

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 424 815**

51 Int. Cl.:

**C10J 3/56** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.12.1998 E 98958839 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2013 EP 1021499**

54 Título: **Método y aparato para la gasificación de material carbonáceo sólido**

30 Prioridad:

**09.12.1997 DK 142397**

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

**08.10.2013**

73 Titular/es:

**PYRONEER A/S (100.0%)  
c/o DONG Energy A/S, Kraftvaerksvej 53,  
Skaerbaek  
7000 Fredericia, DK**

72 Inventor/es:

**STOHOLM, PEDER CHRISTIAN**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 424 815 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

Método y aparato para la gasificación de material carbonáceo sólido

- 5 La invención se refiere a un método y un aparato para la gasificación de material carbonáceo sólido en un gasificador de lecho fluidizado en circulación (LFC), que comprenden una cámara de reacción de LFC, un separador de partículas para la separación de partículas que contienen carbón vegetal del gas de salida de la cámara de reacción de LFC y un conducto de recirculación de partículas para la recirculación de las partículas separadas a la cámara de reacción de LFC. El conducto de recirculación comprende una cámara de reacción de carbón vegetal para la gasificación del carbón vegetal contenido en las partículas separadas. El documento US-A-5228981 divulga un método de coquización en el que se mezcla una reserva de carga hidrocarbonácea pesada con una cantidad menor de carbón y se precalienta hasta una temperatura de desde 260 °C (500 °F) hasta, pero sin incluir, temperaturas de coquización.
- 10
- 15 En los tipos más sencillos y más difundidos de gasificadores de LFC, la oxidación con carbón vegetal se produce principalmente en la cámara de reacción de LFC. El conducto de recirculación puede comprender una acumulación de partículas con el fin de evitar que una gran cantidad de gas fluya desde la cámara de reacción de LFC al separador de partículas por medio del conducto de recirculación, y/o con el fin de controlar la tasa de recirculación de partículas. A menudo, dichas construcciones se designan como "cerraduras de partículas no mecánicas" y en literatura inglesa se distingue entre subtipos que se designan típicamente como: vasijas de cierre, válvulas J y válvulas L. En todas las versiones mencionadas, la función se basa en la adición de un gas para movilizar, es decir, expulsar y/o la fluidización de partículas en la válvula de partículas. Sin embargo, es típico para dichas soluciones que el flujo de gas añadido es pequeño en comparación con el flujo de gas que se añade adicionalmente a la cámara de reacción de LFC. Además, es una práctica común elegir un gas con un contenido en oxígeno bajo como gas de movilización debido a que el uso de un oxígeno que contiene gas tal como aire atmosférico puede provocar daños en materiales de construcción y sinterización de partículas debido a temperaturas más o menos incrementadas localmente.
- 20
- 25
- 30 En especial, para las versiones sencillas mencionadas anteriormente de gasificadores de LFC, es necesario elegir una temperatura en la cámara de reacción de LFC que sea suficiente para hacer que el carbón vegetal reaccione fácilmente con el agente de gasificación. Incluso para combustibles reactivos, tales como biomasa, a menudo esto quiere decir que las posibilidades para lograr una conversión de carbón vegetal alta están limitadas por la tendencia de aglomeración y/o depósito problemáticos de ceniza y material del lecho, cuando se incrementa la temperatura.
- 35 También son conocidos los gasificadores de LFC en los que la recirculación de partículas tiene lugar por medio de una cámara de combustión de carbón vegetal. De esta forma, se puede lograr una conversión efectiva del carbón vegetal y un gas que contiene más energía de la cámara de reacción de LFC. Por tanto, el calentamiento de las partículas recirculantes quiere decir que se puede reducir la adición del agente oxidante a la cámara de reacción de LFC. Sin embargo, algunas desventajas principales son que la elección de las condiciones de combustión da lugar a una necesidad de obtener una sección cuadrada grande en la cámara de reacción de carbón vegetal y que una parte considerable de la energía del combustible se convierte en energía térmica en una corriente considerable de gases de escape calientes desde la cámara de combustión de carbón vegetal.
- 40
- 45 También es conocida la configuración de la cámara de reacción de LFC de tal forma que se forme una capa fluidizada lentamente y en consecuencia de densidad alta en el fondo de la cámara de reacción de LFC hacia la que se recircula el carbón vegetal. La construcción es más sencilla que la solución con dos cámaras de reacción separadas y también de esta manera se puede lograr que el agente oxidante se use principalmente para partículas de carbón vegetal oxidantes situadas en la capa lenta y densamente fluidizada. Sin embargo, las posibilidades para optimizar las condiciones del método independientemente entre ellas en la cámara de reacción de LFC y la capa fuertemente fluidizada disminuyen, y además, las posibilidades de retener partículas pequeñas serán limitadas por la elutriación de partículas de carbón vegetal pequeñas de la capa densamente fluidizada.
- 50
- 55 La invención proporciona un método para la gasificación de material carbonáceo sólido en un gasificador de lecho fluidizado en circulación (LFC), método que comprende la adición del material carbonáceo a una cámara de reacción de LFC en el gasificador, la adición de un agente de gasificación que contiene oxígeno al gasificador, el rechazo de gas de producto cargado de partículas de la cámara de reacción, la separación de partículas del gas de producto y la recirculación de partículas separadas a la cámara de reacción, y el método de la invención está caracterizado por la conversión de carbón vegetal contenido en las partículas recirculantes en un gas combustible añadiendo una parte considerable, preferentemente la parte principal e incluso mejor al menos un 75 % de la cantidad de oxígeno añadido al gasificador de LFC en forma de agente de gasificación que contiene oxígeno a una cámara de reacción de carbón vegetal que existe en la trayectoria de recirculación para las partículas separadas. La materia objeto de la invención se divulga en la redacción de las reivindicaciones independientes 1 y 8. Otros aspectos de la invención se divulgan en la redacción de las reivindicaciones dependientes.
- 60
- 65 En una versión mejorada de la invención, la definición mencionada anteriormente de la distribución de oxígeno añadido, no sólo considera la masa de oxígeno molecular libre sino también el oxígeno unido al vapor de agua,

dióxido de carbono y otros componentes oxidantes que se pueden añadir al gasificador de LFC. Sin embargo, también en este caso la posible adición de oxígeno unido a componentes tales como  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , que en el sentido de la gasificación no están actuando como oxidantes, no se tiene en cuenta como también el oxígeno unido químicamente al combustible.

5 La invención proporciona posibilidades mejoradas para convertir combustible carbonáceo sólido en un gas combustible. En comparación con gasificadores de LFC sencillos sin una cámara de reacción de carbón vegetal separada, no es menos ventajoso que se pueda mantener una temperatura baja en la cámara de reacción de LFC, lo que significa que:

10 - disminuye el riesgo de perturbaciones en el funcionamiento debido al depósito, sinterización y aglomeración de ceniza y otro material particulado en la cámara de reacción de LFC y en la trayectoria del método corriente abajo,

15 - la cámara de reacción de LFC y los componentes en la trayectoria del método corriente abajo se hacen más económicos. Esto es una consecuencia de un flujo de gas en volumen altamente reducido, revestimiento de cerámica más barato y altura de la edificación reducida,

20 - se puede minimizar y evitar de forma potencialmente completa la necesidad de una refrigeración que complica el sistema, que proporciona pérdidas, corrosiva, con depósito de ceniza y de otras formas problemática del gas de producto,

25 - se incrementa la liberación de metal alcalino y cloro a la fase gas se limita y la siguiente reconsolidación en fase sólida. Esto quiere decir que se puede minimizar de forma sencilla el contenido de estos componentes en el gas de producto por separación de partículas del gas de producto,

30 - se puede mejorar adicionalmente la retención de cloro y metal alcalino añadiendo materiales que contienen calcio, - se pueden lograr tiempos de apertura y cierre más cortos debido a la temperatura de funcionamiento menor así como a la posibilidad de elegir una construcción de pared más fina.

