

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 432 500**

51 Int. Cl.:

C10L 5/44 (2006.01)

C10L 9/08 (2006.01)

C10B 53/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.04.2010 E 10714577 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2013 EP 2414494**

54 Título: **Procedimiento para la carbonización hidrotermal de materias primas renovables y residuos orgánicos**

30 Prioridad:

01.04.2009 DE 102009015257

23.12.2009 DE 102009060542

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

03.12.2013

73 Titular/es:

**SUNCOAL INDUSTRIES GMBH (100.0%)
Rudolf-Diesel-Strasse 15
14974 Ludwigsfelde, DE**

72 Inventor/es:

**WOLF, BODO, M.;;
WITTMANN, TOBIAS y
VON OLSHAUSEN, CHRISTIAN**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 432 500 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la carbonización hidrotermal de materias primas renovables y residuos orgánicos

5 La invención se refiere a un procedimiento para la carbonización hidrotermal de materias primas renovables y residuos orgánicos.

10 Las materias primas renovables y los residuos orgánicos que se pueden emplear en el procedimiento de acuerdo con la invención se describen en lo sucesivo con las expresiones materia empleada o biomasa. Por materia empleada o biomasa, en el presente documento, se ha de entender biomasa vegetal y animal así como productos metabólicos, en particular materias primas renovables tales como recortes de madera, poda verde de la ordenación paisajística, plantas, paja, ensilados y residuos orgánicos de la agricultura y la silvicultura así como de la industria alimentaria y la industria de eliminación de residuos, así como turba, lignito bruto, lodos de papel y de clarificación, bagazos y similares que, en lo sucesivo, se denominan también materias empleadas.

15 Las materias empleadas se convierten mediante carbonización hidrotermal esencialmente en humus, carbón, fertilizante, agua y CO₂.

20 Con respecto al procedimiento de acuerdo con la invención, la expresión "materia empleada" se ha de referir, esencialmente, al estado típico, por ejemplo, al respectivo grado de conversión de la materia empleada en el respectivo paso o etapa del proceso.

25 El campo de aplicación de la invención es el aprovechamiento energético de materias primas renovables, la reutilización de residuos de la producción de la industria agrícola, forestal y alimentaria y de materias reciclables orgánicas del tratamiento de residuos y la producción de mejoradores del suelo.

30 En el estado de la técnica, la mayor parte de la biomasa del proceso cíclico natural del ciclo del carbono se descompone o se convierte en compost contaminando el medio ambiente y, de este modo, escapa a un aprovechamiento de mayor calidad de materias y de energía. Los procesos industriales para la transformación de las materias empleadas en humus y carbón mediante carbonización hidrotermal en la producción a gran escala no son estado de la técnica, a pesar de que las bases científicas de la transformación de estas materias empleadas en carbón las publicó Bergius en 1913 .

35 Existen bases científicas para la transformación de las materias empleadas tales como madera, paja, hierba, poda verde, madera de la ordenación paisajística, orujo, residuos de fermentación, ensilados de maíz, ensilados de plantas enteras y desechos orgánicos, sin embargo, también turba y lignito bruto mediante deshidratación (disociación de agua) a temperaturas entre 180 °C y 300 °C en presencia de agua líquida en sólidos ricos en carbono y pobres en oxígeno. Después, durante la reacción, la presión tiene que corresponderse al menos con la presión de vapor saturado de la mezcla de reacción a la temperatura de reacción seleccionada o encontrarse por encima. Dependiendo de las materias empleadas usadas se requiere alcanzar una temperatura mínima para poner en marcha la reacción. Esta asciende, aproximadamente, a 180 °C para materias empleadas ricas en azúcar y se sitúa en hasta 220 °C para materias empleadas ricas en celulosa y lignina. La deshidratación es una reacción en el tiempo que tiene lugar en primer lugar de forma muy rápida y después cada vez más lenta hasta alcanzarse un estado de equilibrio. Por norma general se requieren, dependiendo de las propiedades deseadas de los productos, 45 tiempos de permanencia entre 30 minutos y más de 12 horas.

50 En paralelo con respecto a la reacción de deshidratación tiene lugar una descarboxilación que conduce a una disociación de, sobre todo, CO₂. Esto lleva a una formación de gases (permanentes) durante la reacción. A temperaturas bajas domina la deshidratación, a temperaturas altas domina la descarboxilación. Por tanto, cuanto mayor se selecciona la temperatura, más carbono se escinde en forma de CO₂ y se pierde como gas. Al mismo tiempo disminuye el rendimiento del sólido. Sin embargo, mediante un aumento de la temperatura se puede disminuir el tiempo de permanencia, ya que tanto la deshidratación como la descarboxilación se desarrollan más rápidamente. Además, mediante un aumento de la temperatura se puede mejorar la calidad del producto (elevada parte en masa de carbono y/o reducida parte de masa de oxígeno) que se puede conseguir con el máximo tiempo de permanencia. Mientras que a temperaturas de, por ejemplo, aproximadamente 200 °C se puede conseguir una parte máxima de carbono de aproximadamente el 70 %, a temperaturas de, por ejemplo, aproximadamente 300 °C se puede conseguir una porción máxima de carbono de aproximadamente el 80 %.

60 Además de la deshidratación y la descarboxilación tiene lugar también una serie de reacciones secundarias que llevan a que se formen, entre otras cosas, hidrocarburos solubles en agua. Algunos de estos hidrocarburos solubles en agua forman, a continuación, de nuevo un sólido rico en carbono, por tanto, son productos intermedios de la reacción de deshidratación. Una parte de los hidrocarburos solubles en agua son ácidos orgánicos, cuya formación conduce a una disminución del valor del pH. Si la carbonización hidrotermal se lleva a cabo a temperaturas bajas, la mayor parte de la fase líquida se puede degradar biológicamente de forma muy sencilla. Si la carbonización hidrotermal se lleva a cabo a temperaturas altas, aumenta la parte de hidrocarburos biológicamente difíciles de 65 degradar en la fase líquida, lo que puede conducir a costes aumentados de eliminación de residuos.

La deshidratación y descarboxilación se pueden favorecer, respectivamente, mediante la adición de catalizadores adecuados. Por tanto, ya con una reducida temperatura y una reducida duración de la reacción se puede conseguir el grado deseado de conversión. Son ejemplos de catalizadores eficaces, entre otros, ácidos orgánicos tales como, por ejemplo, ácido cítrico. Además, algunos metales, sus sales y óxidos tienen un efecto catalíticamente activo en la reacción hidrotermal de carbonización. Una parte de las sustancias de efecto catalítico ya están contenidas en distintas materias empleadas y, de este modo, se incluyen en el proceso. Otras se pueden añadir para la optimización de la reacción a las materias empleadas antes de la entrada en el reactor o introducirse en el reactor durante el funcionamiento en curso. En algunos casos, el catalizador no se puede recuperar después de la conversión (por ejemplo, ácido cítrico) o se descompone durante la reacción (por ejemplo, ácido fórmico). En este sentido, el término "catalizador" no se puede aplicar en el sentido estricto de la palabra. Estos coadyuvantes aceleran la reacción y reducen la temperatura inicial requerida que se ha mencionado al principio, por lo que, no obstante, son acertadas propiedades esenciales de un catalizador.

Una selección de catalizadores es:

- 1) ácidos de Brønsted inorgánicos: HNO_3 , HCl
- 2) ácidos de Brønsted orgánicos: ácido fórmico, ácido acético, ácido cítrico, NH_4Cl
- 3) ácidos de Lewis tales como, por ejemplo, halogenuros de metal: FeCl_3 , FeBr_3 , AlCl_3 , AlBr_3
- 4) en general, halogenuros y óxidos de metal: NaCl , FeO , Fe_2O_3 , LiCl , $[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2] \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$
- 5) zeolitas ácidas, por ejemplo, H-ZSM-5

A pesar de que la reacción de carbonización tiene lugar también sin catalizador, la elección acertada de un sistema de catalizador adecuado es ventajosa para una conducción óptima del proceso para ajustar una combinación razonable de temperatura de reacción y tiempo de permanencia junto con un elevado rendimiento, un balance optimizado de carbono así como buenas propiedades de producto. Además, la adaptación del catalizador puede influir de forma decisiva en la calidad del producto secundario agua del proceso, representando el objetivo un agua que se pueda descargar con una reducida carga de contaminantes.

La deshidratación y descarboxilación de biomasa es un proceso globalmente exotérmico, en el que se tiene que evacuar calor.

Una de las primeras realizaciones técnicas de la deshidratación de lodos industriales en reactores a presión a 250 °C - 300 °C de la industria de la celulosa la describió Friedrich Bergius en 1921 (documento AT86234).

El documento US-A-5 354 345 desvela un procedimiento continuo para la carbonización hidrotermal de, entre otras cosas, biomasa, en el que la materia empleada se carboniza en un reactor cilíndrico erguido en un baño de agua a presión, escindiéndose agua y CO_2 . La materia empleada se suministra desde arriba y efectúa un movimiento descendente vertical debido a la gravedad en dirección a la salida que se encuentra en el extremo inferior del reactor. La descarga del producto se puede realizar, por ejemplo, mediante tornillos sin fin de transporte.

Además, el documento US 3.552.031 desvela un dispositivo para la disociación de agua de material orgánico junto con agua líquida con el ejemplo de lignito a temperaturas entre 100 °C y 300 °C en un reactor a presión horizontal que se alimenta a través de un dispositivo de transporte y en cuyo extremo se retira de nuevo el carbón deshidratado. El reactor está aislado y se calienta desde el exterior. Sin embargo, no se realizan afirmaciones acerca de la conducción de las corrientes de calor, cuya conducción eficaz tiene una influencia importante sobre la rentabilidad del procedimiento. Otra desventaja es el equipo de transporte en el interior del reactor.

También el documento US 3.992.784 desvela un procedimiento para la deshidratación de material orgánico junto con agua líquida a más de 150 °C con el ejemplo de lignito. El lignito se mezcla con agua y se transporta con ayuda de una bomba a un reactor a presión. La mezcla de agua y lignito se precalienta mediante transmisores/intercambiadores de calor que aprovechan el calor del producto evacuado del reactor. El calentamiento de los eductos se realiza exclusivamente mediante una transferencia indirecta de calor en transmisores/intercambiadores de calor. El uso de transmisores de calor indirectos para el precalentamiento de mezclas de sólido/líquido es difícil a causa de las malas propiedades de transferencia de calor y la tendencia a la formación de adherencias. Además, la secadora, que tiene una necesidad de calor no a subestimar, no está incluida en la economía/el balance de calor de la instalación.

El documento WO 2008081409 A2 desvela un procedimiento y un dispositivo para la deshidratación de biomasa junto con agua líquida a temperaturas por encima de 150 °C en un reactor a presión, que está compuesto esencialmente de una columna de burbujas con circulación en bucles en la que se introduce el producto de partida. La mezcla de reacción que se encuentra en el reactor se hace circular de forma continua y una parte se extrae del reactor y a continuación se seca. Además, se desvelan grupos secundarios. Una desventaja de esta enseñanza conocida es la completa circulación del contenido del reactor. Por ello, la mezcla de reacción consigue solamente un tiempo de permanencia medio y una parte de la biomasa se evacua, inmediatamente después de la entrada, de nuevo al exterior del reactor, lo que influye negativamente en la calidad del producto. Además, también es desventajoso que la mezcla de reacción se descarga del reactor con una reducida parte de materia seca, por lo que

se descarga también una gran cantidad de agua de reacción caliente, que se tiene que sustituir, para cerrar el balance de agua, por agua más fría.

5 Además, el documento EP 1970431 A1 desveló un procedimiento y un dispositivo para la deshidratación de biomasa junto con agua líquida a temperaturas por encima de 100 °C. A este respecto, la biomasa, dado el caso, se precalienta y se introduce con una bomba o esclusa en un reactor a presión horizontal, a través del cual se mueve con ayuda de un transportador de tornillo sin fin. El reactor a presión está calentado externamente. La biomasa que ha reaccionado se descarga al final del reactor a presión mediante una bomba o una esclusa de presión. Una desventaja de esta enseñanza es el uso de un transportador de tornillo sin fin para mover el contenido del reactor a través del reactor tubular. Debido a las altas temperaturas se produce un rápido desgaste del tornillo sin fin y, debido a las altas presiones, dificultades durante la hermetización con respecto a la presión atmosférica.

