



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 272 890**

51 Int. Cl.:

C10J 3/06 (2006.01)

C10J 3/16 (2006.01)

C10J 3/26 (2006.01)

C10J 3/66 (2006.01)

C10J 3/74 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **03090175 .5**

86 Fecha de presentación : **06.06.2003**

87 Número de publicación de la solicitud: **1371714**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **17.12.2003**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para producir un gas combustible a partir de biomasa.**

30 Prioridad: **15.06.2002 DE 102 26 862**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.05.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.05.2007

73 Titular/es: **GNS - Gesellschaft für Nachhaltige
Stoffnutzung mbH
Weinbergweg 23
06120 Halle, DE**

72 Inventor/es: **Spindler, Herbert y
Bauermeister, Ute**

74 Agente: **Curell Suñol, Marcelino**

ES 2 272 890 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 dispositivo para producir un gas combustible a partir de biomasa.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para producir un gas combustible a partir de biomasa, en particular madera, en un reactor de lecho fijo con vapor de agua y aire como medio de gasificación, utilizando catalizadores mixtos inorgánicos y a presión normal, con el objetivo de producir un gas combustible con una composición tal que sea apta para motores, es decir que prácticamente no contenga componentes que dañen el motor (alquitranes, polvos, metales dañinos), presente un alto poder calorífico y una elevada resistencia al picado
10 y su utilización en el motor no conduzca a gases de escape con constituyentes en cantidades que puedan resultar peligrosas.

Se conoce un procedimiento catalítico parcialmente alotérmico, tal como el que se describe en la solicitud de patente europea EP 1 167 492 A2. Con esta invención se logra ya la producción de un gas combustible pobre en alquitrán y apto para motores a partir de biomasa, cuyo poder calorífico supera con mucho al conseguido según el estado de la técnica utilizando aire como medio de gasificación en un gasificador de lecho fijo en isocorriente de una sola etapa, con el que hasta ahora podían producirse solamente gases débiles (el límite del poder calorífico de un gas débil se indica usualmente con 8,5 MJ/Nm³).

20 No obstante, se trata todavía solamente de un gas medio con un poder calorífico inferior que no supera los 10 a 12 MJ/Nm³.

Debido a su composición (proporción más alta de hidrógeno que está comprendida entre 20 y 30% en volumen), su resistencia al picado es pequeña.

25 El objetivo de la invención es producir de manera efectiva un gas combustible de gran poder calorífico con propiedades mejoradas para motores, en particular con una proporción elevada de hidrocarburos sencillos.

30 Como problema resulta de esto el mejorar las propiedades del gas combustible aptas para motores, en particular aumentando la proporción de hidrocarburos sencillos en el mismo y, simultáneamente, incrementar aún más el poder calorífico.

Según la invención, esto se alcanza con un procedimiento para producir un gas combustible a partir de biomasa, en particular a partir de madera, en un reactor de gasificación de lecho fijo con vapor de agua y aire como medio de gasificación, utilizando unos catalizadores mixtos inorgánicos, en los que la biomasa así dopada se calienta, se seca, se recalienta con vapor caliente y aire caliente, se gasifica y, después del enfriamiento parcial de la corriente de gas bruto, se retira y se purifica para obtener así un gas combustible apto para motores, por el hecho de que:

- 40 - la biomasa es sucesivamente dopada con catalizadores mixtos multifuncionales y, después de suministrarla a la parte superior del reactor (zona a), se calienta primero con vapor caliente hasta 100 a 200°C, se purga de aire y se seca,
- la biomasa se recalienta de manera inerte a 300 hasta como máximo 400°C por medio de la inyección de vapor caliente en la parte superior del reactor situado debajo (zona b),
- 45 - la biomasa coquizada en la parte media del reactor (zona c) se solicita en al menos dos cantidades parciales con aire caliente de tal modo que la cantidad total de aire no exceda de 0,7 kg de aire por kg de biomasa, referido a la sustancia de secado, y la temperatura aumente escalonadamente a 500 hasta al menos 750°C,
- 50 - la masa de coque incandescente (reducida ya fuertemente por la reactólisis progresiva) se conduce rápidamente a través de un estrechamiento del reactor, pero recorre lentamente la parte situada por debajo de éste (zona d), no excediendo la temperatura del lecho incandescente los 900°C por encima del estrechamiento, pero descendiendo rápidamente a valores entre 700 y 300°C por debajo del estrechamiento en una zona de reacción secundaria,
- 55 - el gas bruto formado en la parte inferior del espacio de reacción sale a temperaturas entre 300 y 400°C, se succiona desde el reactor y se purifica de una manera en sí conocida,
- 60 - mientras que la biomasa reaccionada en la parte más inferior del reactor se descarga del espacio de reacción como ceniza caliente a través de una parrilla, evitando la entrada de aire.

Preferentemente, el catalizador mixto inorgánico consta de compuestos de los dos primeros grupos principales del Sistema Periódico y del octavo subgrupo, amasándose éste convenientemente con tal cantidad de agua que por 10 kg de biomasa, referido a la masa seca de la misma, se absorben de 300 a 1500 g de agua y la suspensión sobrenadante es introducida en la biomasa y el resto de la mezcla de catalizadores se añade solamente después de una acción de al menos 15 minutos.

