra el reactor 1 instalado en conexión con una torre de precalentador 100, calcinador 110 y un horno 120 de una planta de fabricación de clínker de cemento. El horno 120 y el calcinador 110 están conectados por un tubo ascendente del horno 115. La harina cruda de cemento se alimenta a la entrada de harina cruda del ciclón 150d del precalentador de etapa superior. Desde ese punto, la harina cruda fluye hacia el horno rotatorio 120 a través de los ciclones del precalentador y el calcinador 110 en contracorriente a los gases de escape calientes del horno rotatorio 120, provocando así que la harina cruda se caliente y calcine. La harina calcinada se dirige desde el calcinador 110 al ciclón de etapa inferior 150a donde la harina calcinada se separa del gas de escape del calcinador. La harina cruda calcinada se quema hasta obtener clínker de cemento en el horno rotatorio 120 y el clínker de cemento se enfriará en el refrigerador de clínker posterior por medio de aire atmosférico (no mostrado). Parte del aire así calentado se dirige desde el enfriador de clínker a través de un conducto al calcinador 110 como el

denominado aire terciario (no mostrado).

El reactor 1 está situado adyacente al calcinador 110 y al elevador 115 del horno y opcionalmente está situado de manera que la harina de cemento caliente se mueva por gravedad desde la etapa del ciclón 150b. La harina de cemento caliente procedente de 150b se divide entre el reactor 1, el elevador del horno 115 y el calcinador 110 en una

5 proporción ajustable entre 0 y 100 %. La cantidad de harina de cemento caliente desviada al reactor 1 dependerá de la tasa de entrada y el tiempo de conversión del combustible alternativo. El resto de la harina de cemento caliente se dividirá entre el elevador del horno 115 y el calcinador 110. Habitualmente, del 50 al 70 % de la harina de cemento caliente se dirige al calcinador 110 y la mayor parte del resto se envía al reactor 1. La harina de cemento caliente del ciclón 150b normalmente tendrá una temperatura en el intervalo de 730 - 830 °C. La harina de cemento caliente de 10 150b pasa preferiblemente a través de un sello de bucle 130 que funciona como una barrera de gas que en esencia evita que los productos de conversión fluyan hacia 150b, así como también evita que los gases de 150b fluyan hacia el reactor 1.

15 El combustible alternativo no convertido y la harina de cemento caliente se dirigen al sistema pirotécnico, lo más preferiblemente al calcinador 110 a través del tubo ascendente del horno 115. Algunos o todos los productos de conversión del reactor 1 pueden introducirse en el tubo ascendente 115 del horno para crear una zona de reducción para reducir los NOx producidos en el horno 120 o introducirse directamente en el calcinador 110. En otra realización, algunos o todos los productos de conversión, es decir, los gases volátiles, del reactor 1 se pueden utilizar en el quemador del horno rotatorio. En una realización adicional, parte o todo el gas de los productos de conversión se puede utilizar fuera del proceso de cemento, como en un proceso para producir gases combustibles.

20 Como alternativa, la harina de cemento caliente se puede desviar de otros ciclones en el precalentador, como de 150c o 150a, al reactor 1. Opcionalmente, la harina de cemento caliente se hace pasar a través de un sello de bucle 130 que funciona como una barrera de gas para la entrada de material del reactor 1. La parte inferior del sello de bucle puede estar equipada opcionalmente con una salida inferior para partículas de gran tamaño, que a su vez puede conectarse al tubo ascendente del horno 115, a la entrada del horno o a un recipiente separado.

25 Los precalentadores se pueden diseñar en multitud de configuraciones con variaciones en el número de ciclones con división total o parcial del gas, así como sólidos, entre los ciclones individuales. En algunos casos, podría ser preferible tomar una parte del sólido de otros ciclones o una mezcla de los mismos para obtener las condiciones de proceso deseadas en el calcinador 110.

30 35 La configuración del calcinador 110 representada en la figura 6 es un sistema llamado "calcinador en línea" en donde el calcinador está colocado con relación al elevador 115 del horno de modo que todos los gases de escape del horno pasen a través del calcinador 110. El método de la presente invención también se puede utilizar eficazmente con otras configuraciones, incluyendo sistemas de "calcinador de línea separada" en donde la cámara de calificación está al menos parcialmente desplazada del elevador 115 del horno de modo que los gases de combustión del horno no pasen a través del calcinador, y en donde el aire de combustión para el calcinador se extrae a través de un conducto de aire terciario separado.

