

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 418 837**

51 Int. Cl.:

C10B 53/02 (2006.01)

C10B 47/22 (2006.01)

A01D 43/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.05.2006 E 06722934 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2013 EP 1879980**

54 Título: **Un procedimiento y una unidad móvil para recoger y pirolizar biomasa**

30 Prioridad:

03.05.2005 EP 05076033

03.05.2005 US 676960 P

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

16.08.2013

73 Titular/es:

**DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET (100.0%)
ANKER ENGELUNDSVEJ 1, BYGNING 101 A
2800 LYNGBY, DK**

72 Inventor/es:

**BECH, NIELS y
DAM-JOHANSEN, KIM**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 418 837 T3

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

DESCRIPCIÓN

Un procedimiento y una unidad móvil para recoger y pirolizar biomasa

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo móvil para la recogida de biomasa y para la producción de un líquido de pirólisis y/o carbón vegetal partiendo de biomasa. El líquido de biomasa puede comprender, por ejemplo, aceite de pirólisis o alquitrán. Se describe también un novedoso procedimiento y aparato de pirólisis rápida.

Antecedentes de la invención

10 La pirólisis convencional es un procedimiento en caliente en el intervalo de 200 a 700 °C que transforma la biomasa en líquido de pirólisis, carbón vegetal y gas, normalmente en ausencia de oxígeno y focalizado a la obtención de carbón vegetal con gran rendimiento. La pirólisis rápida, también denominada como pirólisis instantánea, por otro lado es un procedimiento en el que se calienta rápidamente biomasa hasta una temperatura de pirólisis controlada, y en el que la fase gas se enfría rápidamente, con lo que condensa parcialmente hasta líquido de pirólisis. Este procedimiento obtiene en general un mayor rendimiento de líquido y por tanto busca minimizar el rendimiento de los otros dos productos. Cuando la biomasa se descompone a la elevada temperatura de pirólisis, por ejemplo de 450 a 15 600 °C, se forman tres productos principalmente: gas, líquido de pirólisis y carbón vegetal.

Se han propuesto diversos procedimientos y equipos para la producción de gas o líquido de material orgánico en la técnica anterior. El documento US 5.413.227 describe un procedimiento de pirólisis ablativa en un sistema de reacción vórtex, y el documento WO 03/057800 describe un reactor de termólisis ablativa que incluye superficies 20 rotativas. El documento WO 92/09671 describe un procedimiento y equipo que usa un recipiente, que forma un toro o hélice, mediante el cual se puede transportar alimentación a una velocidad que sostiene la alimentación frente a la periferia exterior de la superficie interna del recipiente ya que transita por el recipiente. El documento WO 01/34725 describe un ejemplo de pirólisis ultrarrápida en un ciclón. Se dan otros ejemplos de equipos de pirólisis en los documentos WO 88/09364 y CA 2 365 785.

25 JERRY WIENS: "MOBILE PYROLYSIS SYSTEM FOR ON-SITE BIOMASS CONVERSION TO LIQUID AND SOLID FUELS" INSTITUTE OF GAS TECHNOLOGY, 1980, páginas 713-720, XP008052810 CHICAGO, ILL. EEUU describe una unidad de pirólisis móvil para la producción de carbón vegetal y aceite pirolítico de biomasa, en el que la unidad de pirólisis móvil comprende dos trailers "low-boy".

30 A pesar de los avances en pirólisis y pirólisis ultrarrápida, se ha encontrado que una barrera para la explotación eficiente de biomasa en la producción de combustible es el coste conferido por la recogida y transporte de la biomasa. La biomasa se recoge normalmente en las zonas de cultivo, donde se carga en un camión o trailer para el transporte de la misma hasta una instalación de pirólisis. Debido a la concentración relativamente baja de energía por volumen de la biomasa, la producción incluso de pequeñas cantidades de líquido de pirólisis útil requiere la recogida, transporte y almacenamiento de grandes volúmenes de biomasa. Adicionalmente, a pesar de que los 35 sistemas de pirólisis de la técnica anterior son útiles para muchos fines, se ha encontrado que tienen ciertas limitaciones, ya que algunos de ellos son voluminosos, algunos presentan baja eficiencia, y algunos requieren el ajuste, por ejemplo, de palas de rotor, que reducen la eficiencia en coste general.

Sumario de la invención

40 Es un objetivo de realizaciones preferidas de la presente invención proporcionar un procedimiento y una unidad móvil para la recogida de biomasa que mejore la eficiencia en la recogida y la explotación de biomasa. Es un objetivo adicional de realizaciones preferidas de la presente invención proporcionar un procedimiento y aparato de pirólisis que permita un ensamblaje de pirólisis compacto y eficiente.

En un primer aspecto la invención proporciona un procedimiento para la recogida de biomasa y para la producción de un líquido de pirólisis de la biomasa, que comprende las etapas de:

- 45 - recoger la biomasa de un lugar de cultivo, tal como un campo o bosque por medio de una unidad móvil;
- alimentar de forma continua la biomasa a un aparato de pirólisis alojado en la unidad móvil, tal que la unidad móvil atraviesa el lugar de cultivo;

- descomposición de la biomasa en líquido de pirólisis, carbón vegetal y gas de pirólisis, llevándose a cabo la etapa de descomposición en el aparato de pirólisis;

5 - separación del líquido de pirólisis del carbón vegetal y del gas de pirólisis y recogida del líquido de pirólisis, estando caracterizado el procedimiento porque la etapa de descomposición de la biomasa se lleva a cabo mientras se está recogiendo más biomasa simultáneamente del lugar de cultivo por medio de la unidad móvil.

En un segundo aspecto la invención proporciona una unidad móvil para la recogida de la biomasa y para la producción de líquido de pirólisis de la biomasa, comprendiendo la unidad:

- un aparato de pirólisis para la descomposición de la biomasa en líquido de pirólisis, carbón vegetal y gas de pirólisis;

10 - un colector de biomasa para recoger la biomasa de un lugar de cultivo;

- un transportador de biomasa para la alimentación continua de la biomasa en el aparato de pirólisis;

- un sistema de separación para la separación del líquido de pirólisis del carbón vegetal y del gas de pirólisis,

15 estando caracterizada la unidad móvil porque el colector de biomasa, el transportador de biomasa y el aparato de pirólisis se pueden operar tal que el aparato de pirólisis puede descomponer la biomasa, mientras se recoge más biomasa simultáneamente del lugar de cultivo por medio del colector de biomasa.

20 La pirólisis tiene lugar mientras se recoge simultáneamente más biomasa y se alimenta de forma continua al aparato de pirólisis. De ahí que la pirólisis tenga lugar mientras que la unidad móvil atraviesa el lugar de cultivo, y mientras se recoge biomasa simultáneamente. Por tanto se puede evitar el transporte de volúmenes relativamente grandes de biomasa desde el lugar de cultivo a una instalación de pirólisis remota. Debido a que el líquido de pirólisis tiene una concentración de energía por volumen significativamente mayor que la biomasa, una cierta cantidad de energía requiere menos espacio cuando se presenta en la forma de líquido de pirólisis que cuando se presenta en la forma de biomasa, y la energía puede por tanto ser transportada más convenientemente hasta el consumidor pretendido en forma de líquido de pirólisis. El líquido de pirólisis puede ser transportado desde el lugar de cultivo al consumidor de destino o hasta una instalación de almacenamiento por medio de camiones cisterna o de tanques (por ejemplo, 25 contenedores cisterna ISO), o ser transportado por medio de conductos bajo la acción de bombeo adecuado.

