

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 564 184**

51 Int. Cl.:

C10B 31/00 (2006.01)

C10L 5/44 (2006.01)

B01J 3/04 (2006.01)

B01J 19/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.11.2009 E 09825797 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.02.2016 EP 2366757**

54 Título: **Sistema de control de presión y temperatura de al menos un reactor químico para tratar biomasa**

30 Prioridad:

17.11.2008 ES 200803271

17.11.2008 ES 200803272

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

18.03.2016

73 Titular/es:

**INGELIA, S.L. (100.0%)
Jaime Roig, 19 - Primero G
46010 Valencia, ES**

72 Inventor/es:

HITZL, MARTIN

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 564 184 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

Sistema de control de presión y temperatura de al menos un reactor químico para tratar biomasa

5 Campo Técnico

El ámbito de la presente invención es un nuevo sistema de control de presión y temperatura de un reactor o de un conjunto de reactores químicos que contienen en su interior una solución acuosa a una temperatura cercana a su temperatura de evaporación a la presión del proceso. Dicho sistema de control se basa, fundamentalmente, en un conjunto de equipos en los cuales la propia agua de proceso se utiliza para la refrigeración y estabilización de la temperatura a lo largo del reactor o conjunto de reactores del sistema.

Asimismo, una realización preferente de esta invención se dirige a un proceso de carbonización hidrotérmica, en adelante proceso HTC (del inglés, Hydrothermal Carbonization).

15 Estado de la técnica anterior a la invención

En los últimos años, debido a la necesidad creciente de satisfacer la demanda energética de los países industrializados, se han desarrollado numerosos estudios dirigidos al fomento de nuevas fuentes de energía, de naturaleza renovable, con objeto de disminuir los efectos ambientales adversos asociados al continuo desarrollo industrial.

De entre estas fuentes de energía, una de las más estudiadas ha sido, sin duda, la biomasa. En general, se entiende por biomasa la fracción orgánica biodegradable presente en productos de orígenes diversos como, por ejemplo, residuos urbanos o derivados de industrias agrícolas o forestales. Entre las principales alternativas que existen para su aprovechamiento energético cabe destacar su utilización como materia de partida para la elaboración de combustibles para el transporte, así como su uso como fuente de calor y electricidad.

Si bien han sido muchas las tecnologías desarrolladas en este campo en los últimos años, recientemente el equipo del Profesor Markus Antonietti, del Instituto Max Planck, ha presentado un nuevo método de aprovechamiento de la biomasa, de gran eficacia, basado en la carbonización hidrotérmica de la misma (Elton Jacquot, J., "Back in Black: Using hydrothermal Carbonization to clean Emissions", 2007, Science&Technology). Este proceso HTC consiste, básicamente, en someter una solución acuosa de biomasa, en presencia de un catalizador, a temperaturas de 180 °C a 210 °C y presiones de 1 a 1,9 MPa (10 a 19 bar) obteniéndose, al cabo de 4 a 24 h, un producto de estructura similar al carbón. Una vez activado, es un proceso espontáneo y exotérmico que libera, aprovechando la alta estabilidad termodinámica del agua, hasta un tercio de la energía almacenada en la biomasa en forma de carbohidratos.

Su principal ventaja, frente a otros métodos anteriormente descritos en la bibliografía, es su gran sencillez. Al contrario que en otros procesos de carbonización, en los cuales es necesario llevar a cabo una etapa de alto consumo energético para el acondicionamiento y secado previo de la biomasa (documento WO 2003/002690), la carbonización hidrotérmica permite la utilización como materia prima de biomasa húmeda, lo cual supone un importante ahorro en los costes de operación.

Ya en el año 1943, en el documento ES 0160612 se describía un proceso de carbonización de la biomasa en presencia de agua, en el cual la biomasa, en este caso residuos vegetales, se introducía en unas retortas previamente humedecidas en las que se inyectaba vapor recalentado hasta alcanzar temperaturas de 180 °C a 220 °C y presiones de 0,2-1,01 MPa (2 a 10 atm). Este proceso se prolongaba de unas 6 a 20 h hasta alcanzarse las condiciones deseadas del producto final, siendo su principal inconveniente, frente a la presente invención, la necesidad del mismo de operar de manera discontinua.

Años más tarde, en el documento US 4579562, se presentaba una nueva alternativa para llevar a cabo el proceso de carbonización. En este caso, la reacción se llevaba a cabo en continuo, en un reactor de flujo en contracorriente, en el cual el sólido entraba en contacto con un líquido a temperaturas de 204 °C a 343 °C y presiones suficientemente elevadas como para impedir la ebullición del agua.

A diferencia del sistema anterior, en el documento JP 2002/059118, la biomasa se introducía en un autoclave, en donde se sometía a un tratamiento a altas presiones y temperaturas, en presencia de agua. Una vez transcurrido el tiempo requerido para su transformación, el reactor se dejaba enfriar y se abría para extraer el producto final de la reacción.

Una característica común a todos los métodos anteriormente descritos es la importancia de trabajar bajo unas condiciones estables y adecuadas de operación.

Por ello, la presente invención se dirige principalmente a un nuevo sistema de control de la presión y temperatura de un reactor o de un conjunto de reactores químicos basado, fundamentalmente, en un conjunto de equipos en los

5 cuales la propia agua de proceso se utiliza para la refrigeración del sistema. Mediante este sistema, de gran sencillez, es posible controlar la temperatura y presión del reactor o reactores sin necesidad de utilizar dispositivos móviles o superficies de intercambio de calor en su interior, los cuales presentan a menudo el inconveniente de acumular depósitos indeseados en su superficie al cabo de un cierto tiempo de operación. La eliminación de dichos dispositivos móviles supondrá un ahorro importante en cuanto al coste y el tiempo requeridos para su limpieza y mantenimiento.

10 Adicionalmente, el hecho de disponer de superficies de intercambio de calor en el interior del reactor o reactores del sistema implica que se generen gradientes de temperatura entre el refrigerante y el medio de reacción, dificultando de ese modo el control de la temperatura del proceso. La presente invención permite dar solución a este problema, gracias a la utilización de la propia agua de proceso para disminuir la temperatura del reactor o reactores, logrando así mantener uniforme la temperatura de la solución acuosa de su interior. Además, al ofrecer la posibilidad de aprovechar el calor latente de evaporación del agua, permite lograr una gran capacidad de refrigeración del sistema, así como una buena estabilidad de las condiciones requeridas de presión y temperatura.

15 Por otra parte, una ventaja adicional de la presente invención es la posibilidad que presenta de recuperar parte de la entalpía del vapor generado durante la reacción, preferentemente mediante el uso de una turbina de vapor y/o mediante su condensación en un intercambiador de calor, pudiéndose aprovechar así el calor liberado en dicho equipo para su uso en otros procesos o aplicaciones térmicas.

