(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 555 907**

(51) Int. CI.:

C10B 7/10 (2006.01)
C10B 49/16 (2006.01)
C10B 51/00 (2006.01)
C10J 3/20 (2006.01)
C10J 3/26 (2006.01)
C10J 3/66 (2006.01)
C10J 3/00 (2006.01)
C10B 53/02 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.05.2009 E 13175615 (7)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.10.2015 EP 2653523**

(54) Título: **Tratamiento térmico de biomasa**

(30) Prioridad:

14.05.2008 GB 0808739

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.01.2016

(73) Titular/es:

ASTON UNIVERSITY (100.0%)
Aston Triangle
Birmingham, West Midlands B4 7ET, GB

(72) Inventor/es:

HORNUNG, ANDREAS y
APFELBACHER, ANDREAS

(74) Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

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

Tratamiento térmico de biomasa

Antecedentes de la invención

Campo de la invención

La presente invención se refiere al tratamiento térmico de biomasa. Tiene una aplicación particular, aunque no exclusiva, en los reformadores de la pirólisis de biomasa para la producción de combustibles sólidos y gaseosos renovables a partir de biomasa.

Técnica anterior

La pirólisis de la biomasa es la descomposición térmica de la biomasa (p. ej., material vegetal tal como madera y corteza de madera) sustancialmente en ausencia de oxígeno. Normalmente, la biomasa es una mezcla de hemicelulosa, celulosa, lignina y cantidades pequeñas de otras sustancias orgánicas. Estos componentes normalmente pirolizan o se degradan a velocidades diferentes y mediante diferentes mecanismos y vías.

Un ejemplo tradicional de pirólisis de biomasa es la producción de carbón, en la que el producto principal de la pirólisis son residuos carbonosos. Técnicas de pirólisis de la biomasa alternativas proporcionan un producto que, después de enfriar, incluye una sustancial proporción de líquido. Este líquido normalmente es un líquido marrón oscuro que tiene un valor de calentamiento que es aproximadamente la mitad del valor de calentamiento del petróleo convencional. Normalmente, el líquido se denomina biocombustible. En algunas circunstancias, es el biocombustibles que es el producto más valioso de la reacción de pirólisis, ya que el biocombustible puede almacenarse fácilmente para su uso posterior, por ejemplo para la generación de calor y/o electricidad. No obstante, en otras circunstancias, los productos gaseosos pueden ser más útiles, por ejemplo en localizaciones rurales para aplicaciones combinadas de calor y potencia (CHP) en las que el has se puede usar para producir electricidad.

La velocidad y la extensión de la descomposición de los componentes de la biomasa dependen de los parámetros del proceso del reactor de pirólisis. A su vez, estos parámetros del proceso también pueden tener un efecto sobre el posterior comportamiento del producto, por ejemplo mediante reacciones secundarias tales como agrietamiento (de productos de masa molecular superior) o reacciones de condensación (de productos de masa molecular inferior).

Con el fin de producir una proporción alta de fase gaseosa mediante un procedimiento de pirólisis, es habitual llevar a cabo un procedimiento de pirólisis de tipo gasificación. En este procedimiento de gasificación, es normal calentar la biomasa sólida a 300-600 ºC para conseguir la pirólisis de la biomasa cuyos subproductos son CHAR sólido, compuestos orgánicos condensables (incluido alquitrán), agua y gases. Después en el procedimiento, las reacciones se estimulan anteriormente por encima de aproximadamente 700 ºC (normalmente a aproximadamente 800 ºC) para disminuir la concentración del líquido (vapor) para producir productos de fase gaseosa adicionales y también para gasificar alfo del CHAR mediante interacciones gas-sólido y gas-gas. Existen varios tipos de reactor gasificador diferentes caracterizados. Véase, por ejemplo, A. V. Bridgwater ("Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass" Chemical Engineering Journal Volumen 91, Números 2-3, 15 March 2003, páginas 87-102), cuya divulgación recapitula brevemente las características de los siguientes tipos de reactor gasificador: de lecho fijo de corriente descendente, de lecho fijo de corriente ascendente, de lecho fluido burbujeante, de lecho fluido circulante, de flujo arrastrado, de lecho fluido doble, horno de tornillo/broca, horno rotatorio, ciclónico y vórtex

En cada uno de los tipos de reactores gasificadores indicados anteriormente es necesario proporcionar un medio d transferencia de calor con el fin de conseguir un calentamiento rápido y eficaz de la biomasa alimentada y los productos de la pirólisis para estimular la gasificación. Normalmente, como medio de transferencia de calor se usan partículas tales como arena.

El documento WO 02/50484 divulga un aparato para el tratamiento térmico de material. Principalmente está destinado para reciclar el material residual electrónico, pero también se puede usar para el tratamiento térmico de la biomasa. El documento WO 02/50484 divulga un horno de tornillo en el que se proporcionan partículas conductoras térmicas en la carga alimentada. Estas partículas son esferas de metal, cerámica o SiC. Principalmente tienen la función de limpieza de la superficie interior del horno de tornillo. En la salida del horno, las partículas conductoras térmicas se pueden reutilizar reconduciéndolas a la entrada del horno a lo largo de un eje hueco del horno.

El documento US 4153514 divulga un proceso de pirólisis que usa residuos carbonosos como vehículo térmico con una relación en peso entre la biomasa y los residuos carbonosos de 1:1 a 1:12. El proceso se lleva a cabo a una velocidad de calentamiento muy rápida con tiempos de residencia cortos, mientras que los sólidos residuales son arrastrados en una corriente gaseosa turbulenta.

Sumario de la invención

Los presentes inventores se han dado cuenta que se pueden obtener ventajas concretas usando una elevada proporción de residuos carbonosos en el proceso de pirólisis.

De acuerdo con lo anterior, en un primer aspecto preferido, la presente invención proporciona un proceso de pirólisis de biomasa en el que la carga de biomasa alimentada se mezcla con un vehículo de calor, comprendiendo el vehículo de calor, al menos en parte, residuos carbonosos, siendo la proporción en peso entre la biomasa y los residuos carbonosos de 1:1 a 1:20, llevándose a cabo dicho proceso en un horno de tornillo/broca.

Los presentes inventores consideran que el uso de proporciones elevadas entre los residuos carbonosos y la biomasa estimula la formación de gas de síntesis (syngas, una mezcla de CO y H_2) y la formación de sustancias orgánicas inferiores. En general, se considera que el uso de proporciones elevadas de residuos carbonosos reduce la proporción en fase de vapor (líquido) de los productos de pirólisis. Sorprendentemente, esto es ventajoso en algunas circunstancias, tales como en aplicaciones combinadas de calor y potencia (CHP).

A continuación se expondrán las características preferidas u opcionales del primer aspecto de la invención. Estas se pueden combinar de forma individual o en cualquier combinación, a menos que el contexto exija lo contrario.

Preferentemente, el proceso es uno continuo (o casi continuo) y la proporción en peso entre la biomasa y los residuos carbonosos es la proporción en equilibrio de estos componentes durante el proceso.

El límite superior de la proporción en peso entre la biomasa y los residuos carbonosos pueden ser, más preferentemente, 1:1,5 o inferior o, todavía más preferentemente, de 1:2 o inferior.

El límite inferior de la proporción en peso entre la biomasa y los residuos carbonosos puede ser, más preferentemente, 1:1,5 o más, o, todavía más preferentemente, de 1:10 o más o 1:5 o más.

El proceso usa un reactor de pirólisis en el que los componentes de la carga de alimentación sólida se transportan a lo largo de un horno de tornillo/broca.

Preferentemente, el proceso funciona a una temperatura de 600 ºC o menor. Esta es significativamente menor que las temperaturas de gasificación típicas (normalmente de aproximadamente 800 ºC) e, incluso, los productos en fase de gas del proceso son, preferentemente, comparables a los productos en fase de gas de la gasificación.

Con el fin de proporcionar una proporción elevada de residuos carbonosos respecto a la biomasa en el proceso, se prefiere reciclar al menos parte de los residuos carbonosos que se producen en el propio proceso de pirólisis. Un beneficio de esto es que los residuos carbonosos pueden permanecer calientes desde su formación mediante el proceso de la biomasa y, por tanto, pueden realizar una contribución significativa a la transferencia de calor a la nueva biomasa para pirólisis. Por tanto, los residuos carbonosos pueden formar parte (o de hecho todos, en algunas circunstancias) del vehículo de calor para el proceso de pirólisis. Como alternativa, es posible almacenar los residuos carbonosos para un uso posterior en el reactor. La desventaja de esto es que el requisito de calentar los residuos carbonosos reducirá la eficiencia del proceso global.

Comentarios similares se aplican a las cenizas formadas en el proceso de pirólisis, el vehículo de calor en los posteriores procesos de pirólisis puede comprender cenizas, al menos en parte. No obstante, se considera que las cenizas no desempeñan un papel tan significativo en el proceso de pirólisis como residuos carbonosos, ya que se considera que una parte de los residuos carbonosos se consume en la reacción de reformación:

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$$

para la producción de gas de síntesis o syngas. El syngas tiene un valor de calentamiento inferior al del metano (gas natural), por ejemplo, pero sigue proporcionando un combustible útil y conveniente para la posterior generación de electricidad en aparatos de calor y potencia combinados (CHP).

