



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 292 803**

51 Int. Cl.:
C10J 3/54 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **02764902 .9**

86 Fecha de presentación : **01.10.2002**

87 Número de publicación de la solicitud: **1432779**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **30.06.2004**

54 Título: **Procedimiento y aparato para la gasificación de combustibles en un reactor de lecho fluidizado.**

30 Prioridad: **02.10.2001 FI 20011925**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.03.2008

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.03.2008

73 Titular/es:
VALTION TEKILLINEN TUTKIMUSKESKUS
Vuorimiehentie 5
02150 Espoo, FI

72 Inventor/es: **Kurkela, Esa y**
Nieminen, Matti

74 Agente: **Sugrañes Moliné, Pedro**

ES 2 292 803 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y aparato para la gasificación de combustibles en un reactor de lecho fluidizado.

Esta invención se refiere a un procedimiento para gasificar combustible en un flujo de gas ascendente en un reactor de lecho fluidizado que contiene partículas de material fluidizado sólidas, que comprende suministro de combustible a la parte inferior del reactor y que lleva el gas de producto producido desde la parte superior del reactor a un separador, por medio del cual las partículas sólidas se separan del gas y se devuelven al reactor. Además, la invención se refiere a un aparato de gasificación para implementar el procedimiento.

Los combustibles adecuados para gasificación comprenden biocombustibles finamente divididos y desechos como virutas de madera, desechos municipales, materiales de envases y desechos plásticos. El gas de producto obtenido puede usarse en centrales de energía sustituyendo al combustible de la central, como carbón, petróleo o gas natural.

Existen dos tipos principales de reactores de lecho fluidizado, uno de los cuales se basa principalmente en un lecho fluidizado burbujeante estático. El lecho fluidizado burbujeante consistente en partículas fluidizadas divididas de forma relativamente gruesa permanece en posición sostenida por un flujo de aire ascendente insuflado en el espacio del reactor. La velocidad del flujo de aire es normalmente del orden de 1 m/s. La concentración de materia sólida es baja en un flujo de gas por encima de un lecho fluidizado burbujeante claramente limitado. La temperatura del espacio de reactor encima del lecho fluidizado en un reactor de lecho fluidizado burbujeante puede elevarse por suministro de aire adicional o reducirse inyectando agua de refrigeración en el flujo de gas. Para aumentar la conversión de carbón, las partículas de polvo presentes en el flujo de gas pueden separarse con un ciclón distinto, en el que las partículas se devuelven al fondo del espacio del reactor. Se describen "gasificadores Winkler" de este tipo en los documentos DE 195 48 324 A1 y DE 27 51 911 B2.

El segundo tipo principal de reactores de lecho fluidizado es un lecho fluidizado circulante, en el que partículas fluidizadas sólidas se elevan junto con el flujo de aire insuflado en el reactor. La velocidad del flujo de aire, que normalmente es del orden de 5 m/s, es mayor y el tamaño de las partículas fluidizadas es menor que en un reactor de lecho fluidizado. Las partículas fluidizadas son arrastradas por el gas de producto en el ciclón, en el que las partículas y el residuo de carbonización derivado del combustible se separan y se devuelven al fondo del espacio del reactor. Para obtener el tiempo de retención requerido para la reacción de gasificación, se ha dado a los reactores de lecho fluidizado circulante una altura sustancialmente mayor que la de los reactores de lecho fluidizado burbujeante. Otras propiedades típicas de lechos fluidizados circulantes comprenden temperatura uniforme y viscosidad relativamente uniforme de la suspensión de materia sólida en el espacio del reactor, sin un lecho fluidizado claramente limitado característico de lechos fluidizados burbujeantes. Un procedimiento típico de gasificación de combustible basado en reactores de lecho fluidizado circulante se desvela en el documento FI 62554 B.

La gasificación de biomásas finamente divididas y desechos que contienen plástico realizada con procedimientos y equipos actuales implica el problema de la formación de compuestos de tipo alquitrán en abundancia. Antes de la combustión en la central de energía, el gas de producto se filtra con el fin de eliminar cenizas y metales pesados con filtros que tienen una temperatura de operación en el intervalo de 200 a 450°C. Para este fin, el gas obtenido del reactor a una temperatura en el intervalo de 800 a 1.000°C necesita enfriarse con un intercambiador de calor, y a continuación los alquitranes se condensan en las superficies de los conductos de gas, el intercambiador de calor y el filtro, que se obstruye. Una segunda fuente de problemas en los procedimientos actuales de gasificación es el cloro contenido en el combustible, al estar el cloro presente de manera abundante especialmente en desechos plásticos o combustibles de desechos similares. El cloro reacciona con el calcio usado como partículas fluidizadas o arrastrado por el combustible, formando compuestos, que se adhieren también a los conductos de gas y los intercambiadores de calor, y provoca la obstrucción de los mismos. Se ha observado que este proceso alcanza un máximo cuando el gas de producto de enfriamiento está en el intervalo de temperatura de aproximadamente 720 a 780°C.

