

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 717 442**

51 Int. Cl.:

**C10B 49/12** (2006.01)

**C10L 9/08** (2006.01)

**C10J 3/48** (2006.01)

**B01J 8/14** (2006.01)

**B01J 8/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.11.2013 PCT/EP2013/073158**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.05.2015 WO15067310**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.11.2013 E 13786280 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.01.2019 EP 3066176**

54 Título: **Procedimiento de conversión de una materia prima que contiene partículas carbonosas sólidas en al menos un compuesto gaseoso**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**21.06.2019**

73 Titular/es:

**ALUCHA MANAGEMENT B.V. (100.0%)  
Westervoortsedijk 73  
6827 AV Arnhem, NL**

72 Inventor/es:

**BREM, GERRIT y  
BRAMER, EDUARD AUGUSTINUS**

74 Agente/Representante:

**TOMAS GIL, Tesifonte Enrique**

ES 2 717 442 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento de conversión de una materia prima que contiene partículas carbonosas sólidas en al menos un compuesto gaseoso

5

Campo de la invención

[0001] La invención se refiere a un procedimiento de conversión de una materia prima que contiene partículas carbonosas sólidas en al menos un compuesto gaseoso, donde el procedimiento es una pirólisis de una materia prima carbonosa.

10

Antecedentes de la invención

[0002] La pirólisis de materiales carbonosos sólidos como, por ejemplo, biomasa o residuos carbonosos se lleva a cabo calentando el material sólido bajo condiciones no oxidantes. En primer lugar, los materiales carbonosos sólidos se calientan y, a continuación, se descomponen en compuestos gaseosos. Los gases condensables formados durante la pirólisis se enfrían para obtener una fase líquida llamada aceite de pirólisis. Tradicionalmente, la pirólisis se ha llevado a cabo con tiempos de residencia de las partículas de materia prima sólida en el reactor de pirólisis relativamente largos. Esto produce, sin embargo, reacciones secundarias de craqueo indeseadas y un rendimiento relativamente bajo de aceite de pirólisis. Un rendimiento más alto de aceite de pirólisis, una mayor eficiencia y menos reacciones secundarias se consiguen mediante la denominada pirólisis flash. En un proceso de pirólisis flash, se introducen partículas relativamente pequeñas de materia prima, generalmente con un diámetro del orden de unos milímetros, en un reactor y se calientan durante un periodo relativamente corto con un movimiento continuo de las partículas. La fase gaseosa formada se enfría y condensa antes de que se produzcan reacciones secundarias extensas. Los reactores adecuados conocidos para la pirólisis flash, también denominada pirólisis rápida, incluyen reactores tipo ciclón y de turbulencia.

15

20

25

[0003] En la patente WO 01/34725, por ejemplo, se describe un reactor de ciclón para pirólisis flash. Un flujo de suministro que comprende partículas de suministro y un gas portador se introducen en el reactor de ciclón cerca de la parte superior del reactor. Un flujo del producto que comprende sólidos se descarga del reactor en el fondo y un vapor de flujo gaseoso se descarga de la parte superior del reactor.

30

[0004] En los reactores tipo ciclón, el material sólido que va a ser pirolizado tiene un tiempo de residencia determinado y finito, ya que las partículas se conducen a la salida del fondo del reactor debido a las fuerzas de gravedad. En el caso de una materia prima que comprende partículas por encima de un tamaño crítico determinado, dichas partículas más grandes se descargarán del reactor antes de que estén lo suficientemente convertidas. En la técnica, se han propuesto reactores de pirólisis de ciclón o turbulencia o modos operativos para dichos reactores para aumentar el tiempo de residencia de las partículas más grandes. En la patente WO 01/34725, por ejemplo, se menciona que el reactor de ciclón se puede accionar "de abajo a arriba". A continuación se introduce un flujo de suministro que comprende partículas de suministro y un gas portador en el reactor de ciclón cerca del fondo del reactor. Las partículas sólidas se mueven hacia arriba a una velocidad que depende del equilibrio de fuerzas de gravedad y arrastre. Las partículas sólidas se descargan del reactor de ciclón a través de un ciclón interno colocado en el ciclón externo y, de esta forma, dejan el reactor en el extremo inferior (véase la figura 3a de la patente WO 01/34725). En la patente WO 01/34725 se menciona posteriormente un reactor de tipo turbulencia (véase la figura 3b de la patente WO 01/34725) donde se introduce un flujo de suministro que comprende partículas de materia prima y un gas portador en un tubo de turbulencia cerca del fondo del tubo, y las partículas sólidas y un flujo gaseoso salen del tubo de turbulencia como flujos individuales en la parte superior del tubo.

