

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 752 824**

51 Int. Cl.:

C10L 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.09.2016** E 16187062 (1)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.08.2019** EP 3290494

54 Título: **Proceso para la reducción del consumo de energía durante el pretratamiento de biomasa**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.04.2020

73 Titular/es:

**CLARIANT INTERNATIONAL LTD (100.0%)
Rothausstrasse 61
4132 Muttenz, CH**

72 Inventor/es:

**HUEHNLEIN, BJOERN;
HOPPE, THOMAS y
HORTSCH, DR., RALF**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 752 824 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 reducción del consumo de energía durante el pretratamiento de biomasa

La presente invención se refiere a un proceso para la reducción del consumo de energía durante el pretratamiento de biomasa.

5 Muchas biomosas orgánicas tienen que someterse a procesos de pretratamiento complejos para permitir el uso total de sus componentes. Los procesos convencionales de pretratamiento de biomasa comprenden el uso de vapor para descomponer la estructura del material orgánico. Un método de pretratamiento eficaz aplicado con mucha frecuencia, p.ej. a la biomasa lignocelulósica es la explosión de vapor. En este tipo de pretratamiento, son necesarias cantidades elevadas de vapor para presurizar la biomasa hasta una presión en cierto exceso antes de iniciar una expansión espontánea para alterar las fibras. Por lo tanto, existen costes elevados de energía, lo que hace que muchos procesos de pretratamiento no sean rentables para las aplicaciones a escala industrial.

Tal proceso se conoce, por ejemplo, de Chiaramonti D. *et al.*, Review of pretreatment processes for lignocellulosic ethanol production, and development of an innovative method. Biomass and Bioenergy, 2012, 46:25-35.

15 Los inventores de la presente invención han descubierto sorprendentemente que se puede minimizar el consumo de vapor durante tal proceso de pretratamiento mediante la optimización de la materia prima que se procesa durante el proceso.

Los inventores de la presente invención proporcionan, por lo tanto, un proceso para la reducción del consumo de energía durante el pretratamiento de la biomasa, caracterizado porque el parámetro de procesamiento de materia prima FPP se selecciona en el intervalo de 1,50 a 7,00 $\frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$.

20 El parámetro de procesamiento de materia prima se determina, por tanto, como sigue:

$$FPP = \frac{1}{(PRP \left(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}}\right) \times \text{área de salida (mm}^2))} \times 100$$

La optimización del procesamiento de materia prima se lleva a cabo, por tanto, adaptando el área de salida del reactor que contiene la biomasa presurizada al parámetro de resistencia al pretratamiento específico de la biomasa. La resistencia al pretratamiento depende del contenido de lignina y xilosa, así como del contenido de humedad y de la velocidad de transferencia de masa de la biomasa respectiva.

El parámetro de resistencia al pretratamiento PRP se determina, por tanto, como sigue:

$$PRP = \frac{\text{lignina (\%p)}}{(\text{xilosa (\%p)} \times \sqrt{\text{humedad (\%p)}} \times \text{in} \left(\frac{kg}{h}\right))} \times 1000$$

30 Los inventores de la presente invención, por lo tanto, han descubierto sorprendentemente que la resistencia al pretratamiento de una cierta materia prima depende de una proporción específica de contenido de lignina respecto del contenido de xilosa, el contenido de humedad y la velocidad de transferencia de masa. La velocidad de transferencia de masa se predetermina normalmente mediante el sistema de pretratamiento respectivo, así como las dimensiones del reactor y la tubería.

35 Tras la determinación de la PRP, se establecerá el consumo de vapor energéticamente más eficaz y óptimo adaptando el área de salida, p.ej., de un reactor de pretratamiento de explosión de vapor a la PRP respectiva según el proceso inventivo. En la presente invención, se prefiere el pretratamiento de explosión de vapor.

En una realización preferida, el FPP se selecciona en el intervalo de 2,00 a 4,50 $\left(\frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}\right)$, preferiblemente de 2,50 a 4,00 $\left(\frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}\right)$, especialmente preferiblemente de 2,25 a 3,90 $\left(\frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}\right)$, en el que también se prefieren los intervalos de 2,25 a 3,80 $\left(\frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}\right)$ y 2,25 a 3,75 $\left(\frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}\right)$. La selección del FPP en el intervalo de 2,5 a 4,0 $\left(\frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}\right)$, por tanto, se prefiere especialmente, ya que se consigue un máximo de ahorro de vapor mientras las condiciones generales del proceso son las más eficaces con un riesgo bajo de taponamientos y un flujo de masa económicamente favorable.

45 En una realización preferida adicional, la biomasa es una biomasa lignocelulósica. La biomasa lignocelulósica incluye, pero sin limitación, un material vegetal tal como paja de trigo, paja de cebada, paja de arroz, madera, astillas de madera, desechos de aserraderos y papeleras, rastrojo de maíz, bagazo de caña de azúcar, y otros residuos agrícolas, cultivos de energía especializados, residuos municipales de papel, y cualquier otro material de biomasa que comprenda celulosa, hemicelulosa, xilosa y lignina. El material de biomasa tiene preferiblemente un contenido de materia seca (DM) del 30 al 95 %p, más preferiblemente del 40 al 90 %p, y también preferiblemente del 50 al 85 %p.