15 Además, el documento WO 2008095589 A1 desvela un reactor con forma de S para la deshidratación de biomasa en agua líquida, que se encuentra en un baño de aceite termal que, en caso necesario, se puede refrigerar y calentar. Una desventaja de esta variante es la mala capacidad de control de la temperatura interna del reactor.

20 El documento WO 2008113309 A1 desvela una transformación de química húmeda de biomasa por debajo de la superficie terrestre, por ejemplo, en minas de carbón, permitiendo la presión estática del agua un calentamiento de estratos situados por debajo de 200 m hasta por encima de 200 °C y posibilitando, de este modo, una reacción de deshidratación. La vía perseguida en este caso de la conversión técnica presenta desventajas con respecto a una instalación que se encuentra en la superficie terrestre, ya que la temperatura de la reacción no se puede controlar sin más y los trabajos requeridos de mantenimiento se pueden llevar a cabo solo con dificultad.

25 El aprovechamiento todavía no generalizado de los conocimientos de Bergius se debe, además de a la necesidad no dada hasta ahora de acción, indudablemente también al estado insatisfactorio en la transmisión de los conocimientos científicos de la carbonización hidrotermal a una técnica de procedimiento útil a nivel industrial y en el desarrollo de los dispositivos correspondientes.

30 El fin de la invención es la explotación de la pluralidad de materias empleadas concebibles mediante mejora del estado de la técnica durante la transformación, en particular de materias empleadas orgánicas específicamente de gran volumen, preferentemente de aquellas con un alto contenido de agua, mediante carbonización hidrotermal, en la que las materias empleadas se transforman mediante deshidratación y descarboxilación principalmente en carbón, humus, fertilizante, agua y CO₂, es decir, en materias reciclables, empleadas, coadyuvantes y combustibles normalizables con un elevado valor útil, por ejemplo, un alto calor de combustión y un reducido contenido de agua.

35 El objetivo de la invención es proporcionar un procedimiento continuo simplificado para la carbonización hidrotermal de biomasa que consiga, en particular, una alta eficacia con respecto a la economía de calor y de agua del proceso.

40 Para esto, de acuerdo con la invención se proponen en particular

- un aumento de presión con el fin de la introducción de las materias empleadas en recipientes a presión,
- una elevación de la concentración de carbono de las materias empleadas en un baño de agua a temperaturas y presiones debidas al proceso,
- una extracción mecánica de agua y secado térmico de los productos carbonizados y dado el caso
- 45 • una recuperación de los nutrientes vegetales aportados con las materias primas y del agua.

El objetivo se consigue mediante un procedimiento continuo para la carbonización hidrotermal de biomasa, en el que

- 50 • en un primer paso del proceso, el aumento de la presión, se aumenta la presión de la materia empleada esencialmente hasta la presión del siguiente paso del proceso de al menos 0,5 MPa (5 bar),
- la materia empleada, en un segundo paso del proceso, de la carbonización, con disociación esencialmente de agua y dióxido de carbono a una presión de al menos 0,5 MPa (5 bar) y una temperatura de ebullición máxima del agua, se transforma en un producto carbonizado,
- 55 • la materia empleada se transporta en el segundo paso del proceso, sobre todo, por gravedad esencialmente de forma vertical,
- la materia empleada (que se encuentra en transformación) se hace circular preferentemente en la parte/zona superior del segundo paso del proceso mediante retirada y parcialmente nuevo suministro de agua desde el o al segundo paso del proceso, preferentemente de forma esencialmente perpendicular con respecto a la dirección principal del flujo entre la entrada de educto y la descarga de producto,
- 60 • la materia empleada (que se encuentra en transformación) se sedimenta en la parte/zona inferior del segundo paso del proceso como sedimento que contiene agua,
- 65 • la altura mínima del sedimento se selecciona de tal manera que el contenido de sólidos mediante

sedimentación aumenta hasta al menos el 15 %, preferentemente al menos el 20 %, más preferentemente al menos el 25 %, de forma particularmente preferente al menos el 30 % y la altura máxima de la capa de sedimento se limita, por ejemplo, mediante circulación y/o adición de vapor caliente de tal manera que por la presión estática no se configura ningún precipitado sólido,

- 5 • la altura de llenado del estado de agua en el segundo paso del proceso se regula mediante la retirada y el suministro de agua del y al paso del proceso,
- 10 • los gases permanentes que se producen en el segundo paso del proceso se evacúan, a contracorriente con respecto a la materia empleada que entra en el segundo paso del proceso, del segundo paso del proceso de tal manera que la parte contenida de vapor de agua se condensa al menos parcialmente en la materia empleada relativamente más fría y se evacúan del proceso solo después los gases permanentes y
- 15 • el sedimento se descarga del segundo paso del proceso y esencialmente por evaporación de agua se refrigera a esencialmente el nivel de temperatura de un tercer paso del proceso, un secado calentado con vapor, en el que el secado se realiza en atmósfera de vapor y se suministra al mismo y se descarga del mismo como producto final en forma de carbón comercializable con contenidos de agua de menos del 30, preferentemente menos del 20, en particular menos del 15 % en masa.

20 El principio de acción esencial de la presente invención radica en una realización sencilla en cuanto a la técnica del procedimiento con un balance energético al mismo tiempo optimizado, lo que se consigue mediante una descarga aumentada de producto sólido del segundo paso del proceso con obtención simultánea de la mayor cantidad posible de agua calentada en el segundo paso del proceso y evitación de la formación de un precipitado sólido acoplado a una obtención del calor de escape de la refrigeración de retorno del sedimento y el secado en forma de vapor de agua.

El procedimiento continuo de acuerdo con la invención para la carbonización hidrotermal de las materias empleadas se puede configurar ventajosamente al realizarse al menos una de las siguientes medidas:

- 30 • en el primer paso del proceso se aumenta la presión de la materia empleada esencialmente hasta la presión del siguiente paso del proceso de al menos 0,5 MPa (5 bar) y se aumenta la temperatura de la materia empleada mediante su mezcla con agua residual y/o vapor residual más caliente en relación con la temperatura de la materia empleada de los siguientes pasos del proceso y, de forma apropiada, antes de la entrada de la materia empleada en el segundo paso del proceso se separa de nuevo como máximo tanta agua de la materia empleada como se había suministrado previamente y, de forma apropiada, del agua separada se evacua como máximo tanta agua del proceso como se separa o se había separado en los pasos posteriores del proceso de la carbonización y el secado de la materia empleada y, además, el agua suministrada al primer paso del proceso permanece como agua de reciclaje en el proceso,
- 35 • la materia empleada en el segundo paso del proceso se precalienta mediante condensación del vapor de agua que se produce en el propio paso del proceso y se disgrega químicamente y se transforma en un baño de agua que trabaja con máximas condiciones de ebullición con una presión de al menos 0,5 MPa (5 bar) mediante disociación del agua químicamente unida y dióxido de carbono en el producto carbonizado,
- 45 • la materia empleada se transporta de forma esencialmente vertical en el segundo paso del proceso, sobre todo debido a la gravedad,
- 50 • la materia empleada (que se encuentra en transformación) se hace circular preferentemente en la parte/zona superior del segundo paso del proceso mediante extracción y en parte nuevo suministro de agua del o al segundo paso del proceso preferentemente de forma esencialmente perpendicular con respecto a la dirección principal del flujo entre la entrada de educto y la descarga de producto,
- 55 • la materia empleada (que se encuentra en transformación) sedimenta en la parte inferior del segundo paso del proceso como sedimento que contiene agua,
- 60 • la altura mínima del sedimento se selecciona de tal manera que el contenido de sólidos aumenta mediante sedimentación a al menos el 15 %, preferentemente al menos el 20 %, más preferentemente al menos el 25 %, de forma particularmente preferente al menos el 30 % y se limita la altura máxima de la capa de sedimento, por ejemplo, mediante circulación y/o adición de vapor caliente, de tal manera que no se configura ningún precipitado sólido debido a la presión estática,
- 65 • la altura de llenado del nivel de agua en el segundo paso del proceso se regula mediante la extracción y el suministro de agua del y al paso del proceso,
- el equilibrio térmico del segundo paso del proceso se obtiene mediante nuevo suministro del agua extraída para la circulación que, en caso de una necesidad de calor en el segundo paso del proceso,

ventajosamente se puede calentar en el exterior del segundo paso del proceso mediante adición de vapor caliente y/o en un intercambiador de calor, en caso requerido la extracción de vapor y, en caso necesario, mediante adición de vapor caliente externo que se condensa en el paso del proceso,

- 5 • el exceso de vapor que se produce en el segundo paso del proceso y que no se condensa se puede extraer del segundo paso del proceso y se puede volver a suministrar de nuevo al segundo paso del proceso y/o se puede evacuar del segundo paso del proceso con el fin del aprovechamiento, preferentemente, en otro paso del proceso,
- 10 • los gases permanentes que se producen en el segundo paso del proceso se pueden evacuar, a contracorriente con respecto a la materia empleada que entra en el segundo paso del proceso, del segundo paso del proceso de tal manera que la parte contenida de vapor de agua se condensa al menos parcialmente en la materia empleada en relación más fría y solo después se evacúan del proceso los gases permanentes,
- 15 • el sedimento se descarga del segundo paso del proceso y se refrigera esencialmente por evaporación de agua hasta esencialmente el nivel de temperatura de un tercer paso del proceso, un secado calentado con vapor, en el que el secado se realiza en atmósfera de vapor y se suministra al mismo y se descarga del mismo como producto final en forma de carbón comercializable con contenidos de agua de menos del 30, preferentemente menos del 20, en particular menos del 15 % en masa.

A continuación se describen formas de realización preferentes de los tres pasos del proceso.

- 25 Son formas de realización preferentes del primer paso del proceso, el aumento de presión: 1. Aumento de presión de la materia empleada junto con un líquido y 2. Aumento de presión de la materia empleada junto con un gas.

En la primera forma de realización preferente del primer paso del proceso, el aumento de presión de la materia empleada junto con un líquido, de acuerdo con la invención se mejora la transportabilidad de la materia empleada con respecto a la tecnología empleada para la generación de presión, preferentemente una bomba de émbolo, una bomba de tornillo con fin excéntrica, una esclusa de rueda celular, una esclusa de presión o bomba de émbolo giratorio mediante relleno al menos de su volumen intersticial con agua residual más caliente en relación con la temperatura de la materia empleada de los siguientes pasos del proceso. De este modo, mediante la adición de agua se mejora la fluidez y la compresibilidad o incompresibilidad de la materia empleada utilizada. La adición de agua se realiza de acuerdo con la invención antes del aumento de la presión hasta la presión del siguiente paso del proceso que, de forma técnicamente razonable, se encuentra en al menos 0,5 MPa (5 bar). La cantidad de agua suministrada se selecciona de tal manera que se puede garantizar la transportabilidad con la tecnología seleccionada. Preferentemente se tiene que suministrar más agua que la cantidad mínima de causa técnica para minimizar el desgaste. La parte de materia seca (parte de MS) con el aumento de presión preferentemente es menor del 25 % y mayor del 2 %, más preferentemente menor del 15 % y mayor del 5 %. Mediante el empleo de agua residual caliente de los siguientes pasos del proceso se puede transferir el calor sensible del agua residual caliente a la materia empleada y mejorarse, de este modo, la eficiencia energética. Para el aumento adicional de la temperatura se puede añadir además vapor residual de los siguientes pasos del proceso, que se condensa en la materia empleada en relación más fría. Mediante el empleo de vapor residual caliente de los siguientes pasos del proceso se puede transferir el calor tanto sensible como latente del vapor residual caliente a la materia empleada y se puede mejorar de este modo adicionalmente la eficiencia energética.

Preferentemente se realiza la adición del vapor residual antes de la adición del agua residual. La temperatura de la materia empleada se aumenta, de forma técnicamente razonable, mediante la adición de agua residual y/o vapor residual solo hasta que no se produzca una formación en exceso de vahos y está limitada por las condiciones de ebullición. Preferentemente, la temperatura de la materia empleada después de la adición de agua y vapor asciende a más de 60 °C y menos de 100 °C, más preferentemente a más de 80 °C y menos de 100 °C, de forma particularmente preferente a más de 90 °C y menos de 100 °C. Después de que la materia empleada cargada de este modo se haya expuesto a presión, el agua residual añadida y/o el vapor residual añadido condensado directamente antes de la entrada de la materia empleada en el segundo paso del proceso se vuelve a separar al menos en parte de la materia empleada para no cargar el segundo paso del proceso con una cantidad demasiado grande de agua más fría en relación con la temperatura de reacción. Del agua separada, de forma apropiada, se evacua como máximo tanta del proceso como se había separado en los pasos del proceso posteriores (carbonización y secado) de la materia empleada. De este modo, la cantidad de agua evacuada del proceso entre el primer y el segundo paso del proceso se corresponde, de forma apropiada, como máximo con la diferencia entre la cantidad de agua aportada con la materia empleada en el primer paso del proceso y la descargada con el producto final. El agua no evacuada permanece habitualmente como agua de reciclaje en el proceso.