35

40

45

[0005] En la patente DE 3814723 se describe un reactor de pirólisis de tipo turbulencia en el que las partículas grandes tienen un tiempo de residencia más largo que las partículas pequeñas. En el reactor de la patente DE 3814723, se introduce tangencialmente un flujo de suministro que comprende materia prima sólida y un gas portador en el fondo de un recipiente de reacción de turbulencia anular. En la parte superior del reactor de turbulencia anular, se hace que la mezcla de reacción de turbulencia que comprende material sólido y gaseoso fluya hacia abajo dentro de un canal anular interno actuando como un ciclón. En el ciclón, las partículas sólidas o fluidas se separan del flujo gaseoso. En el fondo del canal anular interno, las partículas sólidas se reciclan en el espacio de reacción anular (externo) para ser sometidas a otro ciclo de reacción. El producto gaseoso se descarga del reactor a través de un tubo de salida interno.

50

55

[0006] La patente US4,479,920 divulga un equipo y un método para procesar materia en una masa turbulenta de material en partículas. El procesamiento de la materia se produce en una zona de procesamiento no cónica en una banda turbulenta toroidal de partículas que circulan en torno al eje de la zona de procesamiento. Cuando el procesamiento está completo, los productos se separan automáticamente del material en partículas.

60

[0007] La patente US2,516,141 divulga un equipo y un método para gasificar material carbonoso sólido finamente dividido para la producción de gas de calentamiento o iluminación utilizando tanto un gas que contiene oxígeno como vapor sobrecalentado.

5 [0008] La patente US3,647,357 divulga un procedimiento para el tratamiento térmico de una sustancia, tal como sólidos finamente granulados, con un gas portador en una cámara de reacción o mezcla, donde dicho procedimiento comprende la introducción del gas portador desde el fondo de la cámara mientras se ejerce una torsión en dicho gas y bajo energía cinética alta. La cámara tiene una pared que se estrecha hacia arriba.

10 [0009] Aunque se conocen reactores para los procesos de pirólisis en los que el tiempo de residencia de las partículas grandes se aumenta, sigue existiendo una necesidad de mejora de tales procesos, en particular para el control mejorado del tiempo de residencia de las partículas de materia prima en función del tamaño de partícula y un control mejorado del tiempo de residencia de los productos gaseosos formados, para evitar una sobrerreacción y reacciones secundarias de craqueo.

15 Resumen de la invención

[0010] Se ha descubierto que en los procedimientos en los que se calienta un material carbonoso sólido y se descompone en al menos un compuesto gaseoso, tales como la pirólisis, se puede controlar y autorregular el tiempo de residencia de las partículas de material de suministro sólidas en función del tamaño o la masa de partícula si el procedimiento se lleva a cabo en un reactor tipo turbulencia específico. El reactor tiene una cámara de turbulencia que se extiende verticalmente en la que un material carbonoso sólido se puede convertir mientras se transporta en un movimiento turbulento en una capa en la pared de la cámara de turbulencia por medio de un gas portador inerte. La cámara de turbulencia comprende al menos una entrada tangencial en el fondo de la cámara de turbulencia para suministrar el gas portador y opcionalmente también la materia prima, y una parte superior cónica, con un diámetro decreciente hacia el extremo superior de la cámara, donde se produce la reacción. La materia prima y el gas portador se introducen en el fondo de la cámara de turbulencia. La cámara de turbulencia comprende una parte inferior con un diámetro constante que pasa directamente a la parte superior cónica. La parte inferior sirve para establecer una capa de partículas de materia prima turbulentas en la pared de la cámara de turbulencia. La reacción de conversión se produce en la parte superior cónica de la cámara de turbulencia, en una capa de partículas de materia prima formadas en la pared de la parte cónica de la cámara de turbulencia. El reactor tiene además una salida en su extremo superior para descargar gas y partículas pequeñas de la cámara de turbulencia.

35 [0011] Por consiguiente, la invención se refiere a un procedimiento de conversión de una materia prima que comprende partículas carbonosas sólidas en al menos uno o más compuestos gaseosos en un reactor, donde el procedimiento es una pirólisis de la materia prima carbonosa, y donde el reactor comprende:

- 40 – una cámara de turbulencia que se extiende verticalmente definida por una pared, un fondo y un extremo superior, donde la cámara de turbulencia comprende una parte inferior que tiene un diámetro constante, y una parte superior cónica con un diámetro decreciente en dirección ascendente, donde la pared de la parte superior cónica de la cámara de turbulencia tiene un primer ángulo con la vertical comprendido entre 10 y 40 grados, y donde el extremo superior de la parte inferior es adyacente al extremo inferior de la parte cónica y la parte cónica tiene en su extremo inferior el mismo diámetro de sección transversal que la parte inferior en su extremo superior;
- 45 – al menos una entrada tangencial en el fondo de la cámara de turbulencia situada en la parte inferior;
- un elemento insertado cónico localizado centralmente en el fondo de la cámara de turbulencia, donde la altura del elemento insertado cónico es aproximadamente igual a la longitud de la parte inferior de la cámara de turbulencia; y
- 50 – una salida en el extremo superior de la cámara de turbulencia,

donde la materia prima se suministra a la cámara de turbulencia en el fondo de la cámara de turbulencia, un gas portador inerte se suministra tangencialmente a la cámara de turbulencia a través de la al menos una entrada tangencial, y una capa de partículas de materia prima se forma en la pared de la parte superior cónica de la cámara de turbulencia, y donde al menos parte de la materia prima se convierte en al menos uno de más compuestos gaseosos en la cámara de turbulencia a temperatura elevada y donde la conversión se produce en la capa de partículas de materia prima en la pared de la parte superior cónica de la cámara de turbulencia, donde un flujo que comprende el uno o más compuestos gaseosos se descarga a través de la salida, y donde el calor para el proceso de pirólisis endotérmica se proporciona a la cámara de turbulencia calentando la pared de la cámara de turbulencia, mediante el suministro de materia prima calentada, mediante el suministro de gas portador calentado a la cámara de turbulencia, o combinaciones de los mismos.

[0012] Una ventaja importante del procedimiento según la invención en comparación con el ciclón accionado "de abajo a arriba" de la patente WO 01/34725 es que, durante el accionamiento normal del reactor, no solo las fuerzas de gravedad y arrastre, sino también las fuerzas centrífugas en la parte superior cónica de la cámara de turbulencia ayudan a diferenciar el tiempo de residencia en función del tamaño o la masa de partícula. Las

partículas con un tamaño y masa determinados, debido a las fuerzas centrífugas en la cámara de turbulencia, rotarán en una cierta altura en la parte superior cónica de la cámara de turbulencia. El tamaño de las partículas de materia prima se reducirá con el tiempo de residencia debido a la conversión continua de un componente sólido de las partículas en uno o más compuestos gaseosos. Las partículas por debajo de un tamaño o masa críticos determinados saldrán de la cámara de turbulencia con los compuestos gaseosos formados y el gas portador a través de la salida. Para un proceso de conversión, una materia prima y una velocidad del flujo de entrada determinados, las dimensiones de la cámara de turbulencia se pueden escoger de manera que únicamente las partículas por debajo de un tamaño determinado salgan de la cámara de turbulencia a través de la salida del extremo superior.

[0013] Una ventaja adicional del procedimiento según la invención es una transferencia de calor mejorada entre la pared de la cámara de turbulencia y las partículas de materia prima y entre las partículas de materia prima de la parte superior cónica de la cámara de turbulencia. Como resultado de ello, las partículas de materia prima se llevan a la temperatura de conversión deseada en menos tiempo, lo que produce una composición más homogénea de producto gaseoso formado y, en el caso de pirólisis, en una menor producción de residuo de carbón y un mayor rendimiento de aceite de pirólisis.

[0014] Además, dado que la materia prima se transporta en un movimiento turbulento en la cámara de turbulencia, la conversión de las partículas de materia prima se produce en una capa en la pared de la cámara. De esta manera, los compuestos gaseosos formados se separarán de las partículas y se descargarán de la cámara rápidamente a través del espacio de reacción vacío en el centro de la cámara. En el caso de la pirólisis flash, por ejemplo, dicha separación y descarga rápidas producen una menor reacción secundaria indeseada y un mayor rendimiento deseado de aceite de pirólisis.

#### Resumen de los dibujos

[0015] En la figura 1 se muestra una vista en sección transversal esquemática de un reactor que se puede usar en el procedimiento según la invención.

[0016] En la figura 2 se muestra esquemáticamente un orden del procedimiento para la producción de aceite de pirólisis a partir de lodo de papel según el procedimiento de la invención.

#### Descripción detallada de la invención

[0017] El procedimiento según la invención es una pirólisis de una materia prima carbonosa. En este procedimiento, una materia prima carbonosa sólida se calienta y, a continuación, descompone para producir al menos un compuesto gaseoso como producto de reacción. En este proceso, no se producen reacciones gas-sólido y, por lo tanto, el gas no es un reactivo. En el procedimiento según la invención, las partículas de materia prima sólida se convierten en al menos uno o más compuestos gaseosos, de tal forma que se reduce al menos la masa y generalmente también el tamaño de las partículas.