REIVINDICACIONES

1. Un reactor para convertir un material carbonoso, estando configurado el reactor para alojar un material en polvo sólido y teniendo una porción superior y una porción inferior;

comprendiendo el reactor:

- 5 al menos una entrada de material sólido para proporcionar un material carbonoso sólido y un material en polvo al reactor,
- al menos una salida de material sólido configurada para permitir la eliminación de material carbonoso convertido y/o un material en polvo, comprendiendo dicha salida un medio de ajuste configurado para ajustar el nivel o la cantidad de material sólido en el reactor,
- 10 un medio de fluidización adaptado para fluidizar material en polvo, una salida de gas situada preferiblemente en la porción superior del reactor,
- 15 y un medio de separación gas-sólido configurado para separar sustancialmente un gas de un material sólido, en donde el medio de separación gas-sólido es una sección de la porción superior del reactor que tiene un área de flujo mayor que la porción inferior del reactor configurada para separar gas y sólidos en un flujo sustancialmente vertical y para reducir la velocidad del gas por debajo de una velocidad de arrastre de los sólidos,
- en donde el reactor está configurado de manera que la conversión del material carbonoso tenga lugar cuando el material carbonoso entra en contacto con el material en polvo calentado y es calentado por este.
- 2. El reactor para convertir un material carbonoso según la reivindicación 1, en donde la al menos una entrada de sólido está situada en una porción superior del reactor.
- 20 3. El reactor para convertir un material carbonoso según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde la salida tiene una configuración de trampa de fluido que proporciona el medio de ajuste que ajusta el nivel de material sólido en el reactor cuando el material en polvo se fluidiza.
- 25 4. El reactor para convertir un material carbonoso según la reivindicación 3, en donde la configuración de trampa de fluido comprende un primer conducto que está conectado de manera fluida a la porción inferior del reactor y una porción inferior de un segundo conducto está conectada de manera fluida al primer conducto, permitiendo así que el polvo fluya desde el reactor, a través del primer conducto, a una porción superior del segundo conducto.
- 5. El reactor para convertir un material carbonoso según la reivindicación 4, en donde el primer conducto está configurado para proporcionar una capa protectora de sólidos sobre al menos una porción de la superficie inferior del primer conducto variando el valor de la dimensión de la sección transversal a lo largo de la longitud del primer conducto.
- 30 6. El reactor para convertir un material carbonoso según las reivindicaciones 4 a 5, en donde el primer conducto comprende una malla interna.
- 7. El reactor para convertir un material carbonoso según cualquier reivindicación anterior, en donde la al menos una entrada de material sólido está configurada para evitar sustancialmente que el gas de proceso aguas arriba fluya hacia el reactor junto con el material carbonoso y/o un material en polvo.
- 35 8. El reactor para convertir un material carbonoso según las reivindicaciones 4 a 7, en donde la salida de gas está conectada de manera fluida al segundo conducto.
- 9. Un método para la conversión de un material carbonoso que comprende las etapas de: proporcionar un material carbonoso que tenga una temperatura de conversión;
- 40 proporcionar un material en polvo que tenga una temperatura superior a la temperatura de conversión del material carbonoso;
- poner en contacto el material carbonoso y el material en polvo en una atmósfera configurada para no oxidar más que parcialmente el carbono a CO₂, obtener al menos una conversión parcial del material carbonoso en un material convertido y un producto volátil;
- fluidificar el material carbonoso y el material en polvo calentado;
- 45 separar por gravedad específica dirigiendo un flujo de gas que comprende el producto volátil en una dirección ascendente para proporcionar una fracción que comprende sustancialmente el producto volátil y una segunda fracción que comprende sustancialmente componentes adicionales, siendo dichos componentes adicionales el material en polvo, el material convertido y, opcionalmente, el material carbonoso no convertido o parcialmente convertido, retirar la segunda fracción a través de una salida de material sólido para ajustar el nivel de material sólido fluidizado,

en donde el contacto entre el material carbonoso y el material en polvo tiene lugar en al menos dos regímenes de flujo diferentes, y

en donde la conversión del material carbonoso tiene lugar cuando el material carbonoso entra en contacto con el material en polvo calentado y es calentado por este.

5 10. El método para la conversión de material carbonoso según la reivindicación 9, en donde la velocidad del flujo de gas en dirección ascendente disminuye hasta por debajo de una velocidad de arrastre de los componentes adicionales.

11. El método para la conversión de material carbonoso según las reivindicaciones 9 o 10, en donde se proporcionan pulsos de gas para fluidificar el material carbonoso y el material en polvo calentado.