En una realización preferida, la PRP se selecciona del intervalo de 0,002 a 1,000 $\left(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}}\right)$, preferiblemente de 0,003 a

0,800 $\frac{h}{kg\cdot\sqrt{\%}}$, más preferiblemente de 0,004 a 0,550 $\frac{h}{kg\cdot\sqrt{\%}}$, mientras también se prefieren los intervalos de 0,003 a 0,010 $\frac{h}{kg\cdot\sqrt{\%}}$ y 0,004 a 0,009 $\frac{h}{kg\cdot\sqrt{\%}}$, así como 0,250 a 0,850 $\frac{h}{kg\cdot\sqrt{\%}}$ y 0,300 a 0,750 $\frac{h}{kg\cdot\sqrt{\%}}$. Se prefieren los intervalos de 0,250 a 0,850 $\frac{h}{kg\cdot\sqrt{\%}}$ y 0,300 a 0,750 $\frac{h}{kg\cdot\sqrt{\%}}$ para pequeñas instalaciones de producción, y las denominadas plantas a escala piloto con una velocidad de transferencia de masa seleccionada del intervalo de 50 kg/h a 5 t/h.

- 5 Se prefieren intervalos de 0,003 a 0,010 $\frac{h}{kg\cdot\sqrt{\%}}$ y 0,004 a 0,009 $\frac{h}{kg\cdot\sqrt{\%}}$ para grandes instalaciones de producción, con una velocidad de transferencia de masa seleccionada del intervalo de más de 5 t/h a 100 t/h.

En una realización más preferida, el contenido de humedad de la biomasa es preferiblemente del 5 al 60 %p, preferiblemente del 8 al 55 %p y lo más preferiblemente del 10 al 50 %p, mientras también se prefieren los intervalos del 10 al 25 %p y 30 al 60 %p.

- 10 En una realización más preferida, el contenido de xilosa de la biomasa se selecciona en el intervalo del 10,0 al 30,0 %p, preferiblemente del 17,0 al 27,0 %p, especialmente preferiblemente del 20,0 al 25,0 %p, mientras también se prefieren intervalos del 17,0 al 24,0 %p y 18,0 al 23,0 %p.

En una realización más preferida, la presión de vapor se selecciona en el intervalo de 8,0 a 15,0 bares, preferiblemente de 8,5 a 12,5 y lo más preferiblemente de 9,0 a 12,0 bares.

- 15 En una realización más preferida, la temperatura durante el pretratamiento se selecciona preferiblemente en el intervalo de 150 a 200 °C, preferiblemente de 160 a 190 °C y lo más preferiblemente de 165 a 185 °C.

En una realización más preferida, el flujo de masa \dot{m} se selecciona del intervalo de 50 a 100.000 kg/h, preferiblemente de 100 a 50.000 kg/h, más preferiblemente de 250 a 35.000 kg/h y lo más preferiblemente de 400 a 25.000 kg/h. Se prefieren intervalos de 50 kg/h a 5.000 kg/h y 250 kg/h a 1.000 kg/h para las pequeñas instalaciones de producción y las denominadas plantas a escala piloto. Se prefieren intervalos de 5.000 kg/h a 50.000 kg/h y 10.000 a 25.000 kg/h para las grandes instalaciones de producción, denominadas instalaciones de producción a escala industrial.

- 20

En una realización más preferida, el pretratamiento de la biomasa se lleva a cabo durante un tiempo seleccionado del intervalo de 1 minuto a 20 minutos, preferiblemente de 5 minutos a 15 minutos, y lo más preferiblemente de 8 minutos a 10 minutos.

- 25 En la presente solicitud, el "área de salida" (OA) se define como el área (medida en mm²) como se representa en la Figura 1 (número de referencia (1)). El "área de salida" según la presente invención constituye, por tanto, el lugar en el que la biomasa presurizada sale del reactor, y se mide en la pared externa del reactor (véase también la Figura 1).

En una realización preferida, el área de salida se selecciona del intervalo de 10 a 17000 mm², preferiblemente de 30 a 10000 mm², más preferiblemente de 50 a 6700 mm², especialmente preferiblemente de 55 a 5500 mm², también especialmente preferiblemente de 60 a 4750 mm² y de 63 a 4500 mm². También se prefieren intervalos de 55 a 90 mm² y 60 a 75 mm², así como de 3000 a 17000 mm² y de 4000 a 6300 mm². Se prefieren intervalos de 55 a 90 mm² y 60 a 75 mm² para las pequeñas instalaciones de producción y las denominadas plantas a escala piloto, con una velocidad de transferencia de masa seleccionada del intervalo de 50 kg/h a 5 t/h. Se prefieren intervalos de 3000 a 17000 mm² y de 4000 a 6300 mm² para las grandes instalaciones de producción, con una velocidad de transferencia de masa seleccionada del intervalo de más de 5 t/h a 100 t/h.

- 35

En una realización más preferida, el área de salida es un círculo con un diámetro seleccionado del intervalo de 2 a 150 mm, preferiblemente de 4 a 100 mm, y lo más preferiblemente de 8 a 75 mm, mientras también se prefieren intervalos de 2 a 15 mm y 4 a 20 mm, así como de 35 a 150 mm y de 40 a 100 mm y de 45 a 75 mm. Se prefieren intervalos de 2 a 15 mm y 4 a 20 mm para las pequeñas instalaciones de producción y las denominadas plantas a escala piloto, con una velocidad de transferencia de masa seleccionada del intervalo de 50 kg/h a 5 t/h. Se prefieren intervalos de 35 a 150 mm y de 40 a 100 mm, así como de 45 a 75 mm para las grandes instalaciones de producción, con una velocidad de transferencia de masa seleccionada del intervalo de más de 5 t/h a 100 t/h.

- 40

En una realización preferida particular, el área de salida está equipada con una tobera como se representa de manera ejemplar en la Figura 2.