[0018] La materia prima comprende partículas carbonosas sólidas. Cuando se hace referencia aquí a un material carbonoso, se trata de un material que comprende átomos de carbono. Tales materiales incluyen material hidrocarbonoso, material lignocelulósico y materiales sintéticos. Algunos ejemplos de material carbonoso adecuado incluyen la biomasa lignocelulósica tal como madera, paja, bagazo, miscanthus, hierbas, caña, bambú, flujos de residuos agrícolas, estiércol y lodo de papel, otros residuos industriales, aguas residuales, flujos hidrocarbonosos pesados como el carbón, arenas de alquitrán, betún, la fracción de fondo de la destilación atmosférica o al vacío de crudo petrolífero, y materiales carbonosos sintéticos. La materia prima como tal, puede ser sólida, semisólida, líquida o gaseosa, por ejemplo un lodo de partículas carbonosas de sólido en un flujo líquido o gaseoso. Preferiblemente, la materia prima es sólida. Algunos ejemplos de materias primas adecuadas son la biomasa, el carbón o lo lodo de papel triturado, el betún, los fondos de destilación al vacío de crudo petrolífero, arenas bituminosas o flujos de residuos tales como los residuos de asfalto que contienen alquitrán y tierra contaminada.

[0019] El procedimiento según la invención se lleva a cabo en un reactor que comprende una cámara de turbulencia que se extiende verticalmente. La cámara de turbulencia se define por una pared, un fondo y un extremo superior. La cámara de turbulencia comprende una parte superior cónica con un diámetro de sección transversal decreciente en dirección ascendente. La pared de la parte superior cónica de la cámara de turbulencia tiene un primer ángulo con la vertical que comprende entre 10 y 40 grados. Preferiblemente, el primer ángulo es constante a lo largo toda la longitud de la parte superior cónica.

[0020] La cámara de turbulencia tiene además una parte inferior con un diámetro constante. La parte inferior pasa directamente a la parte superior cónica de la cámara. De esta forma, el extremo superior de la parte inferior es adyacente al extremo inferior de la parte cónica y la parte cónica tiene en su extremo inferior el mismo diámetro de sección transversal que la parte inferior en su extremo superior.

5 [0021] El reactor comprende al menos una entrada tangencial en el fondo de la cámara de turbulencia para suministrar tangencialmente un gas portador inerte y, opcionalmente, materia prima, catalizador y/o un flujo particulado inerte, a la cámara de turbulencia. El reactor puede comprender una entrada adicional diferente en el fondo para el suministro de materia prima a la cámara de turbulencia. La materia prima se puede suministrar al fondo de la cámara de turbulencia de cualquier modo adecuado, es decir tangencialmente, radialmente o de otra forma. Preferiblemente, el reactor comprende una entrada tangencial o radial para la materia prima en el fondo de la cámara de turbulencia. Si el reactor comprende una entrada tangencial para materia prima, el reactor comprende preferiblemente una o más entradas tangenciales a través de las cuales se puede suministrar tanto la materia prima como el gas portador. De manera alternativa, el reactor comprende entradas tangenciales separadas para materia prima y gas portador. El reactor comprende además una salida en el extremo superior de la cámara de turbulencia para descargar un flujo gaseoso.

15 [0022] En el procedimiento según la invención, una materia prima que comprende partículas carbonosas sólidas se suministra al fondo de la cámara de turbulencia y un gas portador inerte se suministra tangencialmente a la cámara de turbulencia a través de la al menos una entrada tangencial en el fondo de la cámara de turbulencia. La materia prima y el gas portador se pueden suministrar a través de la misma entrada o por entradas diferentes. La materia prima se suministra de preferencia tangencial o radialmente al fondo de la cámara de turbulencia. Al suministrar tangencialmente el gas portador al fondo de la cámara de turbulencia, la materia prima se transporta con un movimiento turbulento. La cámara de turbulencia contiene un elemento insertado cónico localizado centralmente en el fondo de la cámara de turbulencia para proporcionar una trayectoria de flujo anular en el fondo de la cámara de turbulencia para aumentar el movimiento turbulento de la materia prima. La altura del elemento insertado cónico es aproximadamente igual a la longitud de la parte inferior de la cámara de turbulencia.

25 [0023] El movimiento turbulento puede aumentarse adicionalmente suministrando el gas portador a través de múltiples entradas tangenciales, preferiblemente dos o tres entradas.

30 [0024] Como resultado del movimiento turbulento, las partículas de materia prima forman una capa en la pared de la parte superior cónica de la cámara de turbulencia. Los compuestos gaseosos formados se descargan a través del espacio de reacción vacío en el centro de la cámara. Preferiblemente, la relación entre la longitud de la cámara de turbulencia y el mayor diámetro de la cámara de turbulencia se encuentra comprendida entre 2 y 8.