Los presentes inventores han descubierto que este uso de uno o más productos sólidos del proceso de pirólisis de la biomasa como todo o parte de un medio de transferencia de calor constituye un aspecto independiente distinto de la invención, que se puede combinar con el primer aspecto, y cualquier otro aspecto, de la invención.

Por tanto, en un segundo aspecto, la presente invención proporciona un proceso de pirólisis de la biomasa que incluye las etapas de:

transportar la carga de biomasa alimentada y el medio de transferencia de calor desde los puertos de entrada de la carga de biomasa alimentada respectiva y del medio de transferencia de calor a través de una zona de un aparato de pirólisis de la biomasa para producir al menos productos de la biomasa sólidos y gaseosos; y

transportar al menos una porción de los productos sólidos desde un puerto de salida del aparato de vuelta al puerto de entrada del medio de transferencia.

En un tercer aspecto, la presente invención proporciona un aparato para pirólisis de biomasa que tiene:

un puerto de entrada para la carga de biomasa alimentada;
un puerto de entrada para el medio de transferencia de calor;
un primer medio de transporte para transportar la carga de la biomasa alimentada y el medio de transferencia de calor a través de una zona de pirólisis del aparato;
un puerto de salida para productos sólidos de la pirólisis de la biomasa; y
un segundo medio de transporte para transportar al menos una porción de los productos sólidos de la pirólisis de la biomasa de nuevo al puerto de entrada del medio de transferencia de calor, de modo que el medio de transferencia de calor incluye dichos productos sólidos de la pirólisis de la biomasa.

Preferentemente, el primero y el segundo medios de transporte se localizan unos con respecto de otros de un modo tal que uno de ellos rodea al menos una parte del otro. De este modo, el calor del segundo medio de transporte puede servir, al menos parcialmente, para calentar o aislar el primer medio de transporte. Como alternativa, el primero y el segundo medios de transporte se pueden localizar uno adyacente a otro. Por ejemplo, el segundo medio de transporte puede disponerse en anillo alrededor del primer medio de transporte.

Específicamente se prevé que los aspectos segundo o tercero se pueden combinar con el primer aspecto, incluyendo con cualquier combinación de características preferidas u opcionales del primer aspecto.

Otras características opcionales o todavía más preferidas se exponen a continuación, pudiéndose combinar en cualquier combinación con cualquier aspecto de la invención, a menos que el contexto exija lo contrario.

Se prefiere que no todos los residuos carbonosos producidos en el proceso de pirólisis de la biomasa se reciclen en el proceso de pirólisis de la biomasa Preferentemente, en el proceso de pirólisis de la biomasa se recicla el 90 % o menos (en peso), más preferentemente el 80 % o menos, el 70 % o menos, el 60 % o menos o el 50 % o menos. Al menos una porción de los residuos carbonosos restantes se pueden calcinar con el fin de proporcionar calor para el proceso de pirólisis de la biomasa. Preferentemente, se calcina de este modo al menos un 10 % (en peso) de los residuos carbonosos, más preferentemente al menos un 20 %, al menos un 30 %, al menos un 40 % o al menos un 50 %.

Al menos una porción de los productos del proceso de pirólisis se pueden transportar a un aparato gasificador. Preferentemente, el aparato gasificador funciona a una temperatura de al menos 700 ºC (normalmente a aproximadamente 800 ºC). Preferentemente, los productos de gas y/o vapor del proceso de pirólisis se transportan al gasificador. Opcionalmente se introduce biomasa adicional en el gasificador. Preferentemente el gasificado es un gasificador de lecho fluidizado. Como alternativa se puede usar un gasificador de corriente descendente. Preferentemente, la biomasa introducida en el gasificador es biomasa baja en cenizas, tal como madera (pero, preferentemente, no corteza de madera). Se prefiere biomasa con baja cantidad en cenizas con el fin de evitar la corrosión y/o el bloqueo del lecho fluidizado.

Por ejemplo, una salida del aparato de pirólisis puede estar conectada a una entrada del aparato gasificador. De este modo se pueden proporcionar los productos de vapor del aparato de pirólisis en la zona de pirólisis del aparato gasificador. Los productos de vapor del aparato de pirólisis pueden estar sustancialmente libres de cenizas. Esto puede proporcionar beneficios de eficiencia al proceso de gasificación.

El aparato de pirólisis puede funcionar a una presión interna superior a la presión atmosférica. Por ejemplo, el aparato de pirólisis puede funcionar al menos a 0,3 kPa (3 mbar) sobre la presión atmosférica (normalmente a al menos 5 o 20-30 kPa (50 o 200-300 mbar) sobre la presión atmosférica o, en algunos casos, hasta aproximadamente 3.000 kPa (30 bar) sobre la presión atmosférica. Esto permite bombear con eficacia los productos de vapor de la pirólisis al interior del aparato gasificador, dirigidos por la sobrepresión.

Breve descripción de las figuras

A continuación, las realizaciones preferidas de la presente invención se describirán a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Fig. 1 muestra un espectro de cromatografía de gases para el producto de la fase basada en agua de un proceso de pirólisis de biomasa de colza, en el que el eje de abscisas está en unidades de tiempo (minutos) y el eje de ordenadas está en unidades arbitrarias de concentración.
La Fig. 2 muestra un espectro de cromatografía de gases para el producto de la fase oleosa del mismo proceso de pirólisis de biomasa de colza como se analiza en la Fig. 1, teniendo los ejes un formato similar al de la Fig. 1.
La Fig. 3 muestra una vista transversal longitudinal esquemática de un aparato de pirólisis de acuerdo con una realización preferida de la invención.

La Fig. 4 muestra una vista longitudinal esquemática de una realización adicional preferida de un aparato de pirólisis de acuerdo con la presente invención.
Las figuras 5-7 muestran vistas longitudinales esquemáticas de los componentes principales del aparato mostrado en la Fig. 4.
La Fig. 8 muestra una vista esquemática de un aparato de pirólisis integrado con un aparato gasificador.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas y características adicionales preferidas y/u opcionales

Se sabe que los productos de pirólisis de biomasa son mezclas complejas de diferentes compuestos. Es típico que las fases líquidas (de vapor) de la pirólisis de la biomasa incluyan una fase oleosa con un contenido en agua relativamente bajo y una fase basada en agua con un contenido en agua relativamente alta.

La Fig. 1 muestra un espectro de cromatografía de gases para la fase basada en agua de un producto de la pirólisis de biomasa en la que la biomasa era colza, pirolizada mediante un proceso de pirólisis intermedio. Se determinó que el contenido en agua de la fase basada en agua era 80,42 %. Los resultados del análisis del espectro se exponen en las Tablas 1 y 2 que figuran a continuación:

Tabla 1: Resumen de la fase basada en agua

	Aceite húmedo	**Aceite seco**
Grupo de sustancia	**% en peso**	**% en peso**
Ácidos	2,031	10,372
Alcoholes no aromáticos	0,000	0,000
Aldehídos no aromáticos	0,000	0,000
Cetonas no aromáticas	0,100	0,511
Furanos	0,086	0,438
Piranos	0,000	0,000
Azúcares	0,382	1,949
Benceno	0,000	0,000
Catecoles	0,020	0,103
Aldehídos aromáticos	0,000	0,000
Cetonas aromáticas	0,000	0,000
Fenoles derivados de lignina	0,012	0,061
Guayacoles / Metoxifenoles	0,000	0,000
Siringoles / Dimetoxifenoles	0,028	0,144
Otros	0,000	0,000
Total	**2,659**	**13,579**

Tabla 2: Análisis detallado de la fase basada en agua

	Aceite húmedo	**Aceite seco**
Compuesto	**% en peso**	**% en peso**
Ácidos	**2,031**	**10,372**
Ácido acético	1,598	8,161
Ácido propanoico	0,355	1,815
Ácido propanoico, 2-metil-*	0,015	0,076
poss: compuesto ácido: Masa de la base 60, PM? **	0,021	0,105
Ácido pentanoico, 3-metil-**	0,006	0,030
Ácido pentanoico, 4-metil-**	0,016	0,079
poss: ácido hexenoico **	0,005	0,027
Ácido alifático desconocido, PM=? **	0,005	0,028
poss: ácido heptenoico**	0,010	0,052
Alcoholes no aromáticos	**0,000**	**0,000**