- 45 La tobera comprende un cuerpo tubular con un primer extremo abierto y un segundo extremo abierto. La tobera se adapta para insertarla y acoplarla a una abertura de salida de un reactor de explosión de vapor, en el que el segundo extremo abierto se acopla a un conducto para transportar la biomasa pretratada hacia al menos un segundo dispositivo, preferiblemente que comprende un separador, y el primer extremo abierto está alineado con la pared interna del recipiente del reactor o sobresale en el recipiente del reactor. La superficie interna del cuerpo tubular de la tobera comprende una estructura helicoidal grabada.

- 50

La estructura helicoidal grabada de la tobera reduce además considerablemente el consumo de vapor del sistema de pretratamiento hidrotérmico.

En una realización preferida, la inclinación de la estructura helicoidal grabada está en el intervalo de 1 a 300 mm, preferiblemente de 10 a 150 mm, más preferiblemente de 20 a 100 mm, y lo más preferiblemente de 30 a 60 mm. Se prefieren especialmente 30, 40, 50 y 60 mm.

5 La longitud de la tobera está en el intervalo de 1 a 3500 mm, preferiblemente de 10 a 1000 mm, y más preferiblemente de 30 a 600 mm, más preferiblemente de 60 a 500 mm. Las más preferidas son las longitudes de 50, 60, 80, 100, 200, 300, 400 y 500 mm. La longitud y la inclinación de la estructura helicoidal grabada se pueden elegir de manera adecuada de forma que sobren de 1 a 5 circunvoluciones completas, y preferiblemente se obtienen 2 circunvoluciones completas.

10 El área transversal de la superficie interna de la tobera está en el intervalo de 10 a 17,000 mm², preferiblemente de 10 a 9000 mm², más preferiblemente de 20 a 8000 mm², más preferiblemente de 50 a 700 mm², también preferiblemente de 60 a 5000 mm². Los intervalos más preferidos son de 10 a 150 mm², de 30 a 100 mm² y de 50 a 80 mm², así como los intervalos de 1000 mm² a 8000 mm², de 1500 a 7000 mm² y de 2000 a 6000 mm². Cuanto menor es el área transversal de la superficie interna de la tobera, menor es el consumo de vapor total.

15 La tobera puede tener cualquier forma adecuada. Sin embargo, preferiblemente la forma transversal de la superficie interna de la tobera es circular o elipsoidal, de forma que se reducen las turbulencias del flujo del material de biomasa.

La profundidad de la estructura helicoidal grabada está en el intervalo de 0,1 a 15 mm, preferiblemente de 0,5 a 10 mm, y más preferiblemente de 1 a 5 mm, mientras también se prefiere de 1,5 a 3 mm.

La anchura de la estructura helicoidal grabada está en el intervalo de 0,1 a 3 mm, preferiblemente de 0,5 a 2 mm, y más preferiblemente de 1,0 a 1,5 mm.

20 La tobera puede estar hecha en general de cualquier material conocido para una persona experta en la técnica, como sea adecuado para el fin inventivo. Las toberas se hacen preferiblemente de un material de elevada resistencia a la abrasión, tal como un material cerámico, tal como óxido de aluminio, y más preferiblemente de un material de óxido de aluminio de alta pureza, y lo más preferiblemente de óxido de aluminio que tiene una pureza superior al 92 %, y más preferiblemente que tiene una pureza del 99,7 %, especialmente preferiblemente una pureza del 99,50 al 99,99 %.

25 Se prefiere una resistencia a la abrasión de al menos 1800 MPa de dureza Vickers. Se prefiere especialmente una resistencia a la abrasión de al menos 2000 MPa de dureza Vickers, en la que se prefiere al menos 2500 MPa.

30 En una realización preferida, la tobera está diseñada como se representa en la Fig. 2. La tobera 16 comprende un cuerpo tubular 30 generalmente cilíndrico con un primer extremo abierto 32 y un segundo extremo abierto 34. El cuerpo tubular 30 tiene generalmente una sección transversal circular. La superficie de la pared interna 36 del cuerpo tubular 30 está provista de una estructura helicoidal grabada. Las estructuras representadas en la Fig. 2 no corresponden necesariamente a las dimensiones reales de la tobera 16. Solamente se representa la mitad inferior de una parte de la tobera 16, de forma que la estructura helicoidal grabada en la superficie de la pared interna 36 es visible. La estructura helicoidal consiste en una diversidad de ranuras 40 que tienen una profundidad de 1 mm y una anchura de 1,5 mm. La inclinación de las ranuras 40 asciende a 30 mm, de forma que cada ranura 40 forma dos circunvoluciones a lo largo de la longitud completa de 60 mm de la tobera 16.

35

La tobera 16 representada en la Fig. 2 está hecha preferiblemente de un material de óxido de aluminio de alta pureza comercialmente disponible (Al₂O₃ 99,7%). Con una tobera 16 hecha de este material, no se detectó abrasión tras 200 h de funcionamiento. Así, la tobera 16 no solamente reduce la cantidad necesaria de vapor en el pretratamiento hidrotérmico de la biomasa, sino que la tobera cerámica 16 también posibilita un mejor funcionamiento, ya que el proceso de pretratamiento no se tiene que interrumpir para el mantenimiento.