35 [0025] La cámara de turbulencia tiene una parte inferior con un diámetro constante y que, por lo tanto, es cilíndrica. La presencia de la parte inferior tiene la ventaja de que se forma un torbellino más estable del gas portador con partículas de materia prima en la parte inferior de la cámara de turbulencia. Se puede conseguir una distribución más homogénea de las partículas de materia prima por la pared si la cámara de turbulencia tiene una parte inferior con diámetro constante. Se estimula la formación de una capa de partículas de materia prima sobre la totalidad de la pared de la cámara de turbulencia y se evita la formación de las denominadas cadenas de partículas de materia prima en la pared.

40 [0026] La al menos una entrada tangencial se localiza en la parte inferior. Preferiblemente, la parte inferior tiene una longitud de al menos dos veces la altura de la abertura de entrada de la al menos una entrada tangencial. Preferiblemente, la relación de la longitud de la parte inferior y la longitud de la parte superior de la cámara de turbulencia es inferior a 1, más preferiblemente inferior a 0,5.

45 [0027] En la parte superior cónica, tanto la gravedad como las fuerzas centrífugas colaboran en el aumento del tiempo de residencia de las partículas más grandes. La fricción entre partículas y entre la pared de la cámara y las partículas mejora la transferencia de calor entre la pared y las partículas y entre partículas. Para equilibrar la gravedad, el arrastre, las fuerzas centrífugas y la fricción, la pared de la parte superior cónica de la cámara de turbulencia tiene un ángulo con el ángulo vertical comprendido entre 10 y 40 grados. Este ángulo se denomina en la presente "el primer ángulo".

50 [0028] En el procedimiento según la invención, las partículas de materia prima se convierten a alta temperatura. La conversión se produce en la capa de partículas de materia prima formada en la pared de la parte superior cónica de la cámara de turbulencia. Se notará que la temperatura dependerá del tipo de proceso de conversión. Para la pirólisis de biomasa lignocelulósica, la alta temperatura preferiblemente se encuentra comprendida entre 300 y 1000 °C, más preferiblemente se encuentra comprendida entre 350 y 800 °C, aún más preferiblemente entre 400 y 600 °C.

55 [0029] Ya que la pirólisis es un proceso endotérmico, se debe proporcionar calor para la reacción endotérmica. Esto se lleva a cabo calentando la pared de la cámara de turbulencia, y/o suministrando materia prima y/o gas portador calentados a la cámara de turbulencia.

60 [0030] Para provocar un movimiento turbulento en la materia prima, se proporciona un gas portador a la cámara de turbulencia. Se puede usar cualquier gas portador inerte adecuado, como, por ejemplo, nitrógeno y/o compuestos gaseosos no condensables reciclados formados en el proceso. Cuando se hace referencia aquí a un

gas portador inerte, se trata de un gas portador que no reacciona con las partículas de materia prima bajo las condiciones de reacción predominantes.

5 [0031] Preferiblemente, al menos parte del gas portador se proporciona mediante compuestos gaseosos no condensables formados en el procedimiento según la invención reciclando gas no condensable separado del flujo que comprende el uno o más compuestos gaseosos que se descarga de la cámara de turbulencia a la al menos una entrada de la cámara de turbulencia. Más preferiblemente, todo el gas portador se proporciona mediante compuestos gaseosos no condensables reciclados formados en el proceso. Se notará que durante la  
10 puesta en marcha de dicho procedimiento, se necesita como gas portador un flujo de gas externo.

15 [0032] La materia prima que se va a convertir comprende partículas. El reactor según la invención permite que la materia prima se convierta para que tenga una distribución del tamaño de las partículas más amplia, en particular una fracción más grande de partículas mayores en comparación con un procedimiento en el que se usa un reactor de ciclón o turbulencia convencional. Preferiblemente, la materia prima comprende partículas con una distribución del tamaño de las partículas tal que al menos el 90 % en peso de las partículas tiene un diámetro medio de Sauter comprendido entre 0,1 y 50 mm, más preferiblemente entre 0,5 y 20 mm. La materia prima comprende preferiblemente partículas con una distribución del tamaño de las partículas en la que Dp10 se encuentra comprendida entre 0,1 y 2 mm y Dp90 se encuentra comprendida entre 10 y 50 mm. Preferiblemente, se utiliza una materia prima con partículas con un diámetro medio de Sauter comprendido entre 1 y 8 mm, más preferiblemente entre 2 y 5 mm. Cuando se hace referencia aquí al diámetro de partícula es al diámetro medio de Sauter de las partículas.