10 12. El método para la conversión de material carbonoso según las reivindicaciones 9 a 11, en donde el método comprende la etapa adicional de:

proporcionar un gas reactivo u opcionalmente un precursor para un gas reactivo en la atmósfera configurado para oxidar no más que parcialmente el carbono a CO₂,

opcionalmente calentar el precursor para desarrollar el gas reactivo, y

poner en contacto el gas reactivo con una mezcla del material pulverizado calentado y el material carbonoso.

15 13. El método para la conversión de material carbonoso según las reivindicaciones 9 a 12, en donde el material en polvo y el material carbonoso inicialmente se ponen en contacto y se transportan en un flujo arrastrado en la atmósfera configurado para no más que oxidar parcialmente el carbono a CO₂ en una primera dirección y los pulsos de gas y/o el gas reactivo se proporcionan en contraflujo desde una segunda dirección sustancialmente opuesta a la primera dirección.

20 14. El método para la conversión de material carbonoso según las reivindicaciones 9 a 13, en donde el material en polvo es harina de cemento y preferiblemente en donde el calentamiento de la harina de cemento se lleva a cabo en un proceso de fabricación de clínker de cemento, como en el precalentador del proceso de fabricación de clínker de cemento.

25 15. El método para la conversión de material carbonoso según las reivindicaciones 9 a 14, en donde el material carbonoso se selecciona del grupo que comprende combustibles alternativos, combustibles residuales y/o combustibles de biomasa.

16. Una planta de fabricación de clínker de cemento que comprende el reactor según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