El aparato de pirólisis puede incluir cualquier equipo en sí conocido, tal como por ejemplo cualquiera de los equipos descritos en los documentos US 5.413.227, WO 03/057800, WO 92/09671, WO 01/34725, WO 88/09364 o CA 2 365 785. Los presentes inventores han concebido un aparato de pirólisis alternativo y nuevo, que es particularmente adecuado para los fines de una unidad de pirólisis móvil, y que se describirá a continuación.

30 La unidad móvil puede comprender una estructura de soporte con ruedas. Se puede proporcionar un sistema de acoplamiento para el acoplamiento de la unidad a un vehículo propulsado. De forma alternativa, la unidad móvil puede incorporar una máquina o motor, de modo que la unidad móvil sea auto-propulsada. La máquina o motor de la unidad móvil puede usar el gas de pirólisis, líquido de pirólisis y/o carbón vegetal como combustible, con lo que se puede reducir la necesidad de una fuente de combustible a parte de la unidad móvil o incluso eliminar. Igualmente 35 en realizaciones de la invención en las que la unidad móvil no sea auto-propulsada, los medios de propulsión, por ejemplo, tractor o camión pueden usar el gas de pirólisis, líquido de pirólisis y/o carbón vegetal como una fuente de combustible.

40 En el presente contexto la biomasa se tiene que entender como cualquier materia orgánica, tal como plantas o animales o residuos de estos, tal como madera, materiales residuales de procesos agrícolas y forestales, o residuos industriales, humanos y animales, incluyendo pienso a partir de residuos de base petroquímica. La energía química almacenada en plantas y animales deriva de la fotosíntesis con energía solar y se puede transformar en líquido de utilidad, tal como aceite o alquitrán, en un proceso en caliente, es decir, pirólisis.

45 El término líquido de pirólisis se tiene que entender como cualquier líquido orgánico derivado de biomasa en un proceso de pirólisis, tal como bio-combustible o alquitrán, presentando los componentes un punto de ebullición en el intervalo de 0 a 500 °C. El vapor de pirólisis se tiene que entender como cualquier vapor o gas derivado de biomasa en un proceso de pirólisis, tal como líquido de pirólisis vaporizado.

Para enfriar de forma eficiente carbón vegetal del proceso de pirólisis antes de la posible eyección del mismo de la unidad móvil, el proceso puede incluir la etapa de recoger tierra del lugar de cultivo y mezclar la tierra con el carbón

vegetal con lo que se enfría el carbón vegetal. En otras palabras, se puede usar tierra como una fuente de enfriamiento para materia residual que se derive de la pirólisis, y se puede eliminar la necesidad, por ejemplo, de enfriar con agua. De ahí que se pueda apreciar que la unidad móvil puede comprender un colector de tierra para la recogida de tierra del lugar de cultivo y un mezclador para mezclar la tierra con el carbón vegetal con lo que se enfría el carbón vegetal, así como también un eyector de tierra y carbón vegetal para eyectar la mezcla o suspensión de carbón vegetal y tierra de la unidad móvil.

Se puede proveer una prensa para peletizar y recoger el carbón vegetal como un sub-producto.

La mezcla de carbón vegetal y tierra se puede alimentar a un surco formado por medios apropiados de la unidad móvil, tal como un diente. El diente se puede disponer respecto al eyector de tierra y carbón vegetal de modo tal que la mezcla de carbón vegetal y tierra se puede alimentar al surco durante uso de la unidad móvil. Subsiguientemente la mezcla de carbón vegetal se puede cubrir con tierra para mejorar la descomposición del carbón vegetal.

Al menos una parte del gas de pirólisis producido con el proceso de pirólisis se puede quemar en una pieza el horno del aparato de pirólisis, el horno produce calor para el proceso de pirólisis. El gas de escape del horno se puede expeler por una salida de humo del horno. Además del gas de pirólisis, al menos una parte del carbón vegetal se puede quemar en el horno.

Antes de la alimentación de la biomasa al aparato de pirólisis, la biomasa se puede alimentar a un dispositivo de pre-calentamiento, en el que se precalienta y posiblemente se seca antes de que entre al aparato de pirólisis. El gas de escape producido en el horno se puede usar como una fuente de calor en el dispositivo de pre-calentamiento. El gas de escape del horno se puede guiar también a un primer intercambiador de calor en el que calienta aire de entrada para el horno. De forma alternativa o adicional se puede proveer un conducto que se puede conectar con una salida de escape del vehículo propulsado o una salida de escape del motor de la unidad móvil para permitir que el gas de escape del vehículo o del motor llegue como una fuente de calor al primer intercambiador de calor o al proceso de pre-calentamiento y/o secado de la biomasa.

La unidad móvil puede incluir de forma ventajosa un triturador para la trituración de la biomasa recogida aguas arriba del aparato de pirólisis, por ejemplo, aguas arriba del dispositivo de precalentamiento. Se puede incluir un amortiguador de biomasa para permitir que sea recogida más biomasa de la que se procesa en el aparato de pirólisis. Por ejemplo, se puede interrumpir la operación del colector por ejemplo para la maniobra del vehículo o para la inspección sin interrupción del aparato de pirólisis. En una realización el dispositivo de precalentamiento sirve como el amortiguador de biomasa.

En la etapa de separación del líquido de pirólisis del carbón vegetal y gas de pirólisis, el líquido de pirólisis y al menos una parte del gas de pirólisis se pueden transportar a un separador para la separación del líquido de pirólisis del gas de pirólisis, y al menos una parte del gas de pirólisis separado se puede transportar de nuevo al horno como una fuente de combustible. Adicionalmente, al menos una parte del líquido separado se puede transportar de nuevo al aparato de pirólisis como una fuente de enfriamiento en un condensador de pirólisis. El condensador puede estar integrado en el aparato de pirólisis o puede constituir una unidad a parte, que no forma parte del aparato de pirólisis. Antes de que el líquido entre en el condensador este se enfría preferiblemente en un segundo intercambiador de calor, que puede usar aire como una fuente de enfriamiento. El aire que sale del segundo intercambiador de calor se puede mezclar con el aire de entrada para el horno aguas arriba o aguas abajo del primer intercambiador de calor, por ejemplo para mejorar la eficiencia de combustión en el horno.

En una realización el aparato de pirólisis comprende una centrífuga que define una cámara de centrífuga, y en la etapa de descomposición de la biomasa, el procedimiento de la invención puede comprender la etapa de impartir rotación a la biomasa distribuida en el volumen de gas en la centrífuga, con lo que la biomasa se fuerza a través de una pared exterior de la cámara de centrífuga. La pared exterior de la cámara de centrífuga se mantiene a una temperatura de 350 a 700 °C para llevar a cabo un procedimiento de pirólisis en o cerca de la pared exterior de la cámara de centrífuga, con lo que la biomasa se descompone en el líquido de pirólisis, gas de pirólisis y carbón vegetal, estando el gas y líquido en forma gaseosa.

