

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 656 782**

51 Int. Cl.:

C10B 53/02 (2006.01)

C10B 47/22 (2006.01)

C10C 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.05.2006 PCT/DK2006/000241**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.11.2006 WO06117005**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.05.2006 E 06722933 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.11.2017 EP 1879979**

54 Título: **Procedimiento y aparato de pirólisis**

30 Prioridad:

03.05.2005 EP 05076034
03.05.2005 US 676959 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.02.2018

73 Titular/es:

DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET (100.0%)
Anker Engelunds Vej 101 A
2800 Kgs. Lyngby, DK

72 Inventor/es:

BECH, NIELS;
DAM-JOHANSEN, KIM y
JENSEN, PETER, A.

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 656 782 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y aparato de pirólisis

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de pirólisis y a un aparato de pirólisis rápida para producir líquido de pirólisis a partir de biomasa. El líquido de biomasa puede comprender, por ejemplo, aceite de pirólisis o alquitrán. También se divulga un dispositivo móvil para recoger biomasa y para producir un líquido de pirólisis a partir de la biomasa.

Antecedentes de la invención

10 La pirólisis convencional es un procedimiento calentado en el intervalo de 200-500 °C que convierte la biomasa en líquido de pirólisis, carbón, y gas, usualmente en ausencia de oxígeno y centrado en la obtención de carbón con alto rendimiento. La pirólisis rápida, también conocida como pirólisis instantánea, por otro lado, es un procedimiento en el que la biomasa se calienta rápidamente a una temperatura de pirólisis controlada, y en la que la fase gaseosa se enfría rápidamente, por lo que se condensa parcialmente en líquido de pirólisis. Este procedimiento generalmente obtiene un mayor rendimiento de líquido y normalmente busca minimizar el rendimiento de los otros dos productos.

15 Cuando la biomasa se descompone a la temperatura de pirólisis elevada, por ejemplo, 450-600 °C, se forman tres productos principales: gas, líquido de pirólisis y carbón.

Se han propuesto diversos procedimientos y aparatos para la producción de gas o líquido a partir de material orgánico en la técnica anterior. El documento US 5.413.227 divulga un procedimiento de pirólisis ablativo en un sistema de reactor de vórtice, y el documento WO 03/057800 divulga un reactor de termólisis ablativo que incluye superficies giratorias. El documento WO 92/09671 divulga un procedimiento y un aparato que emplea un recipiente, que forma un toro o hélice, a través del cual puede transportarse materia prima a una velocidad que sostiene el material de alimentación contra la periferia externa de la superficie interna del recipiente a medida que transita en el recipiente. El documento WO 01/34725 divulga un ejemplo de pirólisis instantánea en un ciclón. Se proporcionan ejemplos adicionales de aparatos de pirólisis en los documentos WO 88/09364, CA 2 365 785 y en "Fast pyrolysis process" de Bridgwater et al., Renewable and Sustainable Energy Reviews 4 (2000), 1-73. El documento WO 99/66008 divulga un aparato de reactor de gasificación. Aunque los sistemas de pirólisis de la técnica anterior son útiles para muchos propósitos, se ha encontrado que tienen ciertas limitaciones, ya que algunos son voluminosos, algunos tienen una baja eficiencia y algunos requieren ajuste de, por ejemplo, palas de rotor, lo que reduce la rentabilidad global. También se ha encontrado que una barrera para la explotación eficiente de la biomasa en la producción de combustible es el coste conferido por la recogida y el transporte de la biomasa. La biomasa generalmente se recoge desde los sitios de crecimiento, donde se carga en un camión o remolque para su transporte a una instalación de pirólisis. Debido a la concentración relativamente baja de energía por volumen de biomasa, la producción de incluso pequeñas cantidades de líquido de pirólisis utilizable requiere la recogida, el transporte y el almacenamiento de grandes volúmenes de biomasa.

Sumario de la invención

Es un objeto de realizaciones preferidas de la presente invención proporcionar un procedimiento y un aparato de pirólisis, que permiten un conjunto de pirólisis compacto y eficiente. Es un objeto adicional de las realizaciones preferidas de la presente invención proporcionar un procedimiento y una unidad móvil para recoger biomasa que mejora la eficacia en la recogida y la explotación de la biomasa.

40 La invención proporciona un procedimiento y un aparato para la producción de líquido de pirólisis a partir de biomasa según las reivindicaciones 1 y 21.

El presente procedimiento y aparato de pirólisis confieren varias ventajas. No se requiere gas inerte para la fluidización y el transporte de calor, reduciendo así las dimensiones globales del aparato a una capacidad dada. Además, no se necesita arena como medio de transporte de calor o transmisión de calor, lo que reduce el desgaste y elimina la necesidad de una separación posterior de arena y carbón. Gracias al movimiento de rotación impartido en la biomasa en la cámara centrífuga, el área de la pared exterior de la cámara centrífuga está en contacto con la biomasa, mientras que las fuerzas centrífugas aseguran una presión uniforme de la biomasa hacia la pared exterior, asegurando así una mejor utilización de la superficie reactiva en el aparato de pirólisis y, en consecuencia, una mayor capacidad específica. A medida que se fuerza el carbón hacia la pared exterior de la cámara centrífuga, puede producirse una separación de gas dentro de la cámara centrífuga, es decir, dentro de la propia cámara de pirólisis. Como las partículas de carbón son forzadas hacia la pared mediante fuerzas centrífugas y el gas puede filtrarse al pasar desde la pared exterior de la cámara de centrífuga a través de una capa de biomasa a una pared interior de la cámara centrífuga, puede eliminarse la necesidad de un ciclón separado. Además, como la biomasa es forzada hacia la superficie reactiva, es decir, la pared exterior de la cámara centrífuga, mediante fuerzas centrífugas, se reduce la necesidad de medios adicionales para impartir la biomasa, lo que reduce el desgaste y, por consiguiente, los costes de mantenimiento. Gracias a la disposición de rotación de la cámara centrífuga y el rotor, no hay necesidad de ajustar, por ejemplo, los ángulos de las palas o la distancia entre las palas y una pared de tubería, como en ciertos dispositivos de la técnica anterior. Además, se elimina el contacto entre las partes metálicas y el