Las ventajas mencionadas anteriormente serán pronunciadas si disminuye la temperatura de salida del reactor de LFC hasta el intervalo de 500-700 °C y en especial para combustibles muy volátiles tales como biomasa y residuos domésticos preferentemente hasta 500-600 °C.

35 En comparación con el uso de gasificadores de LFC conocidos con cámaras de reacción de carbón vegetal separadas, el método de la invención es muy ventajoso porque:

40 - la cámara de reacción de LFC así como la cámara de reacción de carbón vegetal contribuye a la producción de gas combustible,

- la necesidad de una sección cuadrada en la cámara de reacción de carbón vegetal y de conductos/componentes que rechazan el gas de producto de la cámara de reacción de carbón vegetal está limitada por la adición limitada del agente de gasificación que contiene oxígeno,

45 - la necesidad de refrigeración y/o adición de vapor de agua también está limitada por la adición limitada del agente de gasificación que contiene oxígeno.

50 La función principal de la cámara de reacción de LFC es garantizar una conversión efectiva de tipo pirólisis (por pirólisis se entiende que la descomposición térmica sólo es debida al calentamiento, es decir, se excluye la descomposición debida a la oxidación) del combustible, lo que se puede lograr típicamente a una temperatura considerablemente menor que la necesaria para oxidar eficazmente las partículas de carbón vegetal en una atmósfera baja en oxígeno. En especial en reactores de lecho fluidizado, en los que el combustible logra un contacto térmico eficaz con partículas calientes, en especial combustibles volátiles tales como biomasa y residuos domésticos logran una conversión de tipo poner en pirólisis alta a gas.

55 En lugar de intentar convertir el residuo de carbón vegetal resultante en la cámara de reacción de LFC, se transporta el carbón vegetal a la parte superior de la cámara de reacción de LFC junto con el contenido adicional de material particular del gas de producto. La extensión limitada de la oxidación de carbón vegetal en la cámara de reacción de LFC disminuye la tendencia de creación de una gran cantidad de carbón vegetal fino y partículas de ceniza en la cámara de reacción de LFC, lo que mejora las posibilidades de separar eficazmente carbón vegetal y partículas de ceniza con la ayuda del siguiente separador de partículas.

60 Desde este separador, se transfiere la parte principal de las partículas separadas y preferentemente al menos un 90 % de las mismas a la cámara de reacción de carbón vegetal, en la que se convierte el carbón vegetal añadiendo un agente de gasificación que contiene oxígeno apropiado, tal como aire atmosférico, oxígeno puro, vapor de agua o mezclas de los mismos.

Para lograr la construcción posible más sencilla, se prefiere que la conversión mencionada del carbón vegetal se realice principalmente en una única cámara de reacción pero de forma natural la conversión del carbón vegetal se podría distribuir en varias cámaras de reacción más o menos separadas físicamente.

5 La necesidad de añadir oxígeno a la cámara de reacción de carbón vegetal dependerá de la cantidad de carbón vegetal producido en la cámara de reacción de LFC, cantidad que depende del combustible así como de las condiciones de reacción más específicamente elegidas en la cámara de reacción de LFC, incluyendo en particular, la temperatura, las condiciones de mezclado y el tamaño de las partículas de combustible. Sin embargo, se puede anticipar una gasificación eficaz del carbón vegetal añadido a la cámara de reacción de carbón vegetal así como una liberación apropiada de energía térmica añadiendo oxígeno molecular libre a una cantidad que está por debajo de 10 0,8 y preferentemente por debajo de 0,6 veces la cantidad que sería necesaria para una combustión estequiométrica del carbón vegetal. Se puede proseguir con un consumo considerablemente menor y un valor de calentamiento mayor optimizando las condiciones del método para lograr concentraciones altas de componentes libres de oxígeno o pobres en oxígeno tales como CH<sub>4</sub> e hidrocarburos superiores en el gas de salida. Esto, por ejemplo, ayudando a 15 los fenómenos catalíticos que se llevan a cabo de forma natural y/o añadiendo material catalíticamente activo. En comparación con la conversión de carbón vegetal por combustión usando un excedente de oxígeno, la invención permite una reducción de la sección cuadrada de la cámara de reacción de carbón vegetal y que la cámara de reacción de carbón vegetal contribuya a la producción de gas combustible.

20 La conversión del combustible por pirólisis en la cámara de reacción de LFC no necesita la adición de oxígeno, lo que quiere decir que en especial los combustibles altamente volátiles, tales como muchos tipos de biomasa, se pueden gasificar eficazmente en el método de gasificación añadiendo menos de 0,4 y preferentemente menos de 0,3 kg de oxígeno molecular libre por kg de combustible seco. La cámara de reacción de LFC así como la cámara de reacción de carbón vegetal se puede alimentar adicionalmente con gas adicional, tal como vapor de agua, gas de 25 producto recirculado y gas de escape. Un propósito principal puede ser mantener las temperaturas apropiadas y las condiciones dinámicas de fluido en las respectivas cámaras de reacción durante la variación de combustible y carga.

La oxidación de carbón vegetal en la cámara de reacción de carbón vegetal dará como resultado que las partículas recirculantes en el gasificador de LFC logren un incremento en la temperatura en la cámara de reacción de carbón vegetal y debido a eso, la energía térmica necesaria para sostener los métodos de pirólisis principalmente 30 endotérmicos en la cámara de reacción de LFC se puede añadir parcial o totalmente por la adición de las partículas circulantes.

El método de acuerdo con la invención puede comprender, por supuesto, otras características tales como:

35 - se puede alimentar el método con otros materiales particulares distintos de los mencionados con el fin de estabilizar la distribución del tamaño de partícula y/o la absorción de varios componentes tales como componentes que contienen azufre y metal alcalino,

40 - se puede drenar una o varias corrientes de partículas del método, por ejemplo, con el fin de cambiar la distribución del tamaño de partícula y/o la composición química del material particular y/o para evitar la acumulación en el sistema y/o con el fin de utilizar los materiales vaciados en otras relaciones,

45 - las partículas drenadas pueden volver total o parcialmente al método de gasificación después de un procesado apropiado tal como clasificación de tamaño, trituración, aglomeración así como cualquier otro tratamiento mecánico, térmico y químico,

50 - partes más grandes o más pequeñas de los componentes principales y conductos de conexión del método, incluyendo, por ejemplo, la cámara de reacción de carbón vegetal pueden estar compuestas de componentes refrigerados o no refrigerados,

- el método descrito se puede usar a presiones que son considerablemente mayores así como considerablemente menores que la presión atmosférica,

55 - el lecho de carbón vegetal se puede utilizar como un "sello de bucle", lo que se logra, por ejemplo, dejando que el conducto de entrada de partículas del separador de partículas recirculantes se agote a un nivel por debajo de la superficie del lecho en la cámara de reacción de carbón vegetal,

- una cámara de reacción de LFC puede estar equipada con conductos de recirculación de dos o más partículas,

60 - un conducto de recirculación de una partícula puede servir a varias cámaras de reacción de LFC,

- los separadores de partículas así como otros componentes del método pueden estar integrados en la construcción de la cámara de reacción de LFC y/o entre sí.

65 Además, dependiendo de la aplicación, otras características pueden dar otras ventajas considerables:

Para determinar una pirólisis eficaz, es apropiado que la adición de combustible a la cámara de reacción de LFC se produzca de forma que de un contacto intensivo entre el combustible y las partículas en la cámara de reacción de LFC, es decir, es apropiado que la alimentación se produzca en una zona turbulenta que tiene una concentración de partículas alta. Dichas condiciones se establecen más fácilmente cerca del fondo de la cámara de reacción de LFC.

5 Sin embargo, el contacto eficaz deseado también se puede lograr añadiendo el combustible a una corriente del método que lleva el combustible a la cámara de reacción de LFC y preferentemente al fondo de la cámara de reacción de LFC.