En una realización particularmente compacta del aparato de pirólisis el condensador se integra en el aparato de pirólisis. En esta realización la cámara de centrífuga del aparato de pirólisis está delimitada con una pared interior y una pared exterior, y se provee una salida para la alimentación de biomasa a la cámara de centrífuga. Se dispone un rotor para impartir rotación a la biomasa en la cámara de centrífuga para forzar la biomasa hacia la pared exterior de la cámara de centrífuga con la acción de fuerzas centrífugas. Se incluye un sistema de calentamiento para mantener la pared exterior de la cámara de centrífuga a una temperatura de 350 a 700 °C para llevar a cabo el proceso de pirólisis en o cerca de la pared exterior de la cámara de centrífuga y con ello descomponer la biomasa en carbón vegetal, 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, la centrífuga que se dispone

preferiblemente coaxialmente dentro del horno, con lo que se transporta calor para el proceso de pirólisis a través de la pared exterior de la centrífuga por conducción. La pared interior de la cámara de centrífuga puede ser permeable a los vapores de pirólisis y gas, de modo que el condensador se pueda disponer centralmente dentro de la cámara de centrífuga.

- 5 El presente procedimiento y aparato de pirólisis confieren diversos beneficios. No se requiere gas inerte para la fluidización y el transporte de calor, con lo que se reducen las dimensiones generales del equipo a una capacidad dada. Adicionalmente el tiempo de residencia de sólidos y vapores se desacoplan de la transferencia de calor. De forma adicional no se necesita arena como medio de transporte de calor o de transmisión de calor, con lo que se reduce el desgaste y el desgarro y se elimina la necesidad de separación subsiguiente de arena y carbón vegetal.
- 10 Gracias al movimiento de rotación facilitado a la biomasa en la cámara de centrífuga, la zona de la pared exterior de la cámara de centrífuga está en contacto con la biomasa, mientras que las fuerzas centrífugas aseguran una presión uniforme de biomasa hacia la pared exterior, con lo que se asegura el uso mejorado de la superficie reactiva en el aparato de pirólisis y consecuentemente mayor capacidad específica. Debido a que se empuja carbón vegetal hacia la pared exterior de la cámara de centrífuga, la separación del gas puede tener lugar dentro de la cámara de centrífuga, es decir, dentro de la cámara de pirólisis propiamente. Debido a que las partículas de carbón vegetal se empujan hacia la pared mediante fuerzas centrífugas y el gas se puede filtrar mediante paso desde la pared exterior de la cámara de centrífuga a través de una capa de biomasa hasta una pared interior de la cámara de centrífuga, se puede eliminar la necesidad de un ciclón a parte. Adicionalmente cuando la biomasa se empuja hacia la superficie reactiva, es decir, la pared exterior de la cámara de centrífuga, mediante fuerzas centrífugas, se reduce la necesidad de medios adicionales a impartir a la biomasa, con lo que se reduce el desgaste y desgarro y en consecuencia los costes de mantenimiento. Gracias al plano rotacional de la cámara de centrífuga y rotor, no hay necesidad de ajustar, por ejemplo, ángulos de palas o distancia entre palas y una pared de tubo, como en ciertos dispositivos de la técnica anterior. Adicionalmente el contacto entre las piezas de metal se puede eliminar y el contacto entre las piezas de metal y biomasa se puede reducir en gran medida, ya que el movimiento de rotación se imparte a las partículas de biomasa principalmente como una consecuencia de un movimiento similar en la fase gas que se origina del movimiento del rotor. De acuerdo con esto la operación es menos vulnerable a cambios en propiedades de material de biomasa, tal como distribución de tamaño de partícula y humedad así como también fluctuaciones de velocidad de alimentación de biomasa al reactor. Debido a que el carbón vegetal se transporta lejos del reactor, preferiblemente de forma continua, se asegura una conducción de calor alta entre la pared del reactor, es decir, la pared exterior de la cámara de centrífuga, y el material de la biomasa, dando lugar a mejor eficiencia y mejor rendimiento de líquido de pirólisis. El mejor rendimiento de pirólisis se confiere mediante un gradiente de temperatura por etapas en el material de biomasa.

En realizaciones de la presente invención la biomasa en el rotor se somete a fuerzas centrífugas de más de 2000 veces la fuerza de la gravedad.

- 35 El tiempo de retención de la fase gas en el rotor es preferiblemente como máximo 5 segundos. La relación del diámetro del rotor y del diámetro de la cámara de centrífuga es preferiblemente 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, en consecuencia, el gas y el carbón vegetal se ven influenciados por la elección de la alimentación, la temperatura de la pared del reactor, la fuerza centrífuga y una combinación de temperatura de fase gas del reactor y tiempo de residencia/retención. Mientras que los primeros parámetros determinan la escisión inicial entre fracciones, los dos últimos actúan mediante degradación de los líquidos de pirólisis inicialmente formados en la fase gas. Las reacciones de la fase gas darán lugar a redistribuciones de las moléculas, formación de agua (deshidratación) y craqueo de moléculas grandes que constituyen la fracción de líquido en más pequeñas que no pueden ser condensadas subsiguientemente en las condiciones moderadas usadas. Las reacciones en fase gas actuarán por lo tanto para modificar el producto líquido en términos de viscosidad y solubilidad en agua pero no cambiará el rendimiento tanto en base a la masa como a energía.

- Con el fin de modelizar el efecto de la degradación en fase gas las reacciones se pueden aproximar mediante reacciones químicas irreversibles de primer orden siguiendo la expresión de Arrhenius bien conocida y adicionalmente tratando la centrífuga de pirólisis como un reactor de flujo de tapón. Como consecuencia, la degradación será promovida tanto por temperatura mayor como por tiempo de residencia/retención más prologado, y teóricamente es posible obtener un cierto grado de degradación por un número indefinido de combinaciones de los dos. Para la mayor parte de las realizaciones de la presente invención puede ser deseable que el tiempo de residencia/retención de la fase gas no supere 1 a 2 segundos con el fin de obtener un producto líquido adecuado para combustible en 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 de la fase gas es determinado de forma predominante por el volumen activo del reactor en combinación con la cantidad de purga de gas de este volumen. Para sistemas en los que no hay purga de

gas inerte externo, la consecuencia es que los gases solo se originan de las reacciones de pirólisis de la alimentación. Por lo tanto el tiempo de residencia/retención y en consecuencia la degradación en fase gas de producto líquido se determina predominantemente con la capacidad o tasa de alimentación de material de partida al reactor.