20 Asimismo, una parte adicional del vapor generado podrá utilizarse para precalentar la materia prima alimentada al proceso, tanto mediante su inyección directa a dicha materia prima, como de manera indirecta a través de un intercambiador de calor.

25 Si bien el sistema de control presentado se puede aplicar a diversos tipos de reactores y procesos, se dirige especialmente al proceso HTC, tanto si el mismo se lleva a cabo en reactores de tipo continuo, como si se desarrolla en reactores de tipo discontinuo. Será, por tanto, un objeto adicional de esta invención un sistema de control de presión y temperatura especialmente adecuado para su aplicación en un proceso de HTC, así como el uso de este sistema para el control de la presión y temperatura de un proceso de HTC.

30 Descripción de la invención

La presente invención se refiere a un sistema de control de temperatura y presión de al menos un reactor de carbonización hidrotérmica de biomasa, que comprende, al menos, los siguientes dispositivos:

- 35
- a) un depósito con al menos un dispositivo de regulación de presión (en adelante, depósito de regulación de presión);
 - b) un conducto de unión entre el reactor o los reactores químicos y el depósito de regulación de presión;
 - 40 c) un dispositivo de inyección de condensados al reactor o reactores del sistema.

Gracias a estos dispositivos, es posible mantener el reactor o conjunto de reactores bajo unas condiciones adecuadas de presión y de temperatura durante todo el tiempo que dura el proceso.

45 El depósito de regulación de presión (a) consiste en un depósito (1) independiente del reactor que comprende al menos una entrada (2) de gases y/o vapor situada, de manera preferente, en la parte inferior del depósito, sumergida en la zona de condensados. Asimismo, el depósito comprende al menos una entrada (3) y, al menos, una salida (4) de condensados, situada en su parte superior, al menos una salida de vapor y/o gases (5) con al menos un dispositivo de regulación de presión. Este dispositivo de regulación de presión consiste, en su realización preferente, en una válvula de regulación de presión, que se encarga de controlar la presión del depósito de manera continua, en función del valor indicado por un sensor de presión ubicado en el mismo depósito o en su conducto de salida. Así, la presión de dicho dispositivo de regulación de presión se ajustará en función de la presión requerida para el proceso y, a su vez, su valor de consigna se ajustará al valor resultante de restar a dicha presión requerida para el proceso la presión de la columna de agua correspondiente al nivel de condensados del interior del depósito de regulación de presión. Este valor de consigna podrá ajustarse electrónicamente, en el caso de incorporar un regulador electrónico, o bien de manera manual, en el caso de tratarse de un dispositivo mecánico.

55 Adicionalmente, en una realización preferente del depósito, éste estará equipado, en su parte superior, con al menos un dispositivo seleccionado de un grupo que consiste en: una válvula adicional de regulación de presión, una sonda de presión, una sonda de temperatura, una sonda de nivel, una purga, una válvula de vacío y una válvula de seguridad, así como cualquier combinación de los anteriores. Asimismo, podrá disponer, en la zona de condensados, de una sonda adicional de temperatura.

60 Una vez se alcanza el valor de consigna de la válvula de regulación de presión, dicha válvula comienza poco a poco a abrirse dejando paso al vapor y/o gases acumulados en el interior del depósito (1). De este modo, se consigue mantener siempre un valor estable de presión, comprendido dentro del intervalo de control de la válvula de regulación. Por otra parte, y como consecuencia de la apertura de la válvula, se produce un gradiente de presión

entre el reactor o reactores y el depósito de regulación de presión (1), favoreciéndose de este modo el flujo de vapor y/o gases entre estos equipos.

5 Tras la evacuación del vapor y/o gases del depósito (1) a través de su válvula de regulación, estos se dirigen a continuación a, al menos, un equipo de recuperación de vapor, preferentemente, a uno o varios condensadores (6) y (7), los cuales están diseñados para trabajar a una temperatura suficientemente inferior a la del proceso. En una realización preferida en la que el proceso consiste en el proceso HTC, la temperatura en el condensador o condensadores será como mínimo 20 °C y, preferentemente, 50 °C inferior a la temperatura del proceso.

10 Opcionalmente, de manera previa a la etapa de condensación, podrá utilizarse a su vez al menos una turbina de vapor (8) para aprovechar la entalpía del vapor y/o gases generados durante el proceso en la generación de energía eléctrica. En este caso, la temperatura de operación del condensador o condensadores será lo más próxima posible a la temperatura ambiente, lográndose así un mejor rendimiento de la turbina o turbinas de vapor.

15 Asimismo, en una realización preferente de la invención aplicada al proceso HTC, parte del excedente de vapor generado durante la reacción se puede utilizar en la fase inicial de calentamiento del proceso. Así, en una realización particular en la que el proceso HTC se lleve a cabo de manera discontinua en múltiples reactores tipo autoclave, el vapor se inyectará directamente y de manera preferente en aquel reactor que se encuentre en su fase inicial de calentamiento. Si, de otra forma, el proceso se llevase a cabo de manera continua, el vapor podrá aprovecharse para el calentamiento de la mezcla acuosa de biomasa alimentada al reactor, preferentemente, a través de una superficie de intercambio de calor.

25 Por otra parte, durante el proceso de reacción química, es posible que se desprendan otros gases de proceso además del vapor de agua como, por ejemplo, metano y/o CO₂. Debido a que la temperatura de condensación de estos gases es muy inferior a la temperatura de condensación del vapor de agua, una acumulación de los mismos puede tener efectos negativos en el funcionamiento del (de los) condensador(es), así como del (de los) intercambiador(es) de calor. Por tanto, con objeto de evitar una posible disminución en la capacidad térmica de dichos equipos, estos estarán equipados con al menos un dispositivo de evacuación de aire y gases.

30 Tras la etapa de condensación, el vapor condensado se dirige a, al menos, un depósito (9), presurizado o atmosférico, para almacenar los condensados, desde donde los condensados se transportan y reinyectan al depósito de regulación (1) de presión en el momento en que en este se alcanza el nivel mínimo predeterminado de dichos condensados. Por el contrario, en el caso de superarse su nivel máximo, se procederá a la evacuación de los mismos, a través de una válvula de purga de condensados, hasta lograr de nuevo un valor que se encuentre dentro del intervalo de nivel que haya sido establecido. De esta forma, se conseguirá mantener siempre el volumen de condensados del depósito entre un nivel mínimo y un nivel máximo, aproximadamente entre un 50 y un 90 % y, de manera preferente, entre un 60 y un 80 % de su volumen total.

40 Uno de los objetos principales del depósito de regulación de presión (1) presentado será, precisamente, el control de la presión del reactor o reactores de la instalación (10), (11) y (12), con los cuales se comunica a través del conducto de unión (b). Este conducto de unión (13) se diseñará de manera que posea el tamaño suficiente para evacuar la máxima cantidad de gases y/o vapor de agua desde la parte superior del reactor o reactores hacia el depósito de regulación de presión (1).