Aldehídos no aromáticos	**0,000**	**0,000**
Cetonas no aromáticas	**0,100**	**0,511**
Butanona, 2-	0,010	0,049
3-Penten-2-ona, 4-metil- *	0,041	0,207
Alcohol diacetona (impureza de la acetona)*	0,017	0,088
2-Ciclopenten-1-ona, 2-hidroxi-3-metil-; MCP; Cicloten	0,033	0,166
Furanos	**0,086**	**0,438**
Alcohol furfurílico, 2-	0,056	0,287
Butirolactona, γ-	0,022	0,112
Derivado de lactona	0,008	0,040
Piranos	**0,000**	**0,000**
Azúcares	**0,382**	**1,949**
α-D-Glucopiranosa, 1,4:3,6-dianhidro-	0,101	0,515
Arabinofuranosa, 1,5-anhidro-	0,103	0,524
ß-D-Xilofuranosa, 1,5-anhidro-	0,027	0,138
Azúcar anhidro desconocido**	0,009	0,045
poss: d-manosano anhidro**	0,006	0,032
Azúcar dianhidro desconocido**	0,014	0,069
Azúcar anhidro desconocido**	0,005	0,024
Levoglucosan; ß-D-Glucopiranosa, α-anhidro-	0,118	0,600
Benceno	**0,000**	**0,000**
Catecoles	**0,020**	**0,103**
Hidroquinona; Benceno, 1,4-dihidroxi-	0,020	0,103
Aldehídos aromáticos	**0,000**	**0,000**
Cetonas aromáticas	**0,000**	**0,000**
Fenoles derivados de lignina	**0,012**	**0,061**
Fenol	0,012	0,061
Guayacoles / Metoxifenoles	**0,000**	**0,000**
Siringoles / Dimetoxifenoles	**0,028**	**0,144**
Siringol; Fenol, 2,6-dimetoxi-	0,011	0,056
Siringol, 4-etil-	0,014	0,069
Siringol, 4-vinil-	0,004	0,019
Otros	**0,000**	**0,000**
Compuestos que contienen nitrógeno	**0,919**	**4,696**
Piridina*	0,008	0,043
Pirrol *	0,011	0,055

poss: Pirazina, -metil-**	0,008	0,041
2-pentanona, 4-amino-4-metil- PM 100*	0,056	0,287
similar a pentanona, amino-metil- (43,58,100) *	0,106	0,543
Acetamida *	0,051	0,260
Acetamida, N,N-dimetil- **	0,005	0,027
poss: Acetamida, N-metil- **	0,005	0,027
Propanamida *	0,013	0,067
poss: Butanamida, 3-metil- **	0,016	0,081
Piperidona, tetrametil- PM 155 ***	0,009	0,047
2-Pirrolidinona *	0,067	0,341
2,5-Pirrolidinona, 1-metil- **	0,013	0,066
poss: piridinona, dihidro-metil- PM 111 **	0,006	0,031
poss: pentanamida, 4-metil- **	0,004	0,022
poss: pirrolidina, 1-acetil- ***	0,005	0,024
poss: pirazol, 5-amino-3-metil- ****	0,004	0,021
poss: piridinol, metil- **	0,009	0,044
poss: piridinol u homólogo ***	0,107	0,545
poss: pirrolidindiona ***	0,055	0,283
poss: piridinol, metil- *	0,007	0,033
Triazina desconocida o compuesto similar PM 113 ****	0,012	0,059
poss: piridin-carboxamida ****	0,005	0,028
Compuesto de pirrolidona desconocido****	0,005	0,025
Compuesto de hidantoína desconocido****	0,003	0,014
poss: 2,4-Imidazolidindiona, 5-metil- PM 114 ***	0,062	0,315
Compuesto de hidantoína desconocido****	0,018	0,091
Compuesto de amida desconocido: Masa de la base 72,114, PM? ****	0,005	0,026
Compuesto de hidantoína desconocido****	0,036	0,182
poss: Compuesto de hidantoína o imidazolidindiona: Masa de la base 100, PM? ****	0,019	0,099
Compuesto de piperazindiona desconocido****	0,004	0,022
Compuesto de piperazindiona desconocido****	0,003	0,016
Compuesto de pirrolidina desconocido****	0,015	0,076
Compuesto de pirrolidina desconocido****	0,012	0,059
poss: Compuesto de pirrol PM 154 ****	0,039	0,199
poss: Ácido piroglutámico ****	0,013	0,067
Compuesto de hidantoína desconocido****	0,012	0,061
poss: Compuesto de pirrol: Masa de la base 70, PM 154 ****	0,011	0,057
Compuesto de pirrol desconocido****	0,006	0,030
Compuesto de pirrol desconocido****	0,052	0,263
Compuesto de pirrol desconocido****	0,011	0,058
Compuesto de pirrol desconocido****	0,012	0,061
Otros compuestos desconocidos	**0,059**	**0,304**
No se ha hallado ningún pico de EM	0,009	0,048
No se ha hallado ningún espectro bibl.: Masa de la base 57, PM 126	0,008	0,041
Compuestos solapantes desconocidos	0,012	0,062
Compuestos solapantes desconocidos	0,004	0,022
Compuestos solapantes	0,005	0,028

No se ha hallado ningún espectro bibl.: Masa de la base 99,132, PM?	0,005	0,023
No se ha hallado ningún espectro bibl.: Masa de la base 42, PM?	0,009	0,047
No se ha hallado ningún espectro bibl.: Masas de la base 42,98, PM?	0,004	0,019
No se ha hallado ningún espectro bibl.: Masas de la base 69,112, PM 140	0,003	0,014
* = de la búsqueda en la biblioteca con calidad alta, sin patrón, RRF = 1 ** = compuesto isomérico u homólogo, prefijos = ?, RRF = 1 *** = espectro de la mejor búsqueda en la biblioteca, calidad 50-70 %, RRF = 1 **** = espectro de la mejor búsqueda en la biblioteca, calidad 40-50 %, RRF = 1 / no se ha hallado espectro en la biblioteca		

La Fig. 2 muestra un espectro de cromatografía de gases para la fase oleosa del mismo proceso de pirólisis de biomasa de colza como se analiza en la Fig. 1. Se determinó que el contenido en agua de la fase oleosa es 28,13 %. Los resultados del análisis del espectro se exponen en las Tablas 3 y 4 que figuran a continuación:

Tabla 3: Resumen de la fase oleosa

	Aceite húmedo	**Aceite seco**
Grupo de sustancia	**% en peso**	**% en peso**
Ácidos	0,218	0,303
Alcoholes no aromáticos	0,000	0,000
Aldehídos no aromáticos	0,000	0,000
Cetonas no aromáticas	0,243	0,338
Furanos	0,116	0,161
Piranos	0,000	0,000
Azúcares	0,000	0,000
Benceno	0,222	0,308
Catecoles	0,042	0,059
Aldehídos aromáticos	0,000	0,000
Cetonas aromáticas	0,000	0,000
Fenoles derivados de lignina	0,822	1,144
Guayacoles / Metoxifenoles	0,040	0,056
Siringoles / Dimetoxifenoles	0,350	0,487
Compuestos que contienen nitrógeno	3,267	4,546
Cadenas alifáticas homólogas	1,951	2,715
Otros compuestos desconocidos	0,788	1,096
Pico FID (No se ha hallado ningún pico de EM)	0,096	0,133
Otros	0,000	0,000
Total	**8,156**	**11,348**

Tabla 4: Análisis detallado de la fase oleosa

Compuesto	**% en peso**	**% en peso**
Ácidos	**0,218**	**0,303**
Ácido acético	0,218	0,303
Alcoholes no aromáticos	**0,000**	**0,000**
Aldehídos no aromáticos	**0,000**	**0,000**
Cetonas no aromáticas	**0,243**	**0,338**

Butanona, 2-	0,046	0,064
poss: 5-hexen-2-ona *	0,025	0,034
3-Penten-2-ona, 4-metil- *	0,102	0,142
2-Ciclopenten-1-ona, 2,3-dimetil-	0,071	0,099
Furanos	**0,116**	**0,161**
Alcohol furfurílico, 2-	0,116	0,161
Piranos	**0,000**	**0,000**
Azúcares	**0,000**	**0,000**
Benceno	**0,222**	**0,308**
Tolueno	0,122	0,169
Benceno, etil-	0,033	0,045
Estireno	0,040	0,056
Benceno, butil- *	0,015	0,021
Benceno, hexil- *	0,012	0,016
Catecoles	**0,042**	**0,059**
Hidroquinona; Benceno, 1,4-dihidroxi-	0,042	0,059
Aldehídos aromáticos	**0,000**	**0,000**
Cetonas aromáticas	**0,000**	**0,000**
Fenoles derivados de lignina	**0,822**	**1,144**
Fenol	0,227	0,316
Cresol, o-; Fenol, 2-metil-	0,040	0,056
Cresol, p-; Fenol, 4-metil-	0,230	0,320
Cresol, m-; Fenol, 3-metil-	0,090	0,125
Fenol, 2-etil-	0,017	0,023
Fenol, 2,4-dimetil-	0,064	0,089
Fenol, 4-etil-	0,049	0,069
Fenol, etil-metil-	0,013	0,019
Fenol, 4-vinil-	0,092	0,128
Guayacoles / Metoxifenoles	**0,040**	**0,056**
Guayacol, Fenol / 2-metoxi-	0,040	0,056
Siringoles / Dimetoxifenoles	**0,350**	**0,487**
Siringol; Fenol, 2,6-dimetoxi-	0,076	0,106
Siringol, 4-etil-	0,171	0,238
Siringol, 4-vinil-	0,102	0,143
Otros	**0,000**	**0,000**
Compuestos que contienen nitrógeno	**3,267**	**4,546**
Piridina*	0,022	0,031
Piridina, 2-metil- *	0,015	0,021