40

Sin limitar el alcance de la presente invención, se prefieren en particular las siguientes realizaciones de las Tablas 1 a 4:

Tabla 1

Humedad (%)	Área de salida OA (mm ²)	PRP ($\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}}$)
25-45	65-80	0,250-0,375
25-45	4000-5500	0,0040-0,0065
10-20	30-90	0,40-0,70
10-20	4000-5000	0,007-0,009
10-18	60-75	0,50-0,60
10-18	4000-5500	0,007-0,009
15-30	60-70	0,40-0,70
15-30	3000-4500	0,008-0,010

Se definen realizaciones más preferidas en la Tabla 2

Humedad (%)	Área de salida OA (mm ²)	PRP ($\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}}$)	Temperatura (°C)
25-45	65-80	0,250-0,375	160-190
25-45	4000-5500	0,0040-0,0065	160-190
10-20	30-90	0,40-0,70	160-190
10-20	4000-5000	0,007-0,009	160-190
10-18	60-75	0,50-0,60	160-190
10-18	4000-5500	0,007-0,009	160-190
15-30	60-70	0,40-0,70	160-190
15-30	3000-4500	0,008-0,010	160-190

Se definen realizaciones más preferidas en la Tabla 3

Humedad (%)	Área de salida OA (mm ²)	PRP ($\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}}$)	Flujo de masa \dot{m} (kg/h)
25-45	65-80	0,250-0,375	250-750
25-45	4000-5500	0,0040-0,0065	15.000-35.000
10-20	30-90	0,40-0,70	250-750
10-20	4000-5000	0,007-0,009	15.000-35.000
10-18	60-75	0,50-0,60	250-750
10-18	4000-5500	0,007-0,009	15.000-35.000
15-30	60-70	0,40-0,70	250-750
15-30	3000-4500	0,008-0,010	15.000-35.000

5

Se definen realizaciones más preferidas en la Tabla 4

Humedad (%)	Área de salida OA (mm ²)	PRP (h/kg√%)	Flujo de masa \dot{m} (kg/h)
25-45	65-80	0,250-0,375	400
25-45	4000-5500	0,0040-0,0065	25.000
10-20	30-90	0,40-0,70	400
10-20	4000-5000	0,007-0,009	25.000
10-18	60-75	0,50-0,60	400
10-18	4000-5500	0,007-0,009	25.000
15-30	60-70	0,40-0,70	400
15-30	3000-4500	0,008-0,010	25.000

Figuras y ejemplos

10 Los siguientes ejemplos y figuras ilustran las realizaciones preferidas de la invención, pero no limitan el alcance de la invención o las reivindicaciones.

La Fig. 1 muestra una posición y realización preferidas del área de salida OA de un reactor de pretratamiento de explosión de vapor

La Fig. 2 muestra una realización preferida de un equipo de tobera

En la Figura 1, el número de referencia (1) indica el área de salida OA, el número de referencia (2) indica una tubería

para transportar el material de biomasa pretratado a un segundo dispositivo, el número de referencia (3) indica la pared externa del reactor de pretratamiento (4) y el número de referencia (5) indica un reborde para la fijación de la tubería (2) al reactor (4).

- 5 La composición del material de biomasa se analizó según el método del NREL (Laboratorio Nacional de Energía Renovable, EE.UU.) y ASE (Alianza para la Energía Sostenible, LLC del Departamento de Energía): "Determinación de Carbohidratos y Lignina Estructurales en Biomasa", versión 08-03-2012.

Se han determinado los siguientes componentes:

- Contenido de materia seca (DM)
 Glucosa (celulosa, glucano)
 10 Xilosa (xilano)
 Cenizas
 Lignina (insoluble en ácido)

Los resultados se ajustaron restando el contenido de cenizas para obtener un cálculo preciso ejemplar de referencia para el Ejemplo 1-0:

- 15 Contenido de materia seca: 85,0%
 Glucosa (Celulosa, Glucano):
 Glucosa (Celulosa, Glucano): $33,2\% \Rightarrow 33,2\% / ((100-6,0\%) / 100) = 35,3\%$
 Xilosa (Xilano) $21,3\% \Rightarrow 21,3\% / ((100-6,0\%) / 100) = 22,7\%$
 Cenizas 6.0%
 20 Lignina (insoluble en ácido)
 Lignina (insoluble en ácido) $15,6\% \Rightarrow 15,6\% / ((100-6,0\%) / 100) = 16,6\%$

El contenido de humedad se calculó restando la DM medida: 15 %p

Ejemplo 1-0 (comparativo) Paja de Trigo (humedad 15 %p) FPP $0,7 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$

- 25 Se aflojaron pacas de paja de trigo en una trituradora de pacas (Tietjen) equipada con raspadores rotatorios que funcionaba a 3000 rpm, lo que proporcionó partículas con tamaños de 10 a 40 cm. Este tamaño de partícula asegura un buen transporte del material y un buen funcionamiento de la etapa de molienda posterior. El material de biomasa se transportó de manera neumática a un molino de martillos (Tietjen VDK 4.1) que funcionaba a 3000 rpm con tamices de 30 mm, donde la paja de trigo se cortó en fragmentos con un tamaño medio de partícula de 1 a 5 cm.

- 30 La paja de trigo cortada se transportó al reactor de pretratamiento térmico con un alimentador de rodillos de púas (Metso; PDF 2545) seguido de un tornillo de transporte (Metso; FFS 211) y un tornillo compactador (Metso; ADI 180). El alimentador de rodillos de púas ajustó un flujo de masa \dot{m} de 400 kg (DM)/h. La paja de trigo tuvo un contenido de materia seca del 85 %p, un contenido de xilosa del 22,7 %p y un contenido de lignina del 16,6 %p, y dio como resultado una PRP de $0,47 \left(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}} \right)$.

- 35 En el recipiente del reactor de pretratamiento (Metso; RHA 740) la paja de trigo se pretrató continuamente con vapor a una temperatura de 160 °C durante 5 min sin la adición de ningún producto químico. El consumo de vapor se midió mediante un aparato Vortex Flowmeter Proline® de Endress & Hauser y fue 1.755 kg/h. Tras este pretratamiento hidrotérmico, la paja de trigo pretratada se transportó a un separador ciclónico (Schrader; DN1200) para separar los materiales orgánicos de los gases.