- contacto entre las partes metálicas y la biomasa se reduce mucho a medida que el movimiento de rotación se imparte sobre las partículas de biomasa principalmente como resultado de un movimiento similar en la fase gaseosa originado por el movimiento del rotor. En consecuencia, la operación es menos vulnerable a los cambios en las propiedades del material de biomasa, tal como la distribución del tamaño de las partículas y la humedad, así como a las fluctuaciones de la velocidad de alimentación de la biomasa al reactor. Como el carbón se transporta continuamente fuera del reactor, se asegura una alta conducción de calor entre la pared del reactor, es decir, la pared exterior de la cámara centrífuga y el material de biomasa, lo que da como resultado una eficacia mejorada y un rendimiento de líquido de pirólisis mejorado. El rendimiento de pirólisis mejorado es conferido por un gradiente de temperatura abrupto en el material de biomasa.
- En el presente contexto, la biomasa debe entenderse como cualquier materia orgánica, tal como plantas y animales o sus residuos, tal como materiales de madera, agrícolas y de procedimiento forestal de desecho, o de desechos industriales, humanos y animales, incluyendo materia prima de desecho basado en petroquímicos. La energía química almacenada en plantas y animales se deriva de la fotosíntesis de la energía solar y se puede convertir en un líquido utilizable, tal como aceite o alquitrán, en un procedimiento calentado, es decir, pirólisis.
- El término líquido de pirólisis debe entenderse como cualquier líquido orgánico derivado a partir de biomasa en un procedimiento de pirólisis, tal como bio-aceite o alquitrán, teniendo los componentes un punto de ebullición en el intervalo de 0-500 °C. El vapor de pirólisis debe entenderse como cualquier vapor o gas derivado de la biomasa en un procedimiento de pirólisis, tal como un líquido de pirólisis vaporizado.
- En realizaciones preferidas de la presente invención, la biomasa en el rotor está sometida a fuerzas centrífugas mayores que 2000 veces la fuerza de gravedad.
- El tiempo de retención en fase gaseosa en el rotor es preferiblemente como máximo de 5 segundos. La relación del diámetro del rotor y el diámetro de la cámara centrífuga es preferiblemente de al menos 0,5, tal como al menos 0,6, 0,7, 1 o al menos 1,2.
- Se ha encontrado que el rendimiento de líquido de pirólisis y, posteriormente, gas y carbón se ve influido por la elección del material de alimentación, la temperatura de la pared del reactor, la fuerza centrífuga y una combinación de temperatura de la fase gas del reactor y de tiempo de residencia/retención. Aunque los parámetros anteriores determinan la división inicial entre las fracciones, los dos últimos trabajan a través de la degradación de los líquidos de pirólisis formados inicialmente en la fase gaseosa. Las reacciones en fase gaseosa darán como resultado reordenamientos de las moléculas, formación de agua (deshidratación) y agrietamiento de las moléculas más grandes que constituyen la fracción líquida en partículas más pequeñas que posteriormente no pueden condensarse en las condiciones moderadas empleadas. Por lo tanto, las reacciones en fase gaseosa actuarán para modificar el producto líquido en términos de viscosidad y solubilidad en agua, pero también cambiarán el rendimiento, tanto en masa como en energía.
- Para modelar el efecto de la degradación de la fase de gas, las reacciones se pueden aproximar mediante reacciones químicas irreversibles de primer orden siguiendo la expresión de Arrhenius bien conocida y tratando además la centrífuga de pirólisis como un reactor de flujo de pistón. Como consecuencia, la degradación se promoverá tanto por una temperatura más alta como por un tiempo de residencia/retención más largo, y teóricamente es posible obtener un cierto grado de degradación mediante un número indefinido de combinaciones de los dos. Para la mayoría de las realizaciones de la presente invención, puede desearse que el tiempo de residencia/retención en fase gaseosa no exceda de 1 a 2 segundos para obtener un producto líquido adecuado para combustible con un rendimiento aceptable (es decir, Bridgwater, A.V., Peacocke, G.V.C. "Fast pyrolysis processes for biomass". *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 4, 2000).
- El tiempo de residencia/retención en fase gaseosa está determinado predominantemente por el volumen activo del reactor en combinación con la cantidad de gas que purga este volumen. Para los sistemas en los que no hay purga de gas inerte externo, la consecuencia es que los gases solo se originan a partir de las reacciones de pirólisis de la materia prima. Por lo tanto, el tiempo de residencia/retención y posteriormente la degradación de la fase gaseosa del producto líquido está determinado predominantemente por la capacidad o la velocidad de alimentación de la materia prima al reactor.
- En un diseño de la centrífuga de pirólisis que opera con una temperatura de pared de aproximadamente 500 °C y una fuerza centrífuga de 10.000 veces la fuerza de la gravedad sobre paja de trigo, el rendimiento de la masa primaria de fracciones será aproximadamente del 34 % de orgánicos, el 22 % de agua (56 % de líquidos en total), el 23 % de carbón y el 21 % de gas, todo en base a cenizas sustancialmente secas. En estas condiciones, se encontró que la temperatura de la fase gaseosa era de aproximadamente 400 °C en un reactor con una velocidad de alimentación de aproximadamente 20 g/min y un volumen activo de aproximadamente 0,53 litros. Utilizando la expresión cinética para el craqueo de celulosa en fase gaseosa encontrado por Linden et al. (Linden, A.G., Berruti, F., Scott, D.S. "A kinetic model for the production of liquids from the flash pyrolysis of cellulose". *Chem. Eng. Commun.*, 65, 1988), el rendimiento de compuestos orgánicos después de la degradación de la fase gaseosa se puede calcular a aproximadamente en el 33 % con un tiempo de residencia/retención de gas correspondiente de aproximadamente 1,5 segundos, o un cambio relativamente menor respecto al rendimiento primario. Si, por otro

lado, la temperatura de la fase gaseosa se eleva a aproximadamente 600 °C, el rendimiento orgánico se reduciría a aproximadamente el 5 %, mientras que un aumento diez veces mayor en el volumen del reactor reduciría el rendimiento orgánico hasta aproximadamente el 25 %. A partir de estos ejemplos quedará claro que un reactor que permite la minimización del efecto combinado de la temperatura y el tiempo de residencia en la fase gaseosa es beneficioso para obtener líquidos de pirólisis a partir de biomasa con un rendimiento aceptable.

En realizaciones de la presente invención, la pared exterior de la cámara centrífuga puede calentar la biomasa, de modo que la pirólisis ablativa se produce en o cerca de la pared exterior. Preferiblemente, esto se logra sin el uso de un medio de transporte separado, tal como arena.

En la etapa de transporte de los vapores de la pirólisis lejos de la cámara centrífuga, los vapores de la pirólisis se difunden preferiblemente en una cámara de condensación, en la que se produce la etapa de condensación. En una realización particularmente compacta, la cámara centrífuga tiene una sección transversal anular, y la cámara de condensación está dispuesta centralmente, es decir, coaxialmente dentro del rotor, por lo que los vapores de pirólisis se difunden a través de una pared interior de la cámara centrífuga, que es permeable a los vapores. Se apreciará así que en el aparato de la invención, la cámara centrífuga y la cámara de condensación están separadas por la pared interior de la cámara centrífuga, comprendiendo la pared interior perforaciones, para permitir que los vapores de pirólisis se difundan desde la cámara centrífuga a la cámara de condensación, en la que los vapores de pirólisis pueden condensarse al menos parcialmente en dicho líquido de pirólisis.

La integración del reactor (cámara de centrífuga) y del condensador contribuye a mejorar la utilización del volumen del reactor. Esto contribuye a la compacidad del aparato, en el que no hay necesidad de un condensador exterior alejado del reactor con tuberías asociadas. Además, gracias al condensador y al reactor integrados, se puede reducir el tiempo de retención de la fase gaseosa, lo que ha demostrado mejorar el rendimiento del líquido de pirólisis, una viscosidad del líquido reducida y un contenido de agua reducido.