Piridina, dimetil- PM 107 *	0,007	0,010
poss: butanonitrilo, 3-metil- ***	0,017	0,024
Compuesto de amina desconocido PM 99 ****	0,043	0,060
Pirrol *	0,108	0,150
poss: Compuesto de pirazol PM 112 ****	0,011	0,015
Pentanonitrilo, 4-metil- *	0,029	0,041
similar a pentanona, amino-metil- (43,58,100) ***	0,902	1,255
poss: Compuesto de pirrol PM 137 ****	0,123	0,171
poss: Butanamida, 3-metil- ***	0,016	0,022
poss: Compuesto nitroso-fenilo desconocido PM 148 ****	0,020	0,028
poss: Piperidona, tetrametil- PM 155 *	0,237	0,330
poss: Compuesto nitroso-fenilo desconocido PM 162 ****	0,020	0,028
poss: bencilnitrilo PM 117***	0,039	0,055
poss: 3-Piridinol PM 95 ***	0,100	0,139
Bencenopropanonitrilo PM 131 *	0,024	0,033
Indol PM 117 *	0,122	0,170
Indol, 3-metil- PM 131 *	0,047	0,066
poss: 2,4-Imidazolidindiona, 5-metil- PM 114 ***	0,047	0,066
poss: fenilisocianato, dimetil-****	0,021	0,029
poss: Compuesto de nitrilo alifático desconocido****	0,015	0,021
poss: Compuesto de hidantoína o imidazolidindiona: Masa de la base 100, PM? ****	0,066	0,092
poss: Compuesto de hidantoína o imidazolidindiona: Masa de la base 100, PM? ****	0,059	0,082
poss: Compuesto de hidantoína o imidazolidindiona: Masa de la base 100, PM? ****	0,017	0,024
poss: Compuesto de pirrol PM 154 ****	0,033	0,045
poss: Compuesto de hidantoína o imidazolidindiona: Masa de la base 100, PM? ****	0,016	0,023
poss: Compuesto de pirrol: Masa de la base 70, PM 154 ****	0,284	0,395
poss: Compuesto de nitrilo alifático desconocido****	0,031	0,043
Compuesto de pirrol desconocido****	0,035	0,049
Cadena de amida alifática PM 212 ***	0,078	0,109
Cadena de amida alifática PM? ***	0,598	0,832
Compuesto de amida alifática PM 238 ***	0,065	0,090
Cadenas alifáticas homólogas	**1,951**	**2,715**
Compuesto alifático saturado desconocido**	0,025	0,035
Compuesto alifático saturado desconocido**	0,016	0,022
Compuesto alifático insaturado desconocido PM? **	0,022	0,030
Compuesto alifático saturado desconocido**	0,014	0,020
Compuesto alifático insaturado desconocido PM? **	0,023	0,032
Compuesto alifático saturado desconocido**	0,021	0,029
Compuesto alifático insaturado desconocido PM? **	0,023	0,032
Compuesto alifático insaturado desconocido PM? **	0,023	0,031
Compuesto alifático insaturado desconocido PM? **	0,027	0,037
Cadena alifática desconocida**	0,012	0,016
Cadena alifática insaturada desconocida PM? **	0,017	0,023
Cadena alifática insaturada desconocida PM? **	0,032	0,045
Cadena alifática desconocida**	0,018	0,025

Cadena alifática saturada desconocida**	0,014	0,020
Cadena alifática insaturada desconocida**	0,024	0,033
Cadena alifática saturada desconocida**	0,033	0,046
Cadena alifática insaturada desconocida**	0,016	0,022
Cadena alifática insaturada desconocida**	0,035	0,049
Cadena alifática desconocida**	0,041	0,058
Cadena alifática insaturada desconocida**	0,054	0,075
Cadena alifática saturada desconocida**	0,019	0,026
Cadena alifática insaturada desconocida**	0,025	0,035
poss: heptadeceno PM 238 *	0,118	0,165
Isómero de heptadeceno PM 238 *	0,094	0,130
Cadena alifática saturada desconocida**	0,026	0,036
poss: Ácido alifático desconocido, éster metílico PM ? **	0,015	0,022
Ácido octadecenoico, éster metílico PM 222*	0,075	0,104
Cadena alifática desconocida**	0,032	0,045
poss: Ácido octadecenoico (ácido oleico)**	0,767	1,067
Cadena alifática desconocida**	0,033	0,045
Cadena alifática desconocida**	0,079	0,109
Cadena alifática desconocida**	0,181	0,251
Otros compuestos desconocidos	**0,788**	**1,096**
Compuesto desconocido: Masa de la base 225, PM 240 ****	0,016	0,022
No se ha hallado ningún espectro en la biblioteca Masa de la base 58 ****	0,625	0,869
No se ha hallado ningún espectro en la biblioteca Masa de la base 42,95, PM? ****	0,097	0,135
No se ha hallado ningún espectro en la biblioteca Masa de la base 93, PM 186 ****	0,035	0,049
No se ha hallado ningún espectro en la biblioteca, masa de la base 58....128.200 ****	0,015	0,020
Pico FID sin pico EM	**0,096**	**0,133**
No se ha hallado ningún pico de EM	0,096	0,133
* = de la búsqueda en la biblioteca con calidad alta, sin patrón, RRF = 1 ** = compuestos alifáticos homólogos, EM = ?, RRF = 1 *** = espectro de la mejor búsqueda en la biblioteca, calidad 50-70 %, RRF = 1 **** = espectro de la mejor búsqueda en la biblioteca, calidad 40-50 %, RRF = 1 / no se ha hallado espectro en la biblioteca		

Estos resultados muestran que los productos de la fase de vapor de la pirólisis son ricos en el producto de la pirólisis de lignina. Estos compuestos no se consideran particularmente útiles. De acuerdo con lo anterior, sería beneficioso reducid la fracción de estos compuestos y aumentar la fracción de los compuestos orgánicos de peso molecular menor. De hecho, es particularmente preferido cambiar los picos mostrados a la derecha de la of Fig. 2 más hacia la izquierda, esto corresponde con compuestos orgánicos de peso molecular menor.

Los presentes inventores consideran que un modo particularmente adecuado de conseguir este objetivo es proporcionar un proceso de pirólisis en el que se proporciona una gran proporción de residuos carbonosos en relación con la biomasa. Es particularmente preferido usar una proporción de 1:3 entre la biomasa y los residuos carbonosos en peso en un proceso de pirólisis intermedia continua. Los residuos carbonosos proporcionan sitios útiles para fracturar reacciones durante el proceso de pirólisis de modo que al menos algunas de las moléculas orgánicas superiores se degradan a compuestos de peso molecular inferior. Además, los residuos carbonosos proporcionan la oportunidad de formar syngas usando la gran cantidad de vapor de agua presente en el reactor de la biomasa, mediante la reacción

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$$

La Fig. 3 muestra una vista transversal longitudinal esquemática de un aparato de pirólisis 10 de acuerdo con una realización preferida de la invención. El aparato 10 incluye un horno de tornillo que tiene un primer tornillo o canal helicoidal 12 montado sobre un eje rotable 14, el eje rotable 14 y el primer tornillo 12 en rotación con respecto a una pared cilíndrica interna 16. La rotación del primer tornillo proporciona un medio para transportar sólidos axialmente a lo largo del orificio de la pared cilíndrica interna 16. La pared cilíndrica interna 16 tiene un segundo tornillo 18 fijado a su superficie externa. La pared cilíndrica interna 16 también está montada para rotar en dirección contraria a la rotación del eje rotable 14. En consecuencia, el segundo tornillo 18 rota con respecto a una pared cilíndrica externa fijada 20. Por tanto, la rotación del segundo tornillo proporciona un medio para transportar sólidos axialmente a lo largo del espacio entre la pared cilíndrica interna 16 y la pared cilíndrica externa 20.

Durante el uso, la carga de biomasa alimentada se añade a una entrada de alimentación 22 que dirige la carga de biomasa alimentada a un extremo del primer tornillo 12. Se evita que la carga de biomasa alimentada entre en el espacio entre la pared cilíndrica interna 16 y la pared cilíndrica externa 20.

Al principio del proceso se pueden añadir residuos carbonosos preformados a la carga de biomasa alimentada en la entrada 22 con el fin de conseguir una proporción en peso preferida entre la biomasa y los residuos carbonosos de 1:3.

La pirólisis de la biomasa tiene lugar en el interior del espacio cilíndrico unido por la pared cilíndrica interna 16. La biomasa y los residuos carbonosos se mezclan y se transportan a lo largo del espacio cilíndrico por el primer tornillo 12. Al final del espacio cilíndrico distal a la entrada 22 hay una salida de vapor 24 y una salida de cenizas 26. La salida de vapor transporta los productos de la fase de vapor y de gas del proceso de pirólisis. Preferentemente, al menos una porción de estos productos se transportan a un aparato gasificador (no mostrado) para su posterior procesamiento.