5 En un diseño de la centrífuga de pirólisis que opera con una temperatura de pared de aproximadamente 500 °C y una fuerza centrífuga de 10000 veces la fuerza de gravedad en paja de trigo, del rendimiento de masa primario de fracciones será aproximadamente un 34 % en fracciones orgánicas, un 22 % en agua (56 % de líquidos en total), un 23 % de carbón vegetal y un 21 % de gas, todos en base sin ceniza sustancialmente seca. En estas condiciones la temperatura de la fase gas se encontró que 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 l. Usando la expresión cinética para el craqueo de la fase gas de celulosa encontrada por Linden y col. (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 las fracciones orgánicas tras la degradación de la fase gas puede computarse en aproximadamente el 33 se con un tiempo de residencia/retención de gas correspondiente de aproximadamente 1,5 s o un cambio relativamente menor del rendimiento primario. Si por otro lado la temperatura de la fase gas se eleva hasta aproximadamente 600 °C el rendimiento en fracciones orgánicas se reduciría a aproximadamente el 5 % mientras que un aumento de diez veces en el volumen del reactor reduciría el rendimiento en fracciones orgánicas hasta aproximadamente el 25 %. A partir de estos ejemplos será evidente que un reactor que permita la minimización del efecto combinado de temperatura y tiempo de residencia en la fase gas es beneficioso para obtener líquidos de pirólisis de la biomasa en rendimiento aceptable.

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

25 En la etapa de transporte de los vapores de pirólisis y carbón vegetal lejos de la cámara de centrífuga, los vapores de pirólisis difunden preferiblemente a una cámara de condensador, en la que tiene lugar la etapa de condensación. En una realización particularmente compacta, la cámara de centrífuga tiene una sección transversal anular, y la cámara de condensador se dispone centralmente, es decir, coaxialmente dentro del rotor, con lo que los vapores de pirólisis difunden a través de una pared interna de la cámara de centrífuga, que es permeable a los vapores. Se apreciará por tanto que la cámara de centrífuga y la cámara de condensador se separan con la pared interior de la cámara de centrífuga, comprendiendo la pared interior perforaciones de modo tal que se permite a los vapores de pirólisis difundir de la cámara de centrífuga a la cámara de condensador, en la que los vapores de pirólisis pueden condensar al menos parcialmente en dicho líquido de pirólisis.

35 La integración del reactor (cámara de centrífuga) y condensador permiten el mejor uso del volumen del reactor. Esto contribuye a la compactabilidad del equipo, en el que no hay necesidad de un condensador externo remoto del reactor con conductos asociados. De forma adicional, gracias al condensador y reactor integrados, el tiempo de retención de fase gas se puede reducir, lo que ha demostrado mejorar el rendimiento en líquido de pirólisis, viscosidad de líquido reducida y contenido en agua reducida.

40 Las perforaciones de la pared interior puede definir aberturas de entrada de salientes de conducto que se extienden radialmente en la cámara de condensador para proporcionar una entrada al condensador, que está desplazado internamente en relación a una periferia exterior de la cámara de condensador. Los salientes de conducto presentan preferiblemente una longitud suficiente para extenderse más allá del líquido de pirólisis condensado, tal como alquitrán viscoso, que se puede acumular en la periferia exterior de la cámara del condensador.

45 Con el fin de mejorar la condensación en la cámara del condensador, una parte central de la cámara del condensador puede acomodar un material de embalaje, sobre la que al menos una parte de los vapores de pirólisis condensan en líquido de pirólisis.

50 La condensación puede mejorarse adicionalmente mediante conducción de un fluido frío en la cámara del condensador, por ejemplo, mediante un conducto dispuesto centralmente dentro de la cámara de condensador. El fluido, que está a una temperatura por debajo del punto de rocío de los vapores de pirólisis, puede ser líquido de pirólisis o un hidrocarburo inmiscible con líquido de pirólisis. En caso que se use líquido de pirólisis, tal líquido de pirólisis puede derivarse de forma conveniente del proceso de pirólisis, de modo que no se necesita suministro externo de líquido de pirólisis. Cualquier otro fluido se separa del líquido de pirólisis producido mediante separación de fase y reciclado en el proceso.

55 La temperatura de condensación se puede controlar con la temperatura del fluido usado con lo que especialmente la cantidad de agua incluida en el producto líquido puede ser controlada con condensación parcial. En una fase posterior el gas puede secarse mediante enfriamiento adicional con el fin de aumentar el contenido en energía del

gas y/o mezclar agua condensada con carbón vegetal caliente combustible para formar una suspensión y así controlar la reactividad.

5 Al menos una parte del carbón vegetal que deriva de la pirólisis de la biomasa puede estar en la forma de partículas finas, que se transportan lejos de la cámara de centrifuga mediante aberturas provistas en la pared exterior de la cámara de centrifuga y en un canal para transporte de las partículas. Para mejorar el flujo de partículas en la separación de carbón vegetal se puede extraer un pequeño flujo de vapor al exterior con las partículas de carbón vegetal, preferiblemente disponiendo las aberturas tangencialmente respecto al conducto de reactor principal con lo que el movimiento de las palas del rotor forzarán al vapor a través de los conductos. El vapor puede re-introducirse en el reactor mediante una abertura cerca del puerto de entrada del material de partida. En una realización del equipo de la presente invención se dispone un transportador de carbón vegetal en o cerca de la parte del fondo de la centrifuga. El transportador puede, por ejemplo, comprender un transporte de oruga para avanzar el carbón vegetal en el canal. De forma alternativa el carbón vegetal se puede transportar bajo la acción de gravedad. Se pueden proveer medios para la mezcla del carbón vegetal con el líquido de pirólisis para formar una suspensión, o se puede peletizar carbón vegetal y recoger como un producto de alta densidad de energía por separado.

15 Como se explicó anteriormente las fuerzas centrífugas proporcionan una presión hacia el exterior a la biomasa en la cámara de centrifuga hacia su pared exterior. Se puede conseguir una distribución periférica uniforme de material en la cámara de centrifuga con al menos una pala de rotor dispuesta en o que se extiende en la cámara de centrifuga, con lo que la biomasa, carbón vegetal, vapores de pirólisis en la cámara de centrifuga se fuerzan a una dirección periférica. La rotación con la que se dota al material genera las fuerzas centrífugas para forzar el material hacia la superficie reactiva en la pared exterior de la cámara de centrifuga.

La biomasa se puede conducir axialmente o tangencialmente a la cámara de centrifuga. Preferiblemente, la biomasa se conduce tangencialmente a la cámara de centrifuga en una o más posiciones a lo largo de la cámara. La biomasa se puede conducir a la cámara de centrifuga mediante una pluralidad de distintas entradas o mediante una única entrada, por ejemplo, una ranura extendida que forma una boca ensanchada de una entrada de biomasa.

25 El calor para el proceso de pirólisis se puede derivar de un horno dispuesto coaxialmente en torno a la centrifuga, con lo que el calor para el proceso de pirólisis se transporta a través de la pared exterior de la cámara de centrifuga por conducción. Esta disposición coaxial del horno contribuye adicionalmente a la compactabilidad general. En el horno, al menos una parte de dicho gas de pirólisis, carbón vegetal, líquido o hidrocarburo puede quemarse, preferiblemente sin necesidad alguna de suministro de combustible externo. Se puede incorporar un material de estabilización de llama poroso en la forma de un material cerámico dentro del horno para mejorar la operación. El calentamiento por elementos de resistencia eléctrica, inducción magnética, un vapor en condensación o un fluido caliente, por ejemplo, sal líquida constituye rutas alternativas de calentamiento del proceso.

35 El rotor puede presentar un diámetro interior de 0,01 a 5 m y se hace rotar preferiblemente al menos a 200 rpm. En una realización el diámetro del rotor es aproximadamente 1 metro, rotando el rotor a aproximadamente 2000 rpm y estando sometidas las partículas de biomasa a fuerzas centrífugas mayores de 2000 veces la fuerza de gravedad.

