

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 642 917**

51 Int. Cl.:

**C10J 3/57** (2006.01)

**C10B 49/14** (2006.01)

**C01B 3/36** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.04.2009 PCT/FR2009/050614**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.11.2009 WO09136072**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.04.2009 E 09742270 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.07.2017 EP 2265697**

54 Título: **Gasificación de materiales orgánicos combustibles**

30 Prioridad:

**09.04.2008 FR 0852382**

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

**20.11.2017**

73 Titular/es:

**SAINT-GOBAIN GLASS FRANCE (100.0%)  
18, Avenue d'Alsace  
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**GALLEY, DAVID y  
JEANVOINE, PIERRE**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 642 917 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

Gasificación de materiales orgánicos combustibles

La invención se refiere a un procedimiento para transformar un material sólido combustible o líquido combustible en un gas combustible.

5 El objetivo de la invención es producir un gas combustible directamente a partir de materias sólidas o líquidas combustibles como biomasa y/o desechos como los neumáticos usados, los plásticos, residuos de la trituración de automóviles, lodos, materias combustibles de sustitución (llamadas «MCS») e, incluso, residuos domésticos, etc., o indirectamente a partir de estas mismas materias previamente transformadas en aceite después de una primera operación de pirólisis.

10 De acuerdo con la invención, se propone una tecnología que pretende sustituir el empleo de energías fósiles en los procedimientos industriales, reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y reducir el coste de la energía. En efecto, con el objetivo de reducir la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, se anima a los fabricantes mediante una política fiscal apropiada a no utilizar energías fósiles (petróleo, gas natural), ya que conlleva siempre un aumento de las emisiones de carbono y CO<sub>2</sub> a la superficie de la tierra, sino combustibles renovables como la biomasa que, durante su crecimiento, absorben el CO<sub>2</sub> de la atmósfera para después expulsarlo durante su combustión. No obstante, en los procedimientos industriales no siempre se puede utilizar directamente la biomasa, especialmente debido a la composición de esta biomasa, que generalmente lleva cenizas.

15 Ya se ha propuesto generar un gas combustible a partir de biomasa mediante su pirólisis a más de 500 °C, e incluso más de 1000 °C, en lechos fijos o fluidizados que comprenden rodillos o bolas cerámicas recorridas por vapor de agua y/o aire u oxígeno puro. No obstante, las cenizas originadas por la biomasa se acumulan en el lecho, lo que no hará sino bloquear este último. Por lo tanto, un gasificador de este tipo debe pararse y limpiarse regularmente.

20 El artículo de MACCORMAC «Gasification of coal in an experimental Rummel double-shaft slag-bath gasifier», IGE Journal, vol. 5, 1 de mayo de 1965, pp 385-399, muestra la gasificación del carbón en una escoria. Se ha sometido a prueba una combustión sumergida en la escoria, pero se ha abandonado debido a los problemas generados por la abundante formación de espuma, así como por la precipitación de hierro. El carbón, así como la mayor parte de las materias orgánicas del tipo biomasa, contienen, de hecho, hierro. Incluso sin combustión sumergida, se forma espuma y el hierro precipita, lo que obliga a la parada del funcionamiento. El hierro metálico es difícil de evacuar porque necesita temperaturas muy altas, del orden de 1500 °C.

25 Se ha encontrado ahora un procedimiento que funciona de forma ininterrumpida que permite gasificar la materia orgánica en una masa fundida, evitando al mismo tiempo la precipitación del hierro. De acuerdo con la invención, como masa fundida se utiliza un silicato y dicho silicato se renueva de forma ininterrumpida evacuándolo y reemplazándolo regularmente durante el funcionamiento. Esta renovación continua del baño de silicato permite evacuar de forma ininterrumpida el hierro, cuya concentración se mantiene así por debajo de su límite de precipitación. Debido a su gran contenido en sílice, el silicato hace poca o ninguna espuma y, además, solubiliza bien el hierro. La escasa tendencia del silicato a formar espuma hace posible incluso proporcionar un aporte calorífico al silicato fundido mediante combustión sumergida.