Las perforaciones de la pared interior pueden definir aberturas de entrada de adaptadores de tubería que se extienden radialmente en la cámara de condensación para proporcionar una entrada al condensador, que se desplaza hacia el interior en relación con una periferia exterior de la cámara de condensación. Los adaptadores de la tubería tienen preferiblemente una longitud suficiente para extenderse más allá del líquido de pirólisis condensado, tal como alquitrán viscoso, que puede acumularse en la periferia externa de la cámara de condensación.

Para mejorar la condensación en la cámara de condensación, una porción central de la cámara de condensación puede acomodar a un material de relleno, en el que la al menos una parte de los vapores de la pirólisis se condensa a líquido de pirólisis.

La condensación puede mejorarse adicionalmente conduciendo un fluido frío en la cámara de condensación, por ejemplo, a través de una tubería dispuesta centralmente dentro de la cámara de condensación. El fluido, que está a una temperatura por debajo del punto de rocío de los vapores de la pirólisis, puede ser un líquido de pirólisis o un hidrocarburo inmiscible con un líquido de pirólisis. En caso de que se utilice un líquido de pirólisis, tal líquido de pirólisis puede derivarse convenientemente del procedimiento de pirólisis, de modo que no se necesita un suministro externo de líquido de pirólisis. Cualquier otro fluido puede separarse del líquido de pirólisis producido por separación de fases y reciclarse en el procedimiento.

La temperatura de condensación puede controlarse mediante la temperatura del fluido utilizado, con lo cual especialmente la cantidad de agua incluida en el producto líquido puede controlarse mediante condensación parcial. En una etapa posterior, el gas puede secarse por enfriamiento adicional para aumentar el contenido de energía del gas y/o mezclar el agua condensada con carbón caliente combustible para formar una suspensión y así controlar la reactividad.

Al menos una porción del producto de carbonización que se deriva de la pirólisis de la biomasa puede ser en forma de partículas finas, que son transportadas lejos de la cámara centrífuga a través de aberturas previstas en la pared exterior de la cámara centrífuga y en un canal para transportar también las partículas. Para mejorar el flujo de partículas en la separación de carbón, se puede extraer un flujo de vapor con las partículas de carbón, preferiblemente disponiendo las aberturas tangencialmente en la tubería principal del reactor, por lo que el movimiento de las palas del rotor forzará el vapor a través de las tuberías de un modo similar a un compresor centrífugo. El vapor puede volver a entrar en el reactor a través de una abertura cerca de los puertos de entrada de materia prima. En una realización del aparato de la presente invención, un transportador de carbón está dispuesto en o cerca de una porción inferior de la centrífuga. El transportador puede comprender, por ejemplo, un mecanismo sinfín para transportar carbón en el canal. Alternativamente, el carbón puede transportarse bajo la acción de la gravedad o un flujo de gas. Se pueden proporcionar medios para mezclar el carbón con el líquido de pirólisis para formar una suspensión o carbón vegetal que se puede peletizar y recoger como un producto de energía de alta densidad separado.

Como se explicó anteriormente, las fuerzas centrífugas proporcionan una presión hacia el exterior sobre la biomasa en la cámara centrífuga hacia su pared exterior. Una distribución periférica uniforme del material en la cámara centrífuga puede conseguirse mediante al menos una pala de rotor dispuesta o extendida en la cámara centrífuga,

por lo que la fase gaseosa y los vapores suspendidos de biomasa, carbón y pirólisis en la cámara centrífuga se fuerzan en una dirección periférica. La rotación así impartida sobre el material genera las fuerzas centrífugas para forzar el material hacia la superficie caliente en la pared exterior de la cámara centrífuga, en cuya superficie se produce la pirólisis.

- 5 La biomasa se puede conducir axialmente o tangencialmente en la cámara centrífuga. Preferiblemente, la biomasa se conduce tangencialmente a la cámara centrífuga en una o más posiciones a lo largo de la cámara. La biomasa puede conducirse a la cámara centrífuga a través de una pluralidad de entradas distintas o a través de una sola entrada, por ejemplo, una ranura extendida que forma una boca ensanchada de una entrada de biomasa.

- 10 El calor para el procedimiento de pirólisis puede derivarse desde un horno dispuesto coaxialmente alrededor de la centrífuga, por lo que el calor para el procedimiento de pirólisis se transporta a través de la pared exterior de la cámara centrífuga por conducción. Esta disposición coaxial del horno contribuye además a la compacidad general. En el horno, al menos una porción de dicho gas de pirólisis, carbón, líquido o hidrocarburo puede quemarse, preferiblemente sin necesidad de suministro externo de combustible. Se puede incorporar un material poroso estabilizador de la llama en forma de material cerámico dentro del horno para mejorar la operación. El calentamiento mediante elementos de resistencia eléctrica, inducción magnética, un vapor de condensación o un fluido caliente, por ejemplo, sal líquida, constituyen formas alternativas de calentar el procedimiento.

- 15 En la presente invención, el rotor puede tener, por ejemplo, un diámetro interior de 0,01 a 5 m, y se hace girar preferiblemente a al menos 200 rpm. En una realización, el diámetro del rotor es aproximadamente de 1 metro, girando el rotor a aproximadamente 2000 rpm y sometiendo las partículas de biomasa a fuerzas centrífugas mayores de 2000 veces la fuerza de la gravedad.

- 20 Para recoger de manera eficiente y procesar la biomasa, la centrífuga puede estar comprendida en una unidad móvil, que puede recoger la biomasa a partir de un sitio de crecimiento, tal como un campo o bosque. La biomasa puede alimentarse de forma continua a la centrífuga, a medida que la unidad móvil atraviesa el sitio de crecimiento. Se puede recoger biomasa adicional del sitio de crecimiento por medio de la unidad móvil al mismo tiempo que la etapa de descomposición de la biomasa en el aparato de pirólisis.

- 25 Se apreciará que la disposición del aparato de pirólisis en la unidad móvil permite que el procedimiento de pirólisis se produzca en o cerca del sitio de crecimiento. Por lo tanto, la necesidad de transporte y posiblemente almacenamiento intermedio de la materia prima se puede reducir significativamente en comparación con los procedimientos de la técnica anterior, que requieren que la pirólisis se produzca en una instalación estacionaria alejada del sitio de crecimiento. Preferiblemente, la pirólisis se produce mientras se recoge simultáneamente biomasa adicional y se alimenta continuamente al aparato de pirólisis. Por lo tanto, la pirólisis se produce mientras la unidad móvil atraviesa el sitio de crecimiento, y mientras la biomasa se recoge simultáneamente. Por lo tanto, se puede evitar el transporte de volúmenes de biomasa relativamente grandes desde el sitio de crecimiento a una instalación de pirólisis remota. Como el líquido de pirólisis tiene una concentración de energía significativamente mayor por volumen que la biomasa, una cierta cantidad de energía requiere menos espacio cuando está presente en forma de líquido de pirólisis que cuando está presente en forma de biomasa, y la energía puede transportarse más convenientemente al consumidor previsto en forma de líquido de pirólisis. El líquido de pirólisis se puede transportar desde el lugar de crecimiento al consumidor previsto o a una instalación de almacenamiento por medio de camiones cisterna o recipientes (por ejemplo, recipientes de depósito ISO), o transportarse a través de tuberías con una acción de bombeo adecuada.