40 Con el fin de recoger y procesar de forma eficiente la biomasa, la centrifuga puede estar comprendida en una unidad móvil, que puede recoger la biomasa de un lugar de cultivo, tal como un campo o bosque. La biomasa se puede alimentar de forma continua a la centrifuga, ya que la unidad móvil se mueve a través del lugar de cultivo. Se puede recoger más biomasa del lugar de cultivo por medio de la unidad móvil de forma concurrente con la etapa de descomposición de la biomasa en el aparato de pirólisis.

Breve descripción de los dibujos:

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

La figura 1 es un diagrama que ilustra una realización del procedimiento y unidad móvil de la presente invención;

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

45 La figura 3 es una vista en sección transversal parcial 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 esta invención. El sistema puede ser adaptado en una unidad móvil para la recogida simultánea de biomasa y

procesamiento de biomasa en un proceso de pirólisis. El sistema incluye un aparato de pirólisis 200, que se describirá con mayor detalle en referencia a las figuras 2 y 3. Se proporciona un motor 102 para la conducción de 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 a continuación, y se recoge el alquitrán que queda en el colector de alquitrán 106. Se conduce gas desde el separador de alquitrán/gas a un horno del aparato de pirólisis, en el que este se usa como combustible para la producción de calor requerido en el proceso de pirólisis.

Como se muestra en el extremote la parte derecha de la figura 1, la biomasa, tal como paja, se recoge de un campo o de otro lugar de cultivo y se alimenta a un triturador, tal como un molino de rodillos 108, desde el que se alimenta a un dispositivo amortiguador y de precalentamiento 110. El calor se transporta al dispositivo de precalentamiento con gas de escapa del horno del aparato de pirólisis 200 y/o con gas de escape de una máquina de la unidad móvil o de un camión o tractor que conduce la unidad móvil. El gas de escape del horno del aparato de pirólisis se transporta a través de un primer intercambiador de calor 112, en el que este 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 de calor 114 para el enfriamiento de esa parte del alquitrán separado en el separador de alquitrán/gas 104, que se conduce de nuevo al aparato de pirólisis. La fuente de enfriamiento para el segundo intercambiador de calor 114 es aire, que se puede conducir mediante el primer intercambiador de calor 112 una vez que pasa el segundo intercambiador de calor 114, pero antes de que entre en el horno del aparato de pirólisis.

En esta configuración, carbón vegetal, que se transporta lejos del aparato de pirólisis, se mezcla con tierra recogida del lugar de cultivo en un mezclador de carbón vegetal / tierra 116 para formar una mezcla de carbón vegetal / tierra. La mezcla se puede distribuir de forma ventajosa en el lugar de cultivo, por ejemplo, un campo, por ejemplo en un surco formado por un diente de la unidad móvil.

El aparato de pirólisis 200 se muestra con mayor detalle en la figura 2. Esta comprende un conducto de entrada de biomasa 202, por el cual se transporta biomasa a una cámara de centrífuga o reactor 204 rodeado por un horno 206. La cámara de centrífuga 204 presenta una pared exterior 208, por la cual se conduce calor desde el horno para efectuar la pirólisis en la cámara de centrífuga en o cerca de la pared exterior 208. Un rotor 210 forma una pared interior perforada 212 de la cámara de centrífuga, estando el rotor provisto de palas de rotor 214 para la rotación de la fase gas y de la biomasa suspendida en ella dentro de la cámara centrífuga. Durante la operación del equipo la biomasa y otro material en la cámara de centrífuga, tal como carbón vegetal y vapores de pirólisis, son forzados por fuerzas centrífugas hacia la superficie reactiva en la pared exterior 208 de la cámara centrífuga 204, en la que se efectúa la pirólisis. Se fijan deflectores de calor 216 en las palas del rotor para la limitación de la radiación térmica del horno 206 sobre la pared interior 212 de la cámara centrífuga, que rodea un condensador para mantenerse a una temperatura limitada bien por debajo de la temperatura de pirólisis de aproximadamente 350 a 700 °C.

El condensador 218 está dispuesto coaxialmente dentro de la cámara de centrífuga 204 y comprende un material de embalaje 220 para la mejora de la condensación. Las placas deflectoras equidistantes 222 proporcionan un soporte para el material de embalaje y para la envoltura del condensador 218, y las perforaciones 224 en las placas deflectoras 222 guían el gas de pirólisis a través del condensador para optimizar el contacto gas/líquido. Se alimenta líquido frío al condensador mediante un conducto de alimentación de enfriamiento perforado 226.

Una parte de fondo de la pared 208 puede estar provista con orificios o perforaciones que dejan al carbón vegetal caer en un canal 228, en el que el carbón vegetal se transporta lejos del aparato de pirólisis por medio, por ejemplo, de un transportador oruga 230.

Se apreciará que el horno, cámara de centrífuga, rotor, condensador y transportador de carbón vegetal se extienden en toda la longitud del aparato de pirólisis, estando cortadas las diversas piezas en la figura 2 únicamente a título ilustrativo.

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 a efectos de claridad. La biomasa en la cámara centrífuga 204 se ilustra como una zona rayada 232. Como se ilustra con flechas 234, los vapores de pirólisis difunden en el condensador 218 mediante perforaciones en la pared interior 212 de la cámara centrífuga 204 (véase la figura 2), estando provisto un saliente de conducto de proyección hacia el interior 236 en cada perforación. Cada saliente de conducto 236 presenta una pluralidad de aberturas 238 localizada por encima de la superficie del líquido de pirólisis condensando 240, por el cual puede escapar gas al condensador 218. Los salientes de conducto 236 presentan una longitud suficiente para extenderse a través de una capa del líquido de pirólisis condensado, por ejemplo, alquitrán, que se ha acumulado en la periferia exterior del condensador.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para recoger biomasa y para la producción de un líquido de pirólisis y/o carbón vegetal de la biomasa, que comprende las etapas de:

- recoger la biomasa de un lugar de cultivo por medio de una unidad móvil;

5 - alimentar de forma continua la biomasa a un aparato de pirólisis alojado en la unidad móvil, cuando la unidad móvil atraviesa el lugar de cultivo;

- descomponer la biomasa en líquido de pirólisis, carbón vegetal y gas de pirólisis, llevándose a cabo la etapa de descomposición en dicho aparato de pirólisis;

10 - separación del líquido de pirólisis del carbón vegetal y del gas de pirólisis y recogida del líquido de pirólisis y/o el carbón vegetal,

caracterizado porque dicha etapa de descomposición de la biomasa se lleva a cabo mientras que simultáneamente se recoge biomasa del lugar de cultivo por medio de la unidad móvil.

2. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además las etapas de:

15 - recoger tierra del lugar de cultivo y mezclar dicha tierra con el carbón vegetal para de esta manera enfriar el carbón vegetal;

- expulsar la mezcla de carbón vegetal y tierra de la unidad móvil.

3. El procedimiento de la reivindicación 2, que comprende además la etapa de formar un surco en el campo de cultivo por medio de un diente de la unidad móvil, y en el que en dicha etapa de eyección la mezcla de carbón vegetal y tierra se alimenta al surco.

