

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 565 491**

51 Int. Cl.:

C07D 307/50 (2006.01)

B01D 1/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.10.2011** **E 11779878 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.12.2015** **EP 2632911**

54 Título: **Proceso para la producción de furfural a partir de pentosas y/o pentosanos solubles en agua**

30 Prioridad:

27.10.2010 NL 2005588

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

05.04.2016

73 Titular/es:

**TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT (100.0%)
Stevinweg 1
2628 CN Delft, NL**

72 Inventor/es:

**DE JONG, WIEBREN y
MARCOTULLIO, GIANLUCA**

74 Agente/Representante:

LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 565 491 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

Proceso para la producción de furfural a partir de pentosas y/o pentosanos solubles en agua

5 La invención se dirige a un proceso para la producción de furfural (o 2-furanocarboxialdehído) a partir de pentosas y/o pentosanos solubles en agua.

10 El furfural es una sustancia química intermedia fácilmente disponible a partir de biomasa lignocelulósica, y se produce industrialmente desde 1921, principalmente a partir de residuos de la agricultura. El furfural ofrece formas alternativas para la producción de numerosos materiales, así como también nueva generación de biocombustibles. Los mercados potenciales y futuros para resinas de furano cubren un amplio espectro con utilización potencial masiva, desde conservantes de madera hasta materiales de construcción. En el pasado el furfural se ha usado como materia prima para la producción de sustancias químicas intermedias importantes como el THF. Los balances favorables entre los precios del petróleo y la disponibilidad de furfural, así como también las políticas verdes, son probables que guíen un desvío de vuelta a las rutas a base de furfural.

15 En cuanto al sector de la energía concierne, los derivados de la hidrogenación directa del furfural tienen además un alto potencial como combustibles líquidos alternativos y diluyentes de combustibles. Se ha demostrado que el 2-metiltetrahidrofurano (MTHF) muestra características superiores como diluyente de combustibles en la gasolina regular, así como también en formulaciones de combustibles alternativos a base de etanol (combustibles de la serie P). El 2-metilfurano y el alcohol tetrahydrofurfurílico (THFA) podrían además ser posibles candidatos como potenciadores de octano derivados de biomasa, y como aditivo para el combustible diesel. Además, mediante reacciones controladas que implican el furfural, tal como la condensación aldólica, la alquilación y la eterificación, pueden obtenerse moléculas grandes, que pueden experimentar posterior hidrogenación/hidrogenólisis hasta moléculas con características combustibles superiores, tales como los alcanos superiores.

20 Los procesos de producción de furfural actuales son actuales costosos y de alto consumo energético. Por otra parte, exhiben rendimientos relativamente bajos, 50-60 % de lo teórico, y están pobremente integrados con procesos dirigidos a la valorización de la totalidad de la materia prima de alimentación de la biomasa. Esto hace al furfural menos adecuado para la industria de los combustibles en este momento, y no siempre de costo competitivo con derivados del petróleo en la industria química. Es necesario el desarrollo de novedosos procesos de producción para abrir el potencial de esta plataforma de sustancia química derivada de la biomasa.

25 En la patente núm. WO 81/00407 (US-A 4366322) se describe un proceso para la producción de furfural, en donde las pentosas se convierten en furfural a presión atmosférica y una temperatura inferior a 110 °C, en un medio ácido fuerte (ácido 6 N). Este proceso muestra un rendimiento bajo y produce una gran cantidad de subproductos. Además tiene un gran requerimiento de energía.

30 En la patente núm. DE 740602 se describe la producción de furfural, mediante el uso de un reciclado de parte de la corriente de producto hasta el fondo de la columna. Este proceso muestra bajo rendimiento y sustancial formación de subproductos.

35 Los procesos tradicionales emplean una gran parte de la entrada de energía primaria para producir vapor de agua a alta presión para retirar el furfural del sistema de reacción, y para su posterior purificación por destilación. El consumo total de energía en tales procesos varía de 15 a 50 toneladas de vapor de agua por tonelada de furfural que se produce. No obstante, la reducción directa del uso de vapor de agua es usualmente perjudicial para el rendimiento de furfural a partir de biomasa, y por esta razón, a pesar de los costos de energía relacionados, la estabilización abundante de vapor de agua es crucial en la producción de furfural.