El proceso de pirólisis también produce residuos carbonosos, además de los residuos carbonosos presentes antes del proceso de pirólisis. Al menos una porción de los residuos carbonosos transportados a lo largo del espacio cilíndrico se deja que caiga a través de una abertura (no mostrada) en el espacio anular unido por la pared cilíndrica interna 16 y la pared cilíndrica externa 20. La acción del segundo tornillo 18 trasporta estos residuos carbonosos en dirección inversa a lo largo del espacio anular. Las entradas 28 para el aire y el agua se pueden proporcionar a lo largo de este espacio anular. El objetivo de estas entradas es introducir cantidades controladas de aire y/o agua en los residuos carbonosos en el espacio anular. El oxígeno en el aire permite que se queme una porción de los residuos carbonosos, produciendo CO_2 y calor. Este calor dirige el proceso de pirólisis (que es endotérmico) en el espacio cilíndrico. La introducción de agua permite que se produzca una reacción reformante que produce syngas que se puede extraer y usar como combustible para la generación de electricidad. El agua puede ser gas de agua o vapor. Por ejemplo por la desecación de la biomasa.

El resto de los residuos carbonosos se transporta de vuelta al extremo de la entrada del aparato. Usando una paleta (no mostrado) o un dispositivo similar, los residuos carbonosos que alcanzan la región 30 del aparato se elevan en el extremo de la entrada del espacio cilíndrico para su transporte usando el primer transportador.

De este modo, el aparato usa los residuos carbonosos producidos en la pirólisis como transportador de calor para la posterior pirólisis, estimulando la elevada proporción entre residuos carbonosos y biomasa la formación de una proporción mayor de productos gaseosos útiles para la generación de potencia.

El calor residual del aparato se puede usar para secar la biomasa antes de introducirla en la entrada para alimentación 22.

En el caso en el que el aparato se calienta con un medio de transferencia de calor a una temperatura alta (p. ej., gases gasificadores a temperaturas de aproximadamente 800 ºC o productos gaseosos de la combustión a temperaturas de aproximadamente 1.000 ºC), de modo que se pueda aplicar un medio de transferencia de calor a la superficie externa de la pare cilíndrica externa 20- Después, los residuos carbonosos transportados por el segundo medio de transporte pueden actuar como tampón de transferencia de calor. Después, los residuos carbonosos tamponan la temperatura "observada" mediante el reactor de pirólisis e introduciendo la biomasa fresca en el reactor de pirólisis.

Aunque la Fig. 3 muestra el uso de un transportador de tornillo 12 para mezclar y transportar el material sólido en el espacio cilíndrico central, los presentes inventores idean realizaciones alternativas, tales como una realización que usa uno o más tapones de mezclado para mezclar los residuos carbonosos y la carga de la biomasa alimentada, estando el reactor calentado por una fuente de calor externa (esta realización no se ilustra). Los tampones funcionan mezclando el contenido sólido del reactor de pirólisis, pero no proporcionan n transporte neto del contenido de sólidos del reactor, al contrario que el transportador de tornillo 12 de la realización ilustrada en la Fig. 3. Cuando el sistema funciona de un modo continuo (como se prefiere), la adición continua de nueva biomasa conduce a la formación continua de nuevos residuos carbonosos. Se proporciona un sobreflujo para exceso de residuos carbonosos para que la proporción entre la biomasa y los residuos carbonosos en peso se pueda mantener en la proporción de 1: 3. Se proporciona una salida para los productos de vapor y gaseosos.

La Fig. 4 muestra una vista esquemática longitudinal de una realización adicional preferida de un aparato de pirólisis de acuerdo con la presente invención. Las Figs. 5-7 muestran vistas esquemáticas longitudinales de los componentes principales del aparato mostrado en la Fig. 4 y, por tanto, las características de estas figuras se describirán juntas.

El aparato de pirólisis 50 de la Fig. 4 incluye una pared cilíndrica externa 52 (véase también la Fig. 1). El aparato está soportado con los soportes 54, 56, 58 y tiene medios de calentamiento eléctricos, tales como elementos de resistencia 60, 62 formados alrededor de la pared cilíndrica externa 52. En realizaciones alternativas (p. ej., realizaciones a mayor escala que dependen únicamente de la combustión con el fin de proporcionar el calor necesario para dirigir la pirólisis), en su lugar se puede proporcionar aislamiento alrededor de la pared cilíndrica externa 52.

Hacia el extremo proximal del aparato se proporciona un puerto de entrada para la biomasa 64. Hacia el extremo opuesto distal del aparato se proporciona un puerto de salida 66 para productos gaseosos y de vapor. También hacia este extremo distal del aparato se proporciona un puerto de salida de los residuos carbonosos 68.

Dentro del espacio enmarcado por la pared cilíndrica externa se proporciona una primera broca con canal helicoidal 70 dispuesta dentro de una segunda broca con canal helicoidal 80. Estos componentes se muestran más claramente en las Fig. 7 y 6, respectivamente.

En la Fig. 6, la segunda broca con canal helicoidal tiene una pared sustancialmente similar 82 con dos tornillos helicoidales 84, 86 que se extienden a lo largo de la superficie externa de la pared tubular 82, dese el extremo proximal al extremo distal. Estos tornillos helicoidales se adaptaron para raspar a lo largo de la superficie interna 53 de la pared cilíndrica externa 52 del aparato, cuando la segunda broca con canal helicoidal se rota dentro del aparato.

En el extremo proximal de la segunda broca con canal helicoidal se proporcionan ranuras de entrada para la carga alimentada 88. En esta realización se proporcionan cuatro ranuras de entrada para la carga alimentada, separadas por espacios iguales circunferenciales y que se comunican a través de la pared tubular 82. Según se desee se pueden proporcionar menos o más ranuras de entrada.

En el extremo distal de la segunda broca con canal helicoidal se proporcionan ranuras de salida 90. Estas ranuras permiten que el material fluido y sólido escape del interior de la segunda broca de tornillo. Se proporcionan las correspondientes ranuras 92 en los tornillos helicoidales con el fin de evitar que el material sólido salga con libertad del interior de la segunda broca con canal helicoidal.

En la extremidad distal de la segunda broca con canal helicoidal se proporciona una superficie portadota 94 para permitir la rotación de la segunda broca de tornillo en el aparato. En el alojamiento se proporciona una correspondiente superficie portadora 98. En la extremidad proximal de la segunda broca con canal helicoidal se proporciona un medio de enganche (p. ej., orificios de tornillo 100) para permitir que la rotación de la segunda broca con canal helicoidal sea dirigida por un medio de dirección correspondiente (p. ej., una placa de dirección 104 y un eje de dirección 106). En la Fig. 5, el eje de dirección 106 está coaxial con el eje de dirección 108, que es para dirigir la rotación de la primera broca con canal helicoidal 70, que se describe después.

La primera broca con canal helicoidal 70 incluye un eje sólido 72 que tiene un único tornillo helicoidal 74 que se extiende a lo largo del mismo. Durante el uso, el tornillo único se engancha con la superficie interna 83 de la pared tubular 82 de la segunda broca con canal helicoidal con el fin de transportar el material a lo largo del interior de la segunda broca de tornillo.

En el extremo distal de la primera broca con canal helicoidal se proporciona una superficie portadora 76 para la cooperación rotacional con una correspondiente superficie portadora 77 del alojamiento. En el extremo proximal de la primera broca con canal helicoidal se proporciona un medio de enganche 78 para permitir que la rotación de la primera broca con canal helicoidal sea dirigida por el correspondiente eje de dirección 108.

El alojamiento incluye una placa del extremo proximal 110 y la placa del extremo distal 112. La placa del extremo proximal 110 incluye medios de sellado 114 para proporcionar un sello adecuado entre la placa del extremo proximal 110 y el eje de dirección 106. Se proporcionan medios de sellado adicionales 116 para proporcionar un sello adecuado entre los ejes de dirección coaxiales 106 y 108.

Durante el uso, la carga de biomasa alimentada (p. ej., virutas de madera) y un transportador de calor (p. ej., bolas metálicas, bolas de cerámica o bolas de SiC) se liberan en la entrada 64. La segunda broca con canal helicoidal se rota mediante rotación del eje de dirección 106 con el fin de proporcionar una dirección de transporte desde el extremo distal al extremo proximal. Por tanto, la carga de biomasa alimentada no es transportada por la segunda broca con canal helicoidal. En su lugar, la carga de biomasa alimentada y el transportador de calor entran gradualmente a través de las ranuras 88 en el extremo proximal de la segunda broca con canal helicoidal.