20 4. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el aparato de pirólisis quema al menos una parte de dicho gas de pirólisis en un horno, con lo que se produce calor y gas de escape.

5. El procedimiento de la reivindicación 4, en el que el aparato de pirólisis quema además al menos una parte de dicho carbón vegetal.

25 6. El procedimiento de la reivindicación 4 ó 5, que comprende además, antes de la etapa de alimentación continua de la biomasa al aparato de pirólisis:

- alimentación continua de la biomasa a un dispositivo de precalentamiento, en el que la biomasa se precalienta antes de que entre al aparato de pirólisis;

- transportar dicho gas de escape a través del dispositivo de pre-calentamiento, con lo que el gas de escape sirve como una fuente de calor para la biomasa.

30 7. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, que comprende transportar el gas de escape desde el horno a un primer intercambiador de calor, en el que el gas de escape calienta aire de entrada para el horno.

8. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, en el que en la etapa de separación, el líquido de pirólisis y al menos una parte de dicho gas de pirólisis se transportan a un separador para la separación del líquido de pirólisis del gas de pirólisis, comprendiendo el procedimiento adicionalmente:

35 - transportar al menos una parte del gas de pirólisis separado de nuevo al horno.

9. El procedimiento de la reivindicación 8, en el que el aparato de pirólisis produce líquido de pirólisis vaporizado, comprendiendo la unidad móvil adicionalmente un condensador para la condensación de vapores en el líquido de pirólisis licuado, estando dispuesto el condensador como una unidad separada fuera del aparato de pirólisis o como una unidad integrada del aparato de pirólisis, comprendiendo adicionalmente el procedimiento la etapa de

transportar al menos una parte del líquido separado de nuevo al aparato de pirólisis como una fuente de enfriamiento en el condensador.

10. El procedimiento de la reivindicación 9, en el que el condensador está integrado en el aparato de pirólisis, comprendiendo adicionalmente el procedimiento:

5 - enfriar dicha parte del líquido separado en un segundo intercambiador de calor antes de que dicho líquido entre en el aparato de pirólisis, usando el segundo intercambiador de calor aire como una fuente de enfriamiento:

- mezclar aire, que sale del segundo intercambiador de calor, con dicho aire de entrada para la corriente aguas arriba o aguas abajo del horno del primer intercambiador de calor.

10 11. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el aparato de pirólisis comprende una centrífuga que define una cámara de centrífuga, comprendiendo adicionalmente el procedimiento, en dicha etapa de descomposición:

- impartir rotación a la biomasa distribuida en el volumen de gas en la cámara de centrífuga, con lo que se fuerza a la biomasa hacia una pared exterior de la cámara de centrífuga;

15 - mantener dicha pared exterior a una temperatura de 350 a 700 grados Celsius para realizar un proceso de pirólisis en o cerca de la pared exterior de la cámara de centrífuga, con lo que la biomasa se descompone en dicho líquido de pirólisis, gas de pirólisis y carbón vegetal, estando el gas de pirólisis y el carbón vegetal en forma gaseosa.

12. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los vapores de pirólisis se condensan parcialmente en un condensador primario, comprendiendo adicionalmente el procedimiento:

20 - secado del gas que se origina de la condensación parcial y del uso de al menos una parte del mismo como combustible para un horno y/o para un motor para la propulsión de la unidad móvil;

- mezclar la fase líquida resultante constituida en gran medida por agua con el carbón vegetal para obtener una suspensión;

- distribuir la suspensión sobre el lugar de cultivo y/o recogerla para el procesamiento o la combustión adicionales;

25 - conducir los vapores formados en el proceso de poner en contacto carbón vegetal caliente con líquido en un condensador terciario con el fin de condensar los componentes que presentan un punto de ebullición menor que el agua;

- mezclar el vapor condensado del condensador terciario con el producto líquido producido por el condensador primario.

30 13. Una unidad móvil para recoger la biomasa y para producir líquido de pirólisis de la biomasa, comprendiendo la unidad:

- un aparato de pirólisis para la descomposición de la biomasa en líquido de pirólisis, carbón vegetal y gas de pirólisis;

- un colector de biomasa para la recogida de la biomasa de un lugar de cultivo;

35 - un transportador de biomasa para la alimentación continua de la biomasa al aparato de pirólisis;

- un sistema de separación para la separación del líquido de pirólisis del carbón vegetal y el gas de pirólisis,

caracterizado porque el colector de biomasa, el transportador de biomasa y el aparato de pirólisis se pueden operar de modo tal que el aparato de pirólisis puede descomponer la biomasa, mientras que simultáneamente se recoge biomasa del lugar de cultivo por medio del colector de biomasa.

14. La unidad móvil de la reivindicación 13, que comprende además una estructura de soporte con ruedas y un sistema de acoplamiento para el acoplamiento de la unidad a un vehículo propulsado.
15. La unidad móvil de la reivindicación 13, que comprende además una estructura de soporte con ruedas y un motor con el fin de que la unidad móvil sea auto-propulsada.
- 5 16. La unidad móvil de la reivindicación 14 ó 15, que comprende además un motor que usa dicho gas de pirólisis, líquido de pirólisis o carbón vegetal como combustible.
17. La unidad móvil de cualquiera de las reivindicaciones 13 a 16, que comprende además un equipo para la mezcla de líquido de pirólisis con carbón vegetal para formar una suspensión.
18. La unidad móvil de cualquiera de las reivindicaciones 13 a 17, que comprende además:
- 10 - un colector de tierra para la recogida de tierra del lugar de cultivo y mezclar dicha tierra con el carbón vegetal para enfriar con ello el carbón vegetal,
- un eyector de tierra y carbón vegetal para eyectar la mezcla de carbón vegetal y tierra de la unidad móvil.
19. La unidad móvil de cualquiera de las reivindicaciones 13 a 18, que comprende adicionalmente un diente para la formación de un surco en el campo de cultivo, estando dispuesto el diente de modo tal respecto a dicha tierra y eyector de carbón vegetal que la mezcla de carbón vegetal y tierra o carbón vegetal y suspensión de agua se puede alimentar al surco durante el uso de la unidad móvil.
- 15 20. La unidad móvil de cualquiera de las reivindicaciones 13 a 19, en la que el aparato de pirólisis comprende un horno para la combustión de al menos una parte de dicho gas de pirólisis y/o al menos una parte de dicho carbón vegetal, comprendiendo el horno una salida de gas de escape para expeler el gas de escape del horno.
- 20 21. La unidad móvil de la reivindicación 20, en la que la centrífuga se dispone coaxialmente dentro de un horno con lo que el calor para el proceso de pirólisis se puede transportar por conducción a través de la pared exterior de la centrífuga.
22. La unidad móvil de las reivindicaciones 20 ó 21, que comprende además:
- 25 - un dispositivo de precalentamiento para el precalentamiento de la biomasa, estando dispuesto el dispositivo de precalentamiento aguas arriba del aparato de pirólisis;
- un conducto para gas de escape para el guiado de dicho gas de escape desde dicha salida de gas de escape del horno hasta el dispositivo de precalentamiento.
23. La unidad móvil de la reivindicación 22, en la que dicho conducto de gas de escape se dispone adicionalmente para guiar el gas de escape hasta un primer intercambiador de calor, que se dispone para calentar el aire de entrada para el horno.
- 30 24. La unidad móvil de cualquiera de las reivindicaciones 13 a 23, que comprende además un separador para la separación del líquido de pirólisis del gas de pirólisis cuando el líquido de pirólisis y el gas salen del aparato de pirólisis, comprendiendo la unidad móvil adicionalmente:
- un primer conducto de gas para el guiado del gas separado de nuevo al horno.
- 35 25. La unidad móvil de cualquiera de las reivindicaciones 13 a 24, en la que el aparato de pirólisis produce líquido de pirólisis vaporizado, comprendiendo la unidad móvil adicionalmente un condensador para la condensación de vapores en líquido de pirólisis licuado, estando dispuesto el condensador como una unidad separada fuera del aparato de pirólisis o como una unidad integrada del aparato de pirólisis.
- 40 26. La unidad móvil de la reivindicación 24 y 25, que comprende adicionalmente un conducto de fluido para el guiado de al menos una parte del líquido separado de nuevo al aparato de pirólisis como una fuente de enfriamiento para el condensador.