45 A su vez, en una realización particular de la invención, dicho conducto de unión (13) estará equipado, adicionalmente, con al menos una válvula de corte diseñada para abrirse lentamente una vez se haya alcanzado la presión mínima requerida para el proceso. Dicha válvula puede suponer un ahorro considerable de la energía consumida en el sistema al permitir la utilización de parte del vapor generado para facilitar el arranque del proceso llevado a cabo en un único equipo de reacción.

50 En el caso de tratarse de un conjunto de reactores conectados a un único depósito de regulación de presión (1), será necesario disponer de una válvula de corte entre cada reactor y dicho depósito de regulación (1), de manera que sea posible la desconexión individual de cada uno de ellos.

55 Una vez el flujo de vapor saturado y/o gases procedentes del reactor o reactores alcanza el depósito de regulación de presión (1) y debido a que la desembocadura del conducto de entrada al depósito se encuentra, preferentemente, sumergida en la zona de condensados, se produce un efecto de calentamiento de dichos condensados siempre y cuando estos se encuentren a una temperatura inferior a la del vapor y/o gases de entrada y exista por tanto un gradiente de temperaturas entre ambas fases. De esta forma, se consigue alcanzar en el interior del depósito (1) una temperatura aproximadamente estable, lo más cercana posible a las condiciones de temperatura del proceso.

60 En el caso concreto del proceso HTC, esta temperatura estará comprendida entre 170 °C y 230 °C, preferentemente entre 179,8 y 219,6 °C y más preferentemente entre 191,6 y 209,8 °C, favoreciéndose así la continuidad de la carbonización al evitarse interrupciones indeseadas en el proceso como consecuencia de la necesidad de ajuste de la temperatura inferior del agua inyectada al reactor.

5 Por su parte, la inyección al reactor o reactores de los condensados procedentes del depósito de regulación (1) se lleva a cabo a través del dispositivo de inyección de condensados (c), situado alrededor de la pared lateral y en la parte inferior de cada reactor. Este dispositivo de inyección puede comprender una o más bocas de inyección, a través de las cuales se introducen, en distintos puntos del equipo, los condensados procedentes del depósito de regulación de presión (1).

La cantidad de condensados alimentada al reactor o reactores dependerá del control de nivel del propio reactor(es), siendo por lo menos la necesaria para mantener una cantidad estable de solución acuosa en su interior.

10 Asimismo, en una realización preferente de la invención, el reactor o reactores están provistos además, en su parte superior, de al menos un dispositivo seleccionado de un grupo que consiste en: una válvula de seguridad, una sonda de presión, una sonda de temperatura, una sonda de nivel de llenado, una purga de aire y gases y una válvula de vacío, así como cualquier combinación de los anteriores. Del mismo modo, para controlar la temperatura del proceso y evitar pérdidas de calor indeseadas hacia el ambiente, el reactor o conjunto de reactores (10), (11) y (12), el
15 conducto de unión (13) y el depósito de regulación de presión (1) están aislados térmicamente del exterior, preferentemente mediante lana de roca y chapa de aluminio.

20 Por último, en la parte lateral y/o inferior del reactor o reactores se dispone de un dispositivo de inyección de vapor (14), que consiste de una o más entradas para llevar a cabo la inyección de vapor al reactor o reactores, preferentemente, durante su arranque en frío. El vapor utilizado puede proceder tanto de una fuente externa, preferentemente una caldera de vapor (15), como del mismo depósito de regulación de presión (1) si el sistema funciona en régimen nominal y el depósito recibe alimentación desde otros reactores de forma que su presión sea superior a la del reactor en fase de arranque. En el caso concreto del proceso HTC, la cantidad inyectada será la necesaria para alcanzar una temperatura de, al menos, 170 °C, preferentemente, 180 °C y, más preferentemente, de
25 al menos 195 °C.

Breve descripción de las figuras

30 La figura 1 muestra un diagrama del sistema de control y presión aplicado a un conjunto de reactores.
La figura 2 representa la aplicación del sistema de control de temperatura y presión a un reactor en funcionamiento continuo del proceso HTC.

Lista de referencias utilizadas en las figuras

35 **Figura 1**

1. Depósito de regulación de presión
2. Entrada de gases y/o vapor
3. Entrada de condensados
- 40 4. Salida de condensados
5. Salida de vapor y/o gases
6. Condensador 1
7. Condensador 2
8. Turbina de vapor
- 45 9. Depósito de almacenamiento de condensados 1
10. Reactor 1
11. Reactor 2
12. Reactor 3
13. Conducto de unión entre el reactor y el equipo de regulación de presión
- 50 14. Dispositivo de inyección de vapor
15. Caldera de vapor 1

Corrientes

55 A. Fluido refrigerante

Figura 2

16. Mezcla acuosa de biomasa y catalizador
- 60 17. Equipo de precalentamiento
18. Reactor vertical
19. Caldera de vapor 2
20. Inyector de vapor
21. Depósito de regulación de presión 2
- 65 22. Inyector de condensados 1
23. Inyector de condensados 2

- 24. Inyector de condensados 3
- 25. Condensador 3
- 26. Depósito de almacenamiento de condensados 2
- 27. Producto final

5

Realización preferente de la invención

Seguidamente, se presenta de manera detallada la descripción de una realización preferida de la invención, dirigida de manera particular al control de las condiciones de operación de un proceso de HTC, haciendo referencia a la numeración adoptada en la figura 2.

10

En el caso de aplicar el sistema de control de presión y temperatura anteriormente descrito a un proceso de HTC, dicho sistema comprenderá adicionalmente, al menos uno de los siguientes equipos:

15

- un equipo de presurización;
- un equipo de precalentamiento;
- un reactor vertical con inversión de flujo;
- un equipo de enfriamiento y
- un equipo de despresurización

20

El equipo de presurización consiste en un dispositivo para comprimir la mezcla de, al menos, biomasa, catalizador y agua de proceso (16), hasta alcanzar la presión necesaria para, por un lado, superar la presión en el interior del reactor y la contrapresión creada en la tubería de aporte al reactor y, por otro lado, evitar el retroceso del material y posibles fugas del agua de proceso. Este equipo consiste, de manera preferente, en al menos una válvula de compuerta y/o una bomba de presión y, de manera más preferente, en al menos una bomba tipo pistón o membrana, diseñada para trabajar tanto en continuo como a intervalos cortos de tiempo, permitiendo de ese modo llevar a cabo la operación de carbonización de manera continua.

25

Por su parte, el equipo de precalentamiento (17) consiste en al menos un intercambiador de calor, preferentemente un tubo presurizado de doble pared, en cuya parte interior se transporta la mezcla de, al menos, biomasa, catalizador y agua de proceso y, en la parte exterior, el fluido para el aporte de calor. Este fluido consistirá, preferentemente, en aceite térmico, agua o vapor de agua, más preferentemente, en vapor de agua.