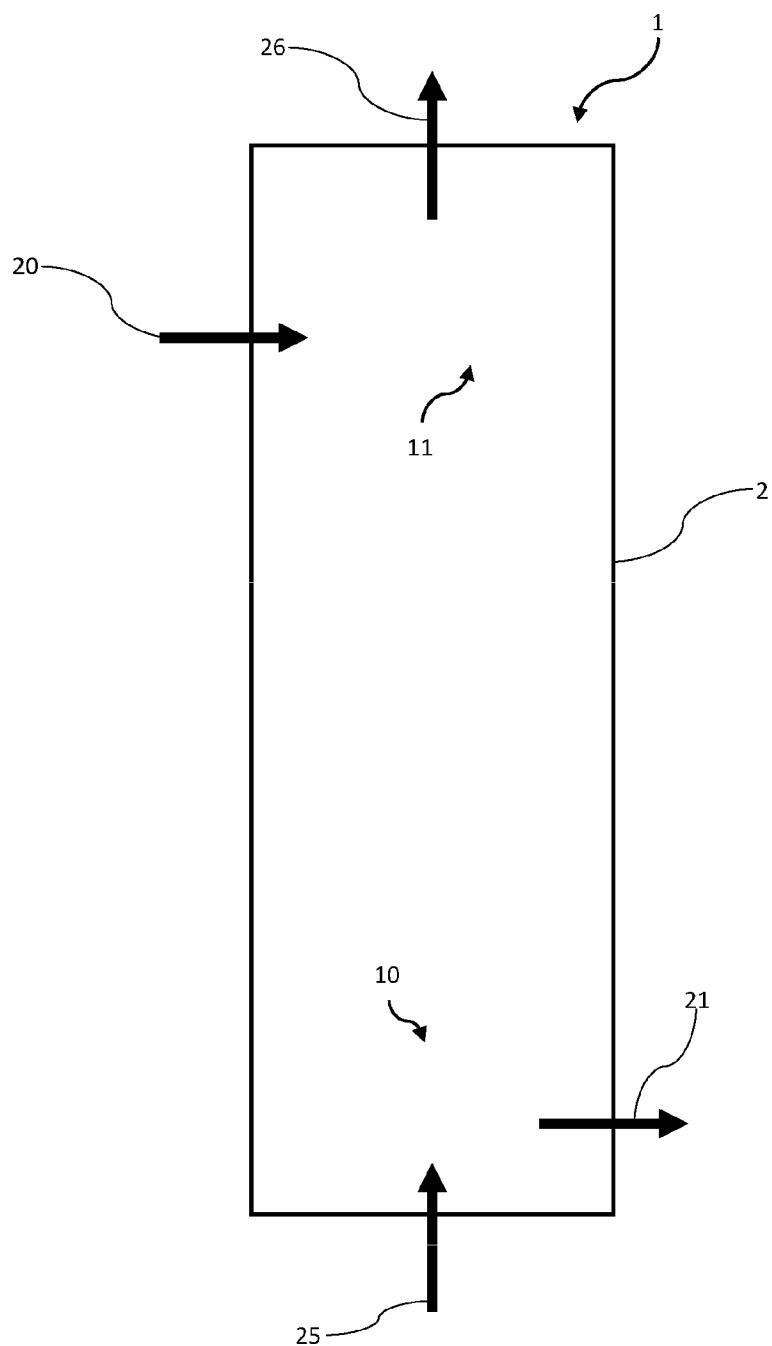


Fig. 1