30 De acuerdo con la invención, la gasificación de materia orgánica que produce un gas combustible comprende la reacción de vapor de agua u oxígeno o de CO<sub>2</sub> con una materia orgánica en contacto con un silicato fundido, proporcionando calor al silicato fundido. La expresión «o» en la frase anterior abarca, por supuesto, la expresión «y/o». La expresión «en contacto» abarca el hecho de que la materia orgánica puede estar encima del baño de silicato, flotando, o estar en el interior del baño de silicato, o a la vez dentro y encima del baño de silicato.

35 Preferentemente, el gas oxidante reacciona con la materia orgánica que contiene al menos un 30 % en volumen de agua. Puede contener incluso un 100 % de agua. El gas oxidante puede ser también oxígeno, que puede ser proporcionado por el aire. De este modo, el gas de reacción con la materia orgánica puede ser aire o aire enriquecido en oxígeno. El aire puede ser húmedo. Puede tratarse de aire cargado de vapor de agua. De este modo, el aire puede proporcionar a la vez oxígeno, agua y CO<sub>2</sub>.

El procedimiento de acuerdo con la invención presenta las ventajas siguientes:

- el gas producido tiene un alto PCI (poder calorífico inferior, llamado «lower heating value» o «LHV» en inglés), particularmente de 5 a 25 MJ/Nm<sup>3</sup>,
- 50 - las cenizas que pueden contener óxidos indeseables y metales pesados son inertes (están neutralizadas) en una masa vítrea, que puede evacuarse de forma ininterrumpida durante la gasificación y que puede granularse para su vertido (de clase 3, es decir, clasificada como desecho inerte y no peligroso) o utilización en granulados de ingeniería civil, por ejemplo como carga de materiales del tipo betún asfáltico o asfalto para las carreteras, el firme u otros materiales de construcción,
- 55 - el procedimiento es compacto y de inversión limitada, y puede funcionar de forma automatizada y continua.

5 De este modo, el procedimiento de acuerdo con la invención es al mismo tiempo un procedimiento de producción de gas combustible (del tipo «gas de síntesis» o «sintegas», que comprende CO e hidrógeno) y un procedimiento de producción de materiales de construcción. El hecho de que el silicato sea líquido facilita el funcionamiento de todo el procedimiento, puesto que las cenizas de la materia orgánica son arrastradas por escurrido del silicato fuera de la cuba. La renovación del silicato en el baño es tal que mantiene un elevado contenido de sílice, en general de al menos un 40 % en peso de sílice.

10 El procedimiento de acuerdo con la invención se basa en el principio de la gasificación en un medio de silicato fundido a alta temperatura por un gas relativamente oxidante con respecto al carbono. En el marco de la presente solicitud, al gas que reacciona con la materia orgánica se le puede llamar «gas oxidante». El gas no es totalmente oxidante con respecto al carbono porque no se trata de generar demasiado CO<sub>2</sub>, sino que, por el contrario, se trata de producir la máxima cantidad posible de gas reductor, tal como CO y H<sub>2</sub>. Esta reacción de gasificación es, de hecho, endotérmica y, por este motivo, se proporciona al sistema un aporte energético (o calorífico) directamente en el interior del baño de silicato.

15 De este modo, la invención se refiere en primer lugar a un procedimiento de fabricación de gas combustible que tenga un poder calorífico inferior de al menos 1 MJ/Nm<sup>3</sup>, que comprende la reacción de un gas oxidante que comprende vapor de agua u oxígeno o CO<sub>2</sub> con una materia orgánica en contacto con un baño de silicato fundido contenido en una cuba y que comprende un aporte calorífico al silicato fundido, funcionando dicho procedimiento de forma ininterrumpida, evacuándose el silicato de la cuba regularmente e introduciéndose materias vitrificables regularmente para alimentar el baño de silicato, produciéndose una renovación continua del baño de silicato que permite evacuar de forma ininterrumpida el hierro, cuya concentración se mantiene de este modo por debajo de su límite de precipitación en el baño.