30

Opcionalmente, tal y como se indicó anteriormente, existe la posibilidad de inyectar directamente vapor a la mezcla acuosa de biomasa y catalizador a una presión superior a la del propio tubo de precalentamiento y, por lo tanto, superior a la presión del proceso. La fuente de dicho vapor puede ser tanto una fuente externa, preferentemente una caldera (19), como el vapor del propio proceso alimentado a través de un compresor.

35

Por otra parte, la velocidad de transporte de la mezcla de biomasa y agua de proceso a lo largo del tubo de precalentamiento está controlada por el equipo de presurización, y su diámetro está diseñado de tal forma que el tiempo de permanencia de la mezcla en el mismo es de aproximadamente 20 a 60 minutos, preferentemente de 30 a 40 minutos, y la temperatura resultante a su salida, asciende, al menos, a 170 °C, preferentemente a más de 175 °C y, más preferentemente, a más de 180 °C.

40

Respecto al reactor del sistema (18), dicho reactor consiste preferentemente en un depósito presurizado donde tiene lugar parte o la totalidad del proceso químico de carbonización. Dicho reactor se caracteriza por permitir un aporte continuo o a intervalos regulares de biomasa, así como una extracción continua, o a intervalos regulares, de la materia transformada sin que, por otra parte, se modifique la temperatura ni la presión de su interior. A su vez, el reactor consta de, al menos, cuatro zonas diferentes: un tubo de ascenso, una zona de gases, una zona de polimerización y una zona de maduración:

45

50

i. El tubo de ascenso es la prolongación del tubo de precalentamiento y ocupa la zona central del reactor desde el fondo hasta, aproximadamente, de un 50 a un 80 % de la altura del reactor, preferentemente de un 60 a un 70 %.

55

ii. A su vez, el reactor dispone de un tubo en su parte superior, que le permite comunicarse con el depósito de regulación de presión (21), depósito mediante el cual se controla la presión del reactor. A través de este tubo de unión se consigue evacuar el vapor generado por el carácter exotérmico del proceso de HTC, junto con el aire disuelto en el agua de proceso o los gases desprendidos por la descomposición de la biomasa.

60

iii. Adicionalmente, el reactor puede estar equipado, en su parte superior, con al menos un dispositivo seleccionado de un grupo que consiste en: una válvula de seguridad, una sonda de presión, una sonda de temperatura, una sonda de nivel de llenado, una purga de aire y gases y una válvula de vacío, así como cualquier combinación de los anteriores.

65

iv. Alrededor de la desembocadura del tubo de ascenso y en la mitad superior del reactor se encuentra la zona de polimerización. El tiempo de permanencia de la biomasa en esta zona depende únicamente de su densidad y actividad térmica y, por lo tanto, del estado de progreso del proceso de HTC. De esta forma, se permite una cierta variación para los distintos compuestos de la mezcla, los cuales, pasado este tiempo, descenderán hacia

la zona de maduración.

v. La zona de maduración se encuentra situada en la parte inferior del reactor cilíndrico, a continuación de la zona de polimerización y alrededor del tubo de ascenso. Opcionalmente, podría ubicarse también en zonas exteriores del reactor, en caso de facilitarse las mismas condiciones de estabilidad térmica que en dicho equipo.

5 vi. A su vez, en el lateral y en la parte inferior del reactor y del tubo de ascenso, se encuentran ubicadas una o varias entradas para llevar a cabo la inyección de vapor (20) durante su arranque en frío o en caso de posibles deficiencias térmicas en su interior.

10 vii. También se encuentran distribuidas, sobre la pared lateral del reactor, una o varias entradas para la inyección de condensados. El aporte de los mismos tiene como objeto homogeneizar la temperatura del reactor, así como compensar el agua evaporada debido al carácter exotérmico del proceso HTC.

viii. Del mismo modo, para controlar la temperatura de operación y evitar pérdidas incontroladas de calor hacia el exterior, el reactor se encontrará aislado térmicamente, preferentemente mediante lana de roca y acabado exterior de chapa de aluminio.

15 Tras el reactor se encuentra ubicado el equipo de enfriamiento que comprende, preferentemente, uno o varios tubos en paralelo adicionales que contienen en su interior la mezcla caliente y presurizada proveniente del reactor y, en su exterior, un fluido refrigerante que puede ser aceite térmico o agua presurizada, preferentemente aceite térmico, que se encarga de enfriar dicha mezcla hasta la temperatura fijada como objetivo.

20 Finalmente, se encuentra el equipo de despresurización. Este equipo comprende, de manera preferente, dos compuertas o válvulas dispuestas en serie, que han de ser aptas para operar en las condiciones a las que se lleva a cabo el proceso. Adicionalmente, podrá situarse un depósito 'flash', en medio de las dos compuertas o válvulas, con el objeto de absorber mejor el golpe de ariete durante la apertura de las mismas.

25 Es, asimismo, un objeto adicional de esta invención el uso de un sistema de control de presión y temperatura según ha sido anteriormente descrito para el control de un reactor donde se lleva a cabo un proceso de HTC.

Por último, será un objeto adicional de la invención un método de control de presión y temperatura de un reactor donde se lleva a cabo un proceso de HTC, caracterizado por comprender al menos las siguientes etapas:

- 30
- a) la presurización de una mezcla acuosa de biomasa y catalizador hasta una presión de, al menos, 1 MPa (10 bar);
 - b) el precalentamiento de la mezcla acuosa de biomasa y catalizador, con objeto de alcanzar una temperatura de entre 170 °C a 210 °C;
 - 35 c) la alimentación de la mezcla acuosa de biomasa y catalizador a un reactor vertical de flujo invertido (20) donde tiene lugar el proceso de carbonización;
 - d) el enfriamiento de la mezcla de biomasa carbonizada junto con, al menos, agua de proceso, en un tubo de enfriamiento hasta valores inferiores a la temperatura de evaporación a presión atmosférica, es decir, inferiores a 100 °C;
 - 40 e) la despresurización y extracción de la mezcla acuosa de biomasa carbonizada.