10 Para el método de acuerdo con la invención, se considera una ventaja mantener la temperatura de salida de la cámara de reacción de LFC por debajo de 700 °C y preferentemente por debajo de 600 °C. Además de las ventajas mencionadas antes de las temperaturas bajas, esto también limitará la tendencia de los componentes gaseosos producidos a reaccionar adicionalmente mientras se produce hollín que incluye carbón sólido. Preferentemente, la temperatura medida en la parte inferior de la cámara de reacción de LFC se limitará en consecuencia.

15 Las temperaturas bajas mencionadas anteriormente también potencian las posibilidades de unión del cloro contenido, por ejemplo, en paja, residuos domésticos y determinados tipos de plástico, a por ejemplo, materiales que contienen calcio, tales como caliza añadida al método. En estos casos, es una ventaja que el transporte de partículas a la parte superior de la cámara de reacción de LFC garantiza un contacto eficaz entre, por ejemplo, partículas que contienen calcio añadido y gases que contienen cloro. Cuando se calientan combustibles y productos  
20 de residuos que contienen cloro, otra característica importante puede ser la adición de materiales que contienen calcio al método de gasificación tal como a la cámara de reacción de LFC. La separación de partículas para recircular las partículas por medio de la cámara de reacción de carbón vegetal se puede llevar a cabo usando cualquier tipo de separador de partículas, tal como:

25 - separadores dinámicos tales como separadores de cámara de giro, de laberinto y ciclónico,

- filtros de barrera tales como filtros de mangas de temperatura alta, filtros cerámicos porosos y filtros de lecho granulado,

30 incluyendo el uso de varias combinaciones, por ejemplo, de los separadores mencionados.

En una versión preferente de la invención, el gas de producto de la cámara de reacción de LFC se limpia en primer lugar en un tipo dinámico primario de separador de partículas y a continuación en un separador secundario de tipo más eficaz. La recirculación de partículas a través de la cámara de reacción de carbón vegetal se realiza en este  
35 caso de forma principal desde el primer separador dinámico primario mencionado. El separador secundario puede ser, por ejemplo, un filtro de barrera altamente eficaz, pero también un separador ciclónico que es más eficaz que el separador primario que incluye un separador multiciclónico. En esta versión también puede tener lugar otra separación de partículas/limpieza de gas antes del separador primario (usando un separador) así como después del separador secundario.

40 Por tanto, en la mayoría de los casos se logrará una retención de carbón vegetal suficiente con la ayuda de un separador primario de tipo dinámico apropiado, en el que un filtro de barrera es más adecuado para cumplir con las demandas graves potenciales sobre el bajo contenido en partículas y otros componentes problemáticos en el gas de producto. Por tanto, usando un filtro de barrera se logran posibilidades mejoradas para la unión de componentes  
45 problemáticos tales como cloro, azufre y metales alcalinos en la torta de filtrado así como posibilidades para la oxidación de partículas de carbón vegetal finas. Se puede lograr una oxidación de carbón vegetal mejorada añadiendo un agente de oxidación apropiado tal como aire atmosférico, oxígeno o vapor de agua, en la trayectoria de gas antes del filtro.

50 En especial, los filtros de tipo barrera del tipo de lecho granulado en movimiento parecen ser ventajosos porque:

- el gas de producto logra un contacto más eficaz con los componentes particulares contenidos en el gas de producto,

55 - se puede lograr la retención/conversión eficaz de componentes problemáticos en el gas de producto añadiendo partículas químicamente activas tales como caliza y/o partículas catalíticamente activas al filtro, lo que se puede realizar añadiendo dichas partículas al gas de producto antes del filtro y/o en forma del medio de filtro particular que normalmente se añade al filtro del lecho granulado y preferentemente en contracorriente al gas de producto.

60 - se puede contrarrestar el bloqueo no reversible durante el funcionamiento por una sustitución/procesado más o menos continuo del medio del filtro,

- se pueden contrarrestar las temperaturas excesivas en el filtro debidas a métodos exotérmicos tales como la oxidación del carbón vegetal añadiendo normalmente partículas de filtro con una temperatura menor que la  
65 temperatura que aparecería de otro modo en el punto de la adición,

- se puede usar el filtro como alternativa a refrigeradores de gas más tradicionales, es decir, se puede lograr una refrigeración considerable del gas de producto refrigerando un circuito de partículas que comprende el filtro de lecho granulado,

5 - se puede lograr la refrigeración del gas de producto de esta forma sin que las superficies de absorción de calor estén en contacto directo con componentes corrosivos en el gas de producto, y de esta forma el medio de refrigeración que refrigera el circuito de partículas se puede calentar a temperaturas altas, tales como por encima de 500 °C, lo que permite una utilización más eficaz del calor sustraído,

10 - se puede devolver el calor obtenido refrigerando el circuito de partículas, por ejemplo al método de gasificación usando total o parcialmente el calor para, por ejemplo, precalentar el agente de gasificación o secar el combustible y/o se puede usar el calor para calentar un medio de trabajo en un método de producción de electricidad tal como supercalentando vapor de agua o calentando una corriente de gas que se expande después en una turbina de gas.

15 Por tanto, en una versión preferente de la invención, el gas de producto de la cámara de reacción de LFC se hace pasar por un filtro de tipo lecho granulado en movimiento. También es este caso, se puede lograr una limpieza de gas adicional por la ayuda de separadores/filtros situados antes así como después del filtro de lecho granulado en movimiento, y las partículas se pueden recircular y/o drenar desde todos los filtros incluidos.

20 También es una posibilidad el uso de un filtro de barrera tal como un filtro de lecho granulado como recirculante y posiblemente el único separador. En estos casos, será particularmente relevante retirar ceniza y otros productos de residuos potenciales de la corriente de partículas separadas en lugar de desde un filtro secundario subsiguiente y sería relevante construir los desagües del método de LFC tal como para que desagüen selectivamente los productos de reacción que tienen por objeto retirarse del método. Por ejemplo, las partículas separadas del filtro de barrera se  
25 pueden repartir en dos o varias clases de tamaños y después se pueden extraer las partículas más pequeñas del gasificador. La aglomeración controlada mencionada antes de partículas de ceniza es otro ejemplo de cómo se puede establecer dicho drenaje selectivo.

30 Para evitar una pérdida de presión excesiva y que el gas de producto lleve en gran medida partículas pequeñas a través del filtro, típicamente, el filtro de lecho granulado se ha de dimensionar para velocidades de gas bajas tales como por debajo de 3 m/s y preferentemente por debajo de 1,5 m/s, lo que corresponde a una sección cuadrada de flujo grande en comparación, por ejemplo, con la sección cuadrada de flujo de la cámara de reacción de LFC. Por lo tanto, para lograr además una planta compacta, es una posibilidad interesante integrar el filtro de lecho granulado en la parte superior de la cámara de reacción de LFC, es decir, de forma que haga que el filtro de lecho granulado rodee más o menos la parte superior y mientras se añade el gas de producto al filtro de lecho granulado más o  
35 menos directamente desde la parte superior de la cámara de reacción de LFC y preferentemente de forma simétrica rotacional. En los casos en los que se desea reducir el contenido en partículas del gas de método antes de que pase por el filtro de lecho granulado, se puede realizar una separación previa de partículas haciendo pasar inicialmente el gas de producto desde la parte superior de la cámara de reacción de LFC a través de un preseparador tal como un  
40 separador de cámara de giro, que además puede estar total o parcialmente integrado en la cámara de reacción de LFC y rodeándola de forma simétrica más o menos rotacional.

45 Queda claro que los métodos descritos anteriormente y el aparato correspondiente para limpiar y posiblemente también refrigerar los gases usando un filtro de lecho granulado también se pueden usar de acuerdo con cualquier otro método y aparato aparte de los descritos aquí.