20 La temperatura del silicato se ajusta entre 800 °C y 1700 °C en función de su composición química. Comprende sílice y al menos un óxido del grupo siguiente: CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O. El óxido añadido a la sílice tiene la función de reducir la viscosidad del silicato para alcanzar una fluidez suficiente favorable para la agitación y, por lo tanto, para las reacciones deseadas. La viscosidad pretendida varía, en general, de 10 a 1000 poises y, preferentemente, de 20 a 500 poises a la temperatura de funcionamiento.

25 El conjunto de silicatos en el sentido de la invención abarca particularmente escorias, vidrio y silicatos más o menos hidrosolubles como los silicatos de metales alcalinos (tales como Na, K) y/o alcalinotérreos (tales como Ca, Mg), eventualmente en forma de silicatos mixtos (varios silicatos alcalinos y/o alcalinotérreos).

30 El silicato comprende, en general, de un 40 a un 80 % en peso de SiO<sub>2</sub>. Comprende asimismo al menos otro óxido para fluidificar el baño, pudiendo seleccionarse, en general, dicho óxido en el grupo siguiente: CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O.

De este modo, el silicato puede comprender especialmente:

de un 0 a un 20 % en peso de CaO,

35 de un 0 a un 20 % en peso de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,

de un 0 a un 20 % en peso de un óxido de metal alcalino como Na<sub>2</sub>O o K<sub>2</sub>O (lo que abarca Na<sub>2</sub>O y/o K<sub>2</sub>O),

no siendo, en general, nula la suma de la masa de CaO + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + óxido de metal alcalino y variando preferentemente de un 5 a un 60 % en peso.

Asimismo, puede comprender especialmente MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MnO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SO<sub>2</sub>, Cl.

40 Una composición de silicato particularmente adaptada contiene:

de un 60 a un 80 % en peso de SiO<sub>2</sub>

de un 10 a un 20 % en peso de CaO

de un 5 a un 15 % en peso de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

de un 2 a un 10 % en peso de un óxido de metal alcalino como Na<sub>2</sub>O o K<sub>2</sub>O (lo que abarca Na<sub>2</sub>O y/o K<sub>2</sub>O).

45 El óxido añadido a la sílice tiene la función de reducir la viscosidad del silicato para alcanzar una fluidez suficiente favorable para la agitación y, por lo tanto, para las reacciones deseadas. La viscosidad pretendida varía, en general, de 10 a 1000 poises y, preferentemente, de 20 a 500 poises a la temperatura de funcionamiento, es decir, entre 800 °C y 1700 °C.

50 El silicato fundido puede estar contenido específicamente en una cuba provista de un revestimiento refractario con un sistema de rebosadero con sifón (o garganta) para evacuar el silicato fundido sobrante.