40 En consecuencia, es un objetivo de la presente invención proporcionar un proceso para la producción de furfural a partir de pentosas que requiere mucho menos energía, que tiene en cuenta, no obstante, abundante estabilización de vapor de agua.

45 La presente invención se basa en el desarrollo de una forma de producción de furfural, mucho más eficiente energéticamente, a partir de pentosas, o pentosanos solubles.

50 La invención se dirige a un proceso para la producción de furfural a partir de pentosas y/o pentosanos solubles en agua, dicho proceso que comprende convertir en una primera etapa de dichas pentosas y/o pentosanos solubles en agua en solución acuosa en furfural en condiciones ácidas y en una segunda etapa alimentar la solución acuosa que contiene furfural obtenido en la primera etapa por la parte superior de una columna de destilación para producir un flujo líquido descendente, acuoso, en cuyo flujo líquido descendente al menos un material ácido está presente en una cantidad de como máximo 0,5 N y cuyo líquido contiene adicionalmente al menos una sal seleccionada del grupo alcalino, alcalinotérreos y haluros de amonio, cuya columna se calienta en la parte del fondo de esta, mediante el uso de al menos un rehervidor para producir un flujo de vapor de agua ascendente, recuperar de una corriente de producto de vapor que contiene agua y furfural desde la parte superior de dicha columna, comprimir dicho flujo de vapor y condensarlo sobre el lateral caliente del rehervidor en el fondo de dicha columna para producir suficiente vapor de agua

en dicho fondo de la columna para producir el dicho flujo ascendente de flujo de vapor de agua, y para recuperar una solución acuosa que contiene furfural como el condensado en el rehevridor.

5 Cabe destacar que las técnicas de destilación asistida por bomba de calor, como tal, se conocen en la técnica. FONYO y otros: "Comparison of Various Heat Pump Assisted Distillation" en CHEMICAL ENGINEERING RESEARCH AND DESIGN, PART A, INSTITUTION OF CHEMICAL ENGINEERS, XX, vol. 76, núm. 3, 1 marzo 1998 (1998-03-01), páginas 348-360, establece que las columnas de destilación usualmente están entre las principales unidades que consumen energía. No hay sugerencia de que la eficiencia energética podría mejorarse en combinación con un mejor rendimiento y menor formación de subproductos por las condiciones específicas del proceso de destilación de un método de la presente invención para la producción de furfural. Hay varias maneras de llevar a cabo el proceso de la invención. En una primera modalidad, las dos etapas se llevan a cabo simultáneamente, es decir, alimentar una solución acuosa de una o más pentosas o pentosanos solubles en agua a la parte superior de una columna de destilación reactiva para producir un flujo descendente líquido, acuoso donde la reacción tiene lugar en parte o totalmente, cuya columna se calienta en el fondo para producir un flujo gaseoso ascendente de vapor de agua, recuperar una corriente de producto de vapor que contiene agua y furfural de la parte superior de dicha columna. La recuperación de producto de vapor resultante puede someterse a una destilación posterior mediante el uso de métodos convencionales, o, preferentemente, un método que usa los mismos principios de recompresión de vapor y de recuperación de calor. Otras tecnologías de separación pueden usarse además, tales como membranas, adsorción, o similar.

20 En otra modalidad, las dos etapas se llevan a cabo consecutivamente, es decir, una primera etapa previa a la reacción, en donde se produce una corriente de alimentación acuosa que contiene furfural, por ejemplo por calentamiento de una solución acuosa de pentosas y/o pentosanos solubles en agua, tras lo cual la corriente de alimentación resultante se destila como se define en la presente invención. Las soluciones intermedias son además posibles donde la reacción se lleva a cabo en parte antes y en parte dentro de la columna de destilación.