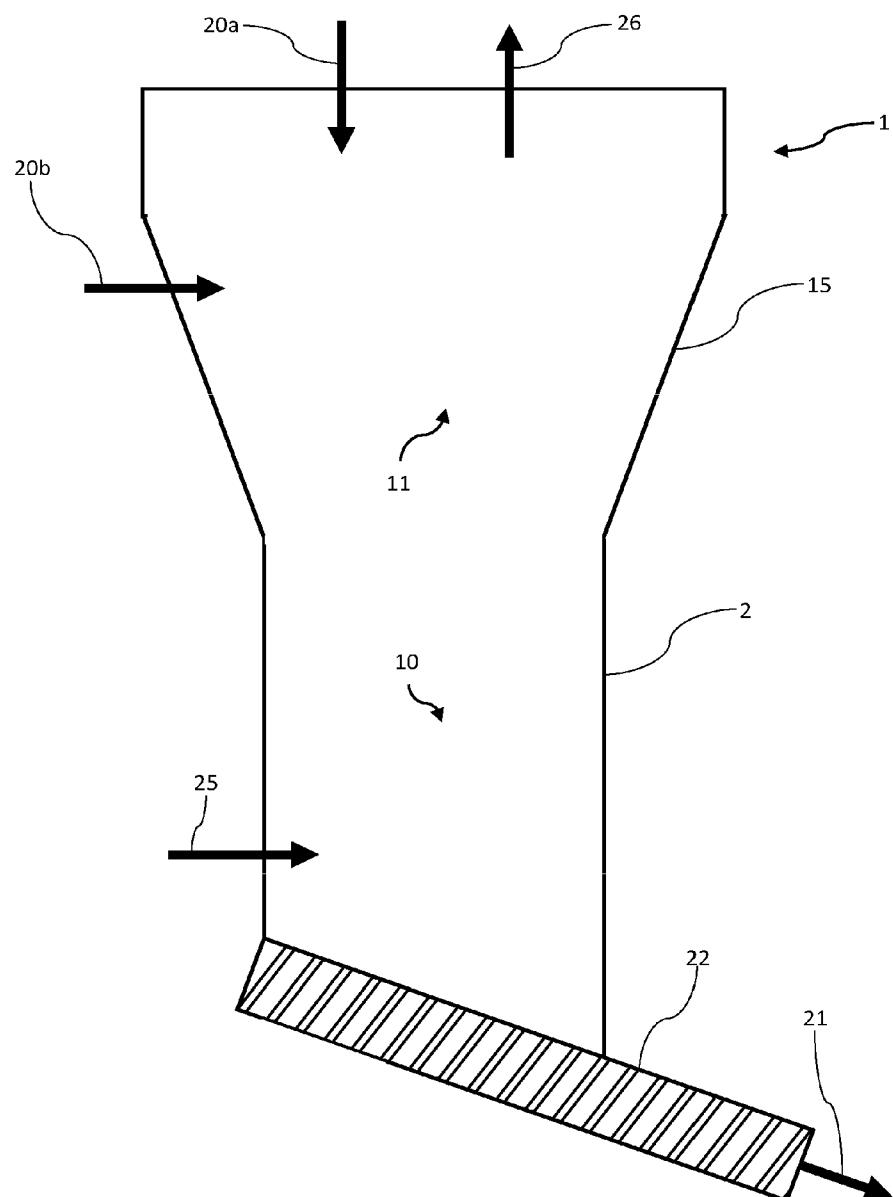


Fig. 2

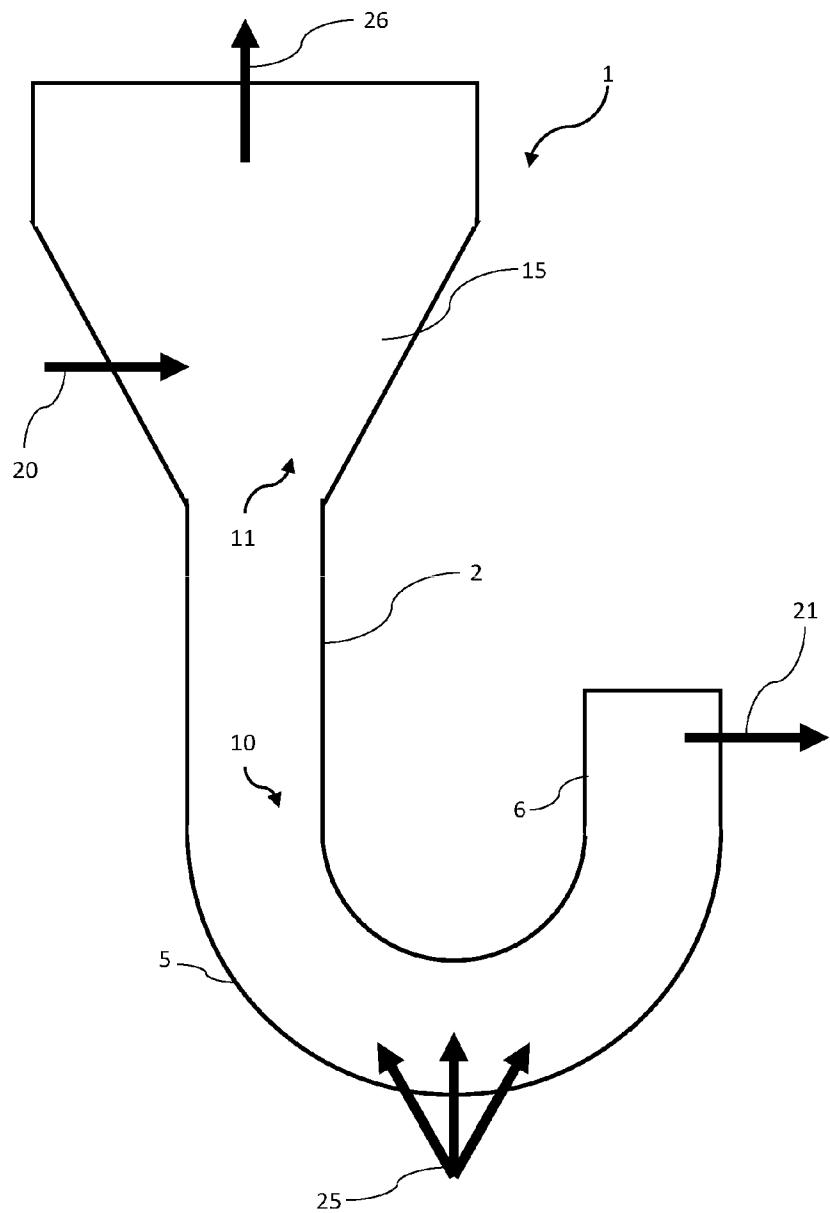