La segunda forma de realización preferente del primer paso del proceso, el aumento de presión de la materia empleada junto con un gas, de acuerdo con la invención se realiza mediante una esclusa de presión que trabaja periódicamente que está compuesta de, al menos, una esclusa de baja presión y una de alta presión. A este respecto, la sincronización de la esclusa se ha de diseñar de tal modo que

ES 2 432 500 T3

- 5 • en un primer ciclo, la esclusa de baja presión que durante el funcionamiento regular antes de su relajación está llena de una mezcla de vapor de agua y gases permanentes, se relaja de tal modo frente a la presión atmosférica que la parte de vapor de agua de la mezcla de gas-vapor se condensa al menos parcialmente en la materia empleada (preparada para el aumento de presión) y la fase gaseosa remanente se obtiene por separado y se puede evacuar del proceso,
- 10 • en un segundo ciclo, la materia empleada precalentada de este modo se transporta a la esclusa de baja presión abierta preferentemente debido a la gravedad y la misma después se bloquea,
- 15 • en un tercer ciclo se relaja la esclusa de alta presión, que durante el funcionamiento regular antes de su relajación está llena de una mezcla de vapor de agua y gases permanentes, de tal manera a la esclusa de baja presión que la parte de vapor de agua de la mezcla de gas-vapor se condensa al menos parcialmente en la materia empleada que se encuentra en la esclusa de baja presión,
- 20 • en un cuarto ciclo, la materia empleada sometida de este modo a presión y precalentada adicionalmente se transporta desde la esclusa de baja presión a la esclusa de alta presión abierta preferentemente debido a la gravedad y entonces se bloquea la misma,
- 25 • en un quinto ciclo se tensa la esclusa de alta presión con una mezcla de gas-vapor del segundo paso del proceso de tal manera que la parte de vapor de agua de la mezcla de gas-vapor se condensa al menos parcialmente en la materia empleada, que se encuentra en la esclusa de alta presión y la misma se expone esencialmente a la presión del segundo paso del proceso y
- 30 • en un sexto ciclo se transporta la materia empleada expuesta de este modo a presión y precalentada adicionalmente desde la esclusa de alta presión abierta al segundo paso del proceso preferentemente debido a la gravedad y la misma después se bloquea.

30 Preferentemente, entre el cuarto y el quinto ciclo se tiene que aportar vapor caliente de tal manera a la esclusa de alta presión que el mismo se condensa en la materia empleada y, por ello, aumenta la temperatura de la materia empleada esencialmente hasta el nivel de temperatura del segundo paso del proceso, por lo que la presión se iguala también al nivel de presión del segundo paso del proceso. Gracias a esta medida se reducen las variaciones de presión que aparecen durante el quinto ciclo en el segundo paso del proceso. Además, preferentemente, entre el 35 segundo y el tercer ciclo se tiene que aportar vapor residual de uno de los posteriores pasos del proceso de tal manera a la esclusa de baja presión, que se condensa en la materia empleada y, por ello, aumenta la temperatura de la materia empleada. Gracias a esta medida se reduce la cantidad de vapor caliente requerida para el precalentamiento de la materia empleada. Preferentemente, además, se tiene que aumentar la temperatura de la materia empleada antes del primer ciclo mediante la mezcla de la materia empleada con agua residual más caliente en relación con la temperatura de la materia empleada de los siguientes pasos del proceso y/o con vapor residual de 40 los siguientes pasos del proceso, que se condensa en la materia empleada más fría. La adición de agua residual y/o vapor residual se tiene que efectuar del mismo modo como se ha descrito en la primera forma de realización preferente del primer paso del proceso. El agua residual añadida y el vapor residual condensado, sin embargo, se separan antes del aumento de presión sustancialmente de nuevo de la materia empleada. Del agua separada se evacua como máximo tanta del proceso como se separa o se había separado en los siguientes pasos del proceso 45 (carbonización y secado) de la materia empleada. Por tanto, la cantidad de agua evacuada entre el primer y el segundo paso del proceso del proceso se corresponde como máximo con la diferencia entre la cantidad de agua aportada con la materia empleada en el primer paso del proceso y la descargada con el producto final. Habitualmente, el agua no evacuada permanece como agua de reciclaje en el proceso.

50 La forma de realización preferente del segundo paso del proceso, la carbonización, en la que la materia empleada se transforma con disociación esencialmente de agua químicamente unida y dióxido de carbono a una presión de al menos 0,5 MPa (5 bar) y como máximo temperatura de agua de ebullición en un producto carbonizado, de acuerdo con la invención se puede dividir esencialmente en tres etapas del proceso,

- 55 • precalentándose o calentándose en la primera etapa del proceso, el precalentamiento, la materia empleada particularmente hasta la temperatura de reacción requerida mediante condensación del vapor de agua que se produce en el propio segundo paso del proceso y, dado el caso, la adición de vapor caliente y/o mediante la adición de agua extraída del segundo paso del proceso, calentada en el exterior del segundo paso del proceso y devuelta,
- 60 • manteniéndose en la segunda etapa del proceso, la carbonización, ventajosamente la temperatura alcanzada en la primera etapa del proceso, particularmente la temperatura de reacción y reaccionando la materia empleada en un baño de agua que trabaja como máximo en condiciones de ebullición con una presión de al menos 0,5 MPa (5 bar) mediante disociación de agua sobre todo unida químicamente y 65 dióxido de carbono y
- sedimentando o dejando sedimentar en la tercera etapa del proceso, la sedimentación, la materia empleada

(que está reaccionando) como sedimento que contiene agua.

El transporte de materia en el segundo paso del proceso se realiza ventajosamente sobre todo por la gravedad, es decir, en un reactor erguido de forma esencialmente vertical, por lo que se produce una dirección principal del flujo desde la entrada de educto a la salida del producto en el reactor en el tercer paso del proceso, el secado.

La temperatura de la materia empleada que entra en la primera etapa del proceso del segundo paso del proceso se corresponde esencialmente con la temperatura alcanzada mediante precalentamiento en el primer paso del proceso. La temperatura de la materia empleada aumenta en la primera etapa del proceso del segundo paso del proceso mediante la condensación del vapor de agua que se produce en la segunda etapa del proceso del segundo paso del proceso así como, en caso necesario, mediante la adición de vapor caliente y/o mediante la adición de agua extraída del segundo paso del proceso, calentada en el exterior del segundo paso del proceso preferentemente mediante la adición directa de vapor caliente o agua calentada en un intercambiador de calor y devuelta a la temperatura de la segunda etapa del proceso del segundo paso del proceso.

La temperatura en la segunda etapa del proceso del segundo paso del proceso se corresponde al menos con la temperatura mínima requerida para la conversión de la materia empleada seleccionada, que se puede establecer mediante experimentos obtenidos de la bibliografía o descritos en la misma. Se puede seleccionar para acelerar la transformación también por encima. Preferentemente, la temperatura se encuentra entre 150 °C y 250 °C, más preferentemente entre 180 °C y 230 °C. La presión del segundo paso del proceso se corresponde al menos con la presión de vapor saturado que se corresponde con la temperatura de la segunda etapa del proceso o se encuentra por encima. Preferentemente, en la segunda etapa del proceso existen prácticamente condiciones de ebullición.

En la segunda etapa del proceso, la materia empleada reacciona con disociación de agua unida esencialmente de forma química y dióxido de carbono. A este respecto puede aumentar la temperatura debido a la reacción de carbonización globalmente exotérmica localmente por encima de la temperatura de ebullición, por lo que se produce vapor de agua que asciende y vuelve a condensar preferentemente en la primera etapa del proceso. Resulta energéticamente ventajoso en la conducción de acuerdo con la invención del procedimiento que el condensado vuelva a fluir desde la primera etapa del proceso (precalentamiento) a la segunda etapa del proceso (carbonización) del segundo paso del proceso.

De acuerdo con la invención se puede obtener el equilibrio térmico de la segunda etapa del proceso del segundo paso del proceso mediante extracción y devolución de agua, que se puede calentar, en caso de una necesidad de calor en la segunda etapa del proceso del segundo paso del proceso, ventajosamente en el exterior del segundo paso del proceso mediante adición de vapor caliente o en un intercambiador de calor, en caso necesario la extracción de vapor y en caso necesario mediante adición directa de vapor caliente externo que se condensa en el paso del proceso.

La materia empleada que se encuentra en transformación se deposita, de acuerdo con la invención, en la tercera etapa del proceso del segundo paso del proceso como sedimento que contiene agua. Mediante la estructuración de una capa de sedimento se consigue una concentración del sólido y, de este modo, se asegura que se consiga un descarga aumentada de producto sólido del segundo paso del proceso con obtención simultánea de la mayor cantidad posible de agua calentada en el segundo paso del proceso. De forma razonable, la altura de la capa de sedimento asciende al menos a 0,5 metros, preferentemente a 1 metro, más preferentemente al menos a 2 metros para conseguir una concentración suficiente de sólido.

Además, mediante la estructuración de una capa de sedimento se asegura que el producto descargado del segundo paso del proceso presente una calidad mínima, ya que la materia empleada durante el tiempo en el que pasa por la tercera etapa del proceso está expuesta a temperaturas y presiones debidas al proceso y, por tanto, se somete a una carbonización y queda excluido que se vuelva a descargar, justo después de su entrada en el segundo paso del proceso, de nuevo del mismo. A través de la altura de la capa de sedimento, de este modo, de acuerdo con la invención se puede ajustar un tiempo mínimo de permanencia y, de esta forma, se puede conseguir una calidad mínima del producto. Preferentemente, el tiempo mínimo de permanencia de la materia empleada en la tercera etapa del proceso se encuentra entre 30 y 180 minutos, más preferentemente entre 40 y 120 minutos, de forma particularmente preferente entre 50 y 90 minutos.

Ya que en la tercera etapa del proceso no puede realizarse ninguna aportación directa de calor a través de una adición de vapor caliente o agua de reciclaje calentada, ya que esto alteraría la capa de sedimento, la capa de sedimento se enfría lentamente debido a la pérdida de calor al entorno más frío. Por tanto, en una forma de realización preferente se selecciona la temperatura del segundo paso del proceso de tal manera que también existen en el tercer paso del proceso todavía temperaturas debidas al proceso y tiene lugar una carbonización. En otra forma de realización preferente se calienta el tercer paso del proceso indirectamente desde el exterior mediante intercambiadores de calor.

Para evitar la formación de un precipitado sólido de sedimento que puede tener un efecto de obstaculización con respecto a la descarga de producto del segundo paso del proceso al tercer paso del proceso, se limita a la altura de la capa de sedimento y, con ello, el límite entre la segunda y la tercera etapa del proceso que aumenta debido a la gravedad sin alteración, mediante la extracción y al menos devolución en parte de agua de la o a la segunda etapa del proceso. El lugar y el modo de la extracción de agua preferentemente se selecciona de tal manera que quede garantizada una reducida carga con sólidos. Esto, en un cilindro ideal rotatorio de forma horizontal, es el centro del cilindro. La retención de sólidos se puede respaldar mediante el empleo, preferentemente, de cribas de barras. La devolución del agua se lleva a cabo ventajosamente en lo esencial transversalmente con respecto a la dirección principal del flujo, es decir, desde la entrada del educto a la descarga del producto del segundo paso del proceso para mantener reducido el entremezclado vertical de la materia empleada que está carbonizando y, con ello, una alteración de la capa deseada de sedimento en la tercera etapa del proceso. En el caso de un reactor erguido, por tanto, se realiza una circulación esencialmente horizontal.