25 La presente invención se basa en sí misma que mediante el uso de sistemas de recuperación de calor convencionales, la mayor parte del consumo de energía en el proceso reside en la recompresión del producto de la parte superior de la columna. Debido al equilibrio del sistema vapor-líquido, las temperaturas en la parte superior e inferior de la columna difieren por sólo unos pocos grados Kelvin. Por esta razón el consumo de energía puede ser mínimo debido a la recompresión de vapor, y tal que asegure una diferencia de temperatura adecuada entre los laterales caliente y frío del cambiador de calor. En virtud de tal medida de conservación de energía, la entrada externa de vapor de agua (energía) es mínima, no obstante la estabilización abundante de vapor de agua puede aplicarse en beneficio de los rendimientos generales de furfural. Más particularmente, es posible que la producción de vapor de agua en el fondo de la columna esté totalmente proporcionada por el calor disponible en dicha corriente de producto de vapor que contiene agua y furfural.

30 La presente invención en consecuencia reside en esto que con el uso de una columna de destilación convencional, como tal, las propiedades termodinámicas del sistema permiten un muy eficiente y económico proceso de producción y separación de furfural a partir de pentosas.

35 Las pentosas y/o pentosanos solubles usados para este proceso se obtienen preferentemente a partir de la biomasa o los residuos de conversión de la biomasa. Los oligómeros solubles de pentosas (pentosanos) a veces están presentes juntos con pentosas en licores que contienen pentosas. Los pentosanos generalmente se depolimerizan rápidamente bajo las condiciones requeridas para la producción de furfural a partir de pentosas, particularmente a partir de xilosa y arabinosa.

40 Como se indicó anteriormente, los procesos actuales para la producción de furfural a partir de biomasa son de alto consumo energético, con la consecuencia de que el furfural producido de esa manera, no puede competir con los productos a base de petróleo.

45 La columna o columnas de destilación que se usan en la presente descripción pueden ser de diseño convencional, que tiene en cuenta los requisitos de los procesos. Este diseño puede hacerse fácilmente por un experto en materia de destilación. Una columna de este tipo proporciona un suficiente contacto gas/líquido. Esto puede hacerse mediante el uso de material de empaque, bandejas (con o sin tubos de bajada) y lo similar.

50 El proceso puede realizarse con o sin el uso de un catalizador ácido. Se prefiere que un sistema de catalizador ácido esté presente. Este puede ser un ácido mineral u orgánico disuelto en el flujo descendente líquido acuoso para alcanzar un pH inferior a 3, preferentemente inferior a 1,5. Los ácidos adecuados son el ácido sulfúrico, el ácido clorhídrico o el ácido fosfórico. Sin embargo, es posible además que al interior de la columna contenga un material ácido en la superficie de esta. Este material puede aplicarse después a las bandejas, paredes o al material de empaque. Así, en una modalidad, la columna de destilación contiene un ácido sólido, preferentemente en el material de empaque o bandejas en la columna de destilación. Los materiales ácidos adecuados para usarse en la presente descripción son las zeolitas ácidas; las silicalitas de niobio microporosas y mesoporosas; los ácidos sulfónicos micro y mesoporoso; los titanatos, niobatos y titanoniobatos estratificados; aluminosilicatos delaminados; sales de cesio del ácido 12-tungstosulfónico y ácido 12-tungstosulfónico soportado sobre sílice mesoporosa; zirconia sulfatada mesoestructurada y a granel; nafion; y una combinación de diferentes catalizadores ácidos y básicos sólidos y lo similar. Se percibe que el uso

de materiales ácidos sólidos se conoce en la técnica de C. MOREAU y otros: INDUSTRIAL CROPS AND PRODUCTS, vol. 7, núm. 2,3, 1998, páginas 95-99.

5 En el caso del uso de un material ácido disuelto en el flujo descendente líquido acuoso, los componentes ácidos se reciclan preferentemente con el producto del fondo de la columna.

10 La fase acuosa contiene adicionalmente una sal disuelta, es decir, una alcalina, alcalinotérrica o haluros de amonio, tales como sal de mar común, NaCl, KCl, CaCl₂, NH₄Cl, y los bromuros y yoduros equivalentes. Se observa que el uso de cloruro amónico se conoce de CHEMICAL ABSTRACTS SERVICE, COLUMBUS, OHIO, US; GIDROLIZNAYA I LESOKHIMICHESKAYA PROMYSHLENNOST, núm. 8, 2011, páginas 1-2.