Fig. 3

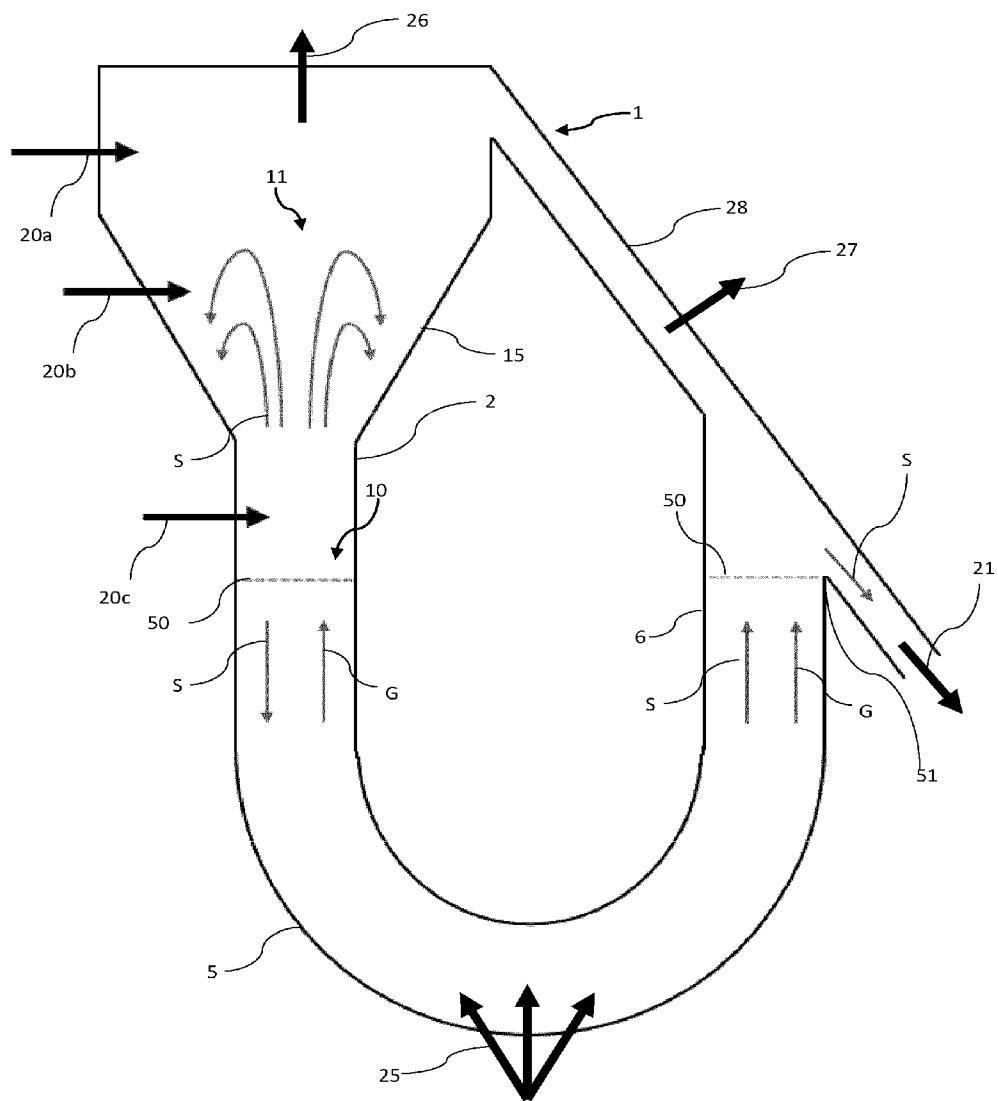


Fig. 4