- 40 El recipiente del reactor de pretratamiento tuvo una salida con un área transversal de alrededor de 283 mm², y el FPP (parámetro de procesamiento de materia prima) se seleccionó a $0,7 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$. Se midió que la cantidad de vapor usada por 1 kg de DM fue 4,4 kg. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Ejemplo 1-A Paja de Trigo (humedad 15 %p) FPP $3,3 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$

La preparación de la biomasa se llevó a cabo como se definió en el Ejemplo 1-0. La composición fue idéntica a la del Ejemplo 1-0 (PRP= $0,47 \left(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}} \right)$).

El FPP (parámetro de procesamiento de materia prima) se modificó a $3,3 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$ adaptando el área de salida a 65 mm². Se midió que el consumo de vapor fue de 403 kg/h, y correspondió a un consumo de vapor específico de 1,0 kg por 1 kg de DM, que representó una reducción eficaz del consumo de vapor del 77% en comparación con el Ejemplo 1-0. Los resultados se muestran en la tabla 5.

5 Ejemplo 1-B Paja de Trigo (humedad 15 %p) FPP $2,3 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$

La preparación de la biomasa se llevó a cabo como se definió en el Ejemplo 1-0. La paja de trigo tuvo un contenido de materia seca del 85 %p, un contenido de xilosa del 21,3 %p y un contenido de lignina del 15,6 %p, lo que dio como resultado una PRP de $0,47 \left(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}} \right)$. El FPP (parámetro de procesamiento de materia prima) se modificó a $2,3 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$ adaptando el área de salida a 90 mm². Se midió que el consumo de vapor fue de 558 kg/h, y correspondió a un consumo de vapor específico de 1,4 kg por 1 kg de DM, que representó una reducción eficaz del consumo de vapor del 68,2% en comparación con el Ejemplo 1-0. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Ejemplo 1-C Paja de Trigo (humedad 15 %p) FPP $7,0 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$

La preparación de la biomasa se llevó a cabo como se definió en el Ejemplo 1-0. La composición fue idéntica a la del Ejemplo 1-B (PRP= $0,47 \left(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}} \right)$).

15 El FPP (parámetro de procesamiento de materia prima) se modificó a $7,0 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$ adaptando el área de salida a 30 mm². Se midió que el consumo de vapor fue 186 kg/h, y correspondió a un consumo de vapor específico de 0,5 kg por 1 kg de DM. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Ejemplo 1-D Paja de Trigo (humedad 20 %p) FPP $3,7 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$

20 La preparación de la biomasa se llevó a cabo como se definió en el Ejemplo 1-0. La paja de trigo tuvo un contenido de materia seca del 80 %p, un contenido de xilosa del 21,3 %p y un contenido de lignina del 15,6 %p, y dio como resultado una PRP de $0,41 \left(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}} \right)$.

25 El FPP (parámetro de procesamiento de materia prima) se modificó a $3,7 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$ adaptando el área de salida a 65 mm². Se midió que el consumo de vapor fue de 403 kg/h, y correspondió a un consumo de vapor específico de 1,0 kg por 1 kg de DM, que representó una reducción eficaz del consumo de vapor del 77,0% en comparación con el Ejemplo 1-0. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Ejemplo 1-E Paja de Trigo (humedad 10 %p) FPP $2,3 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$

La preparación de la biomasa se llevó a cabo como se definió en el Ejemplo 1-0. La paja de trigo tuvo un contenido de materia seca del 90 %p, un contenido de xilosa del 20,0 %p y un contenido de lignina del 17,0 %p, y dio como resultado una PRP de $0,67 \left(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}} \right)$.

30 El FPP (parámetro de procesamiento de materia prima) se modificó a $2,3 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$ adaptando el área de salida a 65 mm². Se midió que el consumo de vapor fue de 403 kg/h, y correspondió a un consumo de vapor específico de 1,0 kg por 1 kg de DM, que representó una reducción eficaz del consumo de vapor del 77,0% en comparación con el Ejemplo 1-0. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Ejemplo 2-0 (comparativo) Paja de Trigo (humedad 15 %p) FPP $0,8 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$

35 Se aflojaron pacas de paja de trigo en una trituradora de pacas (Tietjen) equipada con raspadores rotatorios que funcionaba a 3000 rpm, lo que proporcionó partículas con tamaños de partícula de 10 a 40 cm. Este tamaño de partícula asegura un buen transporte del material y un buen funcionamiento de la etapa de molienda posterior. El material de biomasa se transportó de manera neumática a un molino de martillos (Tietjen) que funcionaba a 3000 rpm con tamices de 30 mm, donde la paja de trigo se cortó en fragmentos con un tamaño medio de partícula de 1 a 5 cm.

40 La paja de trigo cortada se transportó al reactor de pretratamiento térmico con un alimentador de rodillos de púas (Metso), seguido de un tornillo de transporte (Metso) y un tornillo compactador (Metso). El alimentador de rodillos de púas ajustó un flujo de masa \dot{m} de 25.000 kg (DM)/h. La composición fue idéntica a la del Ejemplo 1-B (PRP= $0,008 \left(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}} \right)$).

En el recipiente del reactor de pretratamiento (Metso) la paja de trigo se pretrató continuamente con vapor a una

temperatura de 160 °C durante 5 min sin la adición de ningún producto químico. El consumo de vapor se midió mediante un aparato Vortex Flowmeter Proline® de Endress & Hauser a 1.755 kg/h. Tras este pretratamiento hidrotérmico, la paja de trigo pretratada se transportó a un separador ciclónico (Schrader) para separar los materiales orgánicos de los gases.