25 [0033] Los compuestos gaseosos formados, es decir, el gas de pirólisis en el caso de un proceso de pirólisis, se descargan de la cámara de turbulencia a través de la salida en el extremo superior de la cámara. Las partículas de materia prima pequeñas o las gotitas pequeñas de líquido que se pueden formar también se descargarán de la cámara de turbulencia a través de la salida en el extremo superior.

30 [0034] El procedimiento según la invención puede comprender además medios para descargar del procedimiento por separado partículas sólidas y un flujo gaseoso que comprende los compuestos gaseosos formados y el gas portador. Esto se puede llevar a cabo, por ejemplo, mediante un ciclón simple conectado en series con la cámara de turbulencia. A continuación, la salida de la cámara de turbulencia se alimenta directamente en un ciclón que descarga por separado un flujo de partículas y un flujo gaseoso que comprende los compuestos gaseosos formados.

35 [0035] De forma alternativa, y preferiblemente, la descarga por separado de gas y partículas sólidas se consigue integrando un ciclón axial en el reactor según la invención, justo en dirección a contracorriente de la salida de la cámara de turbulencia. Esto se puede llevar a cabo extendiendo la pared de reactor en dirección a contracorriente de la salida de la cámara de turbulencia y posicionando de forma central un tubo de salida de gas central en o sobre la salida de la cámara de turbulencia. A continuación, los componentes gaseosos se descargan a través del tubo de salida de gas central y las partículas se descargan a través de la pared extendida, preferiblemente en un recipiente o en un reactor hacia abajo para un procesamiento adicional. Debido al hecho de que las partículas de materia prima sólida se mueven en la misma dirección, es decir hacia arriba, que los compuestos gaseosos en la cámara de turbulencia, la extensión del reactor funciona como un ciclón axial y se pueden separar los sólidos y el gas en el reactor sin necesidad de un dispositivo de separación adicional.  
45

[0036] El flujo gaseoso descargado de la cámara de turbulencia se condensa para obtener aceite de pirólisis líquido y un flujo de gas no condensable. El gas no condensable obtenido de esta forma se recicla preferiblemente en la cámara de turbulencia para proporcionar al menos parte del gas portador.

50 [0037] Para un procedimiento y una materia prima determinados con una distribución del tamaño de las partículas determinada y una densidad de masa de las partículas determinada, la velocidad del flujo del gas portador y las dimensiones de la cámara de turbulencia, es decir la longitud de cada parte, la relación longitud-diámetro, el ángulo de la parte superior cónica con la vertical, se eligen de manera que únicamente se descargarán de la cámara de turbulencia las partículas por debajo de un tamaño o masa determinados.  
55

[0038] El reactor según la invención es especialmente adecuado para ser utilizado para la pirólisis flash de lodo de papel. El lodo de papel es un flujo de residuos obtenido en el destintado de papel usado. El lodo de papel comprende generalmente tinta, plásticos, relleno y fibras de celulosa corta. El procedimiento según la invención, por lo tanto, es preferiblemente un procedimiento de pirólisis flash de lodo de papel.  
60

#### Descripción detallada de los dibujos

[0039] El procedimiento según la invención se ilustrará adicionalmente mediante los siguientes dibujos no limitativos.  
65

[0040] En la figura 1 se muestra una vista en sección transversal esquemática de un reactor que se puede usar en el procedimiento según la invención. El reactor 1 comprende una cámara de turbulencia 2 que se extiende verticalmente definida por la pared 3, el fondo 4 y el extremo superior 5. El reactor 1 comprende además una entrada tangencial 6 para la materia prima y el gas portador y una salida 7. La cámara de turbulencia 2 tiene una parte superior cónica 8 con diámetro decreciente en dirección ascendente y una parte inferior cilíndrica 9 con diámetro constante. Un elemento insertado cónico 10 está dispuesto en el interior de la cámara de turbulencia 2, localizado centralmente en el fondo 4 para definir una trayectoria de flujo anular para la materia prima y el gas portador suministrados a la cámara de turbulencia 2 a través de la entrada 6.

[0041] Durante la ejecución normal del reactor 1, la materia prima que comprende partículas y el gas portador se suministran tangencialmente a la cámara de turbulencia 2 a través de la entrada 6. Las partículas de materia prima se transportan con el gas portador en un movimiento turbulento y forman una capa de partículas en la pared 3. Debido a la conversión de parte de las partículas de materia prima en los compuestos gaseosos, el tamaño y/o la masa de las partículas se reduce de forma continua. Debido a un equilibrio de las fuerzas centrífugas, de arrastre y de gravedad, las partículas se desplazarán en turbulencia contra la pared 3 a una cierta altura de la parte superior 8 de la cámara de turbulencia 2, donde la altura depende principalmente del tamaño de partícula. Las partículas por debajo de un determinado tamaño crítico pasarán por la salida 7. Por encima de la salida 7, se extiende la pared 3 para formar una zona de extensión 11 que sirve a la vez de zona para la conversión posterior de las partículas por debajo del tamaño crítico y como un ciclón axial para la separación de gas/sólido. El tubo de salida de gas 12 se sitúa centralmente en la zona de extensión 11. Los compuestos de gas formados y el gas portador se descargarán del reactor 1 a través del tubo de salida de gas 12. Las partículas sólidas se descargarán a través de la salida tangencial 13.