Los problemas anteriores se han observado en pruebas de gasificación realizadas por el solicitante por medio de un reactor de lecho fluidizado burbujeante en relación con desechos que contienen residuo de madera, como virutas de madera, y plástico en abundancia. Con ambos tipos de combustible, hubo una formación abundante de alquitrán independientemente del hecho de que el combustible se suministró en un lecho fluidizado burbujeante. Parte del combustible finamente dividido ascendió sin gasificarse junto con el flujo de aire en la parte superior del espacio del reactor, que estaba casi libre de partículas fluidizadas. Con combustible que contiene plástico, la pirólisis dio como resultado grandes cantidades de hidrocarburos pesados, a los que no se da suficiente tiempo para desintegrarse en el lecho fluidizado relativamente bajo. Estos compuestos ascienden desde la materia sólida en el reactor en la parte superior casi vacía, en el que la falta de superficies de partículas catalizadoras las impide desintegrarse. Por este motivo, la expansión de la sección transversal de flujo de la parte superior del gasificador realizada en muchos gasificadores de lecho fluidizado conocidos y la gran altura del reactor no aportan ninguna solución al problema del alquitrán. En pruebas realizadas por el solicitante, la disminución en la concentración de alquitrán en las partículas fluidizadas en la parte superior vacía del espacio del reactor a 900°C y con un retraso de 10 segundos fue menor que el 5%, y los conductos del gas de producto se obstruyeron debido tanto a alquitranes condensados como a compuestos de calcio/cloro presentes en el polvo finamente dividido.

El solicitante ha examinado asimismo la gasificación de los mismos combustibles con reactores convencionales de lecho fluidizado circulante. En estas pruebas, el problema del alquitrán en virutas de madera se alivió usando caliza o

dolomita como partículas fluidizadas, que catalizan la desintegración del alquitrán después de que se hayan calcinado hasta óxido de calcio. Sin embargo, existen aún problemas causados por cal que se está triturando debido a la alta velocidad de flujo y el alto consumo resultante de cal y la cantidad incrementada de polvo. Con combustibles que contienen cloro, la cal no es de ninguna ayuda notable, presumiblemente debido a la reacción del HCl desprendido y las partículas de cal, que desactiva estos combustibles. Análogamente, sigue manteniéndose el problema de los conductos de gas obstruidos debido a compuestos viscosos de calcio/cloro. En una prueba realizada con combustible de desechos, el conducto de gas de producto se obstruyó casi completamente en un funcionamiento de 30 horas. Se observó que el depósito contenía calcio y cloro en abundancia. Tampoco se resolvía el problema debido al material fluidizado usado, porque el combustible de desechos como tal contiene suficientemente cal para que los conductos de gas se obstruyan. En el documento US-A-5.658.359, el problema se ha resuelto suministrando por separado material grueso de dragado, como arena, en el gas de producto, lo que todavía tiene el inconveniente de los costes en que se incurre con el equipo adicional y la acción abrasiva de la arena gruesa en los conductos de gas y el intercambiador de calor.

La solicitud anterior del solicitante, documento FI 981817 A, describe un procedimiento de gasificación que usa un reactor de lecho fluidizado circulante, en el que el material del lecho consiste en una mezcla de material duro y grueso y material fácilmente triturado y poroso. El objetivo de esto es conseguir una situación, en la que los metales alcalinos viscosos de las cenizas se unan a las partículas de calcio finamente divididas y pasen rápidamente a través del ciclón de circulación para salir del gasificador. En los ejemplos de la solicitud, el flujo de gas ascendente tiene una velocidad de 5 m/s, que es habitual para un gasificador de lecho fluidizado circulante, y el polvo separado por el ciclón de circulación eficaz se hace recircular en el lecho de arena más grueso en el fondo del lecho. De esta manera, se potencia una trituración rápida de la cal en circulación y se consigue una buena conversión de carbono incluso a una temperatura relativamente baja, ya que la materia sólida carbonácea que está en circulación se devuelve a la zona oxidante en el fondo del reactor. El procedimiento descrito es adecuado para materiales ricos en álcalis, en los que el cloro se une al sodio o potasio en el combustible. En contraste, las pruebas realizadas por el solicitante han demostrado que en los materiales que contienen un exceso de cloro con respecto a sodio y potasio, como es a menudo el caso de los combustibles de desechos, existe una intensa formación de depósitos que contienen calcio y cloro en la tubería de gas de después del ciclón.

El documento US-A-5 562 744 describe el tratamiento de un gas de proceso con impurezas de tipo alquitrán en un reactor que contiene un lecho fluidizado de partículas sólidas. Parte del material de lecho fluidizado transportado por el gas de procedimiento asciende en el reactor, y es devuelto a través de un enfriador colocado en posición central. El gas limpio fluye desde la parte superior del reactor a una conducción de salida de gas. Se suministra nuevo material de lecho fluidizado fino al lecho a través de una conducción de alimentación superior, y se extrae el material de lecho fluidizado grueso acumulado en la parte inferior del reactor a través de una conducción de salida. No hay separador exterior para separar partículas sólidas del gas y devolverlas al reactor.

El documento WO-A-99/32583 describe la gasificación de un material combustible de carbón sólido en un lecho fluidizado circulante con partículas que pasan a través de dos cámaras de reacción. El material de carbón se vierte en una primera cámara de reacción, mientras un agente de gasificación que contiene oxígeno se vierte principalmente a una segunda cámara de reacción de escorias. Se descarga un gas de producto cargado con partículas de la primera cámara de reacción, se separan las partículas que contienen escoria y se hacen circular a la cámara de reacción de escorias, en la que las partículas forman un lecho fluidizado lentamente burbujeante. El gas de producto de la cámara de reacción de escorias sirve como gas fluidizante en la primera cámara de reacción, y las partículas de la cámara de reacción de escorias se hacen recircular a la primera cámara de reacción para pirolizar el combustible de carbón.