ES 2 272 890 T3

Preferentemente, la biomasa dopada en la zona a (zona de secado) del reactor se calienta por medio del suministro de vapor de agua recalentado a 105 hasta 150°C y se ajusta con ello a una presión de vapor de agua que supera la presión del aire ambiente en alrededor de 1 a 20 mbar.

- 5 Es ventajoso que la biomasa calentada dopada en la zona b (zona de termolisis) situada debajo de la zona a se caliente con vapor caliente a una temperatura de 270 a 290°C, inyectándose el vapor caliente con una presión que asciende a 5 a 20 mbar sobre la presión utilizada en la zona a.

- 10 Convenientemente, el aire caliente inyectado en la región superior de la zona c (zona de reactivación) deberá tener una presión que esté entre las utilizadas en la zona a y en la zona b, estando la cantidad de aire utilizada comprendida entre 0,05 y 0,2 kg de aire por kg de biomasa, referido a la sustancia seca.

- 15 Es ventajoso que, por medio de la variación de las presiones en las zonas b y c, las temperaturas en la región límite entre las zonas b y c estén, entre 350° y 550°C.

- Una forma de procedimiento ventajosa consiste en que en la región intermedia de la zona c se dosifiquen de 0,2 a 0,5 kg de aire muy caliente a 450 a 500°C por kg de biomasa a través de toberas de aire caliente adicionales con una presión que esté comprendida entre 2 y 10 mbar por debajo de la utilizada en la región de la zona c que está encima.

- 20 Es conveniente que el gas bruto formado llegue a la zona d (zona de reacción secundaria) con una temperatura máxima de 800°C y se conduzca en dicha zona d hasta el extremo inferior de la misma, bajo enfriamiento escalonado hasta un mínimo de 300°C, a través de un sistema de parrilla, en contacto con ceniza caliente, salga allí hacia conductos de gas bruto y sea succionado desde el reactor por depresión.

- 25 Preferentemente, las temperaturas deberán estar comprendidas entre 700 y 750°C en la entrada a la zona d y deberá realizarse el enfriamiento escalonado a 350°C hasta 400°C.

- 30 En este caso, la depresión deberá ajustarse de tal manera que la presión interior del gas en el reactor, en las proximidades del estrechamiento, caiga por debajo de la presión del aire ambiente y se logre la temperatura máxima de la reactivación de 900°C, preferentemente 850°C a 890°C, por encima del estrechamiento, ascendiendo la diferencia de presión en la zona d con respecto a la presión del aire ambiente a un valor de 5 a 15 mbar.

En resumen, las relaciones preferidas de las presiones una con respecto a otra se pueden representar como sigue:

		Diferencia correspondiente
35	Presión del aire ambiente	p_0 $p_1 > p_0$
	Presión en la parte superior de la zona a	p_1 $p_2 > p_1$ 1 a 20 mbar
	Presión en la zona b	p_2 $p_1 < p_3 < p_2$ 5 a 20 mbar
40	Presión en la parte superior de la zona c	p_3 $p_4 < p_3$
	Presión en la parte media de la zona c	p_4 $p_0 > p_5$ 2 a 10 mbar
	Presión por debajo de la zona del estrechamiento	p_5 5 a 15 mbar

- 45 Esto se representa esquemáticamente en la Figura 2.

- Se ha encontrado inesperadamente que, contra toda teoría, se consigue elevar de manera decisiva la proporción de hidrocarburos inferiores sin formación simultánea de alquitran por medio del descenso del coeficiente de exceso de aire λ a valores $\lambda < 0,1$. Por tanto, se alcanza un poder calorífico $H_U > 10 \text{ MJ/Nm}^3$, desciende simultáneamente el contenido de hidrógeno a menos del 20% en volumen, junto con una elevación del contenido de hidrocarburos sencillos, en particular metano, a más del 15% en volumen, y se eleva claramente el índice de metano. La consecución de un coeficiente de aire λ lo más bajo posible es ya deseable porque se liga automáticamente con el una reducción del nitrógeno en el gas combustible, que representa tan sólo un diluyente.

- 55 No obstante, con el procedimiento de gasificación según el estado de la técnica no se ha conseguido hasta ahora un descenso del coeficiente de exceso de aire λ (denominado también “equivalence ratio”, “relación de equivalencia”) por debajo de un valor de 0,2 a 0,3. En el mundo de los especialistas se parte de que con valores de λ por debajo de 0,18 tiene lugar solamente una transformación pirolítica de la biomasa (véase M. Spitz, Kraftgas aus Holz zur alternativen Verwendung in Zündstrahl-Dieselmotoren, Holzgas erzeugung, Gasaufbereitung, chemische und physikalische Kraftstoffeigenschaften, Erdgassubstitution, Emissions- und Betriebsverhalten, pág. 18, Shaker Verlag, Aachen 1999), es decir, la fuerza de oxidación del oxígeno contenido en el aire no es suficiente para alcanzar las altas temperaturas necesarias para una realización efectiva de la reacción. Una gasificación según el estado de la técnica requiere, para la realización de las reacciones de gasificación endotérmicas, un suministro de energía a temperaturas altas por encima de 1200°C, que sólo puede conseguirse por la oxidación de material que contiene C, para lo cual se han utilizado 65 coeficientes de aire de 0,3 a 0,4 y más. Esto significa que debe gastarse una parte considerable de la energía química de la biomasa a gasificar para calentar el producto de gasificación hasta un nivel tan alto, pero con ello se reduce sensiblemente el rendimiento de la gasificación.