El silicato se mantiene fundido gracias al aporte calorífico que puede ser de tipo eléctrico (en general, electrodos hundidos en el silicato como los electrodos de molibdeno, grafito, hierro siguiendo las prácticas conocidas en la industria del vidrio) o que puede provenir de la inyección de un comburente que quema parcialmente el carbono resultante de la gasificación de las materias combustibles introducidas en el silicato, eventualmente con un aporte de otro gas combustible. Este gas combustible añadido puede ser el propio gas combustible (sintegas) producido por el dispositivo de acuerdo con la invención, después de su eventual refrigeración, purificación, filtración y compresión, o un gas no producido por la instalación tal como hidrógeno o un gas natural fósil o una mezcla de sintegas con uno u otro o ambos de los gases precedentes, o incluso un combustible líquido. La purificación sirve esencialmente para eliminar el agua y la filtración sirve esencialmente para extraer el polvo y los alquitranes. El aporte calorífico al silicato fundido, como esta reacción exotérmica de combustión, es, en general, el único aporte de energía. Por lo tanto, se puede combinar un calentamiento eléctrico y un calentamiento por combustión. En el marco de la invención, el aporte calorífico se realiza en el interior mismo del silicato por un medio sumergido, especialmente del tipo electrodo sumergido o combustión sumergida. En el caso de una combustión, se inyecta un comburente en el silicato, que en general es oxígeno y que puede ser aportado por el aire. De este modo, se puede utilizar como comburente oxígeno puro, aire o aire enriquecido en oxígeno. Se utiliza preferentemente un comburente que comprende más de un 80 % en volumen de oxígeno, incluso oxígeno puro, ya que esto implica un volumen reducido de gas (por ejemplo, si se compara con el aire), lo que reduce la tendencia a la formación de espuma. La combustión sumergida es un medio preferente de aporte calorífico porque contribuye al mezclado de las materias en el baño de silicato fundido. Este mezclado promueve una mayor homogeneidad del baño, lo que favorece la ausencia de precipitaciones como la del hierro. Además, se prefiere que su llama sea oxidante porque eso promueve la oxidación de las partículas metálicas en suspensión, lo que evita aún más las precipitaciones como la del hierro. El exceso de oxígeno en esta combustión sumergida desempeña un doble papel: 1) impedir la precipitación de metal y 2) el excedente de oxígeno puede intervenir en la reacción de gasificación. Los gases inyectados en el silicato para esta combustión sumergida hacen que las partículas que eventualmente se hubieran formado vuelvan a subir. La utilización de un comburente con una tasa elevada de oxígeno o de oxígeno puro para esta combustión sumergida es, por lo tanto, una excelente solución intermedia que permite el mezclado del baño y la casi ausencia de hierro metálico sin provocar demasiada espuma.

Las materias combustibles sólidas o líquidas que se tienen que gasificar se introducen preferentemente en el interior del silicato fundido (bajo el nivel de la superficie líquida del silicato) por medio de una cargadora adaptada (sistema de tornillo sin fin o de émbolo, bomba en el caso de un líquido...). De este modo, también pueden introducirse por encima de la superficie de silicato fundido.

Según el gas elegido para reaccionar con la materia orgánica, la gasificación se produce mediante al menos una de las reacciones siguientes:

- $\text{H}_2\text{O} + \text{C} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$  (1)
- $2 \text{H}_2\text{O} + \text{C} \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2$  (2)
- $\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2 \text{CO}$  (3)
- $\text{C} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}$  (4)

siendo estas reacciones endotérmicas.

En caso necesario, si el aporte calorífico al silicato se realiza por combustión sumergida, la reacción de combustión del oxígeno con el carbono de la materia orgánica y/o el sintegas tiene lugar según:

- $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$  (5)
- $(\text{CO} + \text{H}_2) + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  (6)

siendo estas reacciones exotérmicas.

El agua y el  $\text{CO}_2$  pueden, por lo tanto, especialmente resultar de la combustión sumergida del sintegas o de una mezcla de sintegas con  $\text{CH}_4$  y/o  $\text{H}_2$  y/o cualquier otro gas combustible con la ventaja de inyectarlos a continuación en las proporciones adecuadas sobre la masa que debe gasificarse a temperatura elevada. También puede introducirse agua suplementaria en forma de vapor o de humedad de las materias orgánicas introducidas.

La producción de  $\text{CO}$  o  $\text{H}_2$  a partir de la materia orgánica es endotérmica y, por este motivo, se introduce un aporte calorífico. El aporte calorífico se limita, en general, al mínimo necesario para compensar las pérdidas térmicas del aparato y de la reacción endotérmica de gasificación, así como, si fuese necesario, para calentar los gases entrantes ( $\text{H}_2\text{O}$ , aire,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ).

En caso de que el aporte calorífico se realice por combustión sumergida, esta se puede separar del lugar en el que se van a inyectar los gases oxidantes necesarios para la gasificación, todo con el objetivo de aumentar el poder calorífico del gas combustible producido. En este caso, conviene garantizar un aporte de calor permanente hacia