El propósito de la invención es proporcionar una solución a los problemas explicados anteriormente, que permita prevenir o aliviar sustancialmente los problemas de conductos de gas e intercambiadores de calor sucios y obstruidos debido a alquitranes y/o compuestos de calcio/cloro mientras el consumo de material fluidizado sólido permanece moderado durante el proceso. El procedimiento de la invención se caracteriza por el hecho de que el flujo de gas se usa para mantener en el reactor un lecho fluidizado burbujeante que contiene partículas de material fluidizado más gruesas con un tamaño en el intervalo de 0,2 a 1,5 mm y por encima de éste un lecho circulante que contiene partículas de material fluidizado más finamente divididas con un tamaño en el intervalo de 50 a 300 μm , y en el que las partículas que se han separado del gas de producto para circulación se devuelven a la parte superior del lecho fluidizado burbujeante del reactor o por encima de éste. En consecuencia, la idea central de la invención es mantener un lecho fluidizado burbujeante y un lecho circulante en paralelo en el proceso, con estos lechos funcionando sustancialmente por separado sin entremezclarse. Esto consigue un procedimiento óptimo, que combina los beneficios de las dos soluciones básicas: gasificación de lecho fluidizado burbujeante y gasificación de lecho fluidizado circulante.

El lecho fluidizado burbujeante en el fondo del reactor de la invención requiere una velocidad de flujo relativamente baja, y a continuación se consigue un tiempo de retención adecuado en un reactor que es sustancialmente menor que los reactores actuales de lecho fluidizado circulante. El combustible se gasifica en el lecho fluidizado burbujeante, desde el cual pasa al lecho circulante superior, en el que las partículas fluidizadas finamente divididas circulantes tienen una superficie de partículas catalizadoras para la degradación del alquitrán. Para fluidizar partículas circulantes finamente divididas, es suficiente una baja velocidad de flujo del lecho burbujeante, proporcionando un tiempo de retención adecuado y reduciendo la desintegración y formación de polvo causada por la colisión de partículas. La recirculación de partículas circuladas al nivel del borde superior del lecho fluidizado burbujeante o por encima de éste produce el beneficio especial de que las partículas no tienen que compensar la alta pérdida de presión del orden de 50

ES 2 292 803 T3

a 200 mbar del lecho burbujeante, que es el caso de los reactores convencionales de lecho fluidizado burbujeante, en los que la recirculación tiene lugar en el fondo del lecho burbujeante o en el fondo del espacio del reactor.

Los desechos que contienen plástico y una serie de biocombustibles son normalmente ricos en sustancias de evaporación y/o el residuo de carbonización formado por éstas es extremadamente reactivo. Por esta razón, la gasificación de lecho fluidizado supera fácilmente la conversión de carbono requerida del 95%, y por ello no es crucial separar el polvo del ciclón con precisión máxima y devolverlo al lecho fluidizado como en los gasificadores Winkler convencionales mencionados anteriormente. Esto permite ajustar el límite de separación del separador de tal manera que las partículas sólidas más pequeñas en el gas de producto no se devuelven para formar parte del lecho circulante en el reactor, sino que se dejan en el flujo de gas de producto que se enfriará, en el que sirven para aliviar sustancialmente el problema de la obstrucción causado por los compuestos de calcio/cloro. Con el límite de separación de partículas sólidas en el separador estando en el intervalo de aproximadamente 50 a 70 μm , se obtienen partículas sólidas de un tamaño de 10 a 70 μm en el flujo de gas de producto, que reducen la proporción de componentes de adherencia viscosos en la materia sólida del gas, se unen a éstos e impiden que el material pegajoso se adhiera a los conductos de gas, el intercambiador de calor y el filtro de gas. El lecho fluidizado circulante puede tener un tamaño de partícula, por ejemplo, en el intervalo de 0,3 a 1,5 mm, y con el límite de separación del separador mencionado anteriormente, puede devolverse una fracción al lecho fluidizado cuyo tamaño de partículas está en el intervalo de 50 a 300 μm . Las partículas del último orden de magnitud ascienden en el flujo de gas, que tiene velocidad igual o inferior que la de un lecho burbujeante, preferentemente por ejemplo en el intervalo de 1 a 1,5 m/s. En la parte superior del espacio del reactor que contiene el lecho circulante puede proporcionarse una anchura mayor que la de la parte inferior que contiene el lecho burbujeante, de manera que la expansión compense el aumento de flujo de gas generado por gasificación y evite la aceleración del flujo.

El material fluidizado suministrado al reactor es una sustancia inorgánica de partículas, que puede ser inerte o reactiva, aunque no forma gas de producto comburente como hace el combustible.