Adicionalmente, este método puede comprender asimismo una etapa de pretratamiento de la biomasa, previa a su alimentación al sistema, con el objeto de lograr unas condiciones adecuadas para su procesamiento además de facilitar el proceso posterior de carbonización. En concreto, una realización preferente de esta fase adicional de

45 pretratamiento comprenderá, al menos, una etapa de triturado y una etapa de lavado de la biomasa:

- a) En la primera etapa, la biomasa se triturará hasta conseguir un tamaño máximo de partícula que permita su paso posterior por el equipo de presurización. En el caso de tratarse, por ejemplo, de biomasa procedente de explotaciones agrarias o forestales, el tamaño final será inferior a 30 cm y, preferentemente, inferior a 15 cm;
- 50 b) a continuación, con objeto de eliminar los contaminantes presentes en la biomasa, como pueden ser arenas, piedras, cristales, metales u otros elementos de mayor densidad que el agua, la biomasa se introducirá en una piscina de lavado con agua, o una mezcla de agua con ácido, durante un tiempo de 5 a 120 minutos, preferentemente de 10 a 30 minutos. Mediante este lavado, los contaminantes serán separados de la biomasa y descenderán hasta el fondo de la piscina, mientras que la biomasa quedará flotando en la superficie hasta
- 55 incrementar su densidad por encima de la del agua debido a la absorción de la misma. Otros contaminantes no aptos para el proceso HTC, como son los plásticos, y con tendencia a flotar también sobre el agua, habrán de eliminarse mediante otros procesos de selección y separación, tanto de manera natural, como a través de centrifugas o sistemas de aire a presión.

60 Tras esta etapa previa de pretratamiento, la biomasa se almacenará en una tolva o recipiente desde donde se alimentará al proceso HTC. Una ventaja de este proceso es que es aplicable a cualquier tipo de biomasa, pudiendo consistir, por ejemplo, en residuos forestales, agrícolas, de jardinería, lodos de depuradora, algas, residuos de industrias agrícolas, residuos urbanos, etc. En el caso de que la biomasa consista en lodos de depuradora o

65 residuos domésticos previamente seleccionados, esta etapa de pretratamiento no es necesaria, por lo que la biomasa se puede alimentar directamente al proceso HTC.

Dicho proceso comienza con la mezcla de la biomasa seleccionada como materia prima con una cierta cantidad de agua de proceso. Dicha mezcla contendrá, además, al menos un medio de aceleración de la reacción química, que puede ser un catalizador orgánico o inorgánico, preferentemente un ácido y más preferentemente ácido cítrico o ácido sulfúrico. En dicho caso, el ácido es añadido en una cantidad suficiente para obtener un pH en el interior del reactor de entre 4,5 y 6,5, preferentemente, entre 5 y 6.

Esta mezcla acuosa de biomasa y catalizador se somete a continuación a una etapa de presurización hasta una presión que es, al menos, la necesaria para poder introducirla al tubo de precalentamiento (17) y, desde allí, al reactor. Esta presión será superior a 1 MPa (10 bar) y, de manera preferente, superior a 1,3 MPa (13 bar). A continuación, la mezcla acuosa de biomasa y catalizador se precalienta, con objeto de alcanzar la temperatura de inicio del proceso de HTC en su fase de monomerización. Esta etapa de precalentamiento puede llevarse a cabo en un intercambiador de calor, preferentemente un tubo de precalentamiento (17), en el cual la mezcla se calentará gracias al aporte de calor que reciba a través de las paredes de la tubería, hasta alcanzar temperaturas de 170 °C a 210 °C, más preferentemente de 180 °C a 200 °C. Adicionalmente, como alternativa o complemento al intercambio indirecto de calor llevado a cabo en el tubo de precalentamiento, existe la posibilidad de inyectar directamente vapor a la mezcla acuosa de biomasa y catalizador a una presión superior a la del propio tubo de precalentamiento, hasta alcanzarse las temperaturas previamente mencionadas. Una vez alcanzadas dichas temperaturas, la mezcla acuosa de biomasa y catalizador es alimentada a un reactor vertical de flujo invertido (20) a través de un tubo de ascenso, tubo en el que se inicia la monomerización o hidrólisis de la biomasa. Al mismo tiempo comienza la formación de aceites, así como el desprendimiento de gases, como por ejemplo metano o CO₂, procedentes de la descomposición natural de la biomasa. Estos gases ascienden a continuación por el interior del tubo de ascenso hasta acumularse en la parte superior del reactor, desde donde son evacuados, conjuntamente con el vapor saturado, hacia el depósito de control de presión. En condiciones normales, el reactor se alimenta con la mezcla de biomasa y agua de proceso hasta alcanzar de un 60 % a un 90 %, preferentemente, de un 70 % a un 80 %, del volumen del reactor. Aunque la densidad de la biomasa puede variar y ser menor o mayor que la del agua, una vez iniciada la etapa de monomerización, los componentes derivados de la misma tienden a ascender y a flotar sobre la superficie. Este efecto permite a dichos compuestos mantenerse cerca de la línea de flotación, una vez han alcanzado la desembocadura del tubo de ascenso.

De esta forma, y en condiciones normales, a la salida de este conducto, el proceso de HTC ya ha comenzado, y los componentes resultantes de la primera fase de monomerización entran en una segunda etapa, de polimerización. En esta nueva fase, los aceites y otros componentes que se hayan formado durante la monomerización, polimerizan y forman una especie de resina o estado previo de carbón. Según el tipo de biomasa y las condiciones del proceso, esta fase tiene una duración de entre 1 y 6 horas, preferentemente entre 2 y 4 horas.

Por otra parte, al tratarse de un proceso de naturaleza exotérmica, es importante controlar las condiciones de presión y temperatura, preferentemente dentro de los límites de proceso establecidos por el Max Planck Institut. En concreto, el intervalo de temperaturas preferente ha de estar comprendido entre 170 °C y 230 °C, preferentemente entre 179,9 y 219,6 °C y más preferentemente entre 191,6 y 209,8 °C; mientras que, en el caso de la presión, el intervalo de preferencia ha de ser de 8 a 28 bar de presión absoluta, preferentemente de 1 a 2,3 MPa (10 a 23 bar), y más preferentemente entre 1,3 y 1,9 MPa (10 a 19 bar). Estos valores dependerán tanto del tipo de biomasa como del producto que se quiera obtener.

El motivo por el que es necesario conseguir un buen control de las condiciones de proceso es el evitar alcanzar temperaturas de operación excesivas a las que pudieran suceder procesos químicos adicionales al de HTC que puedan dar lugar a, por ejemplo, un exceso de CO₂ que, si no se evacúa adecuadamente, podría a su vez provocar una subida indeseada de la presión del interior del reactor.

Según avanza el proceso de HTC, la densidad de los compuestos sólidos formados va aumentando mientras que, al mismo tiempo, la actividad térmica va disminuyendo. Como consecuencia de estos efectos se produce un descenso de los compuestos, dentro del agua de proceso, hacia la zona de maduración.

Al inicio de esta tercera fase, las principales formaciones de carbono ya se han desarrollado, aunque aún se pueden desprender moléculas de H₂O de las estructuras de carbono formadas. Al cabo de unas 2 a 12 horas, dependiendo del tipo de biomasa y de las condiciones de proceso, la actividad térmica habrá descendido prácticamente a cero.