Esta modalidad puede combinarse con el uso de material ácido disuelto o materiales ácidos sólidos anclados a la columna o material de empaque.

15 Así, la corriente de reciclaje contiene opcionalmente el catalizador y pudiera contener algo de electrolito (sal) para optimizar la conversión catalítica de pentosas en furfural además de mejorar la separación de furfural.

20 Durante el contacto gas líquido, las pentosas se convierten en furfural, que al menos se transfieren en parte a la fase gaseosa. La fase gaseosa obtenida en la parte superior de la columna se vuelve a comprimir y se condensa, por intercambio de calor con el producto en el fondo de la columna, por ejemplo, en el sistema rehervidor de la columna. El condensado que contiene furfural puede usarse después como tal en procesos adicionales, como solución concentrada de furfural, o el furfural puede recuperarse a partir de esta, preferentemente por destilación adicional mediante el uso de una columna equipada con recompresión y condensación del producto de vapor. Esta columna puede ser de construcción comparable como la columna usada para la producción inicial de furfural.

25 Como se indicó anteriormente, la corriente de alimentación que contiene pentosas preferentemente es de biomasa o derivada de biomasa, por ejemplo, como producto secundario de la industria del papel, refinerías de etanol celulósico, fábricas de azúcar o dondequiera que pueda estar disponible en cantidades adecuadas. Puede producirse además en instalaciones especializadas, donde los pentosanos se separan del material de biomasa en bruto, tal como la biomasa leñosa, residuos agrícolas o similares, mediante el uso de diferentes tecnologías existentes, como la explosión del vapor de agua, hidrólisis ácida diluida, alcalina, o de agua caliente, solventes orgánicos, hidrólisis de agua supercrítica, diferentes tecnologías de fabricación de pasta y lo similar, o una combinación de estos.

35 Las condiciones de temperatura y presión del proceso pueden variar entre límites relativamente amplios, y en dependencia de la optimización de los factores económicos. Se prefiere llevar a cabo la reacción a temperaturas entre 100 y 300 °C, preferentemente entre 150 y 250 °C. La presión de la reacción depende de la temperatura de elección para la reacción, y será muy similar a la del agua saturada pura a la misma temperatura.

40 La concentración de las pentosas en la corriente de alimentación no es crítica, pero debe ser tal que resulte en una concentración de pentosas dentro del(de los) reactor(es) preferentemente por debajo del 10 % en peso en solución acuosa, más particularmente entre el 1 y 4 % en peso. La concentración puede mantenerse fácilmente en este nivel por la selección de la cantidad de reciclaje o simplemente por dilución.

45 La invención se ilustra ahora sobre la base del diagrama de flujo en la Figura 1.

50 En la Figura 1 se ha proporcionado el diagrama de flujo del proceso. En el Esquema de reacción I la columna del reactor principal, Col.React (103), se representa, junto con las principales piezas del equipo en una configuración típica para la producción de una corriente de furfural agua (corriente 5) a partir de licor que contiene azúcares de pentosano (corriente 1). En el Esquema de reacción II se representa un sistema de destilación para la producción de furfural concentrado (95 % en peso), corriente 18, a partir de una corriente más diluida de agua que contiene furfural (<8 % en peso) (corriente 11).

55 Sobre la base de un proceso como se describe en la Figura 1, una corriente de alimentación (1) contiene una solución acuosa de pentosas y/o pentosanos solubles se mezcla con una corriente de reciclado, se ajusta a la temperatura deseada en un calentador, PreCalent (101) y se traspa así a la columna de destilación reactiva principal, Col.React (103). Para extensiones variables la reacción puede realizarse además en un prereactor, PreReac (102). La solución líquida reactiva (corriente 2) entra en la columna reactiva (Col.React (103)) a partir de una etapa superior y se retrasa en el interior de la columna por un tiempo de permanencia suficientemente prolongado para alcanzar la conversión deseada de pentosas. El producto del fondo de tal columna (corriente 7) entra en una caldera, Reh (105) donde se vaporiza parcialmente para producir la corriente de vapor de flujo ascendente (6). Tal corriente (6) que fluye de forma ascendente se enriquece en furfural a expensas de la solución reactiva que fluye de forma descendente, lo que deja la columna (corriente 8) en gran medida despojada de su contenido de furfural. La corriente de producto gaseoso de la columna (3) se comprime así (Comp (104)) y se envía (corriente 4) para el lateral caliente de la caldera (ReH (105)), donde se condensa. El producto condensado de Reh (105), corriente (5), contiene el furfural producido en forma de una solución acuosa diluida. La fracción del sumidero del rehervidor ReH (105), corriente (8), puede contener los subproductos de la reacción, azúcares sin reaccionar y pequeñas cantidades de furfural. En el caso de optar por la