De acuerdo con la invención, se suministran al reactor dos tamaños diferentes de partículas fluidizadas de manera que las partículas más gruesas forman un lecho fluidizado burbujeante en el reactor y las partículas más finamente divididas forman un lecho circulante. Las partículas de material fluidizado que se añadirán, que pueden consistir, por ejemplo, en arena, se situarán a continuación preferentemente en el intervalo de variación mencionado anteriormente entre el lecho burbujeante y el lecho circulante. Opcionalmente, el material de alimentación puede consistir exclusivamente en partículas sólidas divididas de forma gruesa, por ejemplo del orden de 0,3 a 1,5 mm, cuyo material es friable, de manera que el material, después de haber sido triturado en el lecho burbujeante, se une al flujo de aire ascendente y forma así material fluidizado en el lecho circulante. En un lecho burbujeante y un lecho circulante, se obtiene además una fracción continua de materia sólida a partir de la fracción más fina formada, que pasa del separador al flujo de gas de producto, y esta fracción sirve para prevenir la obstrucción de los conductos de gas y el intercambiador de calor causada por cenizas viscosas. La cal es un material fluidizado en polvo particularmente adecuado, aunque también pueden usarse óxido de magnesio y caolín.

Con el fin de reducir al mínimo la obstrucción de los conductos de gas, es ventajoso además proporcionar enfriamiento del gas de producto en dos etapas subsiguientes con dos intercambiadores de calor separados, el primero para enfriar el gas al intervalo de temperatura de 600 a 720°C y el segundo además a una temperatura de 450°C o menos. El primer intercambiador de calor hace pasar el gas por el intervalo de temperatura de 720 a 780°C, que es crítico en términos de obstrucción, de manera que los componentes de cenizas que contienen calcio y cloro pierden su adhesividad, eliminando así el riesgo de obstrucción en el segundo intercambiador de calor que opera a una temperatura inferior y el filtro de gas. Al primer intercambiador de calor, a su vez, se dan preferentemente dimensiones amplias de manera que su velocidad de flujo del gas sea baja, y las tuberías de gas pueden vaciarse verticalmente, con lo que se minimiza el riesgo de adhesión.

Una medida adicional para evitar más obstrucción es suministrar un absorbente, como un compuesto de sodio, potasio o calcio adecuado, en el flujo de gas de producto en o antes del intercambiador de calor con el fin de que se una a las partículas de ceniza.

El aparato de gasificación de la invención que implementa el procedimiento descrito anteriormente comprende como elementos conocidos de por sí un reactor de lecho fluidizado, material fluidizado consistente en partículas sólidas, una entrada de alimentación para producir un flujo de gas ascendente en el reactor, una entrada de alimentación de combustible, una entrada de alimentación para introducir material fluidizado en el reactor, un conducto de escape del gas que sale de la parte superior del reactor, un separador para separar partículas de materia sólida del gas de producto que ha salido del reactor y una línea de retorno para devolver partículas separadas al reactor. De acuerdo con la invención, el aparato se caracteriza por el hecho de que puede proporcionarse un lecho fluidizado burbujeante que contiene partículas de material fluidizado más gruesas que tienen un tamaño en el intervalo de 0,2 a 1,5 mm en el reactor y, por encima de éste, puede proporcionarse un lecho circulante que contiene partículas más finas de material fluidizado con un tamaño en el intervalo de 50 a 300 μm , de manera que la línea de retorno para partículas que vuelven del separador al reactor termina en el nivel superior del lecho fluidizado burbujeante o por encima de éste.

El espacio del reactor comprende preferentemente una parte inferior para el lecho fluidizado burbujeante y una parte superior más ancha en sección transversal para el lecho fluidizado. La proporción del diámetro entre la parte superior y la parte inferior está de la forma más apropiada en el intervalo de 1,15 a 1,5. Las partes pueden estar separadas

ES 2 292 803 T3

por una porción de expansión cónica, cuyo ángulo cónico con respecto al eje vertical del espacio del reactor es obtuso, preferentemente menor que 10° y más preferentemente menor que 7° . Esta expansión impide que la velocidad de flujo del gas en un lecho circulante supere la de un lecho burbujeante.

- 5 El separador para separar partículas sólidas que vuelven al lecho circulante del reactor desde las partículas más finas que quedan en el flujo de gas consiste en un ciclón. Puede usarse un ciclón amplio dimensionado para una velocidad de flujo baja preferentemente por debajo de 15 m/s, que origina baja pérdida de presión, preferentemente menor que 15 mbar. Esto facilita el retorno de partículas desde el lecho circulante al reactor, y el gas de producto retendrá partículas sólidas que son capaces de barrer el polvo de las paredes de los conductos del gas y de unirse a
10 componentes de cenizas adhesivas pegajosas.

A continuación se explica la invención con más detalle con referencia al dibujo adjunto, que ilustra un aparato de gasificación de la invención que comprende un lecho fluidizado burbujeante y un lecho circulante superior.

- 15 El aparato de gasificación ilustrado en el dibujo comprende un reactor de lecho fluidizado 1, que consiste en una parte inferior cilíndrica 2, una parte superior en expansión cónica 3 y una parte superior cilíndrica 4, teniendo la parte superior 4 mayor área en sección transversal que la parte inferior 2. En el reactor 1, en la proximidad de su fondo, hay una rejilla 5, bajo la cual se alimenta aire o vapor de gasificación desde la entrada de alimentación 6. En dicha parte inferior del reactor 2, se mantiene un lecho fluidizado burbujeante estático 7 sostenido por el flujo de aire ascendente,
20 consistiendo el lecho fluidizado en partículas fluidizadas sólidas finamente divididas que tienen un tamaño por encima de 0,2 mm, preferentemente en el intervalo de 0,3 a 1,5 mm aproximadamente.