27. La unidad móvil de las reivindicaciones 23 y 26, que comprende adicionalmente:

- un segundo intercambiador de calor dispuesto en dicho conducto de fluido aguas arriba del aparato de pirólisis para enfriar dicha parte del líquido separado;

5 - un primer conducto de aire para el guiado de aire al segundo intercambiador de calor como una fuente de enfriamiento;

- un segundo conducto de aire para el guiado de aire, que sale del segundo intercambiador de calor, hasta un conducto de entrada para dicho aire de entrada para el horno, para mezclar el aire en el segundo conducto de aire con dicho aire de entrada.

10 28. La unidad móvil de la reivindicación 23 en combinación con cualquiera de las reivindicaciones 14 a 16, que comprende además un conducto que se puede conectar con una salida de escape del vehículo propulsado o una salida de escape de dicho motor para permitir que el gas de escape del vehículo o del motor actúe como una fuente de calor en el primer intercambiador de calor.

29. La unidad móvil de cualquiera de las reivindicaciones 13 a 28 que comprende adicionalmente una trituradora para triturar la biomasa recogida aguas arriba del aparato de pirólisis.

15 30. La unidad móvil de cualquiera de las reivindicaciones 13 a 29, en la que el condensador está integrado en el aparato de pirólisis, y en la que el aparato de pirólisis comprende:

- una cámara de centrifuga delimitada por una pared interior y una pared exterior;

- una entrada por la que se puede alimentar biomasa en la cámara de centrifuga;

20 - un rotor dispuesto para impartir rotación a la biomasa distribuida en el volumen de gas en la cámara de centrifuga para forzar a la biomasa hacia la pared exterior bajo la acción de fuerzas centrifugas;

- un sistema de calentamiento para mantener dicha pared exterior a una temperatura de 350 a 700 grados Celsius para llevar a cabo el proceso de pirólisis en o cerca de la pared exterior de la cámara centrifuga y con ello descomponer la biomasa en carbón vegetal, gas de pirólisis y vapores de pirólisis, que se pueden condensar en líquido de pirólisis en dicho condensador;

25 - un transportador de carbón vegetal para transportar el carbón vegetal lejos de la cámara de centrifuga; en la que:

- la pared interior de la cámara de centrifuga es permeable a dichos vapores y gas de pirólisis.