ES 2 272 890 T3

Dado que en la descomposición pirolítica de la biomasa se originan también productos líquidos (“alquitranes”), que son indeseables, se requieren también las altas temperaturas de gasificación para disociar estos productos de alto peso molecular en gases sencillos.

5 Sorprendentemente, se ha encontrado que en unión del principio de gasificación catalítica parcialmente alotérmica y por medio del acoplamiento escalonado de pasos del procedimiento termolíticos, reactolíticos, oxidativos y reductivos según la invención, se consigue materializar un bajo coeficiente de aire y, con elevadas tasas de transformación, temperaturas de reacción relativamente bajas en su conjunto y rendimientos del gas frío por encima de 90%, se consigue producir un gas pobre en alquitrán, con alto poder calorífico y resistente al picado y con un elevado contenido de metano.

10 El dispositivo para producir un gas combustible a partir de biomasa, en particular a partir de madera, para la gasificación de lecho fijo catalítica parcialmente alotérmica de biomasa con vapor de agua y aire se presenta en forma de un gasificador de isocorriente 1 modificado exteriormente cilíndrico para gasificación descendente con una altura h, con una compuerta de entrada de material 2 por encima del reactor propiamente y un colector de cenizas con salida de cenizas 13 por debajo del reactor propiamente, y se caracteriza según la invención porque el reactor de gasificación está constituido por cuatro zonas (a, b, c, d) y ofrece las siguientes características presentes de arriba abajo:

- 20 - unas toberas de salida de vapor 3 en la parte más superior de la zona a,
- unas toberas de entrada de vapor 4 en el centro de la zona a,
- unas toberas de vapor caliente 5 en la parte superior de la zona b,
- 25 - unas toberas de aire 6 en la parte superior de la zona c,
- unas toberas de aire caliente 7 en la parte media de la zona c,
- 30 - un estrechamiento 8 del reactor entre las zonas c y d,
- un anillo de salida de gas bruto 9 en la parte más superior de la zona d,
- un sistema de parrilla 10 como parte interior de la zona d,
- 35 - unos conductos de salida de gas bruto 11 en forma de una envuelta cilíndrica de la zona d,
- unos sistemas de utilización de calor perdido 12 entre la zona d y los conductos de gas bruto 11,

40 ensanchándose la sección transversal cilíndrica en las zonas a y d de arriba abajo a modo de tronco cono y la sección transversal en las zonas b y c se estrecha de arriba abajo a modo de tronco de cono.

En este caso, el reactor está dividido en cuatro zonas con los radios exteriores y los radios interiores, extendiéndose la zona a sobre la altura (longitud) h_a , la zona b sobre h_b , la zona c sobre h_c y la zona d sobre h_d , es decir que la altura total h es la suma de $h_a + h_b + h_c + h_d$.

Las alturas de las zonas de reacción a a d tienen convenientemente los siguientes valores:

- | | | |
|----|---|---|
| 50 | - zona a (zona de secado), | $h_a = 0,10 \text{ h a } 0,20 \text{ h,}$ |
| | - zona b (zona de termolisis), | $h_b = 0,15 \text{ h a } 0,25 \text{ h,}$ |
| | - zona c (zona de reactolisis), | $h_c = 0,25 \text{ h a } 0,35 \text{ h,}$ |
| | - zona d (zona de reacción secundaria), | $h_d = 0,30 \text{ h a } 0,40 \text{ h.}$ |

55 El reactor 1 está constituido, en su configuración exterior, por dos cilindros colocados coaxialmente uno sobre otro, comprendiendo el cilindro superior en su alineación vertical las zonas a a c y comprendiendo el inferior la zona d, siendo mayor el radio exterior del cilindro inferior que el radio del cilindro superior y poseyendo el revestimiento interior la forma de tres troncos de cono colocados coaxialmente uno sobre otro.

60 Si se designan los radios interiores en los puntos A, B, C, D, E del reactor con $R_A \dots R_E$, se tiene entonces preferentemente que $R_B > R_A$, $R_D < R_E \leq R_C$ con R_D como punto más estrecho del revestimiento interior del reactor.

Preferentemente, el radio interior R_D del reactor cilíndrico en el estrechamiento 8 deberá ser de 0,3 a 0,5 veces, preferentemente 0,35 veces, el radio interior máximo R_B y R_E deberá ser de 0,8 a 0,9 veces R_B .

65 En la zona d está montada convenientemente una estructura interna de tiras metálicas dispuestas desplazadas una sobre otra altamente resistente al calor de acero, estando dimensionadas las hendiduras entre las tiras de tal

manera que los residuos de gasificación calientes puedan resbalar posteriormente de una tira a otra, pero se encuentre continuamente sobre las tiras un montón de ceniza caliente.

Una configuración conveniente consiste en que el sistema de parrilla en la zona d está configurado como una parrilla giratoria con fondos ranurados y un árbol giratorio con álabes.