catálisis homogénea, la corriente 8 puede contener ácidos disueltos, haluros metálicos u otro material soluble que se usa como catalizador para la reacción. Las cantidades de tal corriente (8) pueden reciclarse, o abandonar el proceso (corriente 9). Una corriente de agua pura o una solución de ácido/sal de concentración apropiada (corriente 10) puede usarse para reponer el sistema de modo de evitar la acumulación de impurezas en el proceso. La corriente 10 preferentemente puede producirse a partir de la corriente 9 después de su purificación de compuestos orgánicos y otras impurezas de estos.

Una corriente de furfural acuosa diluida del tipo de la corriente 5, puede concentrarse mediante el uso de un proceso de destilación tradicional furfural-agua, o preferentemente mediante el uso de una columna de destilación energizada por la recompresión y la condensación de los productos de vapor, como se representa en la figura 1, esquema de reacción II. En tal esquema de reacción una corriente de furfural-agua (11) se alimenta a una columna de destilación Col.Lav (201) en una etapa apropiada, y que fluye de forma descendente se despoja de su contenido de furfural. En su fondo la columna se habilita con un rehervidor, Reh (203), para producir cantidades apropiadas de corriente de flujo ascendente (14). El producto rico en furfural de la parte superior de tal columna (corriente 12) se comprime y alimenta al lateral caliente del mismo rehervidor Reh (203) lo que condensa en este hasta estado líquido. La corriente 16 así producida se enfría y se recolecta en un decantador, Dec (205), donde la separación líquido-líquido tiene lugar debido a la miscibilidad parcial de furfural en agua. De acuerdo con las técnicas comunes de separación furfural-agua de la fase más pesada (corriente 18) que contiene furfural concentrado (95 % en peso aprox.) mientras que se recoge la fracción más ligera del decantador (Dec(205)), que contiene furfural en magnitudes apreciables, se calienta en un cambiador de calor de recuperación, Hrec (204), y se alimenta de nuevo a la columna de destilación Col.Lav (201).

La invención se describe ahora aun más en base al siguiente ejemplo.

EJEMPLO

La temperatura de reacción para este ejemplo es 200 °C. Una corriente líquida acuosa de 100 kg/h que contiene 5 % en peso de pentosas disueltas, derivadas de la hidrólisis de la biomasa lignocelulósica, se alimenta al proceso (corriente 1), y se mezcla con una corriente de reciclado de 150 kg/h, a 200 °C, que contiene una cantidad de pentosas sin reaccionar, pequeñas cantidades de furfural y algunos otros subproductos.

La corriente de la mezcla acuosa resultante de 250 kg/h que contiene 2,03 % en peso de pentosas se ajusta a la temperatura de reacción (200 °C) en el precalentador (PreCalent (101)), y se alimenta a un pre reactor adiabático (PreReac (102)). Corriente abajo, la corriente 2 del pre reactor (PreReac (102)) que contiene 0,71 % en peso de xilosa y 0,87 % en peso de furfural se alimenta la columna (Col.Reac (103)) a 200 °C.

Una corriente de producto líquido del fondo (8) de 150 kg/h, que contiene 0,087 % en peso de furfural y 0,05 % en peso de pentosas, abandona la columna a 200 °C. Un producto de vapor de la parte superior, corriente (3), de 100 kg/h abandona la columna a 199,8 °C. Esta corriente (3), que contiene 2,70 % en peso de furfural, se comprime (Comp (104)) a partir de 15,6 hasta 18,7 bar (abs) (relación de presión de 1,2) que resulta en la corriente (4), que se envía al lateral caliente del rehervidor (ReB 105) donde se condensa.