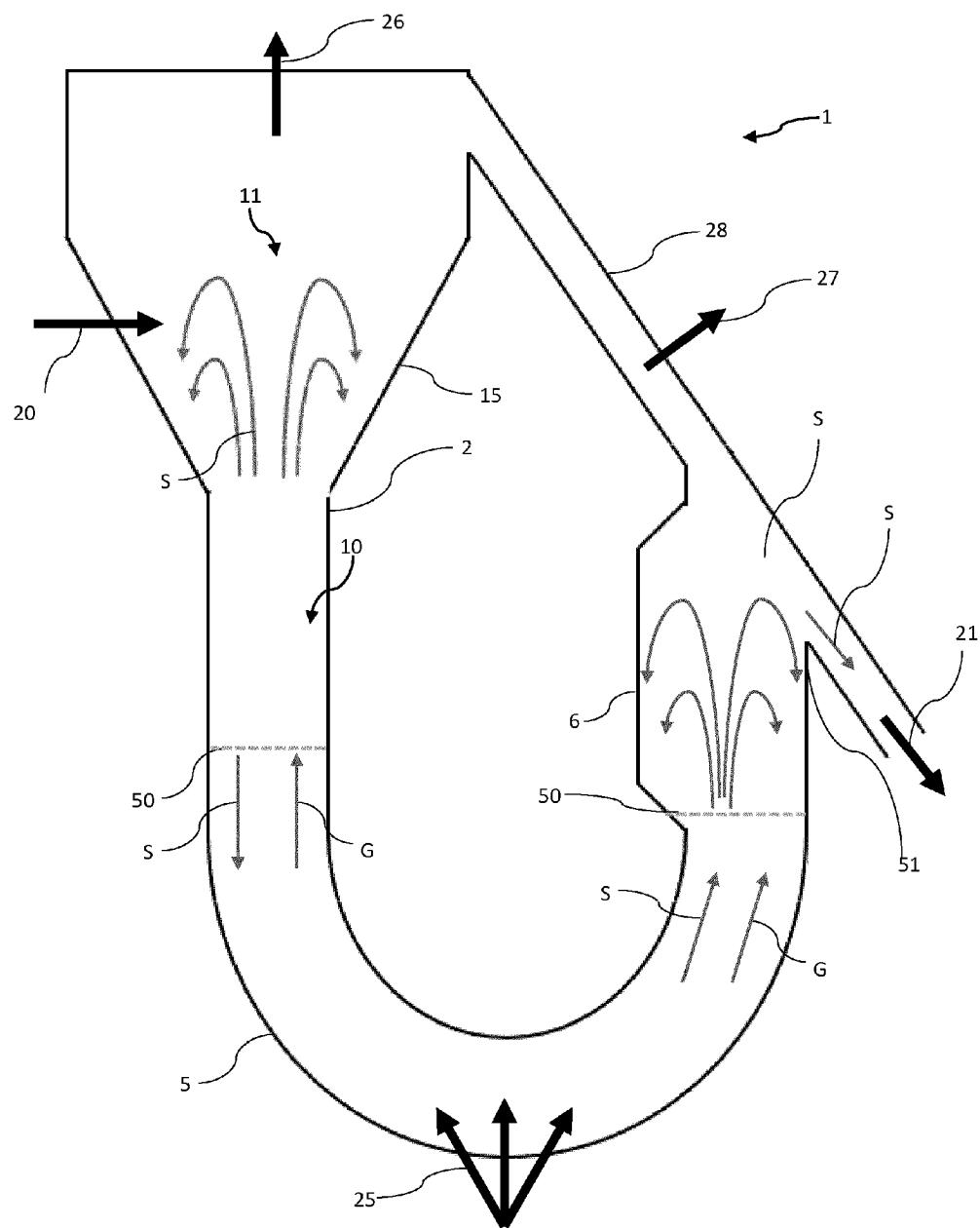


Fig. 5

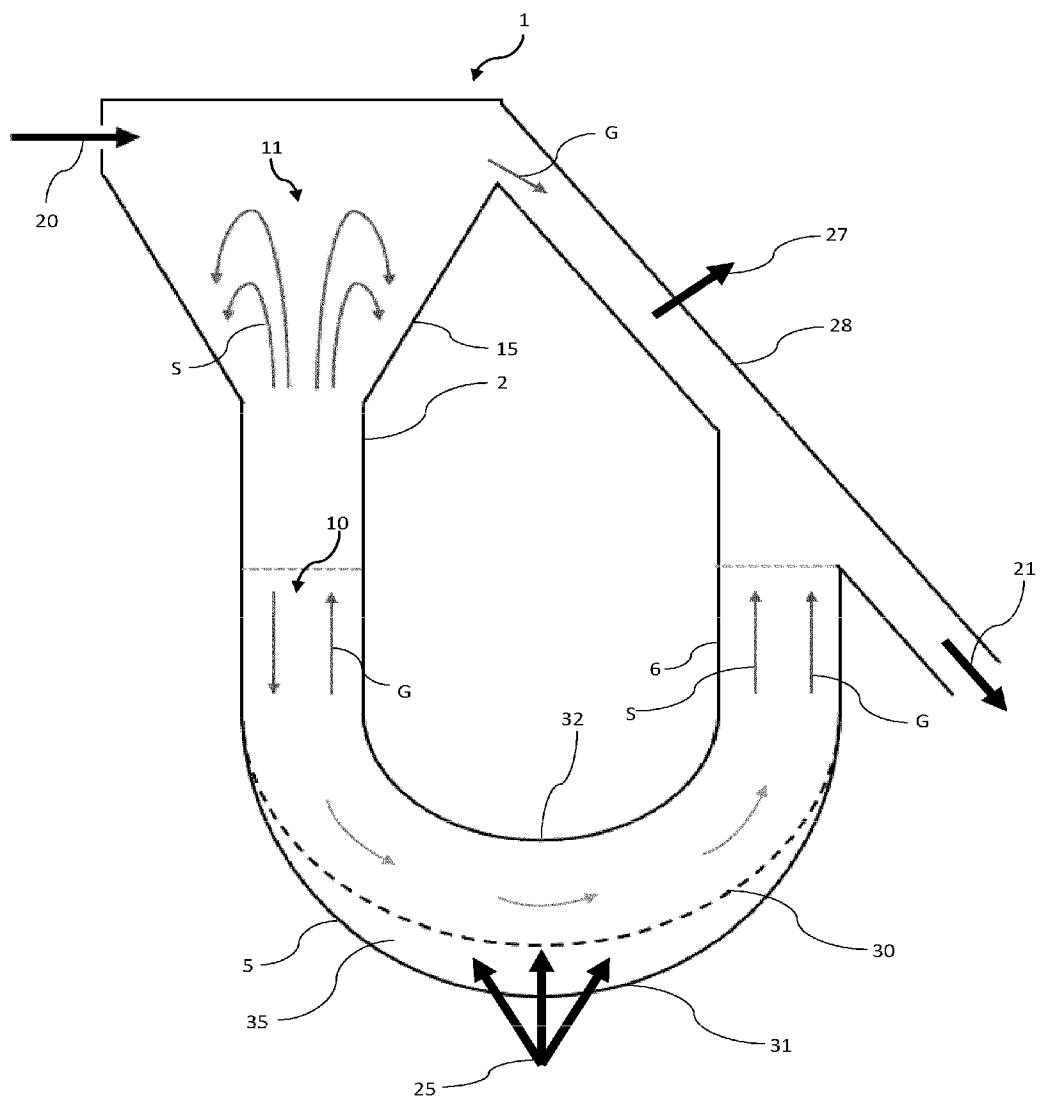