- El combustible finamente dividido que se gasificará, que puede consistir en biomasa, como virutas de madera o desechos municipales o industriales, como desechos plásticos, es introducido a través de la entrada 8 a la parte inferior
25 del reactor 2, en el lecho fluidizado 7. El combustible se gasifica en el lecho fluidizado burbujeante 7, de manera que el gas formado pasa al flujo de gas ascendente en el espacio del reactor mientras las cenizas 9 son extraídas desde el fondo del reactor.

- Se mantiene un lecho circulante con el flujo de gas en la parte en expansión cónica 3 del reactor de lecho fluidizado
30 1 y en la parte cilíndrica superior 4, siendo las partículas fluidizadas sólidas en este lecho circulante menores que las del lecho fluidizado burbujeante inferior 7, que tienen preferentemente un tamaño en el intervalo de 50 a 300 μm . La expansión cónica 3 del espacio del reactor se dimensiona preferentemente con el aumento de la superficie en sección transversal del espacio correspondiente al aumento en la cantidad de gas causado por la gasificación del combustible, de manera que la velocidad del flujo de gas ascendente en el lecho burbujeante en la parte inferior más estrecha 2 del reactor es la misma que en el lecho fluidizado circulante en la parte superior 4 del reactor, del orden de 1 a 1,5 m/s.
35 Estos parámetros operativos pueden ajustarse por medio del aire de gasificación y el suministro de combustible, y es concebible incluso que la velocidad de flujo de gas en el lecho circulante sea menor que la del lecho burbujeante.

- El flujo de gas de producto se conduce desde la parte superior del espacio del reactor 1 a través del conducto
40 10 al ciclón de separación 11, que separa las partículas fluidizadas del flujo circulante que se devolverá, a través del conducto 12, al reactor de lecho fluidizado 1. El conducto de retorno 12 se une al espacio del reactor al nivel del borde superior del lecho fluidizado burbujeante 7 según se ilustra en el dibujo. El lecho burbujeante y el lecho circulante se separarán así uno del otro sin que se entremezclen partículas fluidizadas entre los lechos. Sin embargo, en la práctica, la altura del lecho burbujeante 7 puede variar en cierta medida, en otras palabras, el borde superior del lecho
45 puede aumentar momentáneamente ligeramente por encima del final del conducto de retorno 12, o en consecuencia, descender ligeramente por debajo de éste. Sin embargo, es esencial que las partículas circulantes que vuelven al reactor 1 compensen con su peso en el conducto 12 sólo la pérdida de presión que tiene lugar en el lecho circulante y el ciclón, pero no la notablemente mayor pérdida de presión que se produce en el lecho burbujeante, lo que sucedería si las partículas circulantes se suministraran en o por debajo del lecho burbujeante.

- 50 El dibujo muestra dos entradas de alimentación 13, 14 para partículas fluidizadas que se introducirán en el proceso, de manera que puedan introducirse partículas más gruesas del lecho burbujeante 7 en el suministro de combustible 8 y puedan introducirse partículas más finas del lecho circulante en la entrada de retorno 12 del flujo circulante. Las partículas que se introducirán pueden ser, por ejemplo, fracciones de arena, cuyo tamaño de partículas es diferente en el lecho burbujeante y el lecho circulante. Por otra parte, puede usarse también material fluidizado friable como cal, que, cuando se desmenuza en el lecho burbujeante 7, produce las partículas fluidizadas más finamente divididas en el lecho circulante. En ese caso, puede ser suficiente si el material fluidizado se suministra sólo al lecho burbujeante 7 a través de la entrada 13. El lecho circulante puede estar suministrado opcionalmente con aire secundario que eleve su temperatura a través de la entrada 15 o agua o vapor de refrigeración que reduzca su temperatura a través de la entrada
60 16, en la proximidad de la parte superior del espacio del reactor.

- El ciclón 11 tiene la tarea de separar las partículas fluidizadas del lecho circulante que regresan al reactor 1 desde el flujo de gas de producto, que es conducido a través de conductos 17, 18 para enfriarse en dos intercambiadores de calor sucesivos 19, 20. El flujo de gas extraído del ciclón 11 al conducto 17 tiene normalmente una temperatura del
65 orden de 800 a 1.000°C, y se enfría al intervalo de temperatura de 600 a 720°C con el primer intercambiador de calor 19 en la dirección del flujo. El enfriamiento por debajo del intervalo de temperatura de 720 a 780°C aproximadamente, que es problemático en términos de la adhesión de partículas de ceniza y la obstrucción causada por esto, se producirá así en las tuberías del intercambiador de calor 19, que está colocado verticalmente de manera adecuada y al que se

ES 2 292 803 T3

han dado dimensiones suficientemente amplias, y en el que la velocidad de flujo de gas es baja, por ejemplo de 4 m/s aproximadamente. Con el límite de separación de partículas en el ciclón 11 siendo de 50 a 70 μm aproximadamente, las partículas sólidas del tamaño de 10 a 70 μm permanecerán en el flujo de gas de producto, y tendrán un impacto esencial en la unión a cenizas y la prevención de la obstrucción. Además, puede suministrarse un absorbente, como compuestos de calcio, sodio o potasio, que reaccionan con cloro, al intercambiador de calor 19 a través de la entrada 21. Si fuera necesario, puede suministrarse también agua o vapor de refrigeración en el flujo de gas del intercambiador de calor 19. El intercambiador de calor 19 actúa simultáneamente como un separador para eliminar cenizas volantes a la salida 22.