De acuerdo con la invención se regula el nivel de agua en el segundo paso del proceso para la realización de la segunda etapa del proceso del segundo paso del proceso mediante extracción de agua o, dado el caso, también mediante el suministro de agua, preferentemente agua residual de otra etapa del proceso al segundo paso del proceso. La denominada extracción o suministro de agua posibilita un mando o control particularmente sencillo del nivel de agua. La presión del agua evacuada del segundo paso del proceso y no devuelta al mismo disminuye, en una variante de realización preferente, mediante evaporación instantánea o en un intercambiador de calor hasta aproximadamente presión ambiental y el agua después se suministra de forma apropiada al primer paso del proceso o se evacua del proceso. Si se suministra agua al segundo paso del proceso, entonces se emplea preferentemente agua residual caliente del primer o del tercer paso del proceso, que se precalienta preferentemente mediante la adición de vapor residual, por lo que mejora la eficiencia energética.

Los gases permanentes que se producen en el segundo paso del proceso se evacuan, a contracorriente con respecto a la materia empleada que entra en el segundo paso del proceso, del segundo paso del proceso de tal manera que la parte contenida de vapor de agua se condensa al menos en parte en la materia empleada en relación más fría. Resulta energéticamente ventajoso en la conducción de acuerdo con la invención del procedimiento que el calor latente de la parte vapor de agua de la fase gaseosa no se evacue del segundo paso del proceso, sino que se pueda recuperar al menos en parte mediante condensación.

En la combinación de esta forma de realización preferente del segundo paso del proceso con la primera forma de realización preferente del primer paso del proceso, el aumento de presión en presencia de un líquido, la conducción de los gases permanentes preferentemente se configura de tal manera que su parte de vapor de agua se condensa en la primera etapa del proceso del segundo paso del proceso y los gases permanentes se evacuan del proceso entre la primera etapa del proceso del segundo paso del proceso y el primer paso del proceso.

En la combinación de esta forma de realización preferente del segundo paso del proceso con la segunda forma de realización preferente del primer paso del proceso, el aumento de presión en presencia de un gas, se configura la conducción de los gases permanentes preferentemente de tal manera que su parte de vapor de agua se condensa en parte en la esclusa de alta presión, en parte en la esclusa de baja presión y en parte antes de la entrada de la materia empleada en la esclusa de baja presión en la misma y solo allí se evacua del proceso.

De acuerdo con la invención se relaja el nivel de presión del sedimento descargado del segundo paso del proceso mediante relajación y el nivel de temperatura del sedimento descargado del segundo paso del proceso, mediante la evaporación de agua hasta esencialmente el nivel de presión y temperatura del tercer paso del proceso de un secado calentado con vapor, en el que se realiza el secado en atmósfera de vapor (preferentemente, un secado de lecho fluidizado de vapor atmosférico, un secado en lecho fluidizado de vapor cargado de presión, una instalación de secado en lecho fluidizado o un secado de fluido de vapor) y se suministra al mismo y se descarga del mismo como producto final en forma de carbón comercializable con contenidos de agua de menos del 30, preferentemente menos del 20, en particular menos del 15 % en masa.

El secado de acuerdo con la invención en atmósfera de vapor posibilita que a partir del secado se obtenga esencialmente vapor saturado (con un contenido de gas permanente de normalmente por debajo del 5 % en masa, preferentemente por debajo del 1 % en masa), que puede condensar con emisión de calor. A este respecto, la condensación se puede realizar directamente o, con preferencia, después de una compresión o relajación.

En una forma de realización preferente de la disminución de presión y temperatura, la misma se realiza al mismo tiempo mediante la evaporación instantánea de una parte del agua descargada con el sedimento del segundo paso del proceso preferentemente en una valvulería de estrangulación o en una esclusa de relajación que trabaja periódicamente. Resulta energéticamente ventajoso en esta conducción preferente del procedimiento que se maximiza la cantidad del vapor generado, ya que no se producen pérdidas debido al empleo de intercambiadores de calor.

En otra forma de realización preferente de la disminución de presión y temperatura se realiza en primer lugar la disminución de la temperatura mediante el calentamiento y la evaporación de agua, de forma particularmente

preferente condensado de vapor caliente del secado en un intercambiador de calor de contracorriente directamente antes de la disminución de presión, que se realiza preferentemente en una esclusa de relajación, esclusa de rueda celular o estrangulador. Resulta energéticamente ventajoso en esta conducción preferente del procedimiento que en el intercambiador de calor se puede obtener tanto vapor como agua caliente, en caso de que esto sea necesario para cerrar el balance de agua del segundo paso del proceso y, siempre que esto se requiera para cerrar el balance de agua, la misma se pueda suministrar entonces al segundo paso del proceso.

En una forma de realización preferente de la disminución del nivel de temperatura del sedimento descargado del segundo paso del proceso se obtiene el vapor que se genera durante la disminución del nivel de temperatura del sedimento descargado del segundo paso del proceso a dos niveles de presión, correspondiéndose el primer nivel de presión esencialmente al nivel de presión del vapor caliente requerido para el calentamiento de la secadora y el segundo nivel de presión, esencialmente al nivel de presión de la secadora. El vapor obtenido esencialmente al nivel de presión del vapor caliente para la secadora se puede emplear entonces para el calentamiento de la secadora. Si se obtiene el vapor obtenido esencialmente al nivel de presión del vapor caliente para la secadora mediante evaporación instantánea, entonces el mismo se lava de forma isotérmica con condensado de vapor caliente del secado y solo entonces se emplea para el calentamiento de la secadora, o se condensa en un intercambiador de calor con generación de vapor fresco y se emplea el vapor fresco obtenido para el calentamiento de la secadora. Durante el empleo de un intercambiador de calor se tiene que tener en cuenta que el nivel de presión del vapor instantáneo se encuentra aproximadamente por encima del nivel de presión del vapor caliente para la secadora para reducir las áreas necesarias del intercambiador de calor. En caso de que el vapor generado durante la disminución de temperatura del sedimento descargado del segundo paso del proceso, a causa de la realización en cuanto a la técnica del procedimiento de la disminución de presión y temperatura, por ejemplo, en una esclusa de relajación no disminuyese de forma continua sino periódica, mediante una acumulación apropiada de vapor, preferentemente un depósito de Roots, se ha de garantizar una igualación del caudal másico de vapor.

De acuerdo con una forma de realización preferente del tercer paso del proceso, el mismo consiste en el secado calentado con vapor en una atmósfera de vapor así como una extracción mecánica de agua antepuesta, preferentemente de una centrífuga, prensa de cinta, prensa de filtro o prensa de émbolo. En una forma de realización preferente, la extracción mecánica de agua trabaja esencialmente al nivel de presión del secado, por cuya causa la disminución de presión y temperatura del sedimento evacuado del segundo paso del proceso se realiza antes de la extracción mecánica de agua y la extracción mecánica de agua tiene que resistir solo reducidas exigencias de presión y temperatura. A este respecto se aporta solo el concentrado que se produce durante la extracción mecánica de agua al secado calentado con vapor en atmósfera de vapor y el filtrado se emplea preferentemente para cerrar el balance de agua del segundo paso del proceso, además preferentemente se suministra al primer paso del proceso antes del aumento de presión y después de la emisión de una parte de su calor sensible antes del segundo paso del proceso se vuelve a evacuar y/o se suministra, preferentemente, a un tratamiento, preferentemente un tratamiento biológico, dado el caso con una oxidación en húmedo antepuesta o, en caso deseado, directamente a una reutilización, dado el caso después de concentración mediante vaporización o evaporación. En una segunda forma de realización preferente, la extracción mecánica de agua trabaja esencialmente a la presión del segundo paso del proceso, descomponiéndose el sedimento evacuado del segundo paso del proceso en primer lugar en un concentrado y filtrado y conduciéndose adicionalmente por separado estas dos corrientes. El concentrado se lleva con evaporación de agua residual hasta esencialmente el nivel de presión y temperatura del secado calentado con vapor, en el que se realiza el secado en atmósfera de vapor (como se ha descrito anteriormente para el sedimento) y se suministra al mismo. El filtrado, que se produce con alta presión y alta temperatura, se puede emplear preferentemente para el cierre del balance de agua del segundo paso del proceso y la parte no requerida para ello antes de su enfriamiento de retorno se puede suministrar, preferentemente, a un tratamiento térmico, preferentemente una oxidación en húmedo y después mediante la evaporación de agua, por ejemplo, mediante evaporación instantánea o en un intercambiador de calor se puede refrigerar de vuelta y relajarse hasta la presión ambiental y suministrarse, preferentemente, a un tratamiento, preferentemente un tratamiento biológico o, en caso deseado, directamente a una reutilización, dado el caso después de concentración mediante vaporización o evaporación.

De acuerdo con una forma de realización preferente, el secado calentado por vapor en atmósfera por vapor trabaja esencialmente a presión ambiental, por lo que se puede emplear ventajosamente una tecnología de secado sencilla en cuanto a la técnica del procedimiento. De acuerdo con otra forma de realización preferente, el secado calentado por vapor en atmósfera de vapor trabaja con sobrepresión, seleccionándose el nivel de presión del secado ventajosamente de tal manera que el nivel de presión del vapor caliente empleado para el calentamiento del segundo paso del proceso esencialmente se corresponde con el nivel de presión del vapor caliente requerido para el calentamiento de la secadora, encontrándose la diferencia de temperatura entre la temperatura del vapor caliente del vapor empleado para el calentamiento de la secadora y la temperatura de secado, preferentemente, entre 20 K y 70 K, más preferentemente entre 30 K y 60 K.

La conducción de acuerdo con la invención del procedimiento a través de los tres pasos del proceso (aumento de presión, carbonización, secado) posibilita obtener el calor de escape del proceso del segundo y del tercer paso del proceso en su mayor parte en forma de vapor saturado, lo que tiene un efecto particularmente ventajoso sobre la posibilidad del aprovechamiento de este calor de escape del proceso. Por calor de escape del proceso se entiende

en particular:

- vapor que se obtiene durante la disminución de la temperatura del agua extraída del segundo paso del proceso y no devuelta nuevamente al mismo,
- 5 • vapor que se obtiene durante la disminución de la temperatura del sedimento que contiene agua evacuado del segundo paso del proceso, en caso de que no se realice ninguna o una extracción mecánica de agua a temperatura ambiente,
- 10 • vapor que se obtiene durante la disminución por separado de la temperatura del filtrado y concentrado obtenidos durante la extracción mecánica de agua del sedimento evacuado del segundo paso del proceso, en caso de que la extracción mecánica de agua se realice al nivel de presión del segundo paso del proceso y
- vapor que se obtiene durante el secado en atmósfera de vapor.

15 Este vapor, en una forma de realización preferente, antes de un aprovechamiento posterior se lava de forma isotérmica con condensado de vapor caliente del secado, por lo que se pueden separar compuestos orgánicos volátiles y polvo. Preferentemente, el valor de pH del lavado se adapta de tal manera que se realiza una limpieza sustancial.

20 En otra forma de realización preferente, este vapor se condensa en intercambiadores de calor y de este modo se genera vapor fresco. Con el uso de intercambiadores de calor se ha de tener en cuenta que la temperatura y, con ello, también la presión del vapor a condensar tienen que encontrarse por encima de la temperatura y, por tanto, la presión del vapor a generar para garantizar una transmisión eficaz de calor. Siempre que en el texto se hable de "esencialmente" el mismo nivel de presión, con ello se quiere decir también la diferencia de presión requerida para la transmisión de calor.

25 En una forma de realización preferente, el vapor lavado o el vapor fresco se comprime o se relaja en un proceso de fuerza con emisión de trabajo técnico, determinándose los pasos de presión de la compresión de forma apropiada por el nivel de presión requerido para el calentamiento de la secadora y para el calentamiento del segundo paso del proceso. En otra forma de realización preferente, el vapor se condensa con emisión de calor y este calor se aprovecha, preferentemente, con fines de calentamiento. En otra forma de realización preferente, el vapor de agua para el calentamiento de la secadora y, dado el caso, el vapor caliente requerido para el calentamiento del segundo paso del proceso, se desacopla de una turbina de contrapresión de un proceso de fuerza de vapor, correspondiéndose el nivel de presión del desacoplamiento esencialmente con el nivel de presión del vapor caliente requerido para el calentamiento de la secadora y, en caso necesario, correspondiéndose con el nivel de presión que se requiere para el calentamiento, del segundo paso del proceso y condensando el vapor residual obtenido en el

30

35

se requiere para el calentamiento, del segundo paso del proceso y condensando el vapor residual obtenido en el segundo y el tercer paso del proceso con emisión de calor y acoplándose el mismo preferentemente para el precalentamiento de agua de alimentación en el proceso de fuerza de vapor.