Fig. 6

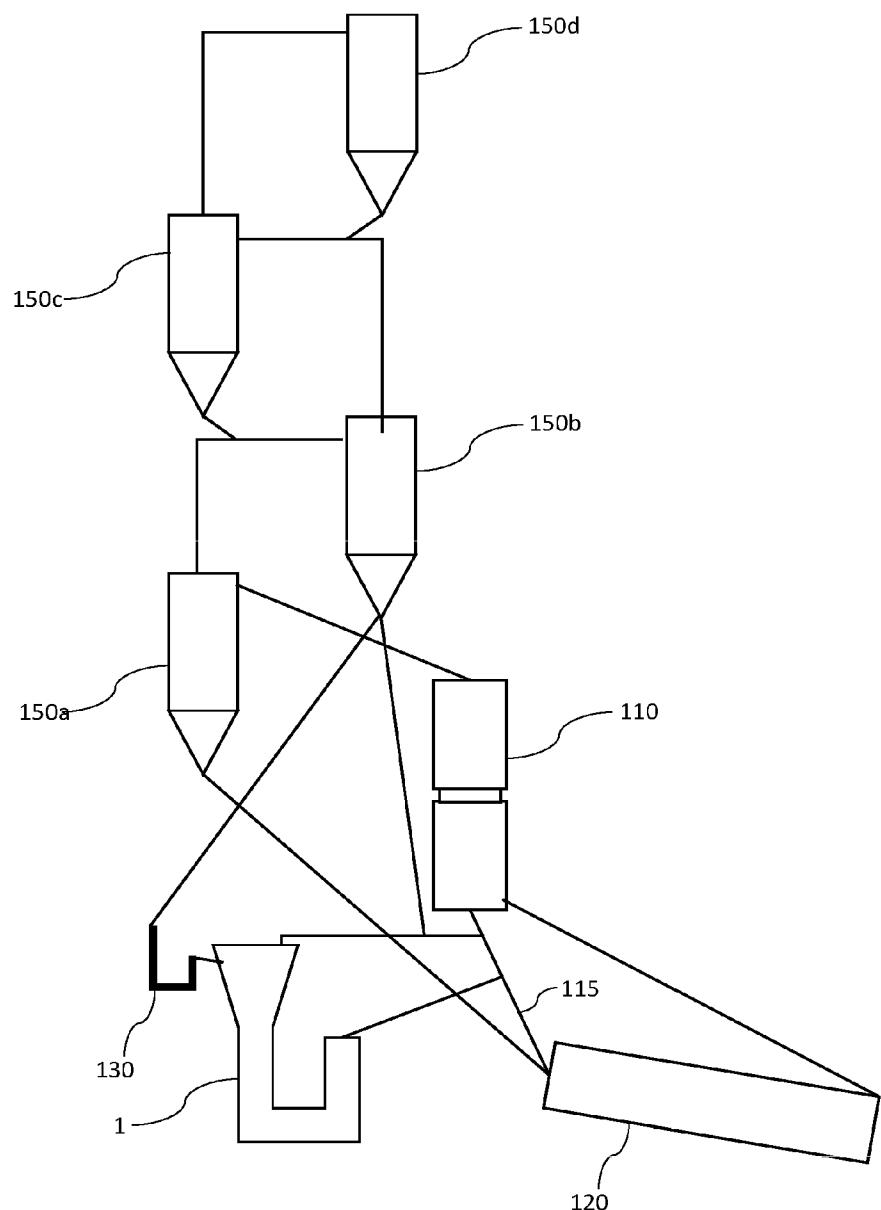


Fig. 7