En el intercambiador de calor 20 que es segundo en la dirección del flujo, el flujo de gas se enfría a una temperatura de 450°C o menos. El gas de producto enfriado continúa hasta el filtro 23, cuya temperatura operativa está en el intervalo de 200 a 450°C y desde el cual el gas de producto purificado final se escapa al conducto 24 y la fracción de polvo más fina separada es extraída a la salida de descarga 25.

Es concebible que el conducto de retorno 12 para flujo de circulación se una al espacio del reactor en un punto más alto que el que se muestra en el dibujo, con las partículas circulantes suministradas en la parte en expansión cónica 3 del reactor, o incluso en la parte superior del reactor 4. A continuación, el lecho burbujeante 2 y el lecho circulante actuarán de forma completamente independiente entre sí, sin que las partículas se entremezclen incluso momentáneamente en la interfaz de lechos.

La operatividad del procedimiento de la invención se confirmó con un equipo piloto de 600 kW aproximadamente, que realizó 460 horas completas de pruebas de gasificación sobre combustible reciclado preparado a partir de basura doméstica y sobre mezclas de combustible y madera reciclados. El aparato piloto comprendía todos los componentes esenciales de la invención. Se mantuvo un lecho fluidizado sólido consistente en material de lecho grueso en el fondo del gasificador de lecho fluidizado, y por encima de éste se mantuvo un lecho circulante consistente en arena más fina, cal y partículas de ceniza. El gas de producto se condujo a través de un ciclón ampliamente dimensionado, en el que el gas en la tubería de entrada tenía una velocidad de flujo menor que 15 m/s, y el material del lecho separado por el ciclón regresó a través de la entrada de retorno a la tubería situada encima del lecho fluidizado del gasificador. La diferencia de presión entre el ciclón y la línea de circulación era baja, menor que 5 mbar, y la circulación actuó de manera fiable durante las ejecuciones de prueba, y durante las pruebas de gasificación no hubo ni siquiera una vez ningún problema causado por obstrucción del conducto de retorno para cenizas del ciclón, que es típico de lechos fluidizados burbujeantes convencionales.

Después del ciclón, el gas de producto y las partículas que tenían normalmente un tamaño de 0 a 70 μm arrastradas por el gas a través del ciclón se hicieron pasar primero a través del primer intercambiador de calor. Este intercambiador de calor contenía tuberías verticales de intercambiador de calor, y el gas fluyó desde la parte superior hacia el fondo. El gas se enfrió a una temperatura de 550°C aproximadamente en este intercambiador de calor, que había sido diseñado correctamente en términos de prevención de obstrucciones. Debido al diseño del intercambiador de calor, la carga adecuada de partículas del gas de producto y el nivel apropiado de temperatura (por debajo de 600°C), se evitó completamente la obstrucción de la línea de gas, que había causado problemas en las pruebas que había realizado previamente el solicitante con gasificadores convencionales de lecho fluidizado burbujeante y lecho fluidizado circulante. Después del primer intercambiador de calor, el gas se enfrió a la temperatura operativa del filtro en una unidad convencional de intercambiador de calor, que comprendía tuberías de intercambiador de calor horizontales. En algunos periodos, se inyectó hidróxido de calcio finamente dividido en el gas de producto antes del filtro con el fin de potenciar la retención de cloro que tuvo lugar con la ayuda de lecho de cal y metales alcalinos contenidos en el combustible. El filtro comprendía filtros de fibra reforzados con material cerámico, que resistían una temperatura de 500°C aproximadamente. El filtro se usó a una temperatura de 400°C aproximadamente.

El combustible reciclado de los ejemplos 1 a 2 representa sustancia de combustible reciclado de baja calidad, que se obtuvo exclusivamente de basura doméstica. En la práctica, habitualmente están disponibles también madera y desechos de embalaje de tiendas y negocios en las plantas de gasificación, teniendo estos desechos mejor calidad de composición que los desechos domésticos y siendo así adecuados para un procedimiento de gasificación avanzado. Es evidente para los expertos en la materia que la implementación de la invención no se restringe a los combustibles ilustrados, sino que, al contrario, la invención puede usar varios residuos y biocombustibles, que tienen las características comunes de una gran cantidad de sustancias de evaporación y la presencia de una sustancia que genera cloro u otros depósitos viscosos.

Ejemplo 1

Se usó el equipo piloto para gasificar combustible reciclado troceado preparado a partir de basura doméstica, que tenía una humedad del 26% y la siguiente composición elemental de materia seca: C: 50,2%, H: 6,8%, N: 1,1%, S: 0,2%, Cl: 0,70%, O: 26,2% y cenizas 14,8%. El combustible se desintegró a un tamaño de partícula por debajo de 20 mm. El material del lecho en el gasificador consistió en una mezcla de arena y caliza. No se inyectó absorbente de extracción de cloro en el conducto de gas de producto antes del filtro, basándose la retención de cloro en metales alcalinos del combustible apropiado y el calcio del lecho. El tamaño de partícula de arena se seleccionó de manera que parte de la arena permaneciera en el lecho inferior y parte fuera capturada en el flujo circulante por encima del lecho. Se suministró caliza junto con arena en el lecho, en el que se calcinó y se trituró, aportándolo al flujo circulante y finalmente alcanzando el conducto de gas junto con el gas de producto en un estado en polvo fino.