- 30 La unidad móvil puede comprender una estructura de soporte con ruedas. Se puede proporcionar un sistema de acoplamiento para acoplar la unidad a un vehículo accionado por energía. Alternativamente, la unidad móvil puede incorporar un motor, de modo que la unidad móvil sea autopropulsada. El motor de la unidad móvil puede utilizar el gas de pirólisis, el líquido de pirólisis y/o el carbón como combustible, por lo que puede reducirse o incluso eliminarse la necesidad de una fuente de combustible separada de la unidad móvil. Asimismo, en realizaciones de la invención, en las que la unidad móvil no es autopropulsada, los medios de accionamiento de propulsión, por ejemplo, tractor o camión, pueden utilizar el gas de pirólisis, el líquido de pirólisis y/o el carbón como fuente de combustible.

- 35 Para enfriar eficientemente el carbón residual del procedimiento de pirólisis antes su posible expulsión desde la unidad móvil, el procedimiento puede incluir la etapa de recoger la suciedad del sitio de crecimiento y mezclar la suciedad con el carbón para enfriar de este modo el carbón. En otras palabras, la suciedad se puede utilizar como fuente de enfriamiento para la materia de desecho derivada de la pirólisis, y se puede eliminar la necesidad de, por ejemplo, enfriamiento con agua. Por lo tanto, se apreciará que la unidad móvil puede comprender un colector de suciedad para recoger suciedad del sitio de crecimiento y un mezclador para mezclar la suciedad con el carbón para enfriar el carbón, así como un expulsor de suciedad y carbón para expulsar la mezcla o suspensión de carbón y suciedad de la unidad móvil. Alternativamente, el agua derivada del secado del gas de pirólisis obtenido condensando parcialmente el vapor de pirólisis puede utilizarse para enfriar el carbón reactivo mezclando los dos ingredientes en una suspensión.

5 La mezcla de carbón y suciedad o la suspensión de carbón/agua se puede alimentar en una ranura formada por medios apropiados de la unidad móvil, tal como mediante una púa. La púa puede estar dispuesta de manera que con respecto a la suciedad y al expulsor de carbón, la mezcla de carbón y suciedad se pueda alimentar en la ranura durante el uso de la unidad móvil. Posteriormente, la mezcla de carbón puede cubrirse de suciedad para mejorar la descomposición del carbón.

Al menos una porción del gas de pirólisis producido por el procedimiento de pirólisis se puede quemar en una parte que forma horno del aparato de pirólisis, el horno produciendo calor para el procedimiento de pirólisis. El humo de escape del horno puede ser expulsado a través de una salida de humos del horno. Además del gas de pirólisis, al menos una porción del carbón se puede quemar en el horno.

10 Antes de la alimentación de la biomasa en el aparato de pirólisis, la biomasa se puede alimentar a un dispositivo de precalentamiento, en el que se precalienta y posiblemente se seca antes de que entre al aparato de pirólisis. El humo de escape producido en el horno puede utilizarse como una fuente de calor en el dispositivo de precalentamiento. El humo de escape del horno también puede guiarse a un primer intercambiador de calor, en el que se calienta el aire de admisión del horno. Alternativa o adicionalmente, se puede proporcionar un conducto, que se puede conectar a una salida de escape del vehículo motorizado o a una salida de escape del motor de la unidad móvil, para permitir que el gas de escape del vehículo o del motor como fuente de calor en el primer intercambiador de calor o en el procedimiento de precalentamiento y/o secado de la biomasa.

15 La unidad móvil puede incluir ventajosamente una trituradora para triturar la biomasa recogida aguas arriba del aparato de pirólisis, por ejemplo, aguas arriba del dispositivo de precalentamiento. Se puede incluir un tampón de biomasa para permitir que se recoja más biomasa que la que se está procesando en el aparato de pirólisis. Por ejemplo, la operación del colector puede interrumpirse, por ejemplo, para maniobrar el vehículo o para inspección sin interrupción del aparato de pirólisis. En una realización, el dispositivo de precalentamiento sirve como el tampón de biomasa.

20 En la etapa de separación del líquido de pirólisis del carbón y el gas de pirólisis, el líquido de pirólisis y al menos una porción del gas de pirólisis puede transportarse a un separador para separar el líquido de pirólisis del gas de pirólisis, y al menos una porción del gas de pirólisis separado puede transportarse de vuelta al horno como una fuente de combustible en el mismo. Además, al menos una porción del líquido separado puede transportarse de vuelta al aparato de pirólisis como fuente de refrigeración en un condensador de pirólisis. El condensador puede estar integrado en el aparato de pirólisis, o puede constituir una unidad separada, que no forma parte del aparato de pirólisis. Antes de que el líquido entre en el condensador, preferiblemente se enfría en un segundo intercambiador de calor, que puede utilizar aire como fuente de refrigeración. El aire, que sale del segundo intercambiador de calor, puede mezclarse con el aire de admisión para el horno aguas arriba o aguas abajo del primer intercambiador de calor, por ejemplo, para mejorar la eficiencia de combustión en el horno.

25 En una realización, el aparato de pirólisis comprende una centrífuga que define una cámara centrífuga, y en la etapa de descomposición de la biomasa, el procedimiento de la invención puede comprender la etapa de impartir rotación en la biomasa en la centrífuga, con lo cual la biomasa se ve forzada hacia una pared exterior de la cámara centrífuga. La pared exterior de la cámara centrífuga se mantiene a una temperatura de 350 a 700 °C para efectuar un procedimiento de pirólisis en o cerca de la pared exterior de la cámara centrífuga, por lo que la biomasa se descompone en el líquido de pirólisis, gas de pirólisis y carbón, y el líquido es en forma gaseosa.

30 En una realización particularmente compacta del aparato de pirólisis, el condensador está integrado en el aparato de pirólisis. En esta realización, la cámara centrífuga del aparato de pirólisis está delimitada por una pared interior y una pared exterior, y se proporciona una salida para alimentar biomasa a la cámara centrífuga. Un rotor está dispuesto para impartir rotación sobre la fase gaseosa y la biomasa suspendida aquí dentro de la cámara centrífuga para forzar la biomasa hacia la pared exterior de la cámara centrífuga bajo la acción de fuerzas centrífugas. Se incluye un sistema de calentamiento para mantener la pared exterior de la cámara de centrifuga a una temperatura de 350 a 700 °C para efectuar el procedimiento de pirólisis en o cerca de la pared exterior de la cámara centrífuga y descomponer de ese modo la biomasa en carbón, gas de pirólisis y vapores de pirólisis, que se pueden condensar en líquido de pirólisis en el condensador. El sistema de calentamiento puede incluir el horno como se describió anteriormente, estando dispuesta la centrífuga preferiblemente coaxialmente dentro del horno, por lo que el calor para el procedimiento de pirólisis se transporta a través de la pared exterior de la centrífuga por conducción. La pared interior de la cámara centrífuga puede ser permeable a los vapores de pirólisis y al gas, de modo que el condensador pueda disponer de manera centrada dentro de la cámara de centrifuga.