Una vez finalizado el proceso de carbonización, la mezcla de biomasa carbonizada junto con, al menos, agua de proceso, se dirige a un tubo de enfriamiento, donde se reduce su temperatura hasta valores inferiores a la temperatura de evaporación a presión atmosférica, es decir, inferiores a 100 °C. De esta forma, se evitan posibles evaporaciones instantáneas en el equipo de despresurización, situado a continuación, a través del cual se extrae, de manera controlada, la mezcla acuosa de biomasa carbonizada. Al cabo de un cierto tiempo, las partículas sólidas de dicha mezcla se depositarán en el fondo del recipiente de salida o bien se separarán de la fase líquida mediante una operación mecánica de separación, preferentemente mediante centrifugación o filtración, pudiéndose aprovechar en función de su pureza como combustible sólido o bien como materia prima para otros procesos.

En una realización particular de la invención el carbón se utilizará como combustible sólido, de manera preferente, comprimido en forma de gránulos o briquetas. Como alternativa, el carbón obtenido podrá ser utilizado como materia prima de otros procesos industriales, preferentemente, en la elaboración combustible líquido de hidrocarburos. Por último, existe también la posibilidad de recortar el tiempo necesario para la maduración. En este caso, el producto final será una especie de turba que podrá ser utilizada como fertilizante.

Finalmente, en una realización preferida de la invención, parte del calor desprendido en la etapa de enfriamiento de la mezcla de biomasa carbonizada junto con, al menos, agua de proceso, resultante del proceso de carbonización hidrotérmica, se podrá recuperar en al menos una de las etapas demandantes de calor del sistema, preferentemente, en la etapa de precalentamiento de la mezcla de biomasa, catalizador y agua de proceso alimentada al sistema, etapa que se lleva a cabo, de manera preferida, en el equipo de precalentamiento (17) descrito previamente.

Ejemplo 1

A continuación se presenta, a modo de ejemplo y con carácter no limitante, la aplicación del sistema de control de presión y temperatura al proceso de HTC anteriormente descrito, de acuerdo a la numeración adoptada en las figuras:

De este modo, una mezcla acuosa de biomasa, a la que se añade un catalizador como por ejemplo, ácido cítrico o ácido sulfúrico, ajustando su concentración hasta conseguir un valor de pH de 5,5 (16) se alimenta a un reactor vertical de funcionamiento continuo (18), una vez que se ha precalentado en el tubo de precalentamiento (17) hasta una temperatura de 80 °C.

A continuación, durante el arranque en frío del proceso, una cierta cantidad de vapor a una temperatura de 195 °C se inyecta al reactor a través de las bocas de inyección (20). Una vez se alcanza la temperatura y presión del proceso, aproximadamente 191 °C y 1,3 MPa (13 bar) de presión, la carbonización entra en sus fases de monomerización y polimerización, y se inicia entonces una etapa de liberación de energía al medio de reacción por la naturaleza exotérmica del propio proceso. Como consecuencia de la generación de calor a nivel molecular de la biomasa, y debido a su contacto directo con el medio acuoso, parte del agua comienza a evaporarse, ascendiendo por el interior del reactor, hasta acumularse en la parte superior del mismo. Desde allí se enviará al depósito de regulación de presión (21), junto con el resto de gases desprendidos durante el proceso, entre los que se encuentran, por ejemplo, metano, CO₂ o aire.

De este modo, según avanza el proceso, el vapor de agua generado va acumulándose, junto con el resto de gases, en la parte superior del depósito de regulación (21). Como consecuencia de ello, la presión de su interior va incrementándose poco a poco hasta alcanzar un valor de aproximadamente 1,3 MPa (13 bar), equivalente al valor de consigna de apertura de la válvula de control de la que dispone el depósito (21).

Una vez abierta la válvula, los gases, junto con el vapor de agua, se extraen y se envían a un equipo condensador (25), donde se enfrían hasta una temperatura de, aproximadamente, 90 °C. Los gases que no condensen a esta temperatura se evacúan al ambiente mediante el dispositivo de purga de aire y gases de que dispone dicho equipo.

A su vez, parte del vapor generado, entre el 20 % y el 50 % en función de la dilución de la biomasa con agua, es aprovechado en el tubo de precalentamiento (17) para precalentar la mezcla acuosa de biomasa alimentada al reactor (18).

Tras la etapa de condensación, los condensados se envían al depósito de almacenamiento (26) abierto, ocupando de un 20 a un 90 % de su capacidad. Desde allí, se reinyectarán en el depósito de regulación de presión (21), cuando se alcance en dicho equipo un nivel de condensados inferior a un 60 % de su volumen.

Por otra parte, una cierta cantidad de estos condensados del depósito de regulación (21) se alimentarán al reactor (18), a una temperatura de aproximadamente 190 °C, en caso de que en dicho equipo se alcance un volumen mínimo de aproximadamente un 70 %. De este modo es posible recuperar parte del agua evaporada durante el proceso exotérmico de carbonización, al mismo tiempo que se consigue homogeneizar la temperatura en diferentes puntos del interior del reactor.

A su vez, gracias a este sistema de control, es posible llevar a cabo el proceso de manera continua y, al mismo tiempo, se logran mantener unas condiciones de presión y temperatura adecuadas y estables durante toda la operación sin necesidad de disponer de equipos adicionales móviles o de superficies de intercambio de calor en el interior del reactor.

Asimismo, y adicionalmente, esta realización preferida de la invención permitirá recuperar parte del calor desprendido en la etapa de enfriamiento de la mezcla de biomasa carbonizada junto con, al menos, agua de proceso, resultante del proceso de carbonización en la etapa de precalentamiento de la mezcla de biomasa, catalizador y agua de proceso alimentada al sistema, etapa que se lleva a cabo en el equipo de precalentamiento (17).