ES 2 292 803 T3

Las condiciones de gasificación y los resultados se muestran en la tabla siguiente. La conversión de carbono de la gasificación fue superior al 98% y el 96,3% del cloro en el combustible se retuvo principalmente en polvo volante. Todos los metales pesados, excepto mercurio, se retuvieron con un grado de separación por encima del 99% en los flujos de cenizas del gasificador.

Ejemplo 2

El ejemplo 2 se realizó de la misma manera que el ejemplo 1, con la salvedad de que la humedad media del combustible reciclado preparado a partir de basura doméstica fue del 23% y la composición elemental de materia seca fue la siguiente: C: 49,0%, H: 6,6%, N: 1,1%, S: 0,2%, Cl: 0,61%, O: 26,6% y cenizas 15,9%. El material del lecho en el gasificador consistió en la misma mezcla que en el ejemplo 1. Para potenciar la retención de cloro, se inyectó absorbente de eliminación de cloro en el conducto de gas de producto antes del filtro. Esta gasificación se realizó también con éxito con buenos resultados, como aparece en la tabla siguiente. La conversión de carbono fue superior al 98%, el grado de retención de cloro fue del 96,9% y la eficacia de separación de metales pesados fue superior al 99%. La diferencia de presión entre el intercambiador de calor y el conducto de gas se mantuvo constante.

La gasificación de los ejemplos 1 y 2 se realizó como parte de una ejecución de prueba que se prolongó 200 horas, que demostró que el proceso funcionaba de forma fiable y con eficacia y que no se formaron depósitos en la línea de gas de producto o en el intercambiador de calor. La diferencia de presión entre el intercambiador de calor y el conducto de gas se mantuvo constante durante toda la prueba, a una presión inferior a 2 mbar.

Ejemplo 3

En el ejemplo 3, el gasificador se mantuvo en funcionamiento durante un periodo global de 80 horas aproximadamente. En este ejemplo, el combustible consistió en una mezcla de madera seca y combustible reciclado preparados a partir de basura doméstica, en la que la proporción de madera fue del 30% en peso aproximadamente y la proporción de combustible reciclado fue del 70% en peso. La humedad media de la mezcla fue del 19% y la composición elemental de materia seca fue la siguiente: C: 49,4%, H: 6,5%, N: 0,8%, S: 0,1%, Cl: 0,57%, O: 31,9% y cenizas 10,7%. El material del lecho en el gasificador consistió en una mezcla de arena y caliza. No se inyectó absorbente de extracción de cloro en el conducto de gas de producto. Tampoco se realizaron mediciones de cloro o metales pesados, sino que, al contrario, la prueba se centró en la determinación del rendimiento del gasificador con una mezcla de madera y combustible reciclado. El funcionamiento del aparato fue bueno asimismo con esta mezcla de combustible, y a pesar de una reactividad de la madera un tanto menor en comparación con el combustible reciclado, la conversión de carbono fue todavía del 97,5%. No se formaron depósitos en el intercambiador de calor o los conductos de gas, y la pérdida de presión se mantuvo constante. Las condiciones y resultados se indican en la tabla siguiente.

(Tabla pasa a página siguiente)

ES 2 292 803 T3

TABLA

Ejemplo	1	2	3
Combustible	100% REF	100% REF	70% REF + 30% madera
Humedad del combustible, m %	26	23	19
Alimentación de combustible, g/s	34,0	34,6	33,0
Duración de ronda de prueba, h	54	29	10
Temperatura media de lecho fluidizado inferior, °C	835	849	858
Temperatura media de lecho fluidizado superior, °C	868	871	874
Gas temperatura después del primer intercambiador de calor, °C	550	560	520
Temperatura operativa de filtro, °C	420	420	420
Material de lecho gasificador, flujo de masa, g/s	arena + cal 4,5	Arena + cal 5,1	Arena + cal 5,6
Absorbente de extracción de cloro, flujo de masa g/s	-	Ca(OH) ₂ 0,4	-
Suministro de aire, g/s	64,1	63,9	62,0
Suministro de vapor, g/s	4,3	4,3	4,9
Flujo de gas de producto, m ³ /h	315	320	300
Velocidad de flujo del gas, m/s	1,2	1,2	1,3
En fondo de lecho sólido en parte superior de gasificador	1,1	1,1	1,0
Composición del gas, % volumen			
CO	4,2	4,6	5,9
CO ₂	13,1	13,0	14,2
H ₂	4,8	4,9	6,5
N ₂ (+Ar)	48,6	48,0	45,8
CH ₄	2,9	2,9	3,0
C ₂ -C ₅ H _y	1,7	1,5	1,4
C ₆ H ₆ + alquitrans	0,5	0,5	0,5
H ₂ S	0,02	0,02	nd
COS	0,001	0,001	nd
NH ₃	0,3	0,3	0,3
H ₂ O	23,9	24,1	22,1
LHV de gas de producto, MJ/m ³ n	3,9	3,9	4,3
Conversión de carbono, % en peso de carbono en combustible	98,4	98,4	97,5
Contenido en carbono, % en peso de cenizas del fondo	< 0,5	<0,5	<0,5
Contenido en carbono de cenizas volantes, % en peso	6,1	7,9	10,9
Calidad de equilibrio de sustancias (salida/entrada)			
Carbono	1,00	1,00	1,00
Oxígeno	0,97	0,98	1,00
Cenizas	1,02	0,97	0,91
Retención de cloro, % de contenido en HCl de cloro en combustible de gas de producto después de filtro, volumen ppm	96,3	96,9	nd
	70	40	nd