——— CAPA DE CORRIENTE DE LÍQUIDO
 ——— CAPA DE CORRIENTE DE GAS
 ——— CAPA DE CORRIENTE DE SÓLIDO

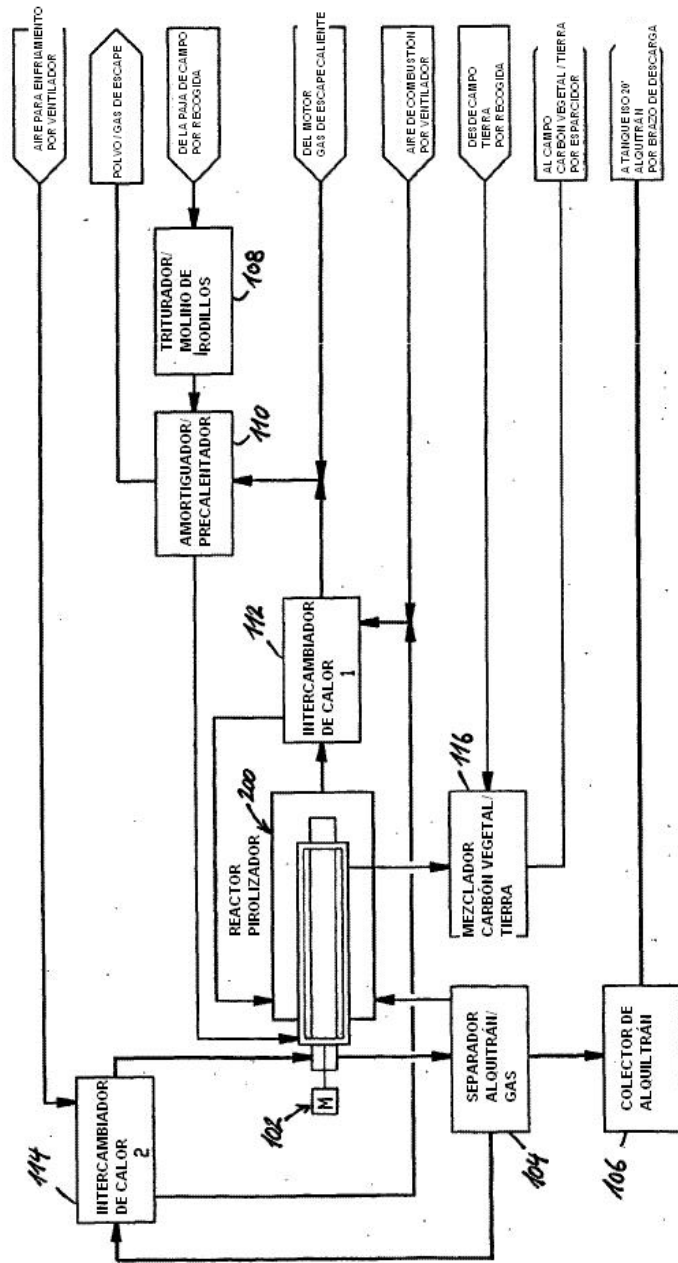


Fig. 1

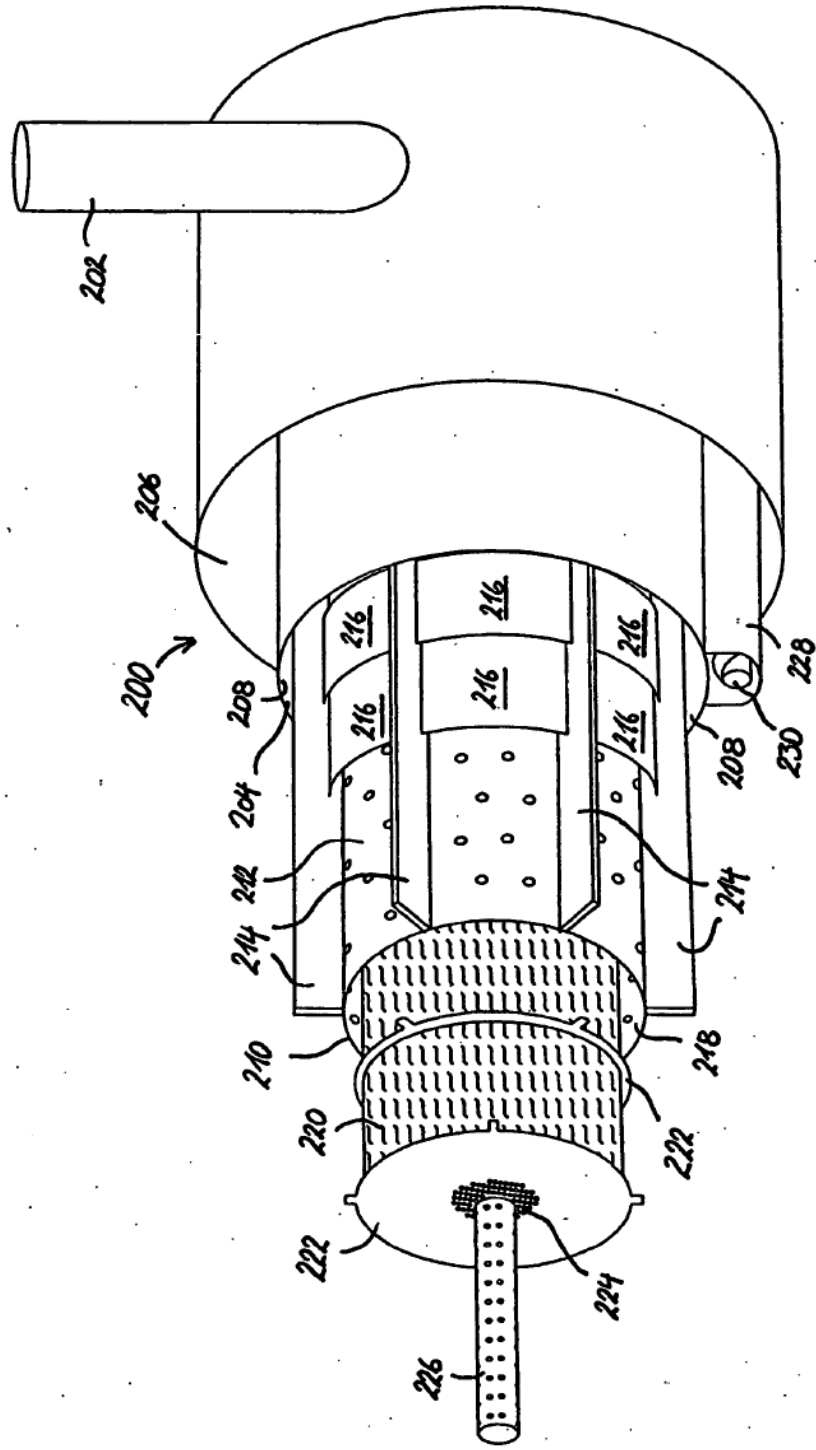


Fig. 2

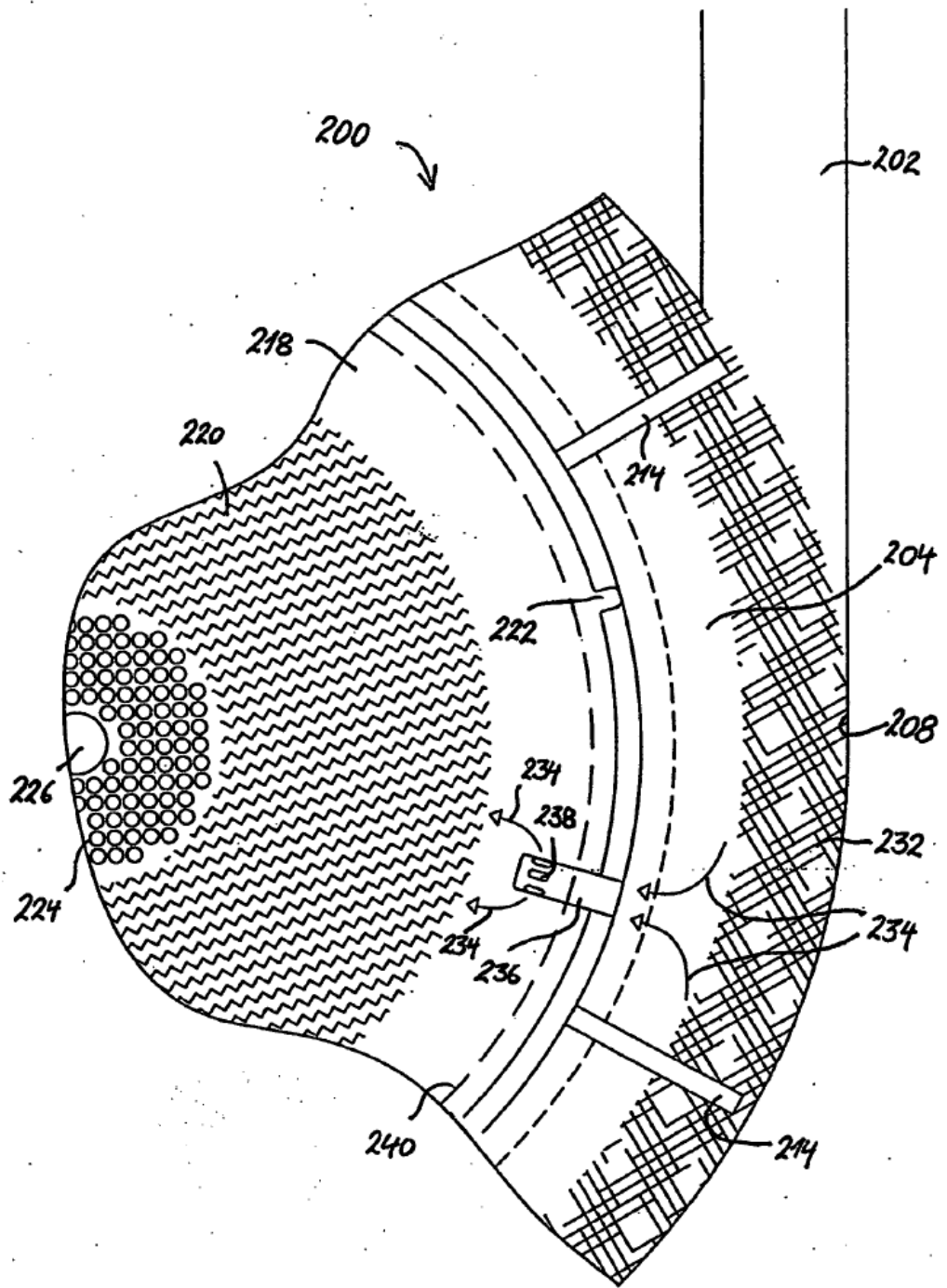


Fig. 3