40 Para la mejora adicional del balance de calor y de agua del procedimiento se suministra ventajosamente el agua producida, dado el caso, en el lavado isotérmico de los vapores instantáneos y de secado, el agua del proceso separada dado el caso en la extracción mecánica de agua y el condensado que se produce, dado el caso, durante la generación de vapor fresco, dado el caso después de una limpieza antepuesta de impurezas, tales como polvos, al primer paso del proceso ante el aumento de presión y se vuelve a evacuar después de la emisión de una parte de su calor sensible delante del segundo paso del proceso y, después, se suministra a un tratamiento o, en caso deseado, directamente a una reutilización, dado el caso después de concentración mediante vaporización o evaporación y se evacuan del proceso las impurezas dado el caso separadas.

45

50 La ventaja económica de la invención es un balance de energía optimizado y mínimo de agua de la carbonización hidrotermal, que resulta de la conducción de acuerdo con la invención del procedimiento, que consigue con una calidad habitual en el mercado de alta calidad, requerida para la sustitución de carbón fósil del producto final, adicionalmente, el aprovechamiento del calor de escape producido, preferentemente de forma interna para el secado del producto y dado el caso el calentamiento de las materias empleadas con ayuda de la compresión de vapor según el principio de bomba de calor, o preferentemente de forma externa mediante expansión del vapor al nivel de temperatura ambiente, por ejemplo, con el fin de la obtención de energía eléctrica del vapor residual del proceso o

55

preferentemente de forma externa mediante condensación para facilitar calor calefactor.

60 El producto final del procedimiento de acuerdo con la invención puede estar presente, por ejemplo, en forma de carbón comercializable con contenidos de agua inferiores al 30, preferentemente inferiores al 20 % en masa, preferentemente inferiores al 15 % en masa.

La invención se refiere también a combinaciones de configuraciones preferentes, siempre que las mismas no sean mutuamente excluyentes.

65 La invención se ha de explicar mediante los siguientes ejemplos, sin estar limitada sin embargo a las formas de realización descritas en especial.

Ejemplo de realización

La invención se describe del siguiente modo con ayuda de la Figura 1 con un ejemplo de realización:

5 La materia empleada deben ser recortes de madera con una parte de materia seca del 50 % en masa y una longitud de cantos de como máximo 30 x 20 x 20 mm.

10 Del silo de producto a granel 1 se extraen 2000 kg/h de recortes de madera, correspondientes a una potencia de energía de 5155 kW, a través del equipo de transporte 2 con temperatura ambiente y se suministran al primer paso del proceso, que consiste en el embudo de carga 3, la bomba de materia consistente 4 y la separación de agua 5.

15 Se establece la capacidad de bombeo de la materia empleada cargándose el volumen intersticial de la materia empleada con 2000 kg/h de agua residual 29 interna del proceso, que se extrajo del lavado de vapor 19 isotérmico, en el embudo de carga 3. La parte de sólidos de la materia empleada delante de la bomba 4, por ello, disminuye hasta el 25 % en masa. La materia empleada se precalienta de este modo hasta una temperatura de más de 50 °C.

20 La bomba de materia consistente 4 eleva la presión de la mezcla de materia empleada-agua hasta 2,5 MPa (25 bar) y transporta la misma hasta la primera etapa de proceso 7 del segundo paso del proceso a través del separador de agua 5, en el que se separan aproximadamente 1300 kg/h de agua de proceso 30 y se evacuan del proceso, por ejemplo, con obtención de los nutrientes disueltos en el proceso de la materia empleada como fertilizante 32, a través de un espesamiento 33 que se consigue mediante la emisión de vahos 31.

25 A través de la carga de producto a granel 6, la materia empleada precalentada con un contenido de sólidos del 37 % en masa llega a la primera etapa de proceso 7 del segundo paso del proceso que trabaja con una presión de 2,0 MPa (20 bar) y en la que el sólido emite el agua arrastrada, que fluye a la segunda etapa de proceso 9 del segundo paso del proceso y en la que la materia empleada se calienta mediante vapor saturado, que asciende de la segunda etapa de proceso 9 del segundo paso del proceso y que condensa, hasta la temperatura requerida para la carbonización hidrotermal, en este ejemplo 210 °C.

30 La materia empleada precalentada en la primera etapa de proceso 7 del segundo paso del proceso forma una capa de material a granel 8, que debido a la gravedad se introduce en el baño de agua de la segunda etapa de proceso 9 del segundo paso del proceso, donde se carboniza con una presión de 2,0 MPa (20 bar) y temperatura de ebullición del agua con separación de la mayor parte de su agua químicamente unida y formación de gases permanentes, tales como dióxido de carbono, que se evacuan del proceso a través de 15, con emisión de calor.

35 El producto carbonizado se deposita en la tercera etapa de proceso 10 como sedimento y se descarga desde allí a través de 11 mecánicamente y de forma regulada con evaporación instantánea de una parte de su agua de sedimento en la secadora 34.

40 El equilibrio térmico del segundo paso del proceso se mantiene en condiciones de reacción aproximadamente isotérmicas en la segunda etapa del proceso mediante la extracción de agua de proceso 16 de la segunda etapa del proceso, mediante la circulación 13 y la adición de vapor 27 a través del suministro de vapor 14 y la circulación de agua de proceso 12 con temperatura de ebullición.

45 El sedimento transportado a través de 11 desde el segundo paso del proceso al secado 34 en el tercer paso del proceso se seca ahí indirectamente con ayuda de áreas calentadas con vapor, con formación de condensado de vapor caliente 28, con ligera sobrepresión en una atmósfera de vapor. Los vapores saturados 17 y 18 que se producen en la descarga de sedimento 11 y durante el secado 34 así como el vapor instantáneo del agua extraída del segundo paso del proceso a través de 16 se lavan en el lavado de vapor 19 de forma isotérmica con ligera sobrepresión con el condensado de vapor caliente 36 que se produce durante el secado o el agua de proceso 16.

50 El vapor 20 lavado que se produce con una presión ligeramente superior a la presión ambiental se comprime en 21 hasta la presión de vapor caliente requerida para la realización del tercer paso del proceso, se refrigera de retorno mediante inyección de condensado de vapor caliente en 24 esencialmente hasta condiciones de vapor saturado y después se suministra a las áreas de calentamiento del secado a través de 25.

55 El vapor instantáneo no necesario para la realización del tercer paso del proceso se puede relajar, de acuerdo con la invención, en una expansión 22 con emisión de trabajo técnico hasta el nivel de temperatura ambiente y se puede licuar en una condensación 23 y después se puede volver a suministrar al proceso o se puede evacuar del proceso, reduciendo el agua evacuada aquí la descarga de agua a través de 30 correspondientemente.

60 Con existencia de necesidad de calor en el segundo paso del proceso, de acuerdo con la invención, en 21 se puede suministrar vapor comprimido después de la refrigeración de retorno en 24 a un segundo paso de compresión 26 y allí comprimirse hasta la presión requerida para la alimentación al segundo paso del proceso a través de 14.

65

ES 2 432 500 T3

En el ejemplo, el producto final es un producto de tipo polvo de combustión de lignito que se descarga a través de 35 del proceso con un caudal másico de aproximadamente 700 kg/h, contenido de agua de aproximadamente el 15 % en masa y un valor calorífico de 4.925 kW.

5 El grado de eficacia energético de la transformación química asciende en el ejemplo a más del 95 %.

La invención se describe del siguiente modo con ayuda de la figura 2 con un segundo ejemplo de realización:

10 La materia empleada debe ser una mezcla de hierba y follaje de la ordenación paisajística con una parte de materia seca del 40 % en masa y una longitud de como máximo 20 mm.

15 1 t/h de la materia empleada 37 (0,4 t/h de materia seca y 0,6 t/h de agua) se suministra de forma continua a temperatura ambiente al primer paso del proceso compuesto de un equipo para el aumento de la presión, en este ejemplo, una esclusa de presión 38 de dos pasos, que está compuesta de un recipiente para la materia empleada así como una esclusa de baja presión, una esclusa de alta presión y tres valvulerías de esclusa.

20 La esclusa de presión 38 trabaja periódicamente y eleva la presión de la materia empleada hasta 1,8 MPa (18 bar), transportándose la materia empleada 37 debido a la gravedad desde el recipiente hasta la primera esclusa de baja presión, desde la esclusa de baja presión a la esclusa de alta presión y desde allí directamente al segundo paso del proceso, compuesto de un recipiente de reacción situado verticalmente.

25 La materia empleada se introduce desde arriba en el segundo paso del proceso, que trabaja con una presión de 1,8 MPa (18 bar) y en el que el sólido cede el agua arrastrada, mediante la adición de 0,3 t/h de vapor caliente a través de 27 se precalienta allí hasta la temperatura requerida para la carbonización hidrotermal, en este ejemplo 190 °C.

30 La materia empleada se introduce debido a la gravedad en el baño de agua 39, donde con una presión de 1,8 MPa (18 bar) y temperatura máxima de ebullición del agua carboniza con separación de 0,04 t/h de agua unida químicamente y formación de 0,04 t/h de gases permanentes, tales como dióxido de carbono, que se evacúan a través de 15 del proceso, con emisión de calor y se deposita como sedimento 40.

35 El sedimento 40 se descarga con un contenido de sólidos del 30 % (0,32 t/h de sólido y 0,75 t/h de agua) del segundo paso del proceso a través de 11 mecánicamente y de forma regulada con evaporación instantánea de una parte del agua de sedimento 17 (0,17 t/h), por lo que la parte de sólidos aumenta hasta aproximadamente el 36 % y se introduce en la secadora 34 del tercer paso del proceso.

El equilibrio térmico del segundo paso del proceso se mantiene mediante la extracción de agua del proceso a través de un dispositivo de extracción con retención de sólidos 41, su circulación 12 y reintroducción a través de la adición de vapor caliente 27 y la evacuación de agua a través de 16.

40 La introducción del vapor caliente 27 y del agua de reciclaje 12 se realiza tangencialmente, de tal manera que la parte/zona superior del segundo paso del proceso se hace circular esencialmente de forma horizontal y, de este modo, se limita a la altura del sedimento 40 de tal manera que no se forma ningún precipitado sólido. Al mismo tiempo, mediante la admisión de acuerdo con la invención de una sedimentación aumenta el contenido de sólidos en la descarga de sedimento 11 a aproximadamente el 30 % en masa, de tal manera que permanece una gran cantidad de agua caliente en el segundo paso del proceso que forma el baño de agua 39 en el que tiene lugar la carbonización y se evacua solamente el agua no descargada con el sedimento, sin embargo, introducida junto con la materia empleada o como vapor caliente en el segundo paso del proceso y el agua químicamente unida escindida en el segundo paso del proceso de la materia empleada (juntas aproximadamente 0,19 t/h) a través de 16 del segundo paso del proceso y de forma regulada con emisión de vapor instantáneo 42 se relaja y queda disponible para un aprovechamiento posterior como agua de proceso (43) relajada. El baño de agua por encima de la capa de sedimento, en este ejemplo, tiene un contenido de sólidos inferior al 10 % en masa, lo que garantiza una buena capacidad de circulación. En este ejemplo es evidente que la admisión de acuerdo con la invención de la estructuración de una capa de sedimento conduce a una considerable concentración de sólidos en la descarga de sedimento y, por ello, una gran parte del agua del proceso se puede mantener en el segundo paso del proceso. La estructuración del sedimento además conduce a que la materia empleada permanece una duración mínima, en este ejemplo de 60 minutos, en el segundo paso del proceso, de tal manera que puede tener lugar una mínima conversión y queda garantizada una calidad mínima del producto, en este caso, una parte de carbono de más del 55 % en masa.

60 El sedimento transportado a través de 11 desde el segundo paso del proceso a la secadora 34 del tercer paso del proceso se seca allí indirectamente con ayuda de áreas calentadas con vapor 44, con formación de condensado de vapor caliente 28 con ligera sobrepresión en una atmósfera de vapor y se descarga con un contenido de agua del 10 % en masa (0,32 t/h de sólido y 0,04 t/h de agua) a través de 35 del proceso. A este respecto se producen aproximadamente 0,54 t/h de vapor saturado 18. Los vapores instantáneos 17 y 42 que se producen durante la relajación de sedimento 11 y la relajación de agua del proceso así como el vapor 18 que se produce durante el secado 34 se obtienen como vapor saturado, de tal manera que su calor latente se puede hacer útil directamente o

ES 2 432 500 T3

después de la compresión o relajación mediante condensación y se puede acoplar nuevamente al proceso.