Breve descripción de los dibujos

Se describirá ahora una realización de la invención con referencia a los dibujos, en los que:

55 La figura 1 es un gráfico que ilustra la implementación de una realización del procedimiento y del aparato de la presente invención;

La figura 2 es una ilustración en perspectiva de un aparato de pirólisis;

La figura 3 es una vista parcial en sección transversal a través del aparato de pirólisis de la figura 2.

Descripción detallada de los dibujos

La figura 1 ilustra el flujo de aire, gas y líquido en un sistema que incorpora un aparato de pirólisis como se describe en el presente documento. El sistema puede acomodarse en una unidad móvil para recoger simultáneamente biomasa y procesar biomasa en un procedimiento de pirólisis. El sistema incluye un aparato 200 de pirólisis, que se describirá con más detalle a continuación con referencia a las figuras 2 y 3. Se proporciona un motor 102 para accionar un rotor del aparato de pirólisis. En el separador de alquitrán/gas, el líquido de pirólisis en forma de alquitrán se separa del gas. Parte del alquitrán separado se conduce a un intercambiador de calor como se describe más adelante, y el alquitrán restante se recoge en el colector 106 de alquitrán. El gas se conduce desde el separador de alquitrán/gas a un horno del aparato de pirólisis, en el que se utiliza como combustible para producir el calor requerido en el procedimiento de pirólisis.

Como se muestra en el extremo derecho de la figura 1, biomasa tal como paja se recoge de un campo o desde otro sitio de crecimiento y se alimenta a una trituradora, tal como un molino 108 de rodillos, desde el que se alimenta a un dispositivo 110 de tampón y de precalentamiento. El calor se transporta al dispositivo de precalentamiento con gases de escape desde el horno del aparato 200 de pirólisis y/o con los gases de escape de un motor de la unidad móvil o desde un camión o tractor que acciona la unidad móvil. El gas de escape del horno del aparato de pirólisis se transporta a través de un primer intercambiador 112 de calor, en el que calienta el aire de combustión para el horno. Como se muestra en la esquina superior izquierda de la figura 1, se proporciona un segundo intercambiador 114 de calor para enfriar esa parte del alquitrán separado en el separador 104 de alquitrán/gas, que es conducido de vuelta al aparato de pirólisis. La fuente de refrigeración para el segundo intercambiador 114 de calor es aire, que puede ser conducido a través del primer intercambiador 112 de calor después de que haya pasado el segundo intercambiador 114 de calor, pero antes de que entre al horno del aparato de pirólisis.

En esta configuración, el carbón, que es transportado fuera del aparato de pirólisis, se mezcla con la suciedad recogida en el sitio de crecimiento en un mezclador 116 de carbón/suciedad para formar una mezcla de carbón/suciedad. La mezcla puede distribuirse ventajosamente en el sitio de crecimiento, por ejemplo, un campo, por ejemplo, en una ranura formada por una púa de la unidad móvil.

El aparato 200 de pirólisis se muestra con más detalle en la figura 2. Comprende una tubería 202 de entrada de biomasa, a través de la cual se transporta biomasa a una cámara de centrifuga o reactor 204 rodeado por un horno 206. La cámara 204 centrífuga tiene una pared 208 exterior, a través de la cual se conduce calor desde el horno para efectuar la pirólisis en la cámara centrífuga en o cerca de la pared 208 exterior. Un rotor 210 forma una pared 212 interior perforada de la cámara centrífuga, estando provisto el rotor de palas 214 de rotor para hacer girar la fase gaseosa y la biomasa suspendida aquí dentro de la cámara centrífuga. Durante la operación del aparato, la biomasa y otros materiales en la cámara centrífuga, tales como el carbón y los vapores de pirólisis son forzados por fuerzas centrífugas hacia la superficie reactiva en la pared 208 exterior de la cámara 204 centrífuga, en la cual se efectúa la pirólisis. Los deflectores 216 de calor están fijados a las palas del rotor para limitar la radiación de calor desde el horno 206 a la pared 212 interior de la cámara centrífuga, que rodea un condensador para mantenerse a una temperatura limitada muy por debajo de la temperatura de pirólisis de 350 a 700 °C.

El condensador 218 está dispuesto coaxialmente dentro de la cámara 204 centrífuga y comprende un material 220 de relleno para mejorar la condensación. Las placas 222 deflectoras equidistantes proporcionan un soporte para el material de relleno y para la carcasa del condensador 218, y las perforaciones 224 en las placas 222 deflectoras conducen el gas de pirólisis a través del condensador para optimizar el contacto gas/líquido. El líquido frío se alimenta al condensador a través de una tubería 226 de alimentación de refrigeración perforada.

Una porción inferior de la pared 208 puede estar provista de orificios o perforaciones que permiten que el carbón caiga en un canal 228, en el que el carbón es transportado fuera del aparato de pirólisis por medio de, por ejemplo, un transportador 230 de tornillo sin fin.

Se apreciará que el horno, la cámara centrífuga, el rotor, el condensador, y el transportador de carbón se extienden toda la longitud del aparato de pirólisis, seccionándose las diversas partes en la figura 2 solo con fines ilustrativos.