En la figura 1 está representada esquemáticamente en sección longitudinal una forma de realización preferida del dispositivo según la invención, en la que se muestran:

- 1- Reactor de gasificación en su totalidad
- 2- Compuerta de entrada de material
- 3- Anillo de toberas de salida de vapor
- 4- Anillo de toberas de entrada de vapor
- 5- Anillo de toberas de vapor caliente
- 6- Anillo de toberas de aire
- 7- Anillo de toberas de aire caliente
- 8- Lugar de estrechamiento
- 9- Anillo de salida de gas bruto
- 10- Estructura interna en la zona d
- 11- Conducto de gas bruto
- 12- Sistema de calentamiento de vapor/aire
- 13- Salida de cenizas
- 14- Sistema de aislamiento.

Para ilustrar mejor las características esenciales del gasificador 1 con la altura total h, éste está distribuido en cuatro zonas a a d en la figura 1.

A través de la compuerta de entrada 2, que está dispuesta en el punto A del reactor, es decir, en su extremo superior, la biomasa pretratada mecánicamente, dopada con el catalizador, llega al reactor. Se encuentra aquí el anillo de salida de vapor 3, del cual sale vapor de escape con una presión $p_0 + dp$ que está solamente un poco por encima de la presión exterior p_0 y con una temperatura que está algo por encima de 100°C . En el centro de la zona a (zona de secado) está situado el anillo de toberas de entrada de vapor superior 4, a través del cual se inyecta vapor con la sobrepresión $p_1 > p_0$ y con una temperatura de aproximadamente 200°C en la biomasa reducida, que se calienta así a aproximadamente más de 100°C y con ello se seca. En el extremo inferior de la zona a en el punto B se inyecta en el reactor, a través del anillo de entrada de toberas de vapor caliente 5, vapor muy caliente con la sobrepresión $p_2 > p_1$ y con una temperatura de 300 a 400°C , preferentemente 350°C .

El vapor caliente la biomasa de por encima del anillo 5 a al menos 200°C y la que está debajo en la zona b (zona de termolisis) a 300°C , originándose un coque activo junto con una pérdida considerable de masa. En el punto C en la parte inferior de la zona b se inyecta en el reactor aire caliente de aproximadamente 350°C por medio del anillo de toberas de aire 6 con la sobrepresión $p_3 < p_2$.

Por tanto, el coque activado adicionalmente por medio de este tratamiento entra en la zona de reactolisis c y se calienta a más de 500°C . En la parte superior de la zona c se encuentra el anillo de toberas de aire caliente 7, a través del cual se inyecta en el reactor aire muy caliente de 450 a 500°C , preferentemente 480°C , con la sobrepresión $p_4 < p_3$. Por medio de la reactolisis oxidativa progresiva se calienta la masa de coque activo a un máximo de 900°C con pérdida de masa adicional y reducción del volumen.

Debido a las reacciones de gasificación endotérmicas que se desarrollan, se enfría a al menos 800°C a 700°C la masa de reacción consumiendo prácticamente todo el oxígeno libre contenido en el gas, y esta masa pasa por el estrechamiento 8 en el punto D a la zona de reacción secundaria d. Asimismo, a la altura del punto D se encuentra el anillo de salida de gas bruto 9, a través del cual el gas bruto abandona el reactor. En la proximidad del estrechamiento 8 la presión del gas en el reactor alcanza de nuevo la presión normal p_0 . El espacio intermedio entre las zonas b y c del reactor interior configuradas a manera de troncos de cono invertidos y la envolvente cilíndrica exterior del reactor está relleno de material de aislamiento calorífugo.

ES 2 272 890 T3

La figura 2 muestra esquemáticamente el transcurso de la presión y de la temperatura en el reactor.

A través de la estructura interna 10 en la zona d, que está configurada preferentemente como un sistema de parrilla giratoria, la ceniza caliente provista aún de proporciones residuales que contienen carbono llega escalonadamente la salida de ceniza 13 por debajo del punto E. En la zona d tienen lugar reacciones secundarias principalmente exotérmicas del gas bruto contenido en la ceniza caliente, de modo que, a pesar del enfriamiento originado por el sistema de calentamiento de vapor/aire 12, que está dispuesto alrededor de la parte del reactor que forma la zona d, dicha ceniza se enfría tan sólo lentamente a un mínimo de 300°C. La salida de la ceniza está configurada de tal manera que se evita el suministro de aire al sistema de parrilla giratoria. En el extremo inferior de la zona d entra el gas bruto caliente en el conducto 11 que lleva al anillo de salida del gas bruto 9, donde se succiona el gas con la depresión $p_5 < p_0$.

En una variante preferida de la estructura interna 10 el sistema de parrilla en la zona d está configurado como parrilla giratoria con fondos ranurados y un árbol sin presión con álabes. Debido a los fondos de parrilla giratoria metálicos de la variante preferida de la estructura interna 10 se transporta el calor a través de las paredes interiores de la zona de reacción secundaria d hasta el sistema de utilización de calor 12, en el que unos tubos metálicos transfieren el calor al vapor o al aire. Desde aquí los medios calientes se conducen a los anillos de toberas 5 a 7.

Es una ventaja especial de la invención que la gasificación se realice de una etapa y en un paso recto según el procedimiento propuesto y, de este modo, se genere un gas limpio de alto poder calorífico con elevada efectividad de energía y un mínimo del medio de gasificación, cuyo gas contiene solamente muy poco del diluyente nitrógeno, mientras que presenta una relación bien determinada de metano a hidrógeno y, por tanto, posee muy buenas propiedades aptas para un motor.