nd = no determinado

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para gasificar un combustible en un flujo de gas ascendente en un reactor de lecho fluidizado (1) que contiene partículas de material fluidizado sólidas, que comprende el suministro de combustible (8) en el fondo del reactor y la conducción del gas de producto (10) formado en la parte superior del reactor a un separador (1), por medio del cual las partículas sólidas se separan del gas y se devuelven al reactor (12), **caracterizado** porque el flujo de gas se usa para mantener en el reactor (1) un lecho fluidizado burbujeante (2, 7) que contiene partículas de material fluidizado más gruesas que tienen un tamaño en el intervalo de 0,2 a 1,5 mm y por encima de éste un lecho circulante (4) que contiene partículas de material fluidizado más finamente divididas que tienen un tamaño en el intervalo de 50 a 300 μm , y porque las partículas que se han separado del gas de producto para circulación se devuelven a la parte superior del lecho fluidizado burbujeante del reactor o por encima de éste.
2. Un procedimiento según se define en la reivindicación 1, **caracterizado** porque el lecho fluidizado burbujeante (1) contiene partículas de material fluidizado que tienen un tamaño en el intervalo de 0,3 a 1,5 mm.
3. Un procedimiento según se define en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque el gas de producto (17) extraído del separador (11) contiene partículas sólidas que tienen un tamaño en el intervalo de 10 a 70 μm .
4. Un procedimiento según se define en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque la velocidad de flujo del gas en el lecho circulante es igual o menor que la del lecho burbujeante.
5. Un procedimiento según se define en la reivindicación 4, **caracterizado** porque la velocidad de flujo del gas en el lecho circulante está en el intervalo de 1 a 1,5 m/s.
6. Un procedimiento según se define en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque al reactor se suministran partículas de material fluidizado más gruesas (13), que terminan en el lecho fluidizado burbujeante y partículas de material fluidizado más finamente divididas (14), que terminan en el lecho fluidizado circulante.
7. Un procedimiento según se define en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque al reactor (1) se suministran partículas de material fluidizado que tienen un tamaño en el intervalo de 0,3 a 1,5 mm y un material friable, de manera que la desintegración de las partículas da como resultado partículas que pasan del lecho fluidizado burbujeante al lecho fluidizado circulante.
8. Un procedimiento según se define en la reivindicación 7, **caracterizado** porque las partículas que han de añadirse son partículas de cal.
9. Un procedimiento según se define en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque el combustible (8) se suministra en el lecho fluidizado burbujeante (7).
10. Un procedimiento según se define en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque el separador es un ciclón (11), en el que la línea de separación entre partículas sólidas está aproximadamente en el intervalo de 50 a 70 μm .
11. Un procedimiento según se define en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque el gas de producto (17) extraído del separador (11) es conducido a un intercambiador de calor (19), en el que el gas se enfría al intervalo de temperatura de 600 a 720°C, y posteriormente a otro intercambiador de calor (20), en el que el gas se enfría adicionalmente a una temperatura de 450°C o menos, seguido por filtrado (23) del gas de producto.
12. Un procedimiento según se define en la reivindicación 11, **caracterizado** porque al gas de producto se añade un absorbente (21) para unión a partículas de ceniza en el primer intercambiador de calor (19).
13. Un procedimiento según se define en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque el combustible (8) que se gasificará es una biomasa finamente dividida, tal como pulpa de madera.
14. Un procedimiento según se define en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado** porque el combustible (8) que se gasificará contiene plástico.
15. Un procedimiento según se define en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado** porque el combustible (8) que se gasificará contiene cloro.
16. Un aparato de gasificación adecuado para el procedimiento definido en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende un reactor de lecho fluidizado (1), material fluidizado consistente en partículas sólidas, una entrada de alimentación (6) para generar un flujo de gas ascendente en el reactor, una entrada de alimentación de combustible (8), una entrada de alimentación (13, 14) para añadir material fluidizado al reactor, un conducto de escape del gas (10) que empieza en la parte superior del reactor, un separador (11) para separar partículas sólidas del gas de producto extraído del reactor y una línea de retorno (12) para devolver las partículas separadas al reactor,

ES 2 292 803 T3

caracterizado porque un lecho fluidizado burbujeante (7) que contiene partículas de material fluidizado más gruesas que tienen un tamaño en el intervalo de 0,2 a 1,5 mm puede proporcionarse en el reactor (1) y por encima de éste, un lecho circulante que contiene partículas de material fluidizado más finamente divididas que tienen un tamaño en el intervalo de 50 a 300 μm , terminando la línea de retorno (12) para devolución de las partículas del separador al reactor en el nivel de la parte superior del lecho fluidizado burbujeante o por encima de éste.

17. Un aparato según se define en la reivindicación 16, **caracterizado** porque el reactor comprende una parte inferior (2) para el lecho fluidizado burbujeante (7) y una parte superior (4) mayor en sección transversal para el lecho fluidizado circulante.

18. Un aparato según se define en la reivindicación 16 ó 17, **caracterizado** porque el separador es un ciclón (11).

19. Un aparato según se define en cualquiera de las reivindicaciones 16 a 18, **caracterizado** porque comprende dos intercambiadores de calor (19, 20) en sucesión en la dirección del flujo para enfriamiento gradual del gas de producto conducido desde el separador (11), y un filtro (23) para filtrar el gas de producto enfriado.