- 5 El FPP (parámetro de procesamiento de materia prima) se modificó a $0,8 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$ adaptando el área de salida a 16.000 mm². Se midió que el consumo de vapor fue 99.200 kg/h, y correspondió a un consumo de vapor específico de 4,0 kg por 1 kg de DM. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Ejemplo 2-A Paja de Trigo (humedad 15 %p) FPP $3,1 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$

- 10 La preparación de la biomasa se llevó a cabo como se definió en el Ejemplo 2-0. La composición fue idéntica a la del Ejemplo 2-0 (PRP=0,008 $(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}})$).

El FPP (parámetro de procesamiento de materia prima) se modificó a $3,1 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$ adaptando el área de salida a 4.200 mm². Se midió que el consumo de vapor fue de 26.040 kg/h, y correspondió a un consumo de vapor específico de 1,0 kg por 1 kg de DM, que representó una reducción eficaz del consumo de vapor del 73,8% en comparación con el Ejemplo 2-0. Los resultados se muestran en la tabla 5.

- 15 Ejemplo 3-0 (comparativo) Rastrojo de Maíz (humedad 17 %p) FPP $0,6 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$

- 20 La preparación de la biomasa se llevó a cabo como se definió en el Ejemplo 1-0. El rastrojo de maíz tuvo un contenido de materia seca del 83 %p, un contenido de xilosa del 19,7 %p y un contenido de lignina del 17,8 %p, y dio como resultado una PRP de 0,547 $(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}})$. El FPP (parámetro de procesamiento de materia prima) se modificó a $0,6 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$ adaptando el área de salida a 283 mm². Se midió que el consumo de vapor fue 1811 kg/h, y correspondió a un consumo de vapor específico de 4,5 kg por 1 kg de DM. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Ejemplo 3-A Rastrojo de Maíz (humedad 17 %p) FPP $0,6 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$

- 25 La preparación de la biomasa se llevó a cabo como se definió en el Ejemplo 1-0. El rastrojo de maíz fue idéntico al del Ejemplo 3-0 (PRP de 0,547 $(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}})$). El FPP (parámetro de procesamiento de materia prima) se modificó a $2,9 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$ adaptando el área de salida a 63 mm². Se midió que el consumo de vapor fue de 403 kg/h, y correspondió a un consumo de vapor específico de 1,0 kg por 1 kg de DM, que representó una reducción eficaz del consumo de vapor del 77,7% en comparación con el Ejemplo 3-0. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Ejemplo 3-B Rastrojo de Maíz (humedad 30 %p) FPP $0,6 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$

- 30 La preparación de la biomasa se llevó a cabo como se definió en el Ejemplo 1-0. El rastrojo de maíz tuvo un contenido de materia seca del 70 %p, un contenido de xilosa del 19,7 %p y un contenido de lignina del 17,8 %p, y dio como resultado una PRP de 0,412 $(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}})$. El FPP (parámetro de procesamiento de materia prima) se modificó a $3,6 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$ adaptando el área de salida a 67 mm². Se midió que el consumo de vapor fue de 429 kg/h, y correspondió a un consumo de vapor específico de 1,1 kg por 1 kg de DM, que representó una reducción eficaz del consumo de vapor del 76,3% en comparación con el Ejemplo 3-0. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Ejemplo 4-0 (comparativo) Rastrojo de Maíz (humedad 17 %p) FPP $0,7 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$

- 35 La preparación de la biomasa se llevó a cabo como se definió en el Ejemplo 2-0. El rastrojo de maíz fue idéntico al del Ejemplo 3-0, y dio como resultado una PRP de 0,009 $(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}})$. El FPP (parámetro de procesamiento de materia prima) se modificó a $0,7 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$ adaptando el área de salida a 16.000 mm². Se midió que el consumo de vapor fue 102.400 kg/h, y correspondió a un consumo de vapor específico de 4,1 kg por 1 kg de DM. Los resultados se muestran en la tabla 5.

- 40 Ejemplo 4-A Rastrojo de Maíz (humedad 17 %p) FPP $3,0 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$

La preparación de la biomasa se llevó a cabo como se definió en el Ejemplo 4-0. El rastrojo de maíz fue idéntico al del Ejemplo 3-0, y dio como resultado una PRP de 0,009 $(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}})$. El FPP (parámetro de procesamiento de materia prima) se modificó a $3,0 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$ adaptando el área de salida a 3.800 mm². Se midió que el consumo de vapor fue de 24.320 kg/h, y correspondió a un consumo de vapor específico de 1,0 kg por 1 kg de DM, que representó una reducción eficaz

ES 2 752 824 T3

del consumo de vapor del 76,3% en comparación con el Ejemplo 4-0. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Ejemplo 5-0 (comparativo) Paja de Cebada (humedad 13 %p) FPP $0,7 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$

5 La preparación de la biomasa se llevó a cabo como se definió en el Ejemplo 1-0. La paja de cebada tuvo un contenido de materia seca del 87 %p, un contenido de xilosa del 18,8 %p y un contenido de lignina del 14,2 %p, y dio como resultado una PRP de $0,521 \left(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}} \right)$. El FPP (parámetro de procesamiento de materia prima) se modificó a $0,7 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$ adaptando el área de salida a 283 mm². Se midió que el consumo de vapor fue 1.641 kg/h, y correspondió a un consumo de vapor específico de 4,1 kg por 1 kg de DM. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Ejemplo 5-A Paja de Cebada (humedad 13 %p) FPP $2,9 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$