50 La adición del agente de oxidación principalmente a la trayectoria de recirculación de las partículas incluyendo la cámara de reacción de carbón vegetal da buenas oportunidades para convertir de forma eficaz el carbón vegetal. En una versión preferente de la invención, se potencia esta ventaja haciendo que la temperatura media de la cámara de reacción de carbón vegetal sea mayor que la temperatura media de la cámara de reacción de LFC y preferentemente al menos 50 °C mayor. Independientemente de la elección potencial del control del método en base a las temperaturas medidas en otros niveles, las temperaturas medias aquí se han de entender como las temperaturas existentes aproximadamente en la mitad de la altura de las cámaras de reacción respectivas.

55 En una versión preferente de la invención, la adición de la energía térmica necesaria para los métodos de pirólisis predominantemente endotérmicos se obtiene total o parcialmente añadiendo partículas desde la cámara de reacción de carbón vegetal a la cámara de reacción de LFC, partículas que tienen una temperatura mayor y preferentemente al menos una temperatura 25 °C mayor que la temperatura del gas de producto que sale de la cámara de reacción de LFC.

60 Otras características preferentes de la invención pueden contribuir a las formas de la cámara de reacción de carbón vegetal aspirando a una conversión de carbón vegetal optimizada adicional. Esto es, por ejemplo:

65 - disponer la cámara de reacción de carbón vegetal como un lecho burbujeante lentamente fluidizado de partículas, en el que la parte principal del gas añadido a la cámara de reacción de carbón vegetal se añade como gas fluidizante,

- mantener la velocidad superficial en la cámara de reacción de carbón vegetal por debajo de 1 m/s y preferentemente por debajo de 0,5 m/s. Esto minimiza la tendencia de desgaste mecánico sobre las partículas de carbón vegetal y también de su salida prematura desde la cámara de reacción de carbón vegetal junto con el gas de producto,

5 - la sección cuadrada horizontal de la cámara de reacción de carbón vegetal es más grande que la sección cuadrada de la cámara de reacción de LFC y preferentemente al menos dos veces más larga. Esto es para permitir un suministro suficiente de agente de gasificación a una velocidad de gas superficial baja,

10 - extraer partículas destinadas para la recirculación a la cámara de reacción de LFC desde el fondo de la cámara de reacción de carbón vegetal, donde se puede esperar que la concentración de carbón vegetal sea considerablemente menor que en la parte superior.

15 Especialmente en casos en los que es preferente una velocidad de gas particularmente baja en la cámara de reacción de carbón vegetal, por ejemplo, debido un carbón vegetal muy débil y/o siendo el carbón vegetal muy reactivo lo que permite una reducción de la altura del lecho, se puede mejorar la innovación disponiendo la cámara de reacción de carbón vegetal como varias cámaras de reacción de carbón vegetal mutuamente superpuestas para lograr de este modo una versión más compacta del método de gasificación. En este caso, el área de sección cuadrada de la cámara de reacción de carbón vegetal se debe entender como la suma de las áreas de sección  
20 cuadrada horizontal de las cámaras de reacción de carbón vegetal superpuestas.

La tendencia mencionada de las partículas de carbón vegetal a concentrarse en la parte superior de la cámara de reacción de carbón vegetal se debe en parte a que estas partículas parecen ligeras dinámicamente más fluidas debido a una tendencia de ser menos esférica, por ejemplo, que las partículas fluidizadas en un periodo de tiempo  
25 largo así como a una densidad baja/porosidad alta. Además, parte de las partículas de carbón vegetal serán relativamente pequeñas. La tendencia a una densidad de carbón menor y a la formación de partículas pequeñas se potencia por la oxidación de las partículas de carbón vegetal en la cámara de reacción de carbón vegetal.

30 Otra posibilidad para mejorar el método de la invención es soportar la tendencia mencionada a la segregación en la cámara de reacción de carbón vegetal. Esto se realiza eligiendo una o varias de las siguientes condiciones:

- una altura de lecho grande, tal como más de 1 m y preferentemente más de 2 m,

35 - una distribución buena del fluidizante sobre el fondo de la cámara de reacción de carbón vegetal,

- hacer las paredes circundantes del lecho completa o prácticamente verticales.

La gasificación de muchos combustibles relevantes para el método dará como resultado una ceniza débil y fina, que es difícil de de retener usando en especial separadores de partículas dinámicos, y que puede dar una tendencia a un  
40 bloqueo rápido de un filtro de barrera. Además, puede ser un problema retener en especial las partículas de carbón vegetal más pequeñas en el método en el tiempo suficiente para lograr una gasificación de carbón vegetal satisfactoria. Por lo tanto, es interesante realizar una sinterización y posiblemente una aglomeración de las partículas de ceniza/carbón vegetal. Por ejemplo, esto se puede lograr disponiendo y controlando el método con la intención de lograr un apropiado incremento de la temperatura en fracciones más o menos extendidas de la parte  
45 superior de la cámara de reacción de carbón vegetal, donde la concentración de partículas de ceniza/carbón vegetal será la más alta debido a la segregación anteriormente mencionada. Por tanto, se puede lograr una mejora importante de la invención por la adición de oxígeno (que incrementa la temperatura) oxígeno y/o vapor de agua (que disminuye la temperatura) de forma predominante respectivamente en la parte superior y en la inferior de la cámara de reacción de carbón vegetal. Cabe destacar que la altura de lecho grande mencionada anteriormente  
50 también mejora las posibilidades de crear diferencias de temperatura considerables en la cámara de reacción de carbón vegetal.

Por supuesto, también se puede contrarrestar una posible tendencia a que las diferencias de temperatura sean importantes por los mecanismos mencionados, ya que también la adición asimétrica de una parte controlable del gas  
55 de fluidización puede moderar la diferencia de temperatura debido al incremento en el mezclado térmico creado de esta forma en la cámara de reacción de carbón vegetal.

A partir de lo que se ha mencionado, también queda claro que una solución más compleja va a enfatizar la obtención de las ventajas de la segregación de partículas mencionada así como la creación mencionada de diferencias en la  
60 temperatura en la cámara de reacción de carbón vegetal dividiendo la cámara de reacción de carbón vegetal en varias cámaras, que, por ejemplo, se suministran predominantemente con partículas pobres o ricas en carbón vegetal/ceniza y a la que la adición del agente de gasificación difiere en lo que respecta a cantidad y composición. Otro ejemplo de una disposición más compleja de la cámara de reacción de carbón vegetal es precalentar el agente de gasificación en una cámara, y posteriormente, añadir el agente de gasificación a otra cámara.

65 En una versión preferente de la invención, se busca la aglomeración a través de los métodos mencionados

anteriormente y hasta un punto en el que haga que las partículas de ceniza aglomeradas y, es decir, agrandadas, desciendan al fondo del lecho para que se drenen directamente desde el fondo o bien a través de un compartimento al que se añaden las partículas. Este método proporciona la oportunidad de drenar selectivamente y, por ejemplo, continuamente, componentes no combustibles, tales como metales alcalinos con una gran tendencia a formar componentes químicos que tienen puntos de fusión bajos. Algunos de estos componentes, tales como cloruro

5 alcalino, son relativamente fáciles de separar, por ejemplo, por lavado con agua, lo que da la oportunidad de reintroducir partículas refinadas de esta forma en el método.

10 Queda claro que los métodos mencionados anteriormente para aglomerar, drenar y posiblemente refinar y reintroducir partículas de ceniza también son posibles mejoras de otros métodos y aparatos distintos al descrito aquí.