Con la eficiencia isoentrópica del compresor (Comp (104)) que es 0,8, la temperatura de la corriente 4 resulta 226 °C, mientras que su temperatura del punto de rocío es 209 °C. De esta manera, se garantiza una diferencia de temperatura adecuada entre los dos laterales del rehervidor. En estas condiciones, la energía necesaria para accionar el compresor es 1,3 kW, mientras que el servicio de calor en el rehervidor es 53,2 kW, lo que resulta en un coeficiente de rendimiento de 40,9. El rendimiento molar de furfural en la corriente 5 es 84,5 % en la base del contenido de pentosa inicial de la corriente 1, y la energía mecánica necesaria para el proceso es de 481 kWh por tonelada de furfural.

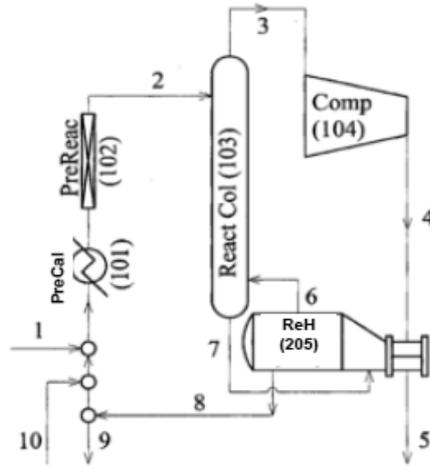
La corriente de producto 5, con un flujo de 100 kg/h y que contiene 2,7 % en peso de furfural, se somete a destilación a presión atmosférica de acuerdo con la figura 1, esquema de reacción II. Así la corriente 11, que es igual a la corriente 5, se alimenta a la columna de lavado (Col.Lav (201)) en una etapa intermedia. El producto de la parte superior de la columna, corriente 12, consiste en una corriente de acuosa de vapor de 30 kg/h a 97,9 °C y presión atmosférica, que contiene 16,2 % en peso de furfural. Tal corriente 12 se comprime (Comp (202)) a 1,35 bar, lo que resulta en una temperatura de 131 °C. La temperatura del punto de rocío de la corriente 13 es de 108 °C, de modo que permite una suficiente diferencia de temperatura en el rehervidor (ReH (203)), que opera en el lateral frío a aproximadamente 100 °C. El producto de la parte superior del decantador Dec (205) es una corriente de 27,2 kg/h que contiene 8,1 % en peso de furfural que se alimenta a la parte superior de la columna de estabilización después del calentamiento (corriente 17). El producto del fondo del decantador Dec (205), corriente 18, representa la corriente de producto principal, que tiene un flujo de 2,8 kg/h, y que contiene 95,2 % en peso de furfural. Casi el 99 % del furfural alimentado al sistema a través de la corriente 11 se recupera en la corriente 18. En estas condiciones, la potencia necesaria para accionar el compresor (Comp (202)) es 0,48 kW, mientras que el servicio de calor en el rehervidor (ReH (203)) es 16,5 kW, lo que resulta en un coeficiente de rendimiento de 34,5. La energía mecánica necesaria para el proceso de destilación es 180 kWh por tonelada de furfural en la corriente 18.