La invención se describe con más detalle en los ejemplos siguientes, sin que éstos sean limitativos.

Ejemplo 1

Se doparon unas piezas prensadas producidas a partir de virutas de madera en forma de nódulos de 4 cm de grosor con una papilla de la porción inorgánica de un proceso cuyo residuo concentrado por evaporación, referido a los óxidos y normalizado, contenía (en % en masa), 55 de Na_2O , 12 de K_2O , 20 de CaO , 3 de MgO , 5 de Fe_2O_3 (resto de Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 y trazas de metales pesados como Ni, Mn, Zn, Cu, Pb, Cr). En este caso, se pulverizaron primero 3 l de la solución sobrenadante en 100 kg de nódulos y, después de 30 minutos, se añadió el resto de la mezcla. Los aditivos ascendían a 2,1% en masa, referido a las sustancias secas.

Los nódulos dopados precalentados se introdujeron en cantidades de 50 kg/h, referido a la sustancia seca, a través de la compuerta de entrada de material 2, en un reactor correspondiente a la figura 1.

Por medio de las toberas de entrada de vapor 4 se agregaron 15 kg/h de vapor de 200°C con una presión de $p_1 = 1030$ mbar a una presión exterior de $p_0 = 1010$ mbar. A través del anillo de salida de vapor 3 salió nuevamente el vapor refrigerado a 105°C con 1015 mbar de presión y se le hizo retornar después de un tratamiento intermedio. A través de las toberas de vapor caliente 5 se inyectó vapor caliente con una presión de $p_2 = 1050$ mbar a 380°C y se calentó así la biomasa a más de 200°C.

Por medio de las toberas de aire 6 se inyectaron 5 kg/h de aire de 360°C con $p_3 = 1040$ mbar en el reactor y se inició así la reactólisis. La temperatura ascendió a aproximadamente 550°C en el centro del reactor.

Por medio de las toberas de aire caliente 7 se agregaron 20 kg/h adicionales de aire caliente a 530°C con una presión de $p_4 = 1025$ mbar. La temperatura interior del reactor aumentó a 890°C, en la proximidad del lugar de estrechamiento 8 cayó a un poco por debajo de 800°C y se redujo aún más hasta 400°C un poco por encima de la salida de ceniza 13.

En la salida de gas 9 se succionaron 64 Nm^3/h de gas bruto caliente a 310°C con una presión de 995 mbar corregido al contenido de vapor de agua (en seco) y referido a las condiciones normales.

Después de su purificación y secado, este gas era apto para motores y tenía una composición (en % en volumen) de 12,6 de H_2 , 8,4 de CO, 24,6 de CH_4 , 1,8 de $\text{C}_2\text{-C}_7$, 0,6 de aromáticos ligeros, 31,7 de CO_2 , 20,3 de N_2 , de lo que resulta un poder calorífico de $H_U = 13,4$ MJ/ Nm^3 .

Ejemplo 2

Se solicitaron recortes de madera vieja secada al aire, de una longitud media de 4 cm, en un mezclador de tambor con una papilla de solución de sosa concentrada y un fango mineral, para lo cual se pulverizaron primero 5 l de la solución sobrenadante sobre 100 kg y, después de una acción de una hora, se añadió el fango restante. La madera húmeda así tratada presentaba un contenido de materiales relevantes según la invención de 0,7% en masa de Na_2O , 0,2% en masa de K_2O , 0,4% en masa de CaO , 0,1% en masa de MgO y 0,3% en masa de Fe_2O_3 , referido a la masa seca y calentado sobre dos óxidos metálicos, así como trazas de Ni y Co.

Este material se introdujo precalentado, en una cantidad de 50 kg/h, a través de la compuerta de entrada de material 2 en el reactor según la figura 1.

ES 2 272 890 T3

Por medio de las toberas de entrada de vapor 4 se agregaron 25 kg/h de vapor de 210°C con una presión de $p_1 = 1015$ mbar a una presión exterior de $p_0 = 1000$ mbar. A través del anillo de salida de vapor 3 salió nuevamente el vapor enfriado a 105°C con una presión de 1005 mbar y se la hizo retornar después de un tratamiento intermedio.

- 5 Por medio de las toberas de vapor caliente 5 se inyectó vapor caliente a 360°C con una presión de $p_2 = 1030$ mbar y se calentó así la biomasa a una temperatura por encima de 200°C.

10 Por medio de las toberas de aire 6 se inyectaron 3 kg/h de aire de 350°C con $p_3 = 1015$ mbar en el reactor y se inició así la reactivación. La temperatura subió a algo más de 500°C en el centro del reactor.

15 Por medio de las toberas de aire caliente 7 se suministraron 15 kg/h adicionales de aire caliente a 510°C con una presión de $p_4 = 1010$ mbar. La temperatura interior del reactor subió a 880°C en la proximidad del lugar de estrechamiento 8 cayó a algo menos de 800°C y se redujo aún más hasta 350°C un poco por encima de la salida de ceniza 13.

20 En la salida de gas 9 se succionaron 68 Nm³/h de gas bruto caliente a 300°C con una presión de 990 mbar, corregido al contenido de vapor de agua (en seco) y referido a las condiciones normales.