La primera broca con canal helicoidal se rota (mediante rotación del eje de dirección 108) con el fin de proporcionar una dirección de transporte desde el extremo proximal al extremo distal. Por tanto, la carga de biomasa alimentada y el transportador de calor son transportados y se mezclan en el interior de la segunda broca con canal helicoidal. Esta parte del aparato se mantiene a una temperatura en el intervalo de 300-600 ºC con el fin de someter la carga de la biomasa alimentada a pirólisis. Normalmente, este proceso produce residuos carbonosos (sólidos) y productos gaseosos y productos de vapor. Los productos pueden salir del interior de la segunda broca con canal helicoidal a través de las ranura 90. Los productos de vapor y gaseosos se extraen del aparato a través de una salida 66. Parte de los residuos carbonosos y el transportador de calor entran a través de las ranura 90 y se transportan de vuelta a lo largo del aparato (es decir, desde el extremo distal al proximal) mediante la segunda broca. El resto de los residuos carbonosos se transportan a la salida 68. Estos residuos carbonosos se pueden reciclar y usar como transportador de calor o, como alternativa, se pueden usar en combustión para proporcionar calor para la pirólisis o todavía se pueden usar además para la combustión en un proceso de CHP.

En realizaciones alternativas, se puede evitar sustancialmente que el transportador de calor (normalmente bolas) se puede entre a través de las ranuras 90 y, en su lugar, se pueden transportar a la salida 68. En este caso, parte o todas las bolas transportadoras de calor se pueden reciclar para usar de nuevo en la entrada 64 del aparato.

Cabe destacar que en otras realizaciones no es necesario usar el sistema de doble hélice descrito con respecto a las Figs. 4-7. Por ejemplo, como primero y segundo medio de transporte se pueden usar dos tornillos helicoidales adyacentes separados.

El aparato 50 se puede conectar a una entrada de un aparato gasificador. En particular, puede ser ventajoso conectar la salida 66 del aparato a una entrada de un aparato gasificador. Por ejemplo, el gasificador puede él mismo consumir la carga de biomasa alimentada, tales como virutas de madera. La salida 66 del aparato de pirólisis se puede proporcionar a la zona de pirólisis del gasificador. Esto proporciona beneficios al proceso de gasificación. En particular, proporciona vapores (y agua) de pirólisis sustancialmente libres de cenizas en la localización correcta en el gasificador para mejorar la eficiencia del gasificador. Se considera que esto puede potencialmente duplicar el rendimiento para un gasificador de corriente descendente del mismo tamaño.

Como alternativa, el aparato de pirólisis puede estar integrado en el aparato gasificador. De este modo, el calor generado por el proceso de gasificación puede proporcionar el calor necesario para dirigir la pirólisis en el aparato de pirólisis.

El aparato de pirólisis puede funcionar a una presión interna superior a la presión atmosférica. Por ejemplo, el aparato de pirólisis puede funcionar a 20-30 kPa (200-300 mbar) sobre la presión atmosférica. Esto permite bombear con eficacia los productos de vapor de la pirólisis al interior del aparato gasificador, dirigidos por la sobrepresión.

El aparato de pirólisis puede presurizarse a partir de, por ejemplo 0,3 kPa (3 mbar) para algunas aplicaciones o hasta aproximadamente 3.000 kPa (30 bar) para otras aplicaciones. Esto permite acoplar a un gasificador su descenso de presión. En lugar del gasificador, o además del gasificador, el aparato de pirólisis puede acoplarse a otros reactores presurizados, tales como un reformador o un sistema de hidrogenación.

La Fig. 8 muestra una vista esquemática de un aparato de pirólisis 50 integrado con un aparato de gasificador 200. El aparato de gasificador 200 incluye una entrada 202 para la biomasa, normalmente biomasa basada en madera. La biomasa se introduce por gravedad en una zona de pirólisis 204 del gasificador, estando una entrada de aire 206 ligeramente por debajo de la zona de pirólisis 204. Debajo de la entrada para aire en el gasificador hay una zona reformante y de gasificación 208, encima de un lecho de residuos carbonosos 210. En la base del aparato gasificador está la sección de cenizas 212.

La salida 66 del aparato de pirólisis 50 transfiere el vapor de la pirólisis desde el aparato de pirólisis a la zona de gasificación 208, a través de un conducto 214. El gasificador tiene una salida 216 para el syngas generado por el gasificador.

Las realizaciones preferidas se han descrito únicamente a modo de ejemplo. Las modificaciones de estas realizaciones, otras realizaciones y modificaciones de las mismas serán evidentes para el experto y, como tales, entran dentro del alcance de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso de pirólisis de biomasa, en el que la carga de biomasa alimentada se mezcla con un vehículo de calor, comprendiendo el vehículo de calor al menos parcialmente residuos carbonosos, siendo la relación en peso de la biomasa y los residuos carbonosos de 1:1 a 1:20, **caracterizado por que** el proceso se lleva a cabo en un horno de tornillo/broca.

2. Un proceso de pirólisis de biomasa de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el proceso funciona a una temperatura de 600 ºC o menor.

3. Un proceso de pirólisis de biomasa de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en el que al menos una porción de los residuos carbonosos producidos en el proceso de pirólisis se recicla al proceso de pirólisis.

4. Un proceso de pirólisis de biomasa de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que al menos una porción de los productos del proceso de pirólisis se transporta a un aparato gasificador.

5. Un proceso de pirólisis de biomasa de acuerdo con la reivindicación 4, en el que el aparato gasificador funciona a una temperatura de al menos 700 ºC.

6. Un proceso de pirólisis de biomasa de acuerdo con la reivindicación 4 o la reivindicación 5, en el que se introduce biomasa adicional en el gasificador.

7. Un proceso de pirólisis de biomasa de acuerdo con la reivindicación 6, en el que se la biomasa adicional introducida en el gasificador es biomasa baja en cenizas.

8. Un proceso de gasificación de biomasa que incluye un proceso de pirólisis de biomasa de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que los productos de vapor y/o gaseosos del proceso de pirólisis de biomasa se proporcionan a una entrada de un proceso de gasificación de la biomasa.

9. Un proceso de gasificación de biomasa de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el proceso de pirólisis se lleva a cabo a una presión superior a la presión atmosférica de al menos 5 kPa (50 mbar).

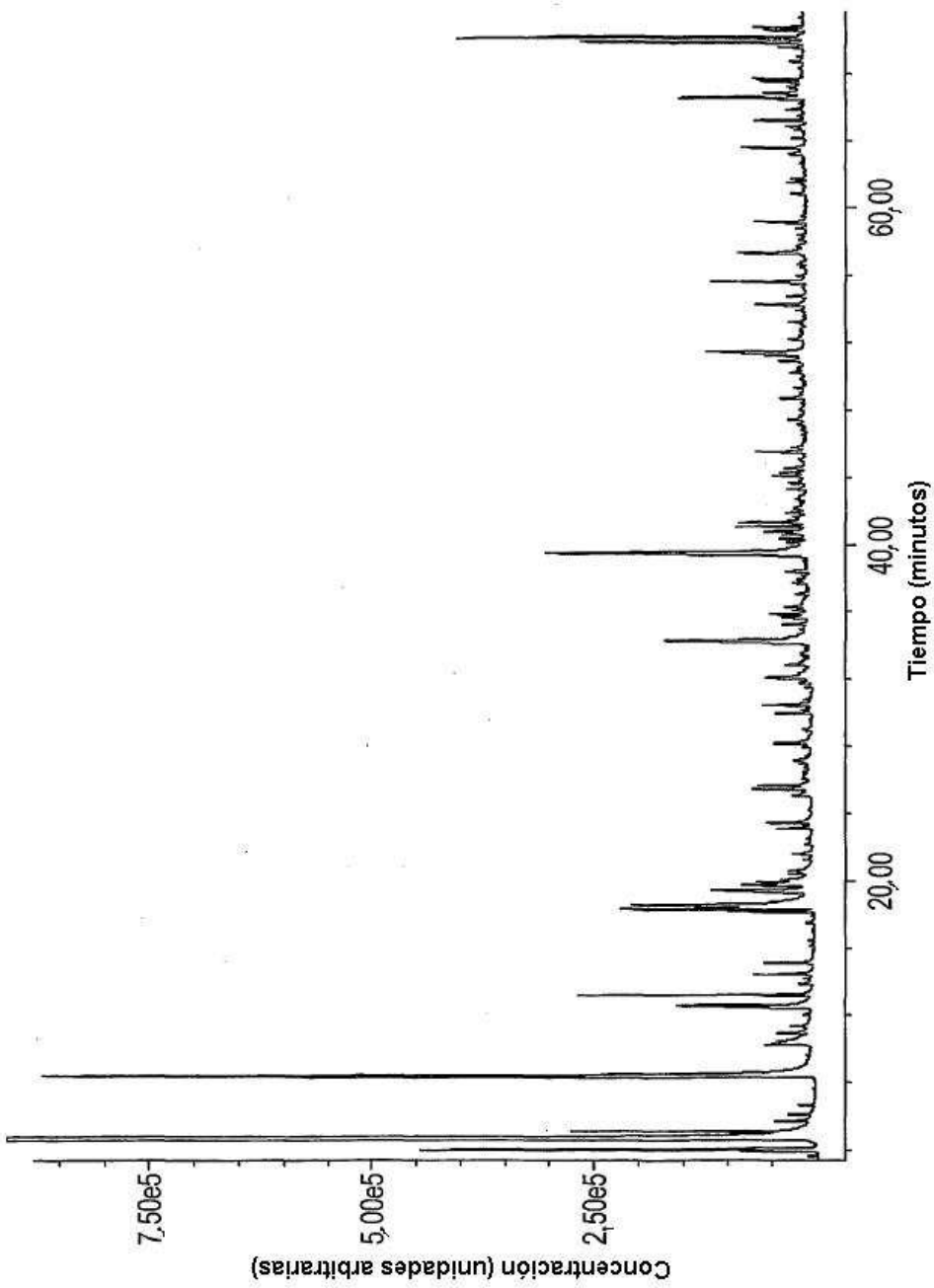
7,50e5
5,00e5
2,50e5
Concentración (unidades arbitrarias)
20,00
40,00
60,00
Tiempo (minutos)