La invención se describe del siguiente modo además con ayuda de la figura 3 en un tercer ejemplo de realización:

- 5 La materia empleada debe ser recortes de madera con una parte de materia seca de aproximadamente el 50 % de masa y una longitud de cantos de como máximo 60 x 60 x 60 mm.

10 Del silo de producto a granel 1 se extraen 2000 kg/h de recortes de madera 37, correspondientes a una potencia de energía de 5.556 kW a través del equipo de transporte 2 con temperatura ambiente y se suministran al primer paso del proceso, compuesto del recipiente de maceración inicial 3, el equipo para el aumento de presión 61, en este ejemplo una bomba de alta presión y una esclusa de rueda celular y la separación de agua 5.

15 La temperatura de la materia empleada se aumenta mediante la adición de 200 kg/h de vapor residual 45, que se obtuvo en parte durante la relajación instantánea del sedimento 40, en este ejemplo hasta por encima de 90 °C. Se establece la transportabilidad de la materia empleada mezclándose la misma con una parte del agua residual 46 interna del proceso (1.040 kg/h), que se extrajo de la extracción mecánica de agua 47, y una parte del agua de reciclaje 48 (7.800 kg/h), que se había separado antes del aumento de presión en la esclusa de rueda celular esencialmente de nuevo de la materia empleada y que se sustituyó por el agua residual 30 interna del proceso, en el recipiente de maceración inicial 3. La parte de sólidos de la materia empleada delante de la esclusa de rueda celular con ello disminuye hasta por debajo del 10 % en masa. El exceso de agua (380 kg/h) se evacua a través de 49 del proceso y se suministra, por ejemplo, a un tratamiento o aprovechamiento. El aumento de presión en la esclusa de rueda celular se respalda mediante el suministro del agua residual 30 interna del proceso de la separación de agua 5, que se suministra a través de una bomba de alta presión a las esclusas de rueda celular.

25 En el aumento de presión 61 se aumenta la presión de la mezcla de materia empleada-agua hasta 2,5 MPa (25 bar) y esta se transporta esencialmente mediante el agua residual 30 interna del proceso conducida en un circuito a la separación de agua 5, donde la misma esencialmente se vuelve a separar de la materia empleada y se suministra desde la materia empleada deshidratada al segundo paso del proceso. El aumento de presión se puede realizar también en dos combinaciones conectadas en serie de bomba de alta presión y esclusas de rueda celular, en caso de que esto sea ventajoso o sea necesario para conseguir la presión requerida.

30 La materia empleada se introduce desde arriba con un contenido de sólidos superior al 30 % en masa en el segundo paso del proceso, que trabaja con una presión de 2,0 MPa (20 bar) y en el que el sólido cede el agua arrastrada, ahí se precalienta mediante la condensación de aproximadamente 420 kg/h de vapor caliente 27 - agua de reciclaje 12 calentada hasta la temperatura requerida para la carbonización hidrotermal, en este ejemplo 220 °C.

35 La materia empleada se introduce debido a la gravedad en el baño de agua 39, donde carboniza con una presión de 2,0 MPa (20 bar) y una temperatura máxima de ebullición del agua con separación de 100 kg/h de agua químicamente unida y formación de 100 kg/h de gases permanentes, tales como dióxido de carbono, que se evacúan a través de 15 del proceso, con emisión de calor y se deposita como sedimento 40. El baño de agua tiene por encima de la capa de sedimento en este ejemplo un contenido de sólidos inferior al 5 % en masa, lo que garantiza una buena capacidad de circulación. En este ejemplo es evidente que la admisión de acuerdo con la invención de la estructuración de una capa del sedimento conduce a una considerable concentración de sólidos en la descarga de sedimento y, por ello, una gran parte del agua del proceso se retiene en el segundo paso del proceso.

40 El sedimento 40 se descarga del segundo paso del proceso a través de 11 en dos pasos, de forma mecánica y regulada con evaporación instantánea de una parte del agua de sedimento 50, 51, realizándose la evaporación instantánea en dos pasos y obteniéndose vapor instantáneo en este ejemplo como vapor de presión media a aproximadamente 0,6 MPa (6 bar) (50; 360 kg/h) y como vapor de baja presión a aproximadamente 0,1 MPa (1 bar) (51; 270 kg/h) y suministrándose al tercer paso del proceso, compuesto de una extracción mecánica de agua (47) y un secado calentado con vapor en atmósfera de vapor (34).

45 El equilibrio térmico del segundo paso del proceso se mantiene mediante la extracción de agua del proceso a través de un dispositivo de extracción con retención de sólidos 41, su circulación 12, calentándose en un intercambiador de calor mediante condensación de vapor caliente 27, la extracción de vapor 13 y la extracción de agua 16.

50 El balance de agua del segundo paso del proceso se compensa constantemente mediante la extracción de 80 kg/h de agua del proceso a través de 16, que se relaja de forma instantánea y como agua 43 (60 kg/h) como agua adicional que se aporta al recipiente de maceración inicial (3) o que se descarga del proceso y vapor saturado 42 (20 kg/h), que está disponible para un aprovechamiento energético adicional.

55 El sedimento transportado a través de 11 desde el segundo paso del proceso a la extracción mecánica de agua (47) se deshidrata allí mecánicamente hasta una parte de materia seca superior al 50 % en masa, el filtrado 46 (1.060 kg/h) se suministra como agua residual interna del proceso en parte al recipiente de maceración inicial 3 y el concentrado, la materia empleada 52 carbonizada mecánicamente deshidratada (1.600 kg/h) al secado 34, donde se

seca indirectamente con ayuda de áreas calentadas con vapor 44 con formación de condensado de vapor caliente 28 y aproximadamente 730 kg/h de vapor saturado 18 con ligera sobrepresión en una atmósfera de vapor y se descarga con un contenido de agua del 8 % en masa (800 kg/h de sólido y de 70 kg/h de agua a través de 35 del proceso.

5 El vapor instantáneo 51 que se produce en el segundo paso de la relajación de sedimento 11, el vapor 18 que se produce durante el secado 34 así como el vapor instantáneo 42 del agua extraída del segundo paso del proceso a través de 16 se obtienen como vapor saturado, se pueden agrupar y están disponibles después de la extracción de la corriente de vapor para el precalentamiento de las materias empleadas 45 en el recipiente de maceración inicial 3 como vapor de baja presión 53 (aproximadamente 0,1 MPa (1 bar)) para un aprovechamiento energético adicional mediante condensación directa o después de compresión o relajación.

10 Además, el vapor instantáneo 50 que se produce en el primer paso de la relajación de sedimento 11 está disponible como vapor de presión media (aproximadamente 0,6 MPa (6 bar)) para un aprovechamiento adicional mediante condensación directa o después de la compresión o relajación.

15 En el ejemplo, el producto final es un producto similar a polvo de combustión de lignito que se descarga a través de 35 del proceso con un caudal másico de aproximadamente 870 kg/h y un contenido de agua de aproximadamente el 8 % en masa y un valor de combustión de 5.376 kW.

20 El grado de eficacia energético de la transformación química asciende en el ejemplo a más del 95 %.

25 El tercer ejemplo de realización muestra, con respecto al segundo ejemplo de realización, en relación con la economía de energía y de agua del proceso, una conducción del procedimiento mejorada adicionalmente con respecto al segundo ejemplo de realización, ya que la temperatura de la materia empleada se pudo aumentar mediante la devolución de calor de escape en forma de vapor residual de la relajación instantánea y en forma de agua residual de la extracción mecánica de agua, de tal manera que la necesidad específica de vapor caliente 27 en el segundo paso del proceso disminuye y, al mismo tiempo, se reduce la necesidad de vapor caliente 25 en el secado mediante la extracción mecánica de agua antepuesta. El agua separada en la extracción mecánica de agua se aprovecha, ventajosamente, para establecer la capacidad de bombeo de la materia empleada y para facilitar el agua requerida para la realización del segundo paso del proceso, que no se introduce en el proceso como en el primer ejemplo junto con la materia empleada más seca en comparación con el primer ejemplo de realización

30 La cantidad de agua a descargar en este ejemplo de la instalación se obtiene a partir de la suma de las corrientes 49 y 43 así como las corrientes 50 y 53 después de una condensación directa o efectuada tras una compresión o relajación.

35 El aprovechamiento de acuerdo con la invención de la corriente de vapor residual se describe del siguiente modo con ayuda de la figura 4 con un cuarto ejemplo de realización, que se tiene que considerar en combinación con el ejemplo de realización 2 (figura 2):

40 Los vapores instantáneos 17 y 42 que se producen durante la relajación de sedimento 11 y la relajación del agua extraída a través de 16 del segundo paso del proceso así como el vapor 18 que se produce durante el secado 34 se lavan en el lavado de vapor 19 de forma isotérmica con el condensado de vapor caliente 28 que se produce durante el secado.

45 El vapor lavado 20 se comprime en el compresor 21 hasta la presión de vapor caliente requerida para la realización del tercer paso del proceso, se retira el calor mediante inyección de condensado de vapor caliente en 24, es decir, esencialmente se lleva a temperatura de vapor saturado, y después se suministra a las áreas de calentamiento del secado a través de 25.

50 Con existencia de necesidad de calor en el segundo paso del proceso, de acuerdo con la invención, en 21 se puede suministrar vapor comprimido después de la refrigeración de retorno en 24 a un segundo paso de compresión 26 y comprimirse allí hasta la presión requerida para la alimentación al segundo paso del proceso a través de 27.

55 El vapor no necesario para el calentamiento del segundo y el tercer paso del proceso, de acuerdo con la invención, en una expansión 22 con emisión de trabajo técnico se puede relajar hasta el nivel de temperatura ambiente y se puede licuar en una condensación 23. Como alternativa se puede realizar también una simple condensación del exceso de vapor con emisión de calor.

60 El condensado de vapor que se produce en 55 y el agua residual interna del proceso que se produce en 29 del lavado de vapor isotérmico se aprovechan, en caso de que exista la necesidad, de forma interna al proceso como agua de reciclaje o se evacuan del proceso dado el caso después de un tratamiento.

65 El aprovechamiento de acuerdo con la invención de las corrientes de vapor residual se describe del siguiente modo con ayuda de la Figura 5 con un quinto ejemplo de realización, que se tiene que considerar en combinación con el

ejemplo de realización 3 (Figura 3):

5 El vapor de baja presión 53 (aproximadamente 0,1 MPa (1 bar)) requerido para el precalentamiento no regenerativo de las materias empleadas se condensa en un evaporador de baja presión 56. A contracorriente con respecto a esto, el condensado de vapor caliente 28 que se produce en el secado, después de que se haya relajado de forma instantánea y se haya separado el vapor instantáneo producido en el separador de líquido-vapor 57, se evapora junto con el condensado de vapor 55 de la expansión 22 y da lugar, junto con el vapor instantáneo de 57, al vapor de baja presión 20. A este respecto se ha de tener en cuenta que el vapor de baja presión 20 se genera, debido a la diferencia de temperatura requerida en el intercambiador de calor, con una presión de aproximadamente 0,09 MPa (0,9 bar).

15 El vapor de baja presión 20 (aproximadamente 0,08 MPa (0,8 bar)) se comprime en el compresor 21 hasta la presión de vapor caliente requerida para la realización del tercer paso del proceso, se retira el calor mediante inyección de condensado de vapor caliente en 24, es decir, se lleva esencialmente hasta la temperatura de vapor saturado, y después se suministra junto con el vapor instantáneo de la relajación del condensado 54 así como adicionalmente vapor generado en 58 y separado en 57 a las áreas de calentamiento del secado a través de 25.

20 Con existencia de necesidad de calentamiento en el segundo paso del proceso, de acuerdo con la invención, se puede suministrar vapor comprimido en 21 después de la refrigeración de retorno en 24 a un segundo paso de compresión 26 y comprimirse allí hasta la presión requerida para el acoplamiento al segundo paso del proceso a través de 27. El condensado 54 del vapor caliente 27 se relaja de forma instantánea y en parte se evapora en el evaporador de presión media 58 mediante condensación de vapor instantáneo de presión media 50 (aproximadamente 0,6 MPa (6 bar)). El vapor obtenido de este modo, que se genera debido a la diferencia de temperatura requerida en el intercambiador de calor a una presión de aproximadamente 0,5 MPa (5 bar), se separa en el separador de líquido-vapor 57 de la fase líquida y se suministra como vapor caliente junto con el vapor comprimido en 21 y del cual se retira el calor en 24 al secado a través de 28. La fase líquida se mezcla junto con el condensado de vapor caliente del secado 28 y se usa en parte para la refrigeración de retorno de vapor en 24 y en parte para la generación de vapor de baja presión.