Otra mejora posible y considerable de la invención es refrigerar las partículas en la cámara de reacción de carbón vegetal por una superficie de absorción de calor situada en ella y preferentemente una superficie en la parte inferior de la cámara de reacción de carbón vegetal. Por tanto, se pueden lograr varias ventajas:

15 - se hace posible limitar la temperatura del método sin añadir cantidades excesivas de vapor de agua, lo que es especialmente ventajoso con relación a combustibles tales como carbón con un valor de calentamiento relativamente alto y un bajo contenido en componentes volátiles,

20 - la creación mencionada de diferencias de temperatura en la cámara de reacción de carbón vegetal se puede potenciar situando la superficie de absorción de calor en el fondo de la cámara de reacción de carbón vegetal,

25 - el calor se puede extraer del método usando un medio de transmisión de calor a una temperatura relativamente alta. Por lo tanto, la exposición corrosiva de la superficie de absorción de calor en la parte inferior de la cámara de reacción de carbón vegetal está limitada debido a que los componentes corrosivos se liberan principalmente a partir de partículas de carbón vegetal y por lo tanto se concentra en la parte superior,

30 - el área de superficie de absorción de calor necesaria se puede limitar debido al alto coeficiente de transmisión de calor que se puede lograr especialmente, también por los motivos mencionados antes, en el lecho lentamente fluidizado preferente en la cámara de reacción de carbón vegetal.

35 Debido al volumen que ocupa, la localización de una superficie de absorción de calor especialmente muy compacta en el fondo de la cámara de reacción de carbón vegetal también actuará para limitar la necesidad de añadir gas fluidizante en el fondo de la cámara de reacción de carbón vegetal. Un efecto similar de limitación del área de sección cuadrada de flujo se puede lograr de forma adicional o alternativa situando uno o varios elementos de pared alcanzando hasta un cierto nivel en la cámara de reacción de carbón vegetal desde el fondo de esta cámara. Dichos elementos de pared también se pueden aplicar para limitar el mezclado vertical de las partículas.

40 Aspirando a mejores posibilidades de adopción de un método de gasificación para varios combustibles, rendimientos y aplicaciones, se puede controlar la absorción de calor por medio de la superficie de absorción de calor mencionada, por ejemplo:

- variando la velocidad de fluidización en la parte del lecho que contiene la superficie de absorción de calor

45 - variando la cantidad y/o la temperatura de entrada del medio de refrigeración,

- situando la superficie de absorción de calor en un lecho fluidizado separado, en el que se puede variar la altura del lecho con el propósito de exponer una fracción variada de la superficie de absorción de calor,

50 - variar la temperatura en la parte de la cámara de reacción de carbón vegetal en la que está situada la superficie de absorción de calor, esto, por ejemplo, por adición asimétrica de gas fluidizante para lograr un control sobre el mezclado térmico en el lecho.

55 Para proporcionar un control óptimo de los parámetros del método de gasificación, se puede realizar una recirculación de partículas desde la cámara de reacción de carbón vegetal a la cámara de reacción de LFC, en otra versión mejorada de la invención, por medio de uno o varios conductos que pueden contener medios de control que hagan posible controlar el flujo de partículas. En esta versión de la invención, por ejemplo, se puede lograr una mejora en las posibilidades de controlar la temperatura poniendo en contacto las partículas con una superficie de absorción de calor en uno o varios de los mencionados conductos de retorno. Preferentemente, los posibles medios de control mencionados son de tipo no mecánico, es decir, se controla el caudal de partículas añadiendo un gas que movilice las partículas hasta un punto en el que dependa de la adición del gas.

65 En una versión preferente de la invención, las partículas se transfieren desde la cámara de reacción de carbón vegetal a la cámara de reacción de LFC por medio de al menos un conducto de recirculación de partículas que añade partículas en el fondo de la cámara de reacción de LFC por medio de un conducto de conexión predominantemente vertical. En una construcción particularmente compacta correspondiente, el conducto de

conexión predominantemente vertical mencionado está rodeado por la cámara de reacción de carbón vegetal y preferentemente esto se hace de forma que la cámara de reacción de carbón vegetal rodee el conducto de recirculación como una cámara de anillo simétrico de rotación.

- 5 La construcción simétrica de rotación preferente mencionada anteriormente de la cámara de reacción de carbón vegetal también da la posibilidad de realizar la sinterización mencionada anteriormente y potencialmente también la aglomeración de una forma particularmente sencilla y bien controlada. Por tanto, la adición de gas que contiene oxígeno para crear una zona con un incremento de temperatura preferentemente en la parte superior rica en ceniza y carbón vegetal de la cámara de reacción de carbón vegetal puede ser en muy pocas localizaciones y posiblemente
- 10 sólo en una única localización en la cámara de reacción de carbón vegetal. Esto se realiza haciendo que las partículas en la cámara de reacción de carbón vegetal giren alrededor del conducto de recirculación de partículas vertical de tal forma que en especial las partículas pequeñas y ligeras en la parte superior de la cámara de anillo pasen a una zona con incremento de temperatura a una frecuencia temporal apropiada. La rotación mencionada se puede establecer simplemente añadiendo una o más corrientes de método tales como el agente de gasificación, el
- 15 agente oxidante creando un incremento en la temperatura y partículas recirculantes con parte de su momento en una dirección que soporte el movimiento de rotación mencionado.

Las formas de construcción preferentes mencionadas anteriormente permiten el flujo de partículas a través del conducto de conexión para controlarse de forma sencilla añadiendo un gas, que hasta cierto punto, dependiendo de

20 la cantidad añadida crea un transporte de partículas hacia arriba en la cámara de reacción de LFC. En estos casos, donde se prefiere minimizar la adición de gas al conducto de conexión predominantemente vertical mencionado, la sección cuadrada de flujo del conducto puede ser de menos de un 25 % y preferentemente menos de un 10 % del área de sección cuadrada horizontal de la cámara de reacción de LFC.

- 25 También puede ser la parte vertical del conducto de conexión dada un área de sección cuadrada horizontal considerablemente más grande y, por ejemplo aparecer como una extensión hacia abajo de la cámara de reacción de LFC. De esta forma, se puede añadir una mayor parte del agente de oxidación añadido al método al conducto de conexión, y de esta forma, la oxidación del carbón vegetal en el conducto de conexión puede, en cierto grado, complementar la oxidación de carbón vegetal en la cámara de reacción de carbón vegetal. De esta forma, se puede
- 30 contrarrestar que las partículas de carbón vegetal sacadas de la cámara de reacción de carbón vegetal junto con las partículas inertes en circulación den como resultado pérdidas de carbón vegetal no convertido y también que las partículas de carbón vegetal grandes se acumulen en el fondo de la cámara de reacción de LFC. La posibilidad de contrarrestar la acumulación de partículas grandes es en especial una ventaja cuando se van a minimizar los gastos para reducir el tamaño de partícula.

35 Otra posibilidad sencilla es retirar por drenaje partículas no combustibles grandes potenciales (que, por ejemplo, se añaden a la cámara de reacción de LFC con el combustible o que se forman como consecuencia de aglomeración) desde el fondo del conducto de conexión predominantemente vertical mencionado anteriormente.

- 40 Dependiendo del propósito del gasificador de LFC, el gas de producto de la cámara de reacción de carbón vegetal se puede añadir totalmente o en parte, por ejemplo, a la cámara de reacción de LFC, al gas de producto de salida de la cámara de reacción de LFC o a aplicaciones externas al método de gasificación.

45 En una versión preferente de la invención, una parte considerable y por ejemplo al menos un 50 % y preferente al menos un 75 % del gas de producto de la cámara de reacción de carbón vegetal se transfiere a la cámara de reacción de LFC y preferentemente al fondo de la cámara de reacción de LFC para hacer que el gas sirva como gas de fluidización.

50 Sin embargo, una posibilidad particularmente sencilla y por lo tanto atractiva es la de añadir esencialmente todo el gas de producto de la cámara de reacción de carbón vegetal a la cámara de reacción de LFC. La necesidad de obtener un sistema separado para agotar y limpiar el gas de producto de la cámara de reacción de carbón vegetal se puede minimizar de esta forma y de forma potencial evitar completamente, y además, se puede minimizar la necesidad de añadir gas fluidizante adicional en la cámara de reacción de LFC.