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de control de temperatura y presión de reactores de carbonización hidrotérmica de biomasa, que comprende al menos un reactor de carbonización hidrotérmica de biomasa, **caracterizado por que** el sistema de control de presión y temperatura comprende, además, al menos, los siguientes dispositivos:
- 5
- a) un depósito (1), con una parte superior y una parte inferior, que comprende al menos un dispositivo regulador de la presión, al menos una entrada (3) y al menos una salida (4) para condensados, al menos una entrada (2) de vapor o gas situada en la parte inferior del depósito (1) y sumergida en una zona de condensados, y al menos una salida (5) de vapor o gas situada en la parte superior de dicho depósito (1), estando configurado dicho al menos un dispositivo de regulación de la presión para abrir la al menos una salida (5) de vapor y/o gas cuando la presión del interior del depósito alcanza un valor de consigna establecido para controlar la presión y la temperatura de la reacción;
 - 10 b) un primer tubo de unión para conectar la entrada (2) de vapor y/o gas del depósito con una salida de vapor y/o gas situada en la parte superior de cada reactor de carbonización hidrotérmica de biomasa;
 - 15 c) un segundo tubo para conectar la al menos una salida (4) de los condensados del depósito (1) con el al menos un reactor de carbonización hidrotérmica de biomasa (10); y,
 - 20 d) un dispositivo de inyección de condensados (14) para inyectar condensados desde el depósito (1) al interior de al menos un reactor de carbonización hidrotérmica de biomasa (10).
2. El sistema de control de temperatura y presión de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** comprende además, al menos un sistema de recuperación de la entalpía del vapor y/o gases generados en cada reactor de carbonización hidrotérmica de biomasa (10).
- 25
3. El sistema de control de temperatura y presión de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado por que** el sistema de recuperación de la entalpía del vapor y/o gases generados en cada reactor de carbonización hidrotérmica de biomasa (10) es una turbina (8).
- 30
4. El sistema de control de temperatura y presión de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** comprende, además, al menos un equipo de refrigeración del vapor y/o gases generados en cada reactor de carbonización hidrotérmica de biomasa (10).
- 35
5. El sistema de control de temperatura y presión de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado por que** el equipo de refrigeración es un condensador (6,7).
- 40
6. El sistema de control de temperatura y presión de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** comprende, además, al menos un depósito (9) para almacenar los condensados.
- 45
7. El sistema de control de temperatura y presión de acuerdo con 1, **caracterizado por que** el depósito (1) comprende, además, al menos un dispositivo seleccionado de un grupo que consiste en: una válvula de regulación de presión, una sonda de presión, una sonda de temperatura, una sonda de nivel, una purga, una válvula de vacío y una válvula de seguridad, así como cualquier combinación de los anteriores.
- 50
8. El sistema de control de temperatura y presión de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el conducto de unión entre cada reactor de carbonización hidrotérmica de biomasa (10) y el depósito (1) desemboca en dicho depósito por debajo de su superficie de condensados.
- 55
9. El sistema de control de temperatura y presión de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** comprende, además, un sistema de inyección de vapor a cada reactor de carbonización hidrotérmica de biomasa (10).
- 60
10. El sistema de control de temperatura y presión de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** comprende, además, al menos un dispositivo externo generador de vapor.
- 65
11. El sistema de control de temperatura y presión de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado por que** el dispositivo externo generador de vapor es una caldera o un compresor (15) de vapor.
12. El sistema de control de temperatura y presión de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** comprende, adicionalmente, al menos uno de los siguientes equipos:
- a) un equipo de presurización;
 - b) un equipo de precalentamiento;
 - c) un reactor vertical con inversión de flujo;
 - d) un equipo de enfriamiento, y
 - e) un equipo de despresurización.

13. El sistema de control de temperatura y presión de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el reactor de carbonización hidrotérmica de biomasa es un reactor vertical con inversión de flujo (18).
- 5 14. El sistema de control de temperatura y presión de acuerdo con la reivindicación 13, en el que el reactor vertical de flujo invertido (18) comprende un tubo de ascenso que ocupa la zona central de dicho reactor vertical con inversión de flujo (18) desde el fondo hasta de un 50 a un 80 % de la altura del reactor.
- 10 15. El sistema de control de temperatura y presión de acuerdo con la reivindicación 14, en el que dicho reactor vertical de flujo invertido (18) comprende además al menos un dispositivo seleccionado de un grupo que consiste en una válvula de seguridad, una sonda de presión, una sonda de temperatura, una sonda de nivel de llenado, una purga de aire y gases y una válvula de vacío, así como cualquier combinación de los anteriores.
- 15 16. El sistema de control de temperatura y presión de acuerdo con la reivindicación 14 o 15, en el que dicho reactor vertical de flujo invertido (18) comprende en el lateral y en la parte inferior del mismo y del tubo de ascenso, al menos una entrada (20) para inyectar vapor.
- 20 17. El sistema de control de temperatura y presión de acuerdo con la reivindicación 14, 15 o 16, en el que dicho reactor vertical de flujo invertido (18) comprende, en el lateral, al menos una entrada (22, 23, 24) para inyectar condensados.
- 25 18. Uso de un sistema de control de temperatura y presión de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores para controlar la presión y la temperatura de al menos un reactor de carbonización hidrotérmica de biomasa.
- 30 19. Método de carbonización hidrotérmica de biomasa cuya presión y temperatura se controlan mediante un sistema que tiene el aparato con las características técnicas presentadas en las reivindicaciones 1 a 17, **caracterizado por que** dicho método comprende las siguientes etapas:
- 35 a) presurizar una mezcla acuosa de biomasa y catalizador hasta una presión de, al menos, 1 MPa (10 bar);
b) precalentar la mezcla acuosa de biomasa y catalizador hasta una temperatura de entre 170 °C a 210 °C;
c) alimentar la mezcla acuosa de biomasa y catalizador a un reactor vertical de flujo invertido donde tiene lugar una reacción de carbonización hidrotérmica que da como resultado una mezcla de biomasa carbonizada junto, al menos, agua de proceso;
d) enfriar la mezcla de biomasa carbonizada junto con, al menos, agua de proceso, en un tubo de enfriamiento hasta valores inferiores a su temperatura de evaporación a presión atmosférica;
e) despresurizar y extraer la mezcla acuosa de biomasa carbonizada.
- 40 20. Método de carbonización hidrotérmica de biomasa de acuerdo con la reivindicación 19, donde dicho método comprende además una etapa adicional de pretratamiento de la biomasa.
- 45 21. Método de carbonización hidrotérmica de biomasa de acuerdo con la reivindicación 20, donde dicha etapa de pretratamiento comprende, a su vez, al menos una etapa de triturado y al menos una etapa de lavado de la biomasa.
22. Método de carbonización hidrotérmica de biomasa de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 19 a 21, donde dicho método comprende una etapa adicional de recuperación de parte del calor desprendido en la etapa (d) para enfriar la mezcla de biomasa carbonizada junto con, al menos, el agua de proceso resultante del proceso de carbonización hidrotérmica de la etapa (b) para precalententar la mezcla acuosa de biomasa y catalizador alimentada al sistema.