65

REIVINDICACIONES

- 5 1. Proceso para la producción de furfural a partir de pentosas y/o pentosanos solubles en agua, dicho proceso comprende convertir en una primera etapa las pentosas y/o pentosanos solubles en agua en solución acuosa en furfural bajo condiciones ácidas y en una segunda etapa alimentar la solución acuosa que contiene furfural obtenida en la primera etapa a la parte superior de una columna de destilación para producir un flujo líquido descendente acuoso, en cuyo flujo líquido descendente al menos un material ácido está presente en una cantidad de como máximo 0,5 N y cuyo líquido adicionalmente contiene al menos una sal seleccionada del grupo de los alcalinos, alcalinotérreos y haluros de amonio, cuya columna se calienta en la parte del fondo de esta, mediante el uso de al menos un rehervidor para producir un flujo de vapor de agua ascendente, recuperar una corriente de producto de vapor que contiene agua y furfural de la parte superior de dicha columna, comprimir dicho flujo de vapor y condensar en el lateral caliente del rehervidor en el fondo de dicha columna para producir suficiente vapor de agua en dicha parte del fondo de la columna para producir el dicho flujo de vapor de agua ascendente, y para recuperar una solución acuosa que contiene furfural como el condensado en el rehervidor.
- 15 2. Proceso de conformidad con la reivindicación 1 para la producción de furfural a partir de pentosas, donde el proceso comprende alimentar una solución acuosa de una o más pentosas o pentosanos solubles a la parte superior de una columna de destilación para producir un flujo líquido descendente acuoso, cuya columna se calienta en la parte del fondo de esta, mediante el uso de al menos un rehervidor para producir un flujo de vapor de agua ascendente, recuperar una corriente gaseosa de producto que contiene agua y furfural de la parte superior de dicha columna, comprimir dicho flujo de vapor y condensarlo en el lateral caliente del rehervidor en el fondo de dicha columna para producir suficiente vapor de agua en dicha parte del fondo de la columna para producir el dicho flujo ascendente de vapor de agua.
- 20 3. Proceso de conformidad con la reivindicación 1, en donde la primera etapa y la segunda etapa se llevan a cabo consecutivamente.
- 25 4. Proceso de conformidad con las reivindicaciones 1-3, en donde el material ácido presente en dicho flujo líquido descendente es un ácido mineral.
- 30 5. Proceso de conformidad con la reivindicación 4, en donde el ácido mineral es ácido sulfúrico, ácido fosfórico o ácido clorhídrico.
- 35 6. Proceso de conformidad con las reivindicaciones 1-5, en donde la columna de destilación contiene un ácido sólido, preferentemente en el material de empaque, o bandejas en la columna de destilación.
- 40 7. Proceso de conformidad con la reivindicación 3, en donde la reacción se lleva a cabo en parte antes y en parte dentro de la columna de destilación.
- 45 8. Proceso de conformidad con las reivindicaciones 1-7, en donde dicha corriente de producto gaseoso se vuelve a comprimir y se conduce a través de un cambiador de calor que está en contacto con los contenidos de dicha columna, preferentemente en un lugar cerca del fondo de esta.
- 50 9. Proceso de conformidad con las reivindicaciones 1-8, en donde dicha solución acuosa de pentosas se obtiene a partir de biomasa, más particularmente, a partir de un residuo de biomasa.
- 55 10. Proceso de conformidad con las reivindicaciones 1-9, en donde dicha corriente de producto se condensa para producir una corriente de producto de furfural acuoso concentrado.
- 60 11. Proceso de conformidad con la reivindicación 10, en donde el furfural se recupera de dicha corriente de producto de furfural acuoso concentrado mediante destilación con recompresión del vapor.
12. Proceso de conformidad con las reivindicaciones 1-11, en donde la presión en dicha columna de destilación es entre 1 y 50 bar (abs).
13. Proceso de conformidad con las reivindicaciones 1-12, en donde la temperatura en dicha columna de destilación es entre 100 y 300 °C.
14. Proceso de conformidad con las reivindicaciones 1-13, en donde la concentración de pentosas durante las etapas reactivas es inferior a 10 % en peso.
15. Proceso de conformidad con la reivindicación 14, en donde la concentración de pentosas durante las etapas de reacción está entre 1 y 4 % en peso.

ESQUEMA I



ESQUEMA II

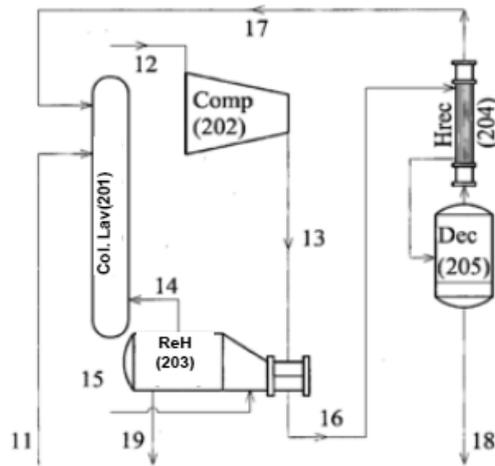


Figura 1. Esquema del Proceso