- 55 Lo anteriormente mencionado es de primordial interés para minimizar las corrientes de gas y las pérdidas térmicas en el método de gasificación y para producir un gas con un valor de calentamiento máximo. Por tanto, en una versión preferente de la invención, el gas de producto añadido desde la cámara de reacción de carbón vegetal constituye al menos un 50 % y preferente al menos un 80 % de la corriente total de gas añadido a la cámara de reacción de LFC.

60 En otra versión preferente y particularmente sencilla, la adición de gas de producto desde la cámara de reacción de carbón vegetal a la cámara de reacción de LFC se produce aproximadamente al mismo nivel vertical que la superficie del lecho en la cámara de reacción de carbón vegetal. Esta forma de conducción del gas de producto desde la cámara de reacción de carbón vegetal a la cámara de reacción de LFC puede ser corta y sencilla y al

65 mismo tiempo hay un fácil acceso para lograr una transferencia sencilla y bien controlada de partículas por medio de un conducto que conecta el fondo de la cámara de reacción de carbón vegetal por el fondo de la cámara de reacción

de LFC.

En otras versiones preferentes de la invención, el gas de producto desde la cámara de reacción de carbón vegetal para total o parcialmente una o varias de las siguientes etapas del método:

5 - un separador de partículas para la recirculación de partículas a la cámara de reacción de carbón vegetal. Esto se realiza para optimizar la conversión de carbón vegetal y la producción de gas y para lograr un incremento en la retención de ceniza, que incluye el contenido de componentes minerales en el carbón vegetal.

10 - una cámara de reacción a la que también se añade un agente de oxidación, tal como aire, para oxidar partículas finas de carbón vegetal. Esto también se realiza con el propósito de incrementar la conversión de carbón vegetal, pero el propósito también puede ser modificar la ceniza en una forma más apropiada, incluyendo sinterizar, aglomerar y/o fundir la ceniza,

15 - un separador de partículas y preferentemente un filtro de barrera para retirar partículas de ceniza finas.

Por supuesto, también se pueden lograr las funciones correspondientes a varias de las etapas de método mencionadas anteriormente en combinación, tal como, añadiendo agente de oxidación a un separador de partículas, desde el que cualquier parte de las partículas separadas se drena o bien se devuelve a la cámara de reacción de carbón vegetal.

Se pueden controlar varios parámetros del método primordiales, por ejemplo, con la ayuda de una combinación adecuada de las siguientes posibilidades:

25 - Flujo de gas de producto controlando:

- cantidad añadida de combustible.

30 - Temperatura en la cámara de reacción de LFC controlando:

- la tasa de recirculación de las partículas desde la cámara de reacción de carbón vegetal a la cámara de reacción de LFC,

35 • la temperatura de las partículas recirculantes, incluyendo controlar la temperatura de la cámara de reacción de carbón vegetal y/o controlar la absorción de calor por medio de superficies de absorción de calor potenciales, incluyendo controlar la recirculación a través conductos de recirculación de partículas refrigeradas potenciales.

- Conversión de carbón vegetal en el método controlado:

40 • la temperatura en la cámara de reacción de carbón vegetal,

- la cantidad de agente de oxidación añadido a otros lugares, incluyendo a los conductos de partículas y gas mencionados y corriente arriba con relación a un filtro de barrera potencial.

45 - Temperatura en la cámara de reacción de carbón vegetal controlando:

- la cantidad de agente de gasificación que contiene oxígeno añadido a la cámara de reacción de carbón vegetal,

50 • la cantidad de vapor de agua añadido,

- el grado de refrigeración.

- Contenido de partículas y mediante esto la pérdida de presión en la cámara de reacción de LFC y/o en particular en la parte superior de la cámara de reacción de LFC controlando:

55 • la distribución por tamaño de partículas circulantes, por ejemplo, añadiendo/drenando preferentemente partículas grandes o pequeñas a/desde el bucle de partículas,

60 • la cantidad de gas de fluidización añadido a la cámara de reacción de LFC desde la cámara de reacción de carbón vegetal,

- la cantidad de gas adicional tal como gas de escape recirculado añadido a la cámara de reacción de LFC,

65 • la tasa de recirculación de partículas desde la cámara de reacción de carbón vegetal a la cámara de reacción de LFC.

- Contenido en partículas y/o altura de lecho en la cámara de reacción de carbón vegetal controlando:

- la cantidad de agente de gasificación que contiene oxígeno añadido a la cámara de reacción de carbón vegetal,

5 • el flujo de vapor de agua añadido a la cámara de reacción de carbón vegetal,

- adición/drenaje de partículas a/desde el sistema, incluyendo drenar con ayuda de desbordamiento en la cámara de reacción de carbón vegetal.

10 Dada una determinada cantidad de combustible, una versión preferente de la invención se controla principalmente de la siguiente forma:

- se logra la temperatura deseada en la cámara de reacción de LFC controlando el flujo de partículas desde la cámara de reacción de carbón vegetal a la cámara de reacción de LFC,

15 - se logra la temperatura deseada en la cámara de reacción de carbón vegetal controlando la cantidad y/o composición de agente de gasificación añadido a la cámara de reacción de carbón vegetal.

20 Las temperaturas deseadas en las respectivas cámaras de reacción se pueden lograr de forma adicional o alternativa con la ayuda de uno de los métodos mencionados para la refrigeración controlable.

El método y el aparato de acuerdo con la invención, debido a las características mencionadas, son especialmente ventajosos para combustibles con una o varias de las siguientes características:

25 - alto contenido en componentes volátiles, tal como por encima de un 50 %,

- contenido alto en cloro, tal como por encima de un 0,5 %,

30 - contenido alto en metal alcalino, tal como por encima de un 1 %,

- temperatura ablandamiento de ceniza baja, tal como por debajo de 900 °C.

35 Paja, madera, residuos domésticos, plásticos que contienen cloro, y varios tipos de lodos deshidratados son ejemplos en dichos combustibles. Sin embargo, las posibilidades de lograr una eficacia energética alta, minimización de los costes de planta y lograr un gas de producto con un valor de calentamiento relativamente alto también son interesantes con relación a otros combustibles sólidos incluyendo carbón con una o varias de las características anteriores.

40 En especial la fracción de gas de producto producido pirolizando el combustible en la cámara de reacción de LFC, contendrá una fracción grande de componentes orgánicos pesados, que, si se condensan, pueden provocar depósitos problemáticos y puede que bloques en los conductos y en el equipo del método. Por lo tanto, el método es de primordial interés para aplicaciones de sistema en las que el gas de producto se transfiera a su uso a una temperatura de al menos 200 °C y preferentemente al menos 400 °C. Dicha transferencia caliente y preferentemente adiabática del gas de producto al mismo tiempo minimiza la irreversibilidad termodinámica y los gastos de planta y los problemas de funcionamiento potenciales relacionados con la refrigeración de dichos gases. Sin embargo, también es una posibilidad que se trate el gas para descomponer los componentes orgánicos pesados mencionados.

50 El método de la invención es particularmente interesante con relación al uso del gas de producto como un combustible en un método de producción de electricidad, y preferentemente métodos en los que se usa el gas de producto como combustible en una caldera de vapor, turbina de gas, motor de combustión, o una planta a base de celdas de combustible. Cuando se aplica el gas en cámaras de combustión alimentadas con combustible sólido, tales como calderas de vapor, una opción particularmente interesante es usar total o parcialmente el gas de producto denominado gas de "recocido", es decir, con el propósito de reducir la emisión de óxidos de nitrógeno.

55 En los casos en los que el bucle de partículas del método de gasificación y/o un filtro de lecho granulado potencial estén equipados, como se describe previamente, con una o varias superficies de absorción de calor, es una solución preferente que dichas superficies de absorción de calor se refrigeren por una corriente del método desde el sistema de consumo de gas conectado, por ejemplo, se refrigera por vapor de agua desde un circuito de vapor o por aire de combustión por, por ejemplo, una caldera, turbina de gas o celda de combustible. También se puede usar la energía de refrigeración para secar los combustibles potenciales con un alto contenido en agua y/o para calentar cualquier otra corriente del método.