30 El vapor no necesario para el calentamiento del segundo y del tercer paso del proceso se puede relajar, de acuerdo con la invención, en una expansión 22 con emisión de trabajo técnico hasta el nivel de temperatura ambiente y se licua en una condensación 23. Como alternativa se puede realizar también una simple condensación del exceso de vapor con emisión de calor.

35 El condensado de vapor de baja presión que se produce en 59 y el condensado de vapor de media presión que se produce en 60 se aprovechan, en caso de que exista la necesidad, de forma interna al proceso como agua de reciclaje o se evacuan del proceso dado el caso después de un tratamiento.

Lista de referencias

- 1 silo de producto a granel
- 2 equipo de transporte
- 3 embudo de carga/recipiente de maceración inicial
- 4 bomba de materia consistente
- 5 separación de agua
- 6 carga de producto a granel
- 7 primera etapa del proceso, segundo paso del proceso
- 8 capa de producto a granel de la materia empleada
- 9 segunda etapa del proceso, segundo paso del proceso
- 10 tercera etapa del proceso, segundo paso del proceso
- 11 descarga de sedimento con relajación instantánea
- 12 agua del proceso de circulación del segundo paso del proceso
- 13 vapor de extracción del segundo paso del proceso
- 14 adición de vapor
- 15 evacuación de gas permanente
- 16 agua del proceso del segundo paso del proceso
- 17 vapor instantáneo de relajación de sedimento
- 18 vapor del secado
- 19 lavado isotérmico de vapor instantáneo
- 20 vapor de baja presión del compresor I
- 21 compresor I
- 22 expansión
- 23 condensación
- 24 vapor refrigerado de retorno
- 25 vapor caliente secado
- 26 compresor II
- 27 vapor caliente para el calentamiento del segundo paso del proceso

ES 2 432 500 T3

- 28 condensado de vapor caliente del secado
- 29 agua residual interna del proceso del lavado de vapor
- 30 agua residual interna del proceso de la separación de agua
- 31 vahos del espesamiento
- 32 fertilizante
- 33 espesamiento de agua del proceso
- 34 secadora en atmósfera de vapor
- 35 descarga de producto
- 36 condensado de vapor caliente para el lavado isotérmico
- 37 materia empleada antes del primer paso del proceso
- 38 esclusa de presión
- 39 baño de agua en el segundo paso del proceso
- 40 sedimento en el segundo paso del proceso
- 41 dispositivo de extracción con retención de sólidos
- 42 vapor instantáneo de la relajación de agua del proceso
- 43 agua del proceso relajada
- 44 áreas calentadas con vapor
- 45 vapor residual para el precalentamiento
- 46 agua residual interna del proceso de la extracción mecánica de agua
- 47 extracción mecánica de agua
- 48 agua de reciclaje para el transporte de materia empleada
- 49 agua del proceso descargada
- 50 vapor instantáneo a presión media de relajación del sedimento
- 51 vapor instantáneo a presión baja de relajación del sedimento
- 52 materia empleada carbonizada después de extracción mecánica de agua
- 53 vapor de baja presión
- 54 condensado de vapor caliente del segundo paso del proceso
- 55 condensado de vapor, expansión
- 56 intercambiador de calor/evaporador de baja presión
- 57 separador de líquido-vapor
- 58 intercambiador de calor/evaporador de presión media
- 59 condensado de vapor de baja presión
- 60 condensado de vapor de presión media
- 61 bomba de alta presión y esclusa de rueda celular

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento continuo para la carbonización hidrotermal de biomasa, **caracterizado por que**

- 5 • en un primer paso del proceso, del aumento de presión, se aumenta la presión de la materia empleada esencialmente hasta la presión del siguiente paso del proceso de al menos 0,5 MPa (5 bar),
- la materia empleada en un segundo paso del proceso, de la carbonización, con disociación esencialmente de agua y dióxido de carbono a una presión de al menos 0,5 MPa (5 bar) y temperatura máxima de ebullición del agua, se transforma en un producto carbonizado,
- 10 • la materia empleada se transporta en el segundo paso del proceso de forma esencialmente vertical, sobre todo debido a la gravedad,
- la materia empleada se hace circular en la zona superior del segundo paso del proceso mediante extracción y en parte nuevo suministro de agua del o al segundo paso del proceso,
- 15 • la materia empleada sedimenta en la parte inferior del segundo paso del proceso como sedimento que contiene agua,
- la altura mínima del sedimento se selecciona de tal manera que el contenido de sólidos aumenta mediante sedimentación hasta al menos el 15 %, preferentemente al menos el 20 %, más preferentemente al menos el 25 %, de forma particularmente preferente al menos el 30 % y se limita la altura máxima de la capa de sedimento de tal manera que no se configura ningún precipitado sólido debido a la presión estática,
- 20 • la altura de llenado del nivel de agua en el segundo paso del proceso se regula mediante la extracción y el suministro de agua del y al paso del proceso,
- los gases permanentes que se producen en el segundo paso del proceso se evacuan del segundo paso del proceso a contracorriente con respecto a la materia empleada que entra en el segundo paso del proceso, de tal manera que la parte contenida de vapor de agua se condensa al menos en parte en la materia empleada en proporción más fría y solo después se evacuan del proceso los gases permanentes y
- 25 • el sedimento se descarga del segundo paso del proceso y se refrigera mediante evaporación de agua hasta esencialmente el nivel de temperatura de un tercer paso del proceso, de un secado calentado con vapor, en el que se realiza el secado en atmósfera de vapor y se suministra al mismo y se descarga del mismo como producto final en forma de carbón comercializable con contenidos de agua inferiores al 30, preferentemente inferiores al 20, en particular inferiores al 15 % en masa.

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** se aumenta la temperatura de la materia empleada en el primer paso del proceso mediante su mezcla con agua residual más caliente en relación con la temperatura de la materia empleada y vapor residual de los siguientes pasos del proceso y, antes de la entrada de la materia empleada en el segundo paso del proceso, se separa como máximo tanta agua de nuevo de la materia empleada como se había suministrado anteriormente y del agua separada se evacua del proceso como máximo tanta agua como se había separado en los siguientes pasos del proceso de la carbonización y del secado de la materia empleada y, además, el agua suministrada al primer paso del proceso permanece en el proceso como agua de reciclaje.

3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** en el primer paso del proceso el aumento de presión de la materia empleada se realiza en presencia de un líquido e inmediatamente antes del aumento de presión se establece la transportabilidad de la materia empleada mediante llenado de al menos su volumen intersticial con agua residual interna del proceso y antes de la entrada de la materia empleada en el segundo paso del proceso se separa de nuevo como máximo tanta agua de la materia empleada como se había suministrado previamente.

4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** en la segunda etapa del proceso del segundo paso del proceso, la carbonización, se obtiene un desarrollo del proceso aproximadamente isotérmico mediante extracción de vapor, la devolución del agua extraída para la circulación y, en caso necesario, mediante adición de vapor caliente externo, que se condensa en el paso del proceso.

5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** en la segunda etapa del proceso del segundo paso del proceso, de la carbonización, se obtiene un desarrollo del proceso aproximadamente isotérmico mediante extracción de vapor y la extracción, el calentamiento y la devolución del agua extraída para la circulación.

6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** al secado calentado con vapor del tercer paso del proceso está antepuesta una extracción mecánica de agua, introduciéndose solo el concentrado que se produce durante la extracción mecánica de agua en el secado calentado con vapor.

7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el vapor instantáneo de la disminución de presión del agua no suministrada de nuevo al segundo paso del proceso y del sedimento que contiene agua así como el vapor que se produce durante el secado se lavan de forma isotérmica y después se comprimen o se relajan en un proceso de fuerza con emisión de trabajo técnico, determinándose los pasos de presión de la compresión por la presión requerida para el calentamiento de la secadora y para el calentamiento del

segundo paso del proceso.

- 5 8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el vapor instantáneo de la disminución de presión del agua no suministrada de nuevo al segundo paso del proceso y del sedimento que contiene agua así como el vapor producido durante el secado se condensan para la generación de vapor fresco, que después se comprime o se relaja en un proceso de fuerza con emisión de trabajo técnico, determinándose los pasos de presión de la compresión por la presión requerida para el calentamiento de la secadora y para el calentamiento del segundo paso del proceso.
- 10 9. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el agua producida en el lavado isotérmico de los vapores instantáneos y de secado se suministra a la materia empleada en el primer paso del proceso antes del aumento de presión y después de emisión de una parte de su calor sensible a la materia empleada se separa al menos en parte antes del segundo paso del proceso de nuevo de la misma y después se suministra a una reutilización.
- 15 10. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado por que** a la reutilización está antepuesta una concentración mediante vaporización o evaporación.
- 20 11. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el filtrado producido en la extracción mecánica de agua se suministra a la materia empleada en el primer paso del proceso antes del aumento de presión y después de la emisión de una parte de su calor sensible a la materia empleada se vuelve a evacuar al menos en parte del segundo paso del proceso y después se suministra a una reutilización.
- 25 12. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado por que** a la reutilización está antepuesta una concentración mediante vaporización o evaporación.
- 30 13. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el condensado producido en el evaporador se suministra a la materia empleada en el primer paso del proceso antes del aumento de presión y después de la emisión de una parte de su calor sensible se vuelve a evacuar al menos en parte del segundo paso del proceso y después se suministra a una reutilización.
14. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 13, **caracterizado por que** a la reutilización está antepuesta una concentración mediante vaporización o evaporación.