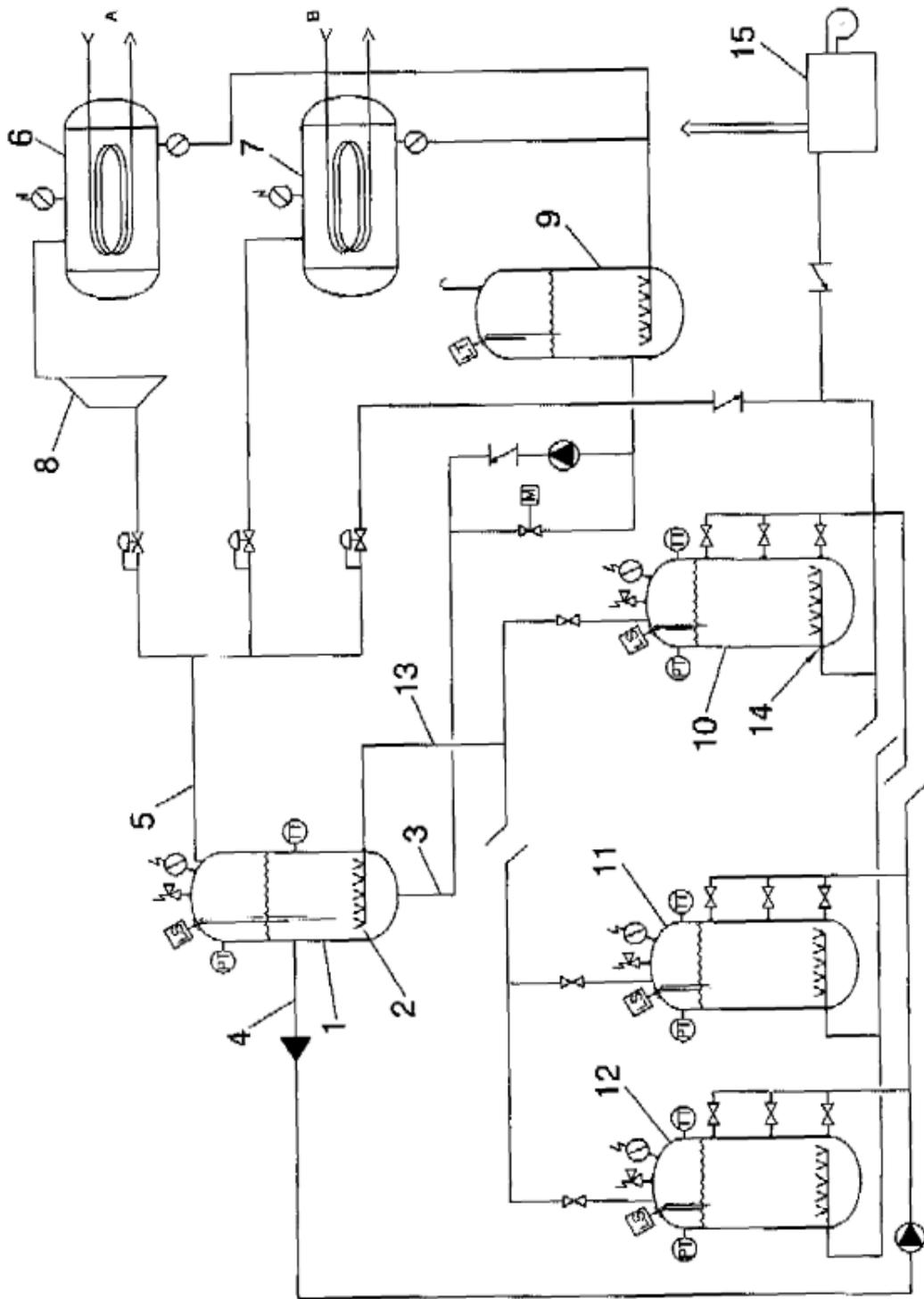


FIG. 1

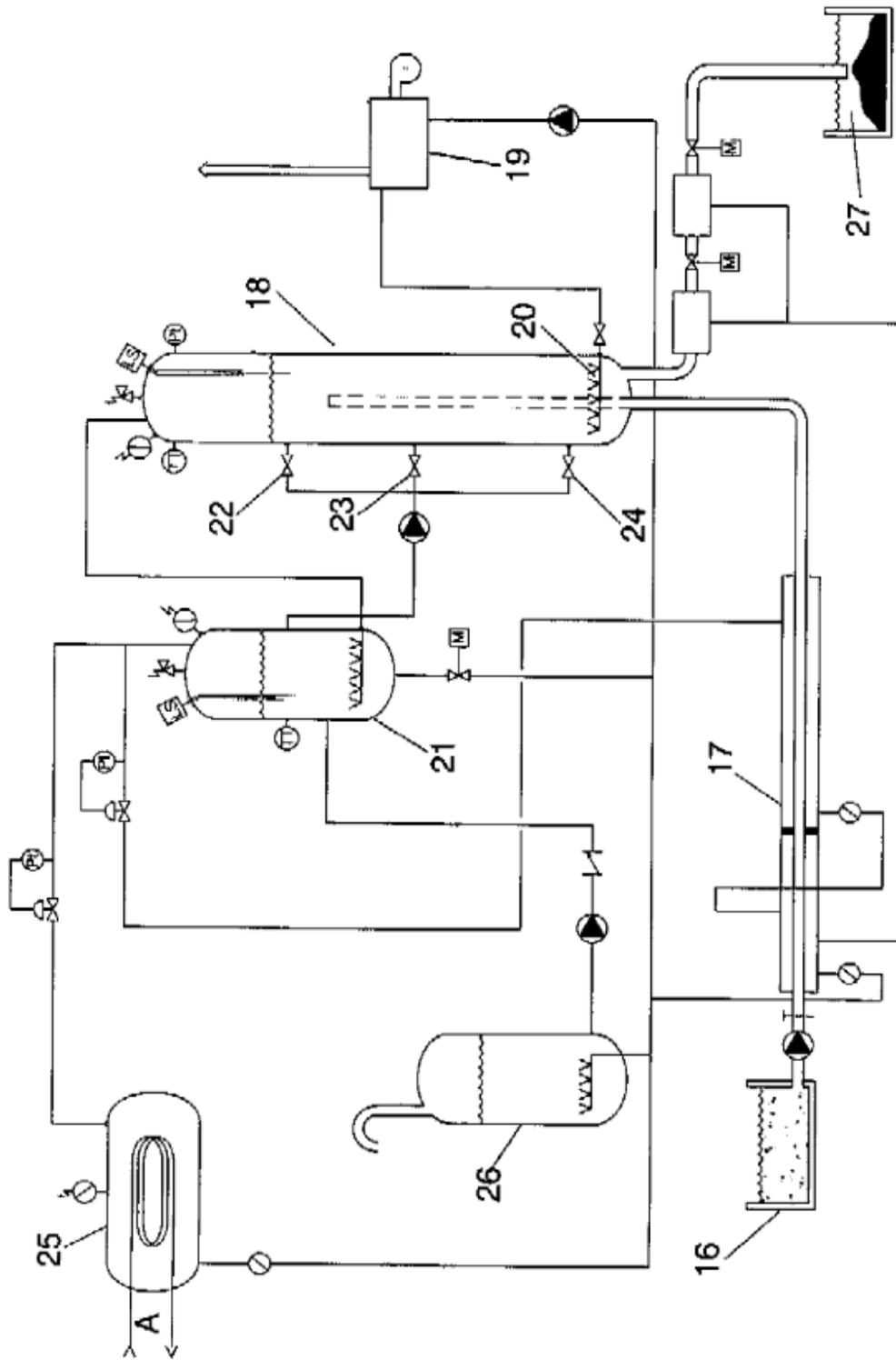


FIG. 2