[0042] En la figura 2 se muestra esquemáticamente un orden de procedimiento para la producción de aceite de pirólisis de lodo de papel usando el reactor según la invención.

[0043] El lodo de papel mojado 21 se suministra al secador 22 y se secan en el secador 22 mediante un intercambio térmico con gas caliente (no mostrado). El lodo de papel seco 23 se obtiene y suministra al mezclador 24 donde se mezclan con gas portador caliente 25. La mezcla 26 de partículas de lodo de papel secos y gas portador caliente se suministra tangencialmente al fondo del reactor de pirólisis 27. El reactor 27 es un reactor según la invención que comprende una cámara de turbulencia con una parte superior cónica. En el reactor 27, el lodo de papel se piroliza y un flujo 28 que comprende partículas con un diámetro medio de Sauter inferior a 1 mm, gas de pirólisis y gas portador se descarga del reactor 27 y se suministra al separador de gas/sólido 29 donde el flujo 28 se separa en un flujo gaseoso 30 que comprende gas de pirólisis y gas portador y un flujo de sólidos 31 que comprende residuo de carbón formado durante la pirólisis y los minerales que estaban presentes en el lodo de papel. El flujo gaseoso 30 se condensa en el condensador 32 para obtener aceite de pirólisis 34 como producto y flujo de gas no condensable 33 que, opcionalmente después del calentamiento (no mostrado), se suministra al reactor 27 como gas portador a través del mezclador 24. Los sólidos 31 se pueden suministrar a una cámara de combustión (no mostrada) para quemar el residuo de carbón de los minerales.

[0044] La invención se ilustrará adicionalmente mediante los siguientes ejemplos no limitativos.

#### Ejemplos

[0045] En un experimento modelo a temperatura ambiente, simulando las condiciones de flujo en la cámara de turbulencia del reactor en el procedimiento según la invención, se determinó con qué tamaño crítico se descargarán las partículas de la cámara de turbulencia a través de la salida en su extremo superior.

[0046] Se construyó un reactor modelo con una cámara de turbulencia de vidrio. La cámara de turbulencia tenía una parte inferior cilíndrica con un diámetro constante de 265 mm y una longitud de 168 mm y una parte superior cónica con una longitud de 493 mm y un primer ángulo de 10 grados (ángulo de pared de la parte superior cónica con la vertical). El reactor tenía dos entradas tangenciales opuestas en el fondo de la cámara de turbulencia. El diámetro interno de cada abertura de entrada era de 30 mm. En su extremo superior, la cámara de turbulencia tenía una salida tangencial. En la cámara de turbulencia, se colocó centralmente un elemento insertado sólido cónico con una altura de 170 mm y un diámetro de 192 mm en el fondo, para proporcionar una trayectoria de flujo anular en el fondo de la cámara de turbulencia.

[0047] En los experimentos 1 y 2, el lodo de papel seco con partículas con un diámetro hidráulico comprendido entre 0,1 y 2,0 mm y con una distribución del tamaño de las partículas como la proporcionada en la tabla, se mezclaron con aire presurizado y la mezcla resultante se suministró de manera continua a la cámara de turbulencia a través de una o dos de las entradas tangenciales. El tamaño de las partículas que se descargó de manera continua de la cámara de turbulencia a través de su salida se midió.

Experimento 1

5 [0048] En un primer experimento, se usó una única entrada tangencial. Un flujo de lodo de papel seco de 10 kg/h y aire presurizado de 26 m<sup>3</sup>/h se suministró a la cámara de turbulencia con una velocidad de 100 m/s. En estas condiciones de flujo, se formó una capa continua de partículas de lodo de papel en la pared de la cámara de turbulencia. Un flujo de aire con partículas pequeñas salía de la cámara de turbulencia a través de la salida en el extremo superior. De las partículas que salían de la cámara de turbulencia, más del 95 % en peso tenía un tamaño (diámetro medio de Sauter) de 1 mm o inferior.