La figura 3 muestra una sección transversal parcial a través del aparato de pirólisis 200. El horno 206 mostrado en la figura 2 no está incluido en la figura 3 por motivos de claridad. La biomasa en la cámara centrífuga 204 se ilustra como el área sombreada 232. Como se ilustra mediante las flechas 234, los vapores de pirólisis se difunden en el condensador 218 a través de perforaciones en la pared 212 interior de la cámara 204 centrífuga (véase la figura 2), proporcionando un adaptador 236 de la tubería que se proyecta hacia dentro en cada perforación. Cada adaptador 236 de la tubería tiene una pluralidad de aberturas 238 situadas por encima de la superficie del líquido 240 de pirólisis condensado, a través del cual el gas puede escapar al condensador 218. Los adaptadores 236 de la tubería tienen una longitud suficiente para extenderse a través de una capa de líquido de pirólisis condensado, por ejemplo, alquitrán, que se ha acumulado en la periferia exterior del condensador.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de producción de líquido de pirólisis a partir de biomasa, que comprende la etapa de descomposición de la biomasa en líquido de pirólisis, carbón y gas de pirólisis en un procedimiento de pirólisis rápida, comprendiendo el procedimiento las etapas de:
 - 5 - alimentar la biomasa en una cámara centrífuga;
 - girar un rotor cilíndrico para impartir rotación sobre la biomasa distribuida en el volumen de gas en la cámara centrífuga, con lo cual se fuerza la biomasa hacia una pared exterior de la cámara centrífuga mediante fuerzas centrífugas, de manera que un área de la pared exterior de la cámara centrífuga está en contacto con la biomasa, proporcionando así una presión uniforme de biomasa hacia la pared exterior;
 - 10 - descomponer la biomasa en vapores de pirólisis y carbón manteniendo dicha pared exterior a una temperatura de 350 a 700 grados Celsius para efectuar el procedimiento de pirólisis en o cerca de la pared exterior de la cámara centrífuga;
 - separar los vapores de la pirólisis y el carbón;
 - 15 - transportar los vapores de pirólisis lejos de la cámara centrífuga;
 - transportar continuamente el carbón lejos de la cámara centrífuga;
 - condensar la al menos una porción de dichos vapores de pirólisis para obtener dicho líquido de pirólisis y gas de pirólisis.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la biomasa en el rotor está sometida a fuerzas centrífugas mayores de 2000 veces la fuerza de gravedad.
- 20 3. El procedimiento de la reivindicación 1 o 2, en el que el tiempo de retención de fase gaseosa en el rotor es como máximo de 5 segundos.
4. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la relación entre el diámetro del rotor y el diámetro de la cámara centrífuga es al menos de 0,5.
- 25 5. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la pared exterior de la cámara centrífuga calienta la biomasa, de modo que se produce una pirólisis ablativa en o cerca de la pared exterior.
6. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, en la etapa de transporte, los vapores de pirólisis se difunden en una cámara de condensación, en la que se produce dicha etapa de condensación.
7. El procedimiento de la reivindicación 6, en el que la cámara centrífuga tiene una sección transversal anular, y en el que la cámara condensadora está dispuesta centralmente dentro del rotor, por lo que, en la etapa de transporte,
 - 30 los vapores de pirólisis se difunden a través de una pared interior de la cámara centrífuga, que es permeable a los vapores.
8. El procedimiento de la reivindicación 6 o 7, en el que la cámara de condensación acomoda un material de relleno, sobre el cual la al menos una porción de los vapores de pirólisis se condensa a líquido de pirólisis.
9. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que se conduce un fluido frío en la cámara de condensación, estando el fluido a una temperatura por debajo del punto de rocío de los vapores de pirólisis.
- 35 10. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que el fluido frío es líquido de pirólisis o un hidrocarburo inmisible con líquido de pirólisis.
11. El procedimiento de la reivindicación 9 o 10, en el que el fluido frío es conducido en la cámara de condensación a través de una tubería dispuesta coaxialmente dentro de la cámara de condensación.
- 40 12. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos una porción de dicho carbón es en forma de partículas finas que, en la etapa de transporte, se transportan fuera de la cámara centrífuga a través de aberturas provistas en la pared exterior de la cámara centrífuga y en un canal para transportar también las partículas.
- 45 13. El procedimiento de la reivindicación 12, en el que el flujo de partículas a través de las aberturas en la pared exterior de la cámara centrífuga se promueve extrayendo un flujo de vapores de la cámara centrífuga, extendiéndose dichas aberturas esencialmente tangencialmente a un eje longitudinal de la cámara centrífuga, y dicho canal está dimensionado para proporcionar una zona estancada, en la que dichas partículas se separan esencialmente del vapor, comprendiendo además el procedimiento:
 - 50 - forzar los vapores a través de dicho canal bajo la influencia de un gradiente de presión proporcionado por la rotación del rotor;
 - reciclar los vapores esencialmente libres de partículas a la cámara centrífuga a través de al menos una abertura cerca de uno o más puertos de admisión de la cámara centrífuga.

14. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el carbón se transporta en dicho canal por medio de un transportador y/o bajo la acción de gravedad.
- 5 15. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la fase gaseosa y, por lo tanto, los vapores suspendidos de biomasa, carbón y pirólisis en la cámara centrífuga son forzados en una dirección periférica por medio de al menos una pala de rotor dispuesta en la cámara centrífuga.
16. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, en la etapa de alimentación, la biomasa se conduce tangencialmente a la cámara centrífuga.
- 10 17. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la centrífuga está dispuesta coaxialmente dentro de un horno, por lo que el calor para el procedimiento de pirólisis es transportado a través de la pared exterior de la cámara centrífuga por conducción, comprendiendo el procedimiento la etapa de quemar al menos una porción de dicho gas de pirólisis, carbón, líquido o hidrocarburo en el horno.
18. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la centrífuga está comprendida en una unidad móvil, comprendiendo el procedimiento además las etapas de:
- 15 - recoger la biomasa de un sitio de crecimiento por medio de una unidad móvil;
 - en dicha etapa de alimentación: alimentar continuamente la biomasa a la centrífuga, a medida que la unidad móvil se mueve a través del sitio de crecimiento;
 - recoger más biomasa del sitio de crecimiento por medio de la unidad móvil, realizándose la etapa de recoger más biomasa simultáneamente con dicha etapa de descomposición.
- 20 19. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los vapores de pirólisis se condensan parcialmente en un condensador primario, comprendiendo además el procedimiento:
- 25 - secar el gas que se origina a partir de la condensación parcial y utilizar al menos una porción del mismo como combustible para un horno y/o un motor para propulsar la unidad móvil;
 - mezclar la fase líquida resultante que consiste en gran parte en agua con el carbón para obtener una suspensión;
 - distribuir la suspensión sobre el sitio de crecimiento y/o recogerla para su posterior procesamiento o combustión;
 - conducir los vapores formados en el procedimiento de contacto de carbón caliente con líquido a un condensador terciario para utilizar componentes que tienen un punto de ebullición más bajo que el agua;
 - mezclar el vapor desde el condensador terciario con el producto líquido producido por el condensador primario.
- 30 20. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el rotor tiene un diámetro interior de 0,01 a 5 m y se hace girar a al menos 200 rpm.
21. Un aparato de pirólisis rápida para producir líquido de pirólisis, carbón y gas de pirólisis a partir de biomasa, que comprende:
- 35 - una cámara centrífuga delimitada por una pared interior y una pared exterior;
 - una entrada a través de la cual se puede alimentar biomasa a la cámara centrífuga;
 - un rotor cilíndrico dispuesto para impartir rotación sobre la biomasa distribuida en el volumen de gas en la cámara centrífuga para forzar la biomasa hacia la pared exterior bajo la acción de fuerzas centrífugas, estando dispuesto el rotor de modo que un área de la pared exterior de la cámara centrífuga puede ponerse en contacto con la biomasa para proporcionar de este modo una presión uniforme de biomasa hacia la pared exterior durante la operación del aparato;
 40 - un sistema de calentamiento para mantener dicha pared exterior a una temperatura de 350 a 700 grados Celsius para efectuar el procedimiento de pirólisis en o cerca de la pared exterior de la cámara centrífuga y descomponer de ese modo la biomasa en carbón y vapores de pirólisis, que pueden condensarse para formar un líquido de pirólisis y un gas de pirólisis;
 45 - un transportador de carbón para transportar continuamente el carbón fuera de la cámara centrífuga; y en el que - la pared interior de la cámara centrífuga es permeable a dichos vapores de pirólisis.
22. El aparato de la reivindicación 21, en el que el rotor y su rotación están configurados para someter la biomasa a fuerzas centrífugas mayores de 2000 veces la fuerza de la gravedad.
- 50 23. El aparato de la reivindicación 21 o 22, en el que el rotor está dimensionado y puede operar para limitar el tiempo de retención de fase gaseosa en el rotor a un máximo de 5 segundos.
24. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 21 a 23, en el que la relación entre el diámetro del rotor y el diámetro de la cámara centrífuga es al menos de 0,5.
25. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 21 a 24, en el que la cámara centrífuga constituye un reactor ablativo, en el que el calor para el procedimiento de pirólisis puede transmitirse desde la pared exterior de la cámara

centrífuga a la biomasa.