10 La preparación de la biomasa se llevó a cabo como se definió en el Ejemplo 5-0. La paja de cebada fue idéntica a la del Ejemplo 5-0, y dio como resultado una PRP de $0,521 \left(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}} \right)$. El FPP (parámetro de procesamiento de materia prima) se modificó a $2,9 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$ adaptando el área de salida a 66 mm². Se midió que el consumo de vapor fue de 383 kg/h, y correspondió a un consumo de vapor específico de 1,0 kg por 1 kg de DM, que representó una reducción eficaz del consumo de vapor del 76,7% en comparación con el Ejemplo 5-0. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Ejemplo 6-0 (comparativo) Paja de Cebada (humedad 13 %p) FPP $0,7 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$

15 La preparación de la biomasa se llevó a cabo como se definió en el Ejemplo 2-0. La paja de cebada fue idéntica a la del Ejemplo 5-0, y dio como resultado una PRP de $0,008 \left(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}} \right)$. El FPP (parámetro de procesamiento de materia prima) se modificó a $0,7 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$ adaptando el área de salida a 16.000 mm². Se midió que el consumo de vapor fue 92.800 kg/h, y correspondió a un consumo de vapor específico de 3,7 kg por 1 kg de DM. Los resultados se muestran en la tabla 5.

20 Ejemplo 6-A Paja de Cebada (humedad 13 %p) FPP $2,7 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$

25 La preparación de la biomasa se llevó a cabo como se definió en el Ejemplo 6-0. La paja de cebada fue idéntica a la del Ejemplo 6-0, y dio como resultado una PRP de $0,008 \left(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}} \right)$. El FPP (parámetro de procesamiento de materia prima) se modificó a $2,7 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$ adaptando el área de salida a 4.500 mm². Se midió que el consumo de vapor fue de 26.100 kg/h, y correspondió a un consumo de vapor específico de 1,0 kg por 1 kg de DM, que representó una reducción eficaz del consumo de vapor del 71,9% en comparación con el Ejemplo 6-0. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Ejemplo 7-0 (comparativo) Bagazo (humedad 40 %p) FPP $1,0 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$

30 La preparación de la biomasa se llevó a cabo como se definió en el Ejemplo 1-0. El bagazo tuvo un contenido de materia seca del 60 %p, un contenido de xilosa del 22,0 %p y un contenido de lignina del 19,2 %p, y dio como resultado una PRP de $0,345 \left(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}} \right)$. El FPP (parámetro de procesamiento de materia prima) se modificó a $1,0 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$ adaptando el área de salida a 283 mm². Se midió que el consumo de vapor fue 1.557 kg/h, y correspondió a un consumo de vapor específico de 3,9 kg por 1 kg de DM. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Ejemplo 7-A Bagazo (humedad 40 %p) FPP $3,9 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$

35 La preparación de la biomasa se llevó a cabo como se definió en el Ejemplo 7-0. El bagazo fue idéntico al del Ejemplo 7-0, y dio como resultado una PRP de $0,345 \left(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}} \right)$. El FPP (parámetro de procesamiento de materia prima) se modificó a $3,9 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$ adaptando el área de salida a 74 mm². Se midió que el consumo de vapor fue de 407 kg/h, y correspondió a un consumo de vapor específico de 1,0 kg por 1 kg de DM, que representó una reducción eficaz del consumo de vapor del 73,9% en comparación con el Ejemplo 7-0. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Ejemplo 8-0 (comparativo) Bagazo (humedad 40 %p) FPP $1,1 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$

40 La preparación de la biomasa se llevó a cabo como se definió en el Ejemplo 2-0. El bagazo fue idéntico al del Ejemplo 7-0, y dio como resultado una PRP de $0,006 \left(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}} \right)$. El FPP (parámetro de procesamiento de materia prima) se modificó a $1,1 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$ adaptando el área de salida a 16.000 mm². Se midió que el consumo de vapor fue 88.000 kg/h, y correspondió a un consumo de vapor específico de 3,5 kg por 1 kg de DM. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Ejemplo 8-A Bagazo (humedad 40 %p) FPP $3,8 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$

La preparación de la biomasa se llevó a cabo como se definió en el Ejemplo 8-0. El bagazo fue idéntico al del Ejemplo 8-0, y dio como resultado una PRP de 0,006 ($\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}}$). El FPP (parámetro de procesamiento de materia prima) se modificó a $3,8 \frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$ adaptando el área de salida a 4.750 mm². Se midió que el consumo de vapor fue de 26.125 kg/h, y correspondió a un consumo de vapor específico de 1,0 kg por 1 kg de DM, que representó una reducción eficaz del consumo de vapor del 70,3% en comparación con el Ejemplo 8-0. Los resultados se muestran en la tabla 5.