Experimento 2

10 [0049] En un segundo experimento, se suministró un flujo de lodo de papel seco de 15 kg/h y aire presurizado de 42 m<sup>3</sup>/h a la cámara de turbulencia a una velocidad de 100 m/s a través de dos entradas tangenciales opuestas. En estas condiciones de flujo, se formó una capa continua de partículas de lodo de papel en la pared de la cámara de turbulencia. Un flujo de aire con partículas pequeñas salía de la cámara de turbulencia a través de la salida en el extremo superior. De las partículas que salían de la cámara de turbulencia, más del 95 % en peso  
15 tenía un tamaño (diámetro medio de Sauter) de 1 mm o inferior.

Tabla - Distribución del tamaño de las partículas de lodo de papel seco

Tamaño de partícula	% en peso
< 1,0 mm	14
1,0 - 1,4 mm	21
1,4 - 1,7 mm	33
1,7 - 2,0 mm	32

20 [0050] Los resultados experimentales muestran que en el procedimiento según la invención, se pueden crear unas condiciones de flujo en las que únicamente las partículas por debajo de un tamaño o masa críticos determinados saldrán del reactor. De este modo, las partículas permanecerán en la parte cónica de la cámara de turbulencia hasta que sean convertidas en la medida en que el tamaño o masa quede por debajo del tamaño o masa críticos. Así, el reactor regula el tiempo de residencia de las partículas en función del tamaño/masa de las  
25 partículas. Las partículas con tamaño y/o masa superiores que requieren un tiempo de residencia más largo permanecerán durante más tiempo en la parte cónica de la cámara de turbulencia donde se produce la conversión y, por lo tanto, el reactor se autorregula con respecto al tiempo de residencia.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de conversión de una materia prima que comprende partículas carbonosas sólidas en al menos uno o más compuestos gaseosos en un reactor, donde el procedimiento es una pirólisis de la materia prima carbonosa, y donde el reactor comprende
- 10 – una cámara de turbulencia que se extiende verticalmente definida por una pared, un fondo y un extremo superior, donde la cámara de turbulencia comprende una parte inferior que tiene un diámetro constante y una parte superior cónica con un diámetro decreciente en dirección ascendente, donde la pared de la parte superior cónica de la cámara de turbulencia tiene un primer ángulo con la vertical comprendido entre 10 y 40 grados, y donde el extremo superior de la parte inferior es adyacente al extremo inferior de la parte cónica y la parte cónica tiene en su extremo inferior el mismo diámetro de sección transversal que la parte inferior en su extremo superior;
  - 15 – al menos una entrada tangencial en el fondo de la cámara de turbulencia situada en la parte inferior;
  - un elemento insertado cónico localizado centralmente en el fondo de la cámara de turbulencia, donde la altura del elemento insertado cónico es igual a la longitud de la parte inferior de la cámara de turbulencia; y
  - una salida en el extremo superior de la cámara de turbulencia,
- 20 donde la materia prima se suministra a la cámara de turbulencia en el fondo de la cámara de turbulencia, un gas portador inerte se suministra tangencialmente a la cámara de turbulencia a través de la al menos una entrada tangencial, y una capa de partículas de materia prima se forma en la pared de la parte superior cónica de la cámara de turbulencia, y donde al menos parte de la materia prima se convierte en al menos uno de más compuestos gaseosos en la cámara de turbulencia a alta temperatura y donde la conversión se produce en la
- 25 capa de partículas de materia prima en la pared de la parte superior cónica de la cámara de turbulencia, donde un flujo que comprende el uno o más compuestos gaseosos se descarga a través de la salida, y donde el calor para el proceso de pirólisis endotérmica se proporciona calentando la pared de la cámara de turbulencia, mediante el suministro de materia prima calentada a la cámara de turbulencia, mediante el suministro de gas portador calentado a la cámara de turbulencia, o combinaciones de los mismos.
- 30 2. Procedimiento según la reivindicación 1, donde la parte inferior tiene una longitud y la parte superior tiene una longitud y la relación de la longitud de la parte inferior y la longitud de la parte superior es inferior a 1.
- 35 3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la relación entre la longitud y el diámetro más grande de la cámara de turbulencia se encuentra comprendida entre 2 y 8.
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la materia prima y el gas portador se suministran tangencialmente a la cámara de turbulencia a través de al menos una entrada tangencial.
- 40 5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde las partículas de materia prima tienen una distribución del tamaño de las partículas en la que al menos el 90 % en peso de las partículas tienen un diámetro medio de Sauter comprendido entre 0,5 y 20 mm
- 45 6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la materia prima carbonosa es un lodo de papel.
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el gas no condensable separado del flujo que comprende el uno o más compuestos gaseosos se recicla en la cámara de turbulencia como al menos parte del gas portador.
- 50