25 Después de su purificación y secado, este gas era plenamente apto para motores y tenía una composición (en % en volumen) de 17,9 de H₂, 10,4 de CO, 22,0 de CH₄, 1,7 de C₂-C₇, 0,6 de aromáticos ligeros, 30,0 de CO₂, 17,3 de N₂, de lo que se calcula un poder calorífico de $H_U = 13,0$ MJ/Nm³.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para producir un gas combustible a partir de biomasa, en particular a partir de madera, en un reactor de gasificación de lecho fijo con vapor de agua y aire como medio de gasificación, utilizando unos catalizadores mixtos inorgánicos, en el que la biomasa dopada de este modo se calienta, se seca, se recalienta con vapor caliente y aire caliente, se gasifica y, después de un enfriamiento parcial de la corriente de gas bruto, se retira y se purifica para obtener así un gas combustible apto para motores, **caracterizado** porque
 - la biomasa es sucesivamente dopada con unos catalizadores mixtos multifuncionales y, después de su entrada en la parte superior del reactor (zona a), se calienta primero con vapor caliente a 100 hasta 200°C, se purga de aire y se seca,
 - la biomasa es calentada de manera inerte a 300 hasta como máximo 400°C por inyección de vapor caliente en la parte superior del reactor dispuesto debajo (zona b),
 - la biomasa coquizada en la parte media del reactor (zona c) es solicitada en al menos dos cantidades parciales con aire caliente de tal modo que la cantidad total de aire no exceda de 0,7 kg de aire por kg de biomasa, referido a la sustancia seca, y la temperatura aumente escalonadamente a 500 hasta al menos 750°C,
 - la masa de coque incandescente, ya reducida fuertemente por la reactólisis progresiva, se conduce rápidamente a través de un estrechamiento del reactor, pero recorre lentamente la parte situada por debajo de ésta (zona d), no excediendo la temperatura del lecho incandescente por encima del estrechamiento de 900°C, pero decreciendo rápidamente hasta valores comprendidos entre 700 y 300°C por debajo del estrechamiento en una zona de reacción secundaria,
 - el gas bruto formado en la parte inferior de la zona de reacción sale a temperaturas entre 300 y 400°C, es succionado desde el reactor y se purifica de una forma en sí conocida,
 - mientras que, la biomasa reaccionada en la parte más inferior del reactor se descarga del espacio de reacción a través de una parrilla como ceniza caliente evitando la entrada de aire.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el catalizador mixto inorgánico de compuestos de los dos primeros grupos principales del Sistema Periódico y del octavo subgrupo es amasado con tanta agua que por 10 kg de biomasa, referido a la masa seca de la misma se absorben de 300 a 1500 g de agua, y porque la suspensión sobrenadante es introducida bajo agitación en la biomasa y el resto de la mezcla de catalizadores se incorpora solamente después de una acción de al menos quince minutos.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 y 2, **caracterizado** porque la biomasa dopada se calienta en la zona a (zona de secado) del reactor hasta 105 a 150°C por el suministro de vapor de agua calentado y se ajusta con ello una presión de vapor de agua que excede la presión del aire ambiente en aproximadamente 1 a 20 mbar.
4. Procedimiento según una o varias de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque la biomasa calentada dopada en la zona b (zona de termólisis) que está debajo de la zona a, se calienta con vapor caliente a una temperatura de 270 a 290°C, inyectándose el vapor caliente con una presión que está entre 5 y 20 mbar por encima de la presión utilizada en la zona a.
5. Procedimiento según una o varias de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque en la parte superior de la zona c (zona de reactólisis) se inyecta aire caliente a una presión que está entre las presiones utilizadas en la zona a y en la zona b, estando la cantidad de aire utilizada comprendida entre 0,05 y 0,2 kg de aire por kg de biomasa, referido a la sustancia seca.
6. Procedimiento según una o varias de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque en la parte media de la zona c se dosifican de 0,2 a 0,5 kg de aire muy caliente de 450 a 500°C por kg de biomasa, a través de unas toberas de aire caliente adicionales, a una presión que está comprendida entre 2 y 10 mbar por debajo de la presión en la parte de la zona c dispuesta encima.
7. Procedimiento según una o varias de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** porque el gas bruto formado llega a la zona d (zona de reacción secundaria) con una temperatura máxima de 800°C y se conduce en esta zona, bajo un enfriamiento escalonado hasta un mínimo de 300°C, a través de un sistema de parrilla, en contacto con ceniza caliente, hasta el extremo inferior de la zona d, sale de allí en conductos de gas bruto y se succiona con depresión desde el reactor.
8. Procedimiento según la reivindicación 7, **caracterizado** porque se ajusta la depresión de tal manera que la presión interior del gas en el reactor cae por debajo de la presión del aire ambiente en las proximidades del estrechamiento y la temperatura máxima de la reactólisis de 900°C, preferentemente de 850 a 890°C, se obtiene por encima del estre-

ES 2 272 890 T3

chamamiento, ascendiendo la diferencia de presión en la zona d, con respecto a la presión del aire ambiente, a un valor comprendido entre 5 y 15 mbar.