65 Debido al contenido en componentes orgánicos condensables de valor comercial alto, también es de interés primordial separar dichos productos. Esto se realiza preferentemente refrigerando y/o desactivando el gas de producto, y preferentemente esta refrigeración y/o desactivación tiene lugar en unos pocos segundos y

preferentemente en un 1 segundo después de la introducción de las partículas de combustible correspondientes en la cámara de reacción.

5 Entre otras, esta es una forma de producir combustibles líquidos incluyendo el denominado aceite biológico y productos químicos para el tratamiento de humos de productos alimenticios. Con relación al último uso mencionado del método de gasificación, puede ser ventajoso utilizar las buenas posibilidades para controlar y divergir la temperatura en la cámara de reacción de carbón vegetal y la cámara de reacción de LFC. Por lo tanto, puede ser apropiado elegir temperaturas considerablemente inferiores a 500 °C en la cámara de reacción de LFC.

10 Por la invención también se proporciona un aparato del tipo con un gasificador de lecho fluidizado en circulación (LFC) para la gasificación de material carbonáceo sólido y que comprende una cámara de reacción de LFC, que está conectada a un separador de partículas, desde la que las partículas separadas del gas de producto de la cámara de reacción de LFC pueden volver a la cámara de reacción de LFC por medio de un conducto de recirculación de partículas, el aparato también comprende medios para añadir el material carbonáceo a la cámara de reacción de LFC y medios para añadir un agente de gasificación al gasificador, y el aparato de acuerdo con la invención está caracterizado por la formación de una cámara de reacción de carbón vegetal en el conducto de recirculación y porque los medios de adición del agente de gasificación están diseñados para suministrar una parte considerable y preferentemente la parte principal de la cantidad de oxígeno añadido al gasificador de LFC a la cámara de reacción de carbón vegetal en forma de un agente de gasificación que contiene oxígeno para convertir el carbón vegetal, que está contenido en las partículas recirculantes, a un gas combustible.

A continuación, la invención se explicará adicionalmente haciendo referencia a los dibujos en los que:

25 la figura 1 muestra esquemáticamente una versión simple del aparato de acuerdo con la invención,

la figura 2 muestra esquemáticamente otra versión del aparato de acuerdo con la invención, y

30 la figura 3 muestra esquemáticamente una versión de la cámara de reacción de carbón vegetal, que de una forma simple hace posible realizar la sinterización y/o aglomeración de partículas de ceniza/carbón vegetal.

35 La figura 1 muestra esquemáticamente un aparato en forma de gasificador de LFC, que tiene un espacio o cámara de reacción de LFC 1 con una salida 4 para el gas cargado con partículas 32, un separador ciclónico 2 para la separación de partículas del gas y una cámara de reacción de carbón vegetal 3, a la que se añaden las partículas separadas 33 del separador por medio de un conducto 5. Se añade combustible 40 a la cámara de reacción de LFC en su fondo y en la cámara de reacción 1, se piroliza el combustible como consecuencia de un contacto eficaz con partículas 35, que se recirculan desde la cámara de reacción de carbón vegetal 3.

40 La cámara de reacción de carbón vegetal 3, que está funcionando como un gasificador, es principalmente un lecho burbujeante fluidizado lentamente de las partículas separadas 33. Se añade agente de gasificación que contiene oxígeno, tal como aire y potencialmente vapor de agua, como gas fluidizante 36. Con la ayuda de una superficie de absorción de calor 8 situada en el fondo de la cámara de reacción de carbón vegetal 3, se transfiere una parte de la energía térmica desde la gasificación de carbón vegetal al medio de refrigeración 43.

45 Las partículas 35 se recirculan desde el fondo de la cámara de reacción de carbón vegetal 1 por medio de un conducto predominantemente vertical 6, mientras que se controla la tasa de recirculación añadiendo una corriente de gas variable 38 al conducto vertical. Otra corriente de gas añadida 37 establece la movilidad de las partículas en un conducto horizontal corto que conecta la cámara de reacción de carbón vegetal 3 con el conducto vertical 6.

50 Para evitar una acumulación de partículas no combustibles y potencialmente de aglomerados formados, se puede drenar una corriente de partículas 42 desde la parte inferior del conducto vertical 6.

55 El gas de producto 34 se transfiere desde la parte superior de la cámara de reacción de carbón vegetal al fondo de la cámara de reacción de LFC 1 por medio del conducto 7, donde este gas sirve como gas fluidizante. Se puede añadir gas fluidizante 39 adicional, tal como gas de escape del método usando el gas de producto 41 producido, para que impacte en la condición de flujo del gas y las partículas 31 hacia arriba a través de la cámara de reacción de LFC en una dirección preferente.

60 La figura 2 muestra otra versión del aparato de acuerdo con la invención, que comprende varias posibilidades adicionales para optimizar el método de gasificación con relación a los combustibles y las aplicaciones dados.

65 Además de los puntos ya mencionados, el gasificador de LFC puede comprender un preseparador 9 para partículas recirculantes directamente a la cámara de reacción de LFC 1, y después de la recirculación el separador 2 puede ser un separador secundario 10, a partir del que se pueden recircular otras partículas 58 a la cámara de reacción de carbón vegetal 3 o drenarse a 54. Como se muestra, también se puede elegir para drenar una corriente parcial de partículas 53 desde el separador principal 2, lo que es particularmente relevante, si se elige un filtro altamente eficaz como el separador primario o potencialmente el único separador.

Se puede añadir un gas que contiene oxígeno 44, como se muestra, en la cámara de reacción de carbón vegetal con el propósito de crear un incremento en la temperatura en localizaciones en la parte superior del lecho fluidizado. Esto se realiza principalmente para dar a las partículas de ceniza existentes en la parte superior del lecho un tratamiento de calor. Por este método, se mejoran las posibilidades de retención de ceniza por los siguientes separadores de partículas y/o se puede hacer que la ceniza se aglomere hasta un grado en el que se logre un tamaño y estabilidad mecánica suficientes para complementar el medio particular circulante en el gasificador y/o se puede drenar como una corriente de partículas relativamente gruesas, respectivamente 50 y 42 a través respectivamente del fondo de la cámara de reacción de carbón vegetal 3 y del fondo de la cámara de reacción de LFC 1.

De forma alternativa o adicional a la absorción de calor por medio de la superficie de absorción de calor 8 mencionada anteriormente, se puede extraer calor con la ayuda de un medio de transmisión de calor 51, añadido a una superficie de absorción de calor 11 que está situado, por ejemplo, en uno de dos conductos paralelos para la recirculación de partículas a la cámara de reacción de LFC 1. Esta forma de absorción de calor se puede controlar eficazmente usando medios de control 15. Estos medios de control son preferentemente de tipo no mecánico y se pueden combinar en un único medio de control que decide la parte de la corriente de partículas recirculantes que tiene que pasar por la superficie de absorción de calor.

Además, se puede observar que la corriente de gas de producto 34 de la cámara de reacción de carbón vegetal 3 se puede tratar en:

- un separador 12 que está recirculando carbón vegetal y ceniza a la cámara de reacción de carbón vegetal 3,
- una cámara de reacción 13, hacia la que puede existir un suministro de agente de oxidación de carbón vegetal adicional 46 para una conversión adicional de partículas de carbón vegetal finas y/o para el tratamiento con calor de partículas de ceniza,
- otro separador de partículas 14 para la separación de partículas 47 del gas de producto desde la cámara de reacción de carbón vegetal 3.

El separador de partículas 14 puede ser, por ejemplo, un filtro de barrera altamente eficaz, que limpia el gas para extraerlo total o parcialmente como una corriente 56 en lugar de, como también se muestra, añadirlo a la cámara de reacción de LFC 1 o al gas de salida de esta cámara.