- 5 26. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 21 a 25, en el que la cámara centrífuga tiene una sección transversal anular, y en el que una cámara de condensación está dispuesta centralmente dentro de la cámara centrífuga, estando la cámara centrífuga y la cámara de condensación separadas por dicha pared interior de la cámara centrífuga, comprendiendo la pared interior perforaciones, para permitir que los vapores de pirólisis se difundan desde la cámara centrífuga a la cámara de condensación, en el que los vapores de pirólisis pueden condensarse al menos parcialmente en dicho líquido de pirólisis.
- 10 27. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 21 a 26, en el que las perforaciones de la pared interior definen aberturas de entrada de los adaptadores de tubería que se extienden radialmente en la cámara de condensación.
- 10 28. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 21 a 27, en el que una porción central de la cámara de condensación acomoda un material de relleno.
29. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 21 a 28, que comprende además una tubería dispuesta centralmente dentro de la cámara de condensación para conducir un fluido frío a la cámara de condensación para promover la condensación.
- 15 30. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 21 a 29, en el que el rotor comprende al menos una pala de rotor que se extiende en la cámara centrífuga.
31. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 21 a 30, en el que el transportador de carbón está dispuesto en o cerca de una porción inferior de la centrífuga.
- 20 32. El aparato de la reivindicación 31, que comprende además medios para mezclar el carbón con el líquido de pirólisis para formar una suspensión.
33. Una unidad móvil que comprende un aparato según cualquiera de las reivindicaciones 21 a 32.