FIG. 1

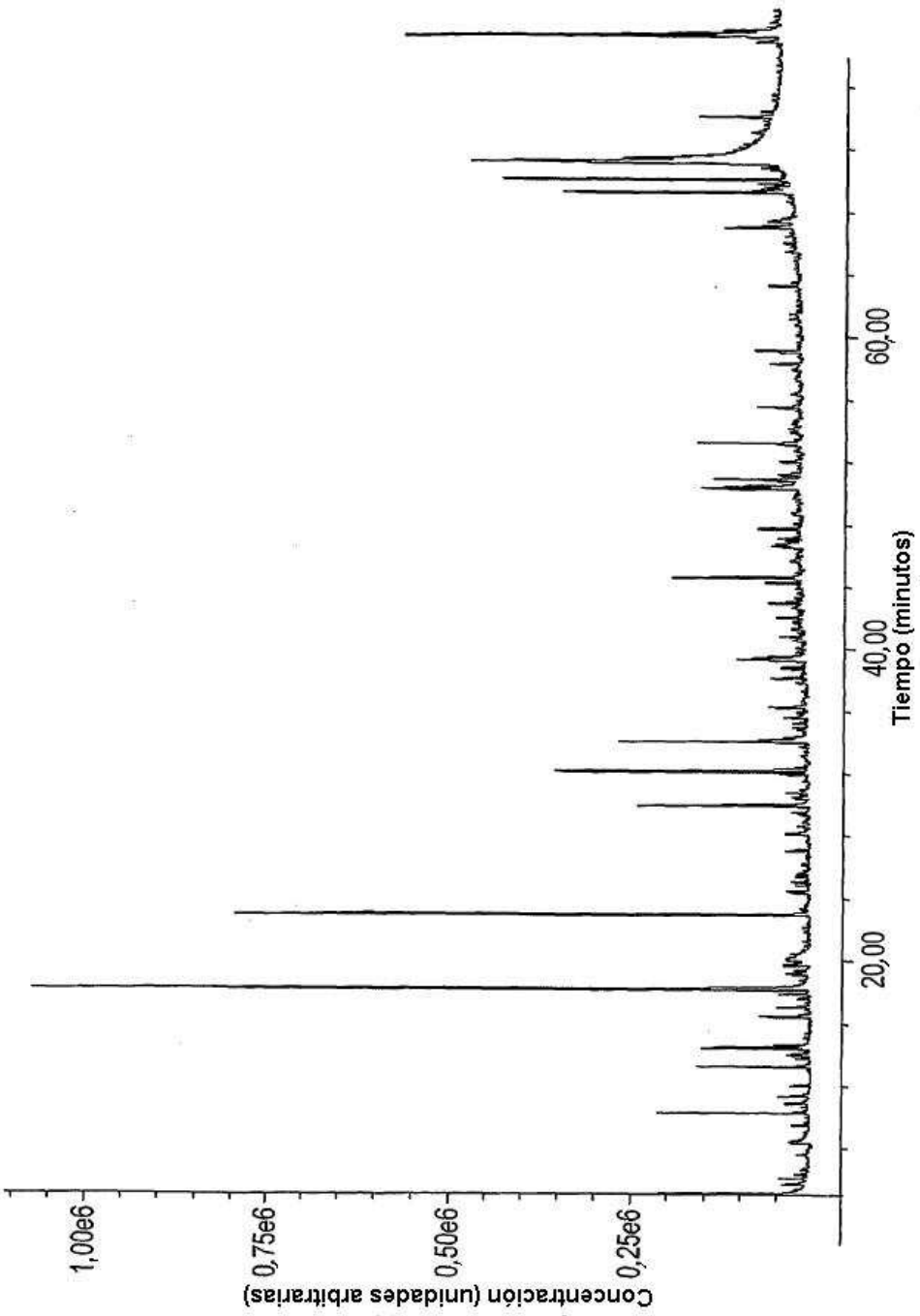
1,00e6
0,75e6
0,50e6
0,25e6
Concentración (unidades arbitrarias)
20,00
40,00
60,00
Tiempo (minutos)