Es obvio que las funciones correspondientes a las etapas de método 12, 13 y 14 se pueden combinar, por ejemplo, en una única etapa de método, a partir de la que las partículas posiblemente sólo recirculen parcialmente a la cámara de reacción de carbón vegetal 3 y a la que se añade un agente de oxidación 46.

Finalmente, se muestra que se pueden añadir aditivos 52, tales como caliza, a la cámara de reacción de LFC. Esto se realiza para potenciar la retención de gases problemáticos, tales como gases que contienen cloro.

La figura 3 ilustra adicionalmente la posibilidad de sinterizar y posiblemente aglomerar partículas de ceniza/carbón vegetal en la cámara de reacción de carbón vegetal 3. En el caso mostrado, una adición direccional del agente de gasificación 36 así como del gas que contiene oxígeno 44 para la creación de un movimiento global de las partículas en la cámara de reacción de carbón vegetal. Este movimiento hace que las partículas de ceniza/carbón vegetal pasen por una zona que tiene un incremento en la temperatura, lo que aparece una consecuencia de reacciones exotérmicas entre el gas que contiene oxígeno 44 y los componentes combustibles en la cámara de reacción de carbón vegetal.

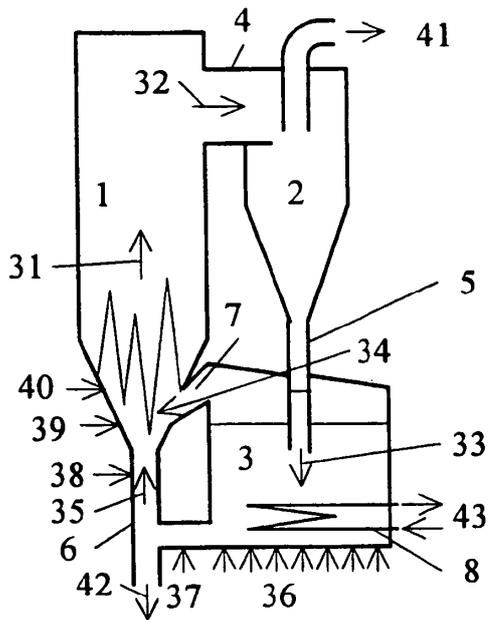
La posibilidad de dar a las partículas de ceniza/carbón vegetal un tratamiento con calor bien definido por este método sencillo está particularmente presente cuando la cámara de reacción de carbón vegetal se construye de forma simétrica rotacional y, por ejemplo, como una cámara de anillo. El movimiento horizontal de las partículas indicado en la figura 3 corresponde en este caso a un movimiento rotacional de las partículas en la cámara de reacción de carbón vegetal.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para la gasificación de material carbonáceo sólido en un gasificador de lecho fluidizado circulante (LFC), método que comprende:
- 5 - suministrar el material carbonáceo (40) a una cámara de reacción de LFC (1) que comprende un lecho fluidizado en el que se calienta el material carbonáceo pirolizando de este modo el material carbonáceo añadido debido al contacto con partículas calientes en la cámara de reacción de LFC (1),
- 10 - descargar el gas de producto (32) cargado con partículas desde la cámara de reacción de LFC (1) a un separador de partículas (2, 9, 10) en el que las partículas se separan del gas de producto (41)
- transferir a continuación la parte principal de las partículas separadas y preferentemente al menos un 90 % de las mismas a una cámara de reacción de carbón vegetal (3) que comprende un lecho fluidizado en el que las partículas se someten a tratamiento con calor, y
- 15 - recircular las partículas separadas (33) a la cámara de reacción de LFC (1);
- en el que el carbón vegetal contenido en las partículas recirculantes (33) se convierte en un gas combustible añadiendo la parte principal del oxígeno añadido al método en forma de un agente de gasificación que contiene oxígeno tal como aire atmosférico, oxígeno puro, vapor de agua o mezclas de los mismo a la cámara de reacción de carbón vegetal (3) y el gas de producto (34) de la cámara de reacción de carbón vegetal (3) se añade total o parcialmente a la cámara de reacción de LFC (1).
- 20
2. Un método de acuerdo con reivindicación 1, en el que la temperatura de descarga del gas de producto desde la cámara de reacción de LFC se mantiene inferior a 700 °C.
- 25
3. Un método de acuerdo con reivindicación 1 o 2, en el que el carbón vegetal y la ceniza se separan del gas de producto (34) que deja la cámara de reacción de carbón vegetal (3) y se recirculan a la cámara de reacción de carbón vegetal (3).
- 30
4. Un método de acuerdo con reivindicación 1, 2 o 3, en el que se añade un agente de oxidación de carbón vegetal (46) al gas de producto (34) que deja la cámara de reacción de carbón vegetal (3).
- 35
5. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones previas, en el que gas de producto (34) de la cámara de reacción de carbón vegetal constituye al menos un 50 % de la corriente de gas total añadida a la cámara de reacción de LFC (1).
- 40
6. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones previas, en el que el material carbonáceo sólido que se va a gasificar contiene volátiles en más de un 50 % y/o cloro en más de un 0,5 % y/o compuestos alcalinos en más de un 1 % y/o las temperaturas de ablandamiento de la ceniza están por debajo de 900 °C.
- 45
7. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones previas, en el que el material carbonáceo sólido que se va a gasificar es paja, madera, residuos domésticos, plásticos que contienen cloro o lodos deshidratados.
- 45
8. Aparato que comprende un gasificador de lecho fluidizado circulante (LFC) para la gasificación de material carbonáceo sólido que comprende:
- 50 - una cámara de reacción de LFC (1) que comprende un lecho fluidizado provisto de medios para añadir gas fluidizante, cámara de reacción (1) que tiene una entrada para material carbonáceo, una salida superior (4) para el gas de producto cargado de partículas (32) y al menos una entrada para las partículas recirculadas,
- una sección de separador de partículas (2, 9, 10) que recibe el gas de producto cargado de partículas (32) desde la cámara de reacción de LFC (1) donde las partículas se separan del gas de producto cargado de partículas (32),
- 55 - una cámara de reacción de carbón vegetal (3) que comprende un lecho fluidizado y que tiene al menos una entrada para las partículas de la sección de separador de partículas (2, 10), y
- medios para recircular las partículas desde la cámara de reacción de carbón vegetal (3) a la cámara de reacción de LFC (1);
- 60
- en el que la cámara de reacción de carbón vegetal (3) comprende medios para añadir un agente de gasificación que contiene oxígeno (36) tal como aire atmosférico, oxígeno puro, vapor de agua o mezclas de los mismos y que el aparato comprende medios (7) para conducir al menos una parte del gas de producto (34) desde la cámara de reacción de carbón vegetal (3) a la cámara de reacción de LFC (1).
- 65

9. Un aparato de acuerdo con reivindicación 8, en el que el separador de partículas comprende un separador principal (2) provisto de un conducto (5) a través del que las partículas separadas (33) llegan a la cámara de reacción de carbón vegetal (3).
- 5 10. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 8 ó 9, en el que la cámara de reacción de LFC comprende una entrada para el gas de producto (34) aproximadamente al mismo nivel que la superficie del lecho en la cámara de reacción de carbón vegetal (3).
- 10 11. Un aparato de acuerdo con reivindicación 8, 9 ó 10, en el que el aparato comprende un separador (12) situado corriente abajo de la cámara de reacción de carbón vegetal (3), separador que recircula el carbón vegetal y ceniza desde el gas de producto (34) a la cámara de reacción de carbón vegetal (3).
- 15 12. Un aparato de acuerdo con cualquier reivindicación previa, en el que el aparato comprende una cámara de reacción (13) provisto de una entrada para el agente de oxidación de carbón vegetal (46) situada corriente abajo de la cámara de reacción de carbón vegetal (3), cámara de reacción en la que tiene lugar una conversión adicional de partículas de carbón vegetal finas y/o el tratamiento con calor de las partículas de ceniza.

**Fig. 1**



**Fig. 2**