9. Dispositivo para producir un gas combustible a partir de biomasa, en particular a partir de madera, para la gasificación de lecho fijo catalítica parcialmente alotérmica de biomasa con vapor de agua y aire, en forma de un gasificador de corriente continua modificado exteriormente cilíndrico (1) para la gasificación descendente, con una altura h, con una compuerta de entrada de material (2) por encima del reactor propiamente dicho y con un colector de ceniza que tiene una salida de ceniza (13) por debajo del reactor propiamente, **caracterizado** porque el reactor de gasificación está constituido por cuatro zonas (a, b, c, d) y presenta las siguientes características presentes de arriba abajo:

- unas toberas de salida de vapor (3) en la parte más superior de la zona a,
- unas toberas de entrada de vapor (4) en el centro de la zona a,
- unas toberas de vapor caliente (5) en la parte superior de la zona b,
- unas toberas de aire (6) en la parte superior de la zona c,
- unas toberas de aire caliente (7) en la parte media de la zona c,
- un estrechamiento (8) del reactor entre las zonas c y d,
- un anillo de salida de gas bruto (9) en la parte más superior de la zona d,
- un sistema de parrilla (10) como parte interior de la zona d,
- unos conductos de salida de gas bruto (11) en forma de una envuelta cilíndrica de la zona d,
- unos sistemas de utilización de calor perdido (12) entre la zona d y los conductos de gas bruto (11),

en la que la sección transversal cilíndrica se ensancha de arriba abajo a manera de tronco de cono en las zonas a y d y la sección transversal en las zonas b y c se estrecha de arriba abajo a manera de tronco de cono.

10. Dispositivo (reactor de gasificación) a partir de biomasa según la reivindicación 9, **caracterizado** porque las alturas de las zonas de reacción a a d presentan los siguientes valores:

- | | |
|---|---|
| - zona a (zona de secado), | $h_a = 0,10 \text{ h a } 0,20 \text{ h,}$ |
| - zona b (zona de termolisis), | $h_b = 0,15 \text{ h a } 0,25 \text{ h,}$ |
| - zona c (zona de reactolisis), | $h_c = 0,25 \text{ h a } 0,35 \text{ h,}$ |
| - zona d (zona de reacción secundaria), | $h_d = 0,30 \text{ h a } 0,40 \text{ h.}$ |

11. Dispositivo (reactor de gasificación) según la reivindicación 9 y 10, **caracterizado** porque el reactor (1) en su configuración exterior está constituido por dos cilindros coaxialmente situados uno sobre otro, comprendiendo el cilindro superior en su alineación vertical las zonas a a c y comprendiendo el cilindro inferior la zona d, siendo mayor el radio exterior del cilindro inferior que el radio del cilindro superior y presentando el revestimiento interno la forma de tres troncos de cono situados coaxialmente uno sobre otro.

12. Dispositivo (reactor de gasificación) según una o varias de las reivindicaciones 9 a 11, **caracterizado** porque el sistema de parrilla en la zona d está configurado como una parrilla giratoria con fondos ranurados y un árbol giratorio con álabes.