─── CAPA DE CORRIENTE DE LÍQUIDOS
 ─── CAPA DE CORRIENTE DE GASES
 ─── CAPA DE CORRIENTE DE SÓLIDOS

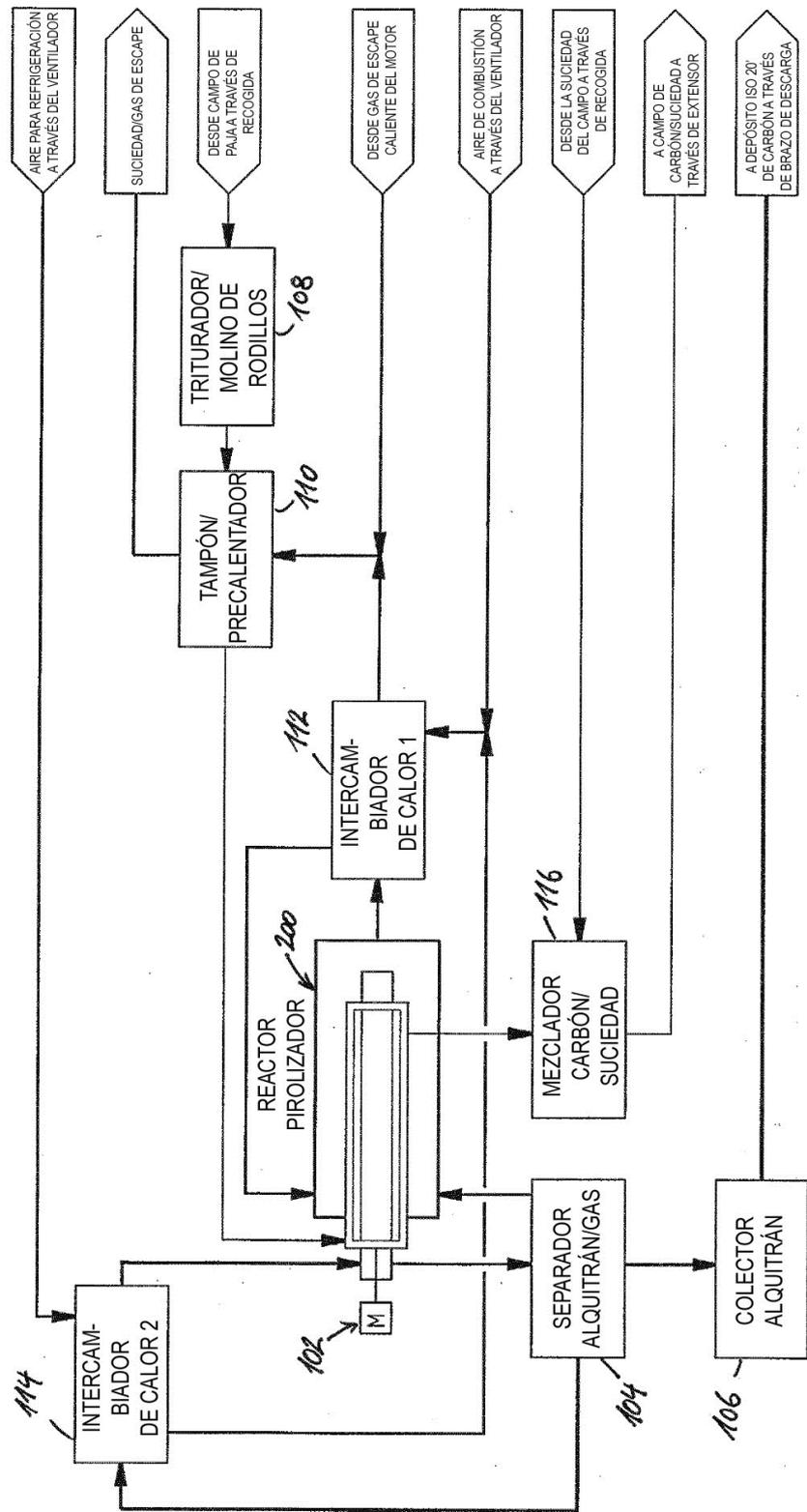


Fig. 1

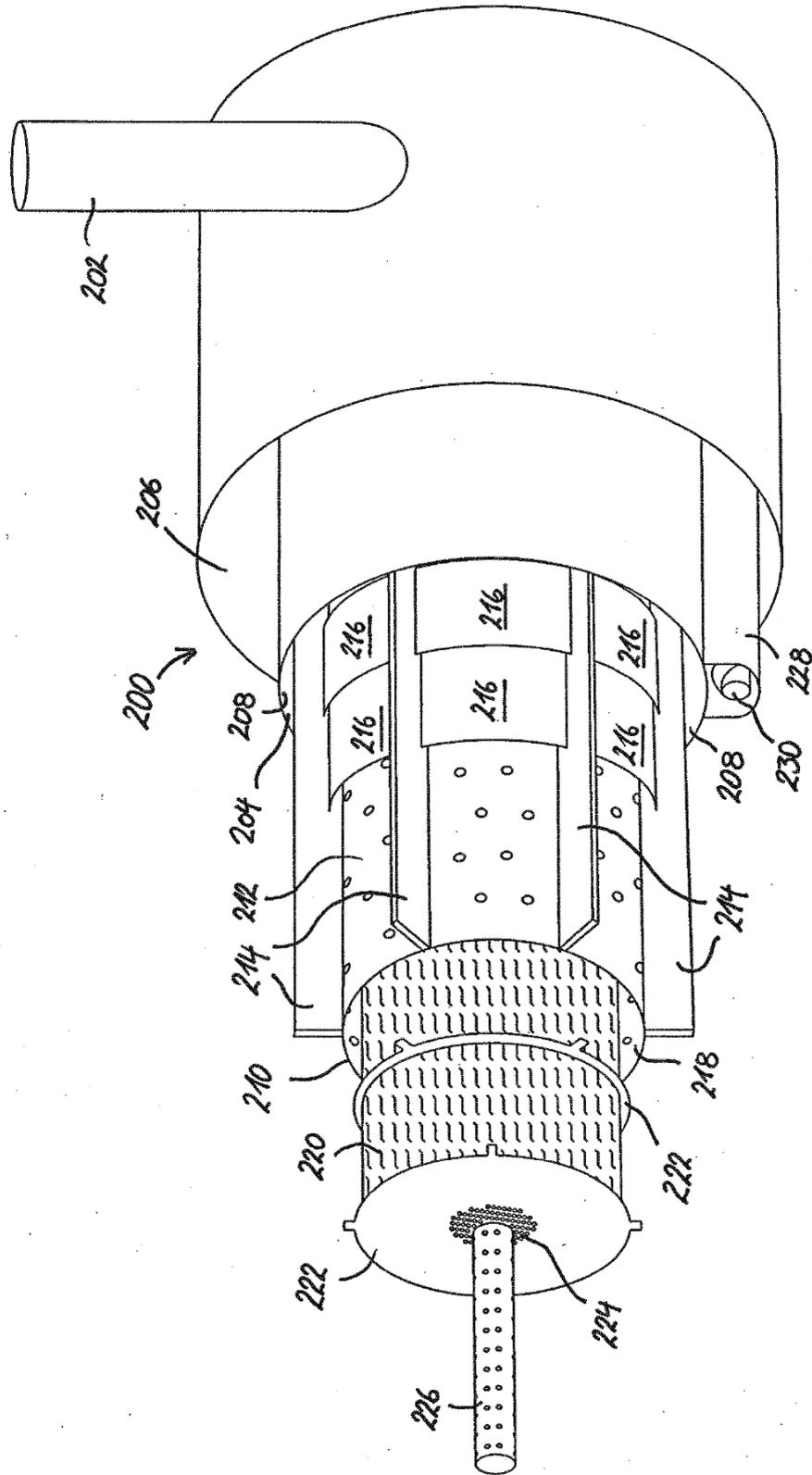


Fig. 2

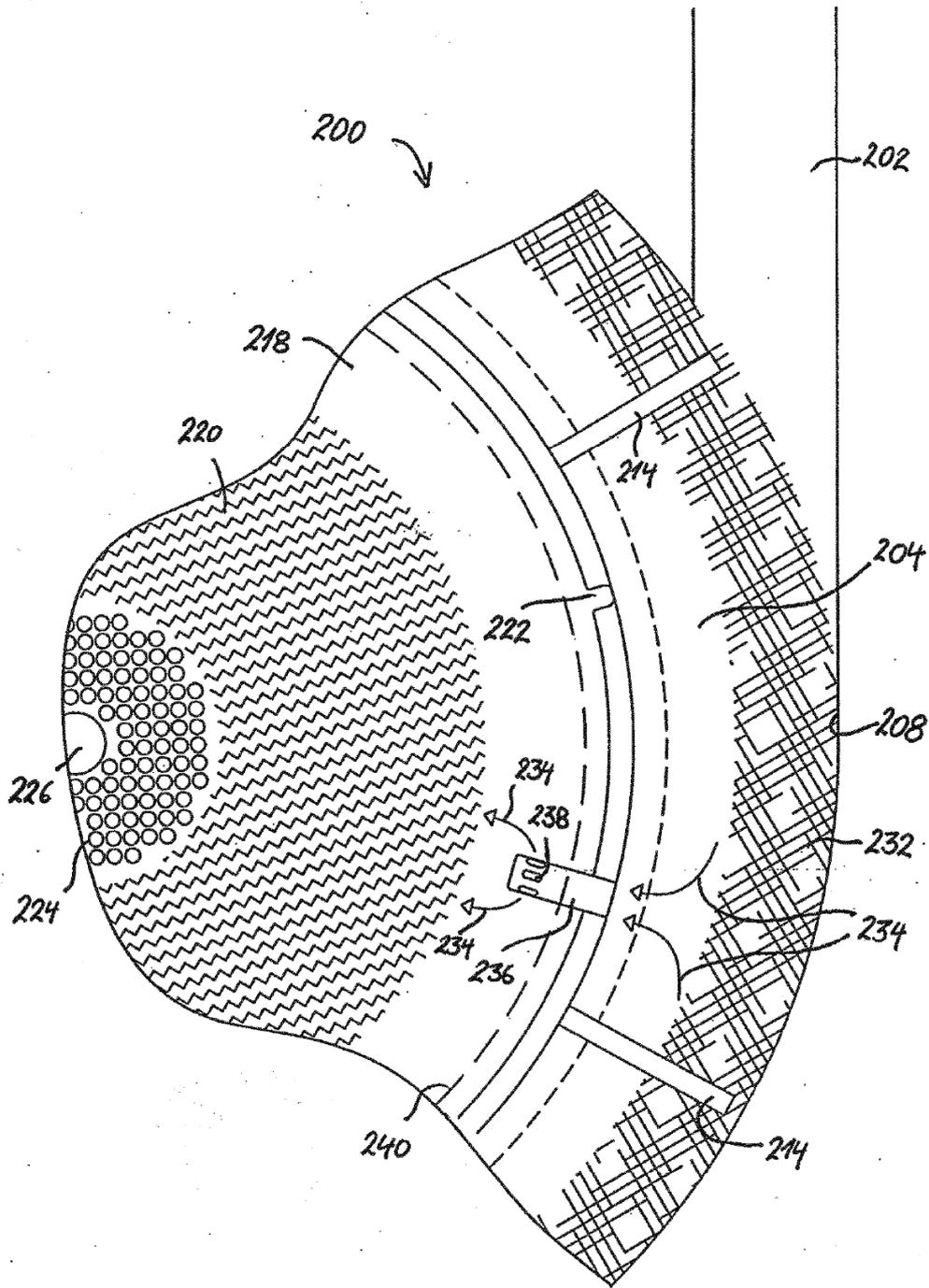


Fig. 3