Figura 1

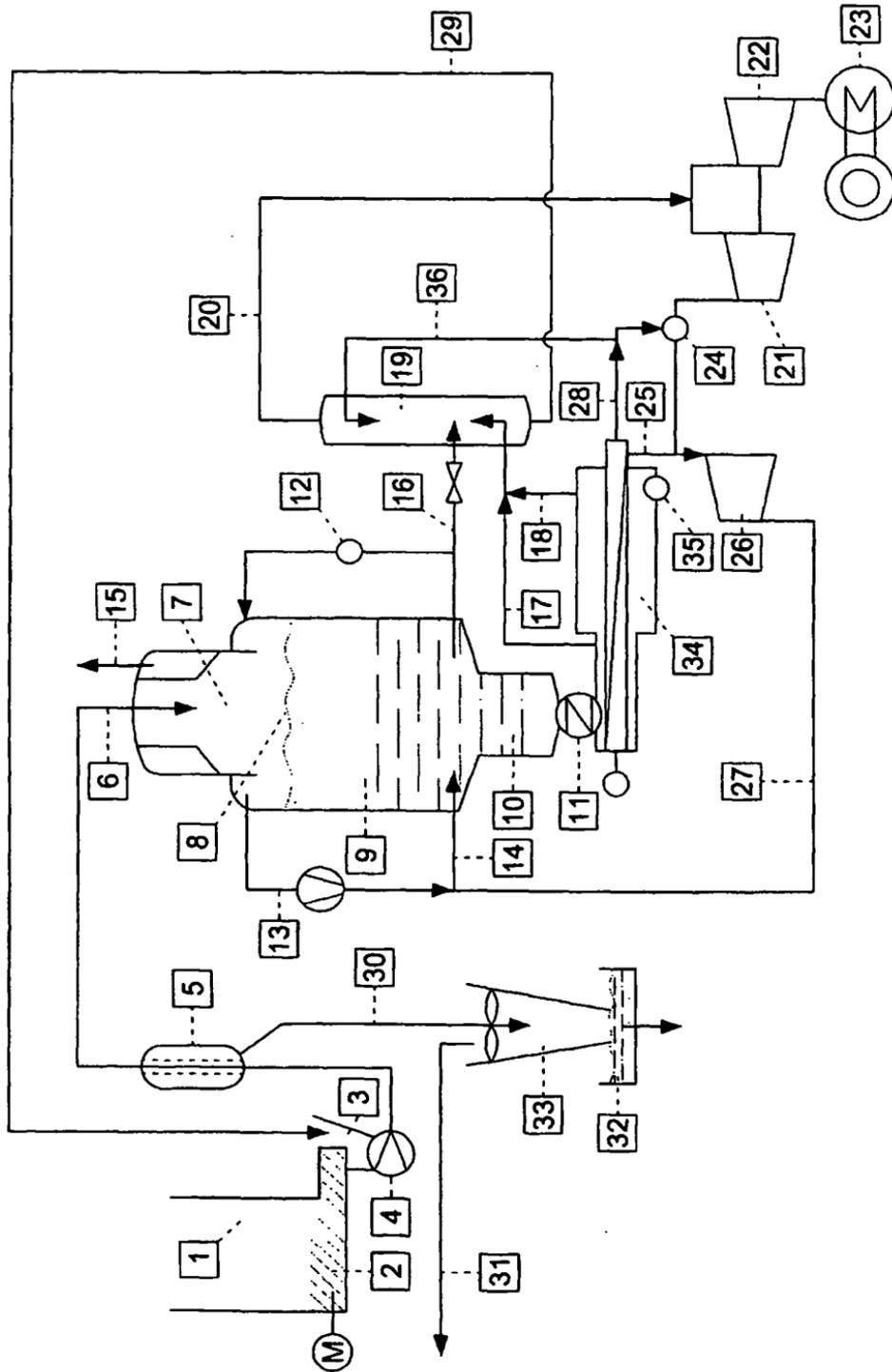


Figura 2

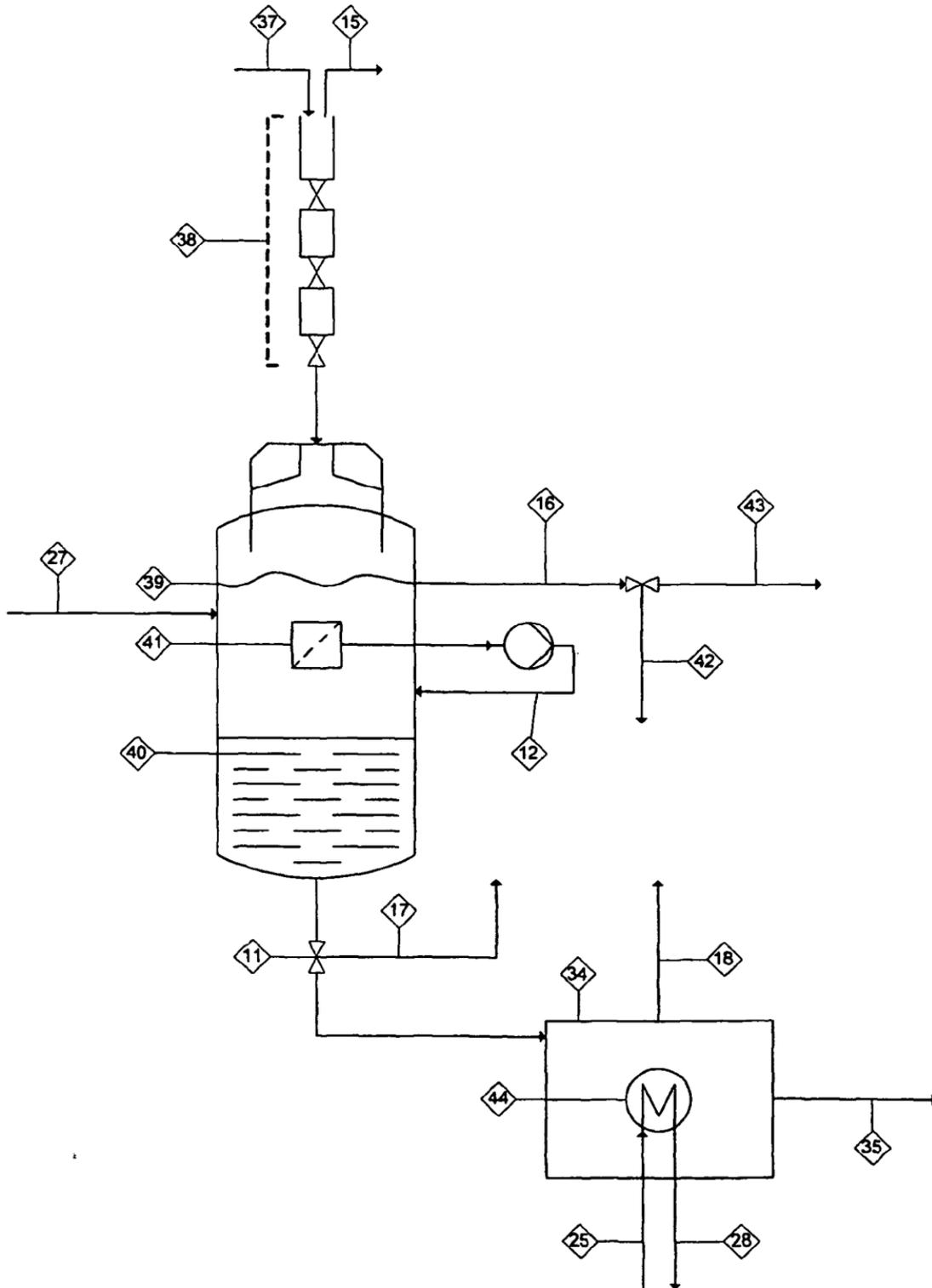


Figura 3

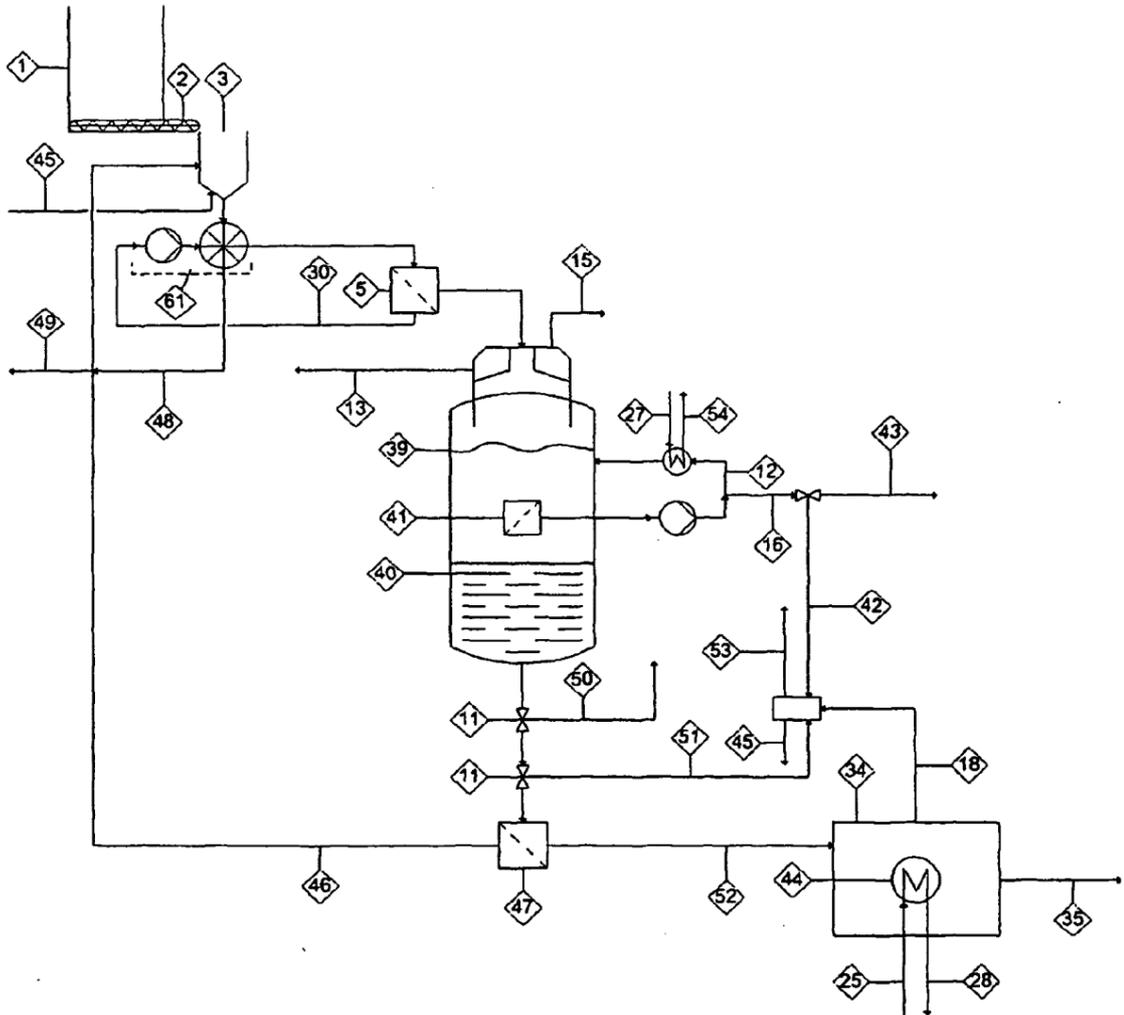


Figura 4

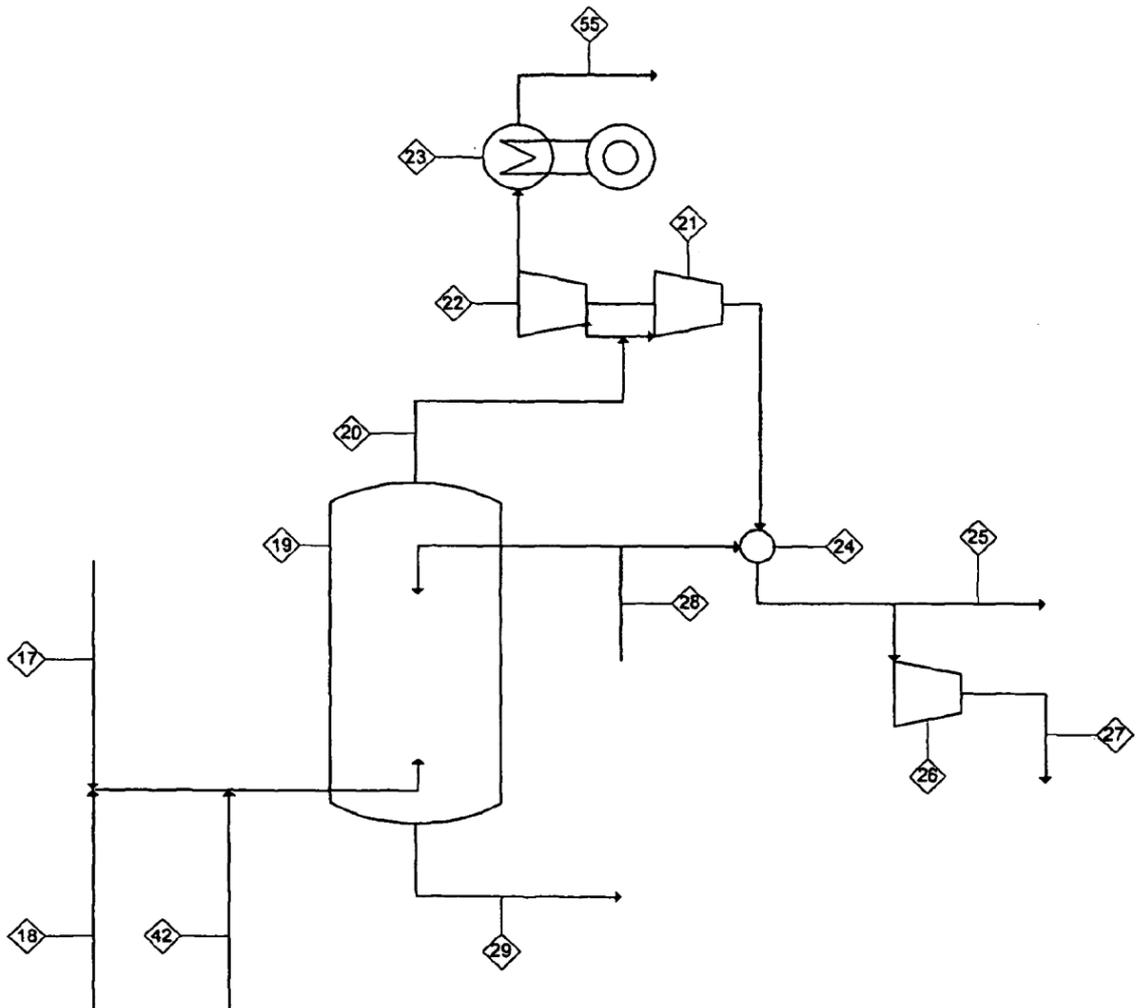


Figura 5