5

Tabla 5

Ejemplo	Xilosa (Xilano)	Lignina [%p]	Humedad [%p]	Flujo de Masa m	Área de salida OA	PRP $\left[\frac{h}{L} \right]$	Consumo de Vapor [kg]	Consumo de Vapor [kg]	Consumo de Vapor [kg]	Ahorro de Vapor [%]	FPP $\frac{V}{r \cdot k \cdot g \cdot \%}$
1-0	22,7	16,6	15	400	283	0,47	6,2	1.755	4,4		0,7
1-A	22,7	16,6	15	400	65	0,47	6,2	403	1,0	77,0	3,3
1-B	21,3	15,6	15	400	90	0,47	6,2	558	1,4	68,2	2,3
1-C	21,3	15,6	15	400	30	0,47	6,2	186	0,5	89,4	7,0
1-D	21,3	15,6	20	400	65	0,41	6,2	403	1,0	77,0	3,7
1-E	20,0	17,0	10	400	65	0,67	6,2	403	1,0	77,0	2,3
2-0	21,3	15,6	15	25.000	16.000	0,008	6,2	99.200	4,0		0,8
2-A	21,3	15,6	15	25.000	4.200	0,008	6,2	26.040	1,0	73,8	3,1
3-0	19,7	17,8	17	400	283	0,547	6,4	1.811	4,5		0,6
3-A	19,7	17,8	17	400	63	0,547	6,4	403	1,0	77,7	2,9
3-B	19,7	17,8	30	400	67	0,412	6,4	429	1,1	76,3	3,6
4-0	19,7	17,8	17	25.000	16.000	0,009	6,4	102.400	4,1		0,7
4-A	19,7	17,8	17	25.000	3.800	0,009	6,4	24.320	1,0	76,3	3,0
5-0	18,8	14,2	13	400	283	0,521	5,8	1.641	4,1		0,7
5-A	18,8	14,2	13	400	66	0,521	5,8	383	1,0	76,7	2,9
6-0	18,8	14,2	13	25.000	16.000	0,008	5,8	92.800	3,7		0,7
6-A	18,8	14,2	13	25.000	4.500	0,008	5,8	26.100	1,0	71,91	2,7
7-0	22,0	19,2	40	400	283	0,345	5,5	1.557	3,9		1,0
7-A	22,0	19,2	40	400	74	0,345	5,5	407	1,0	73,9	3,9
8-0	22,0	19,2	40	25.000	16.000	0,006	5,5	88	3,5		1,1
8-A	22,0	19,2	40	25.000	4.750	0,006	5,5	26.125	1,0	70,3	3,8

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para la reducción del consumo de energía durante el pretratamiento de una biomasa, caracterizado porque el parámetro de procesamiento de materia prima FPP se selecciona en el intervalo de 1,5 a 7,0 $\frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$,

5 en el que el parámetro de procesamiento de materia prima FPP se determina, por tanto, como sigue:

$$FPP = \frac{1}{(PRP \left(\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}} \right) \times \text{área de salida (mm}^2))} \times 100,$$

en el que el parámetro de resistencia al pretratamiento PRP se determina, por tanto, como sigue:

$$PRP = \frac{\text{lignina (\%p)}}{(\text{xilosa (\%p)} \times \sqrt{\text{humedad (\%p)}} \times \text{in} \left(\frac{kg}{h} \right))} \times 1000.$$

10 2. Un proceso según la reivindicación 1, en el que el parámetro de procesamiento de materia prima FPP se selecciona en el intervalo de 2,0 a 4,5 $\frac{kg \cdot \sqrt{\%}}{h \cdot mm^2}$.

3. Un proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la biomasa es una biomasa lignocelulósica.

15 4. Un proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el parámetro de resistencia al pretratamiento PRP de la biomasa se selecciona en el intervalo de 0,002 a 1.000 $\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}}$, en el que el parámetro de resistencia al pretratamiento PRP se determina, por tanto, como sigue:

$$PRP = \frac{\text{lignina (\%p)}}{(\text{xilosa (\%p)} \times \sqrt{\text{humedad (\%p)}} \times \text{in} \left(\frac{kg}{h} \right))} \times 1000.$$

5. Un proceso según la reivindicación 4, en el que el parámetro de resistencia al pretratamiento PRP de la biomasa se selecciona en el intervalo de 0,003 a 0,80 $\frac{h}{kg \cdot \sqrt{\%}}$.

20 6. Un proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la biomasa tiene una proporción de lignina respecto de glucosa del 0,35 al 0,60 %p.

7. Un proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el contenido de humedad de la biomasa se selecciona en el intervalo del 5 al 60 %p.

8. Un proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el contenido de xilosa de la biomasa se selecciona en el intervalo del 10,0 al 30,0 %p.

25 9. Un proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la presión de vapor se selecciona en el intervalo de 8,0 a 15,0 bares.

10. Un proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el pretratamiento de biomasa se lleva a cabo durante un tiempo seleccionado del intervalo de 1 minuto a 20 minutos.

Fig.1

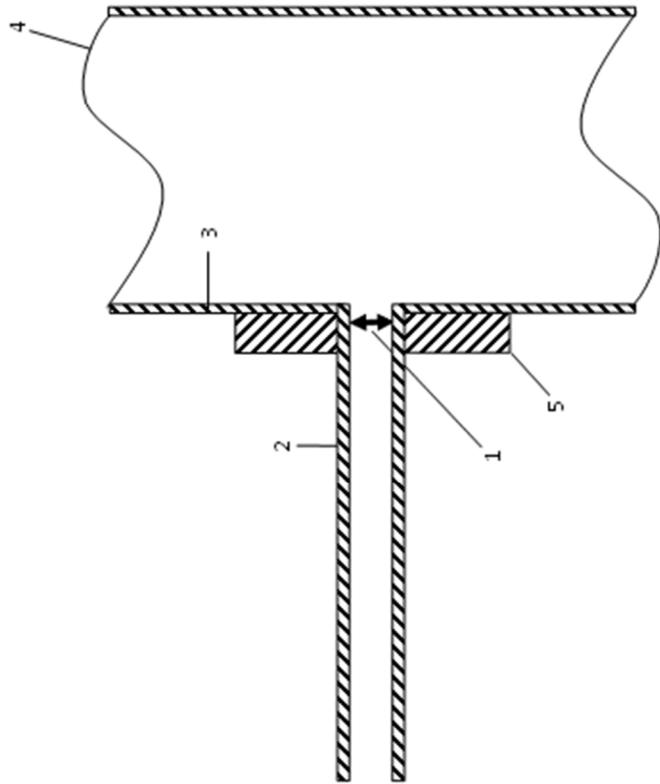


Fig.2