FIG. 2

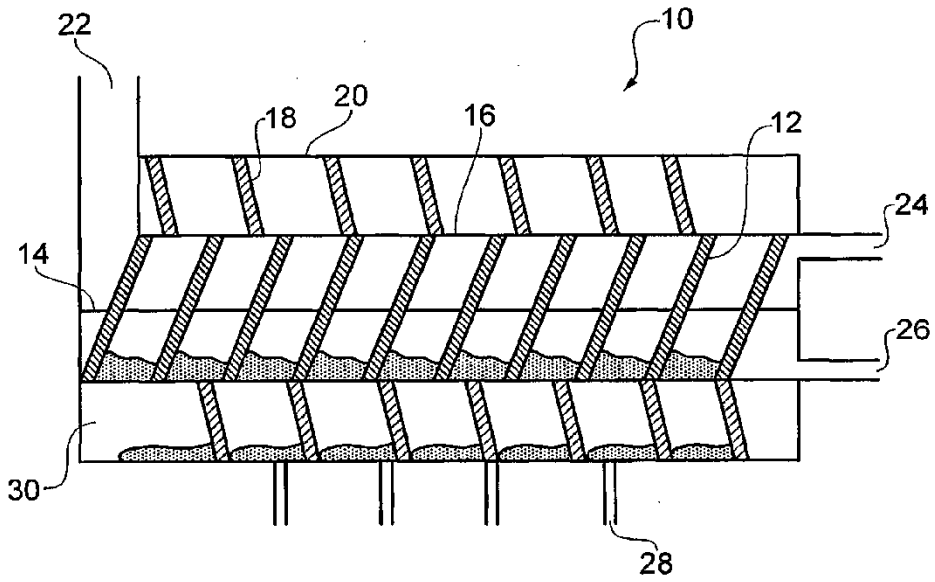

FIG. 3

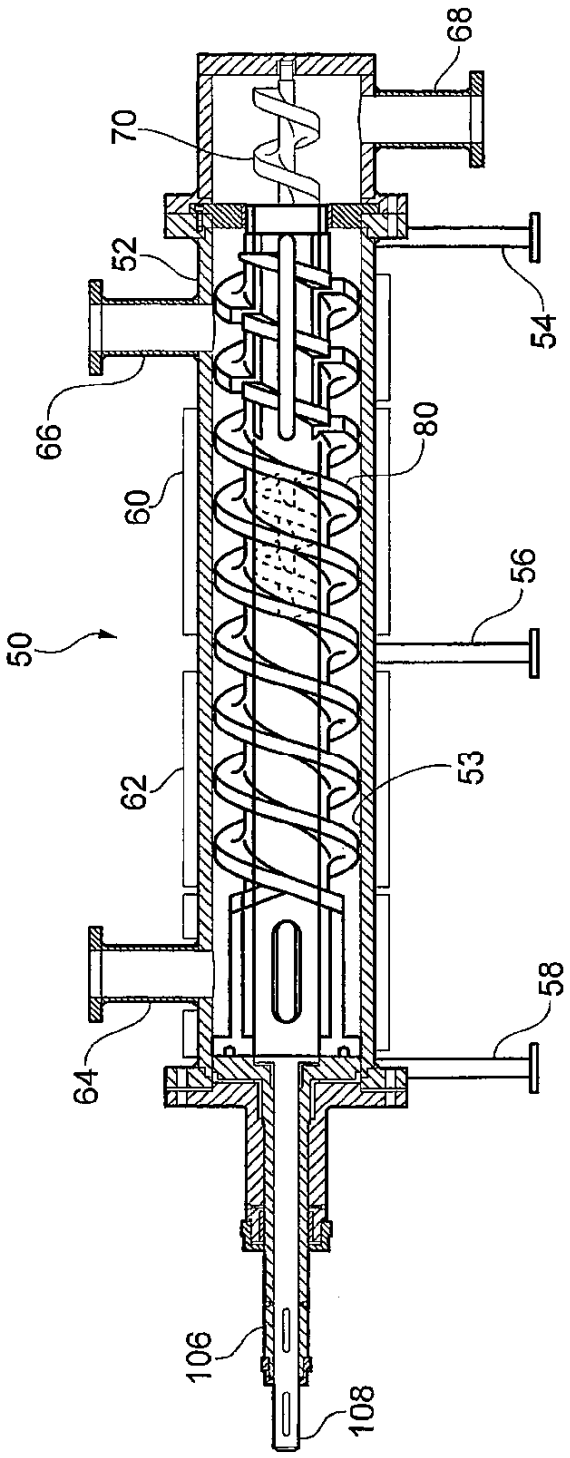

FIG. 4

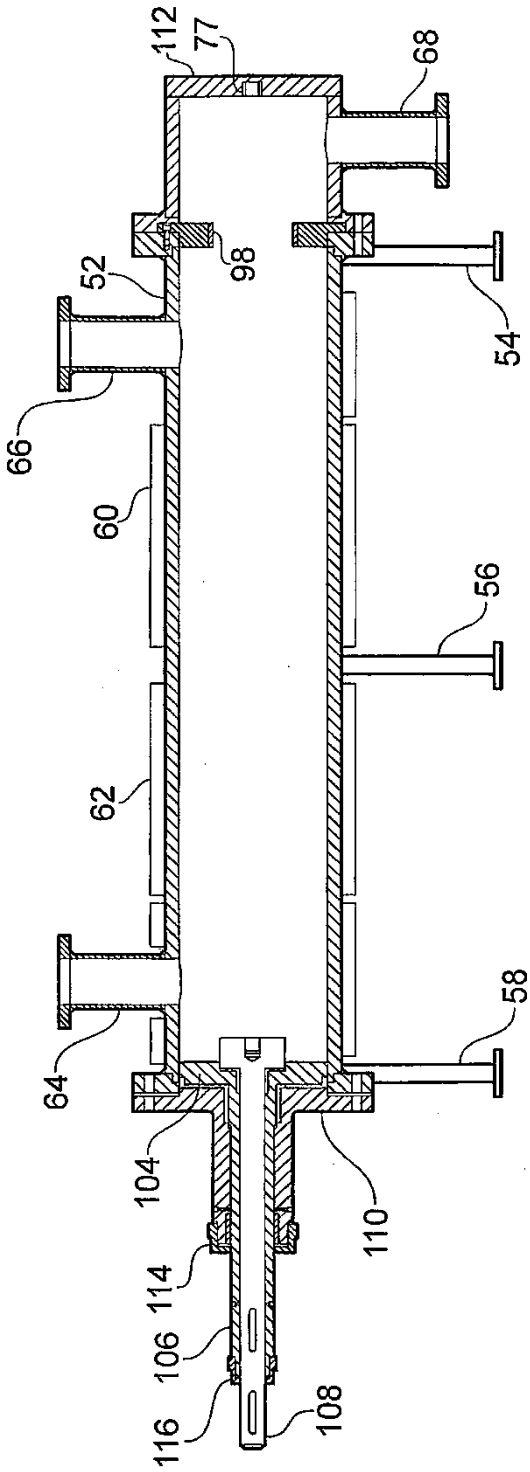

FIG. 5

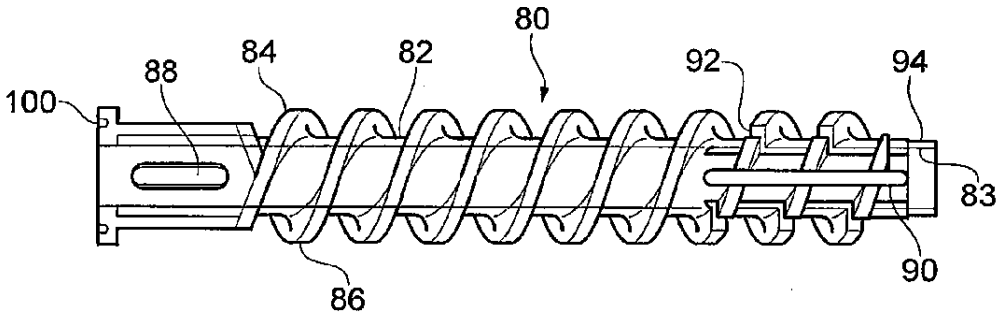

FIG. 6

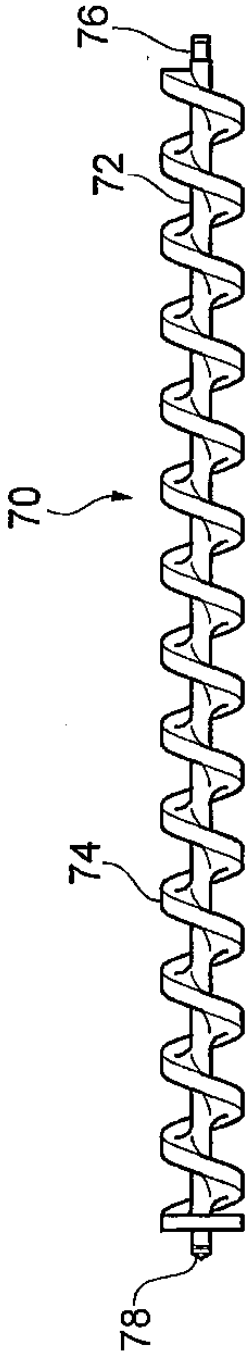

FIG. 7

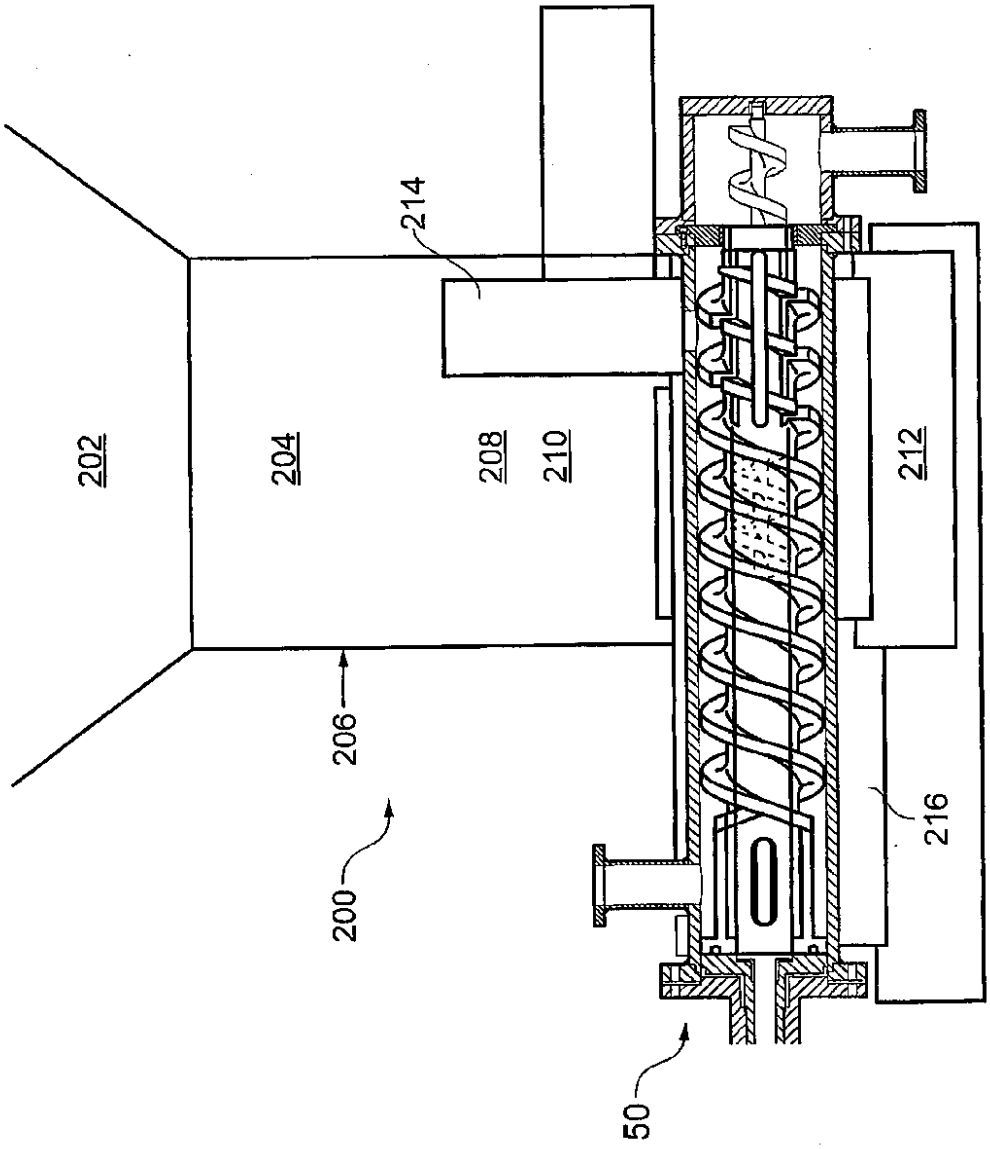

FIG. 8