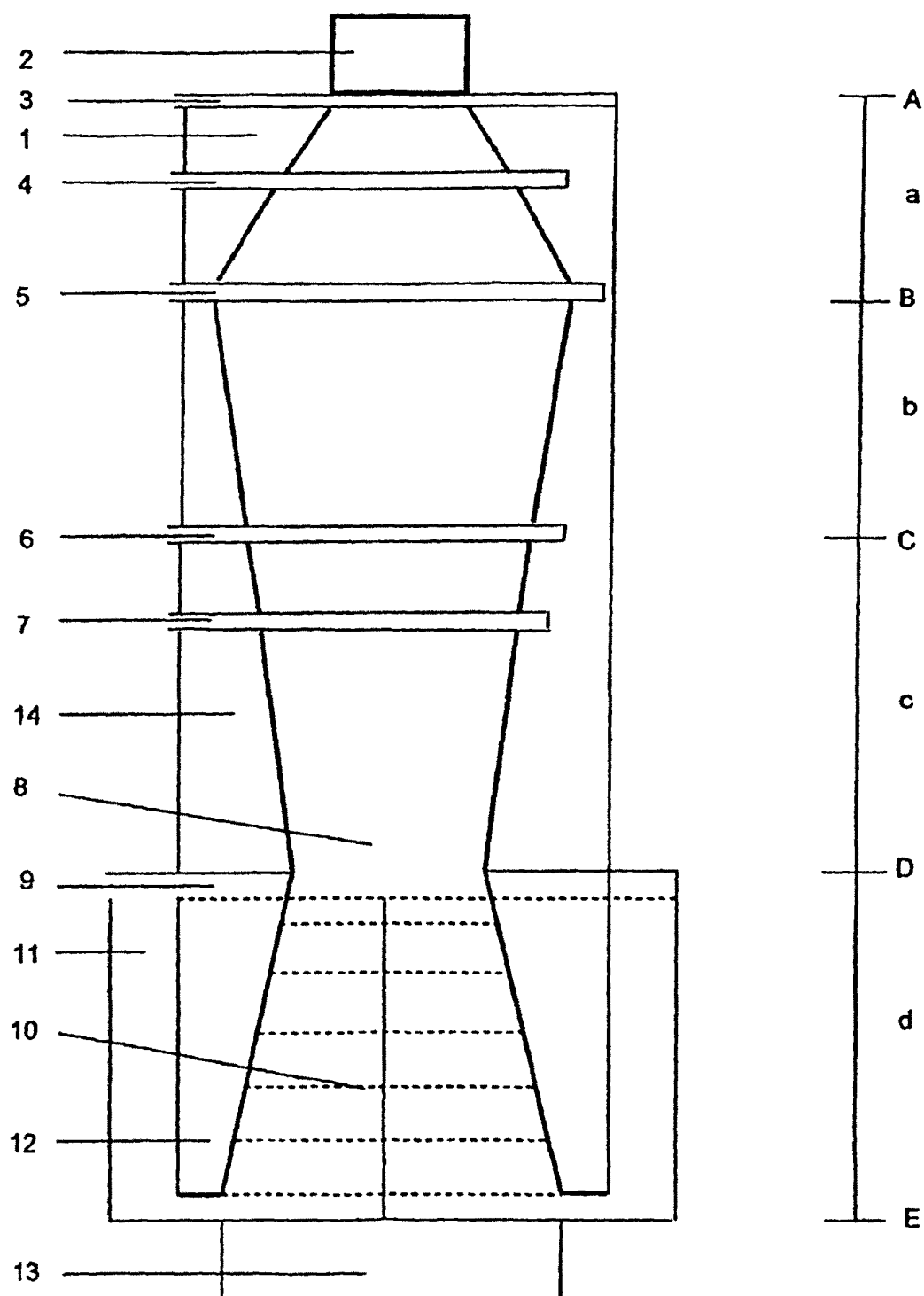


FIGURA 1 SECCIÓN LONGITUDINAL A TRAVÉS DEL REACTOR

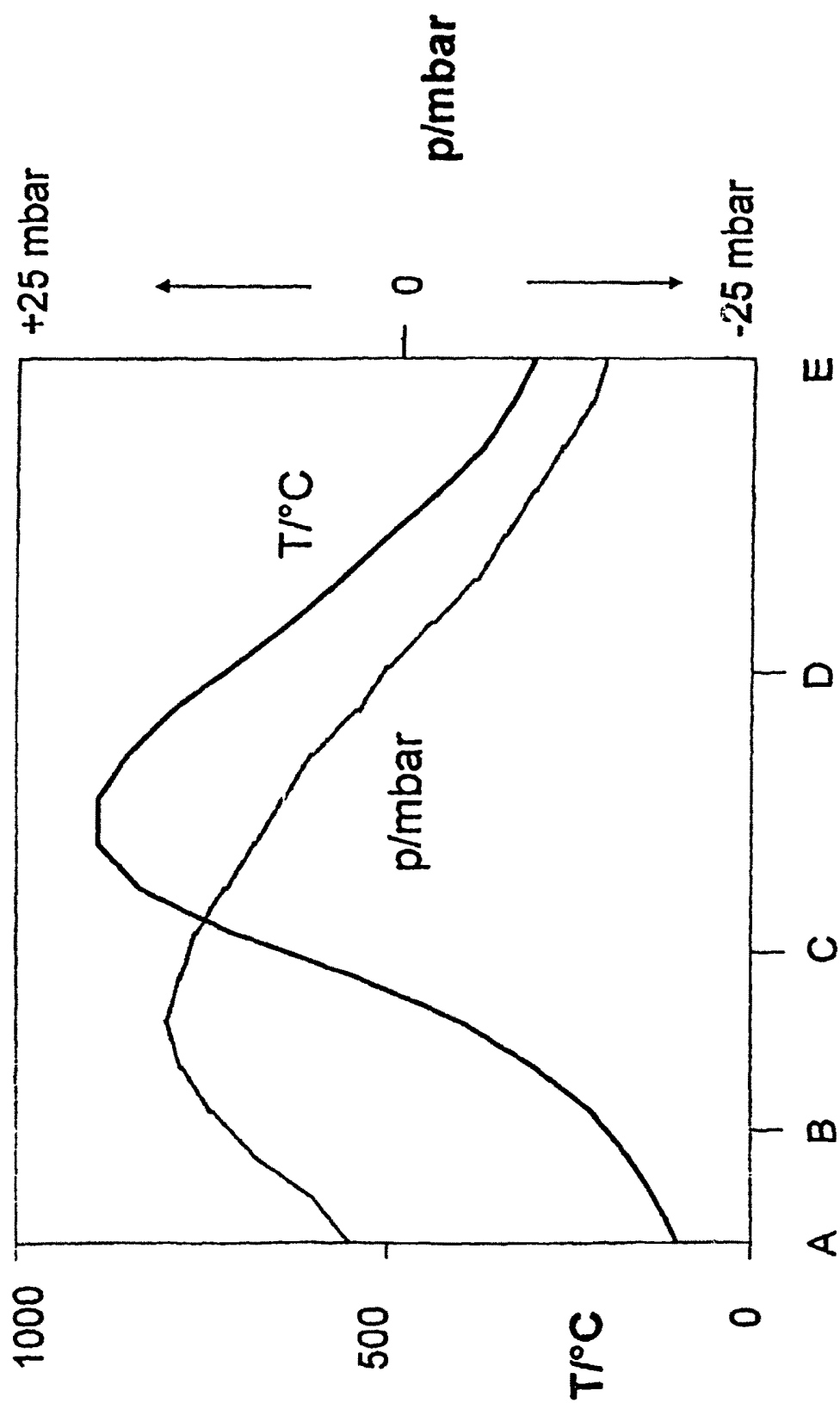


FIGURA 2 EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA Y LA PRESIÓN EN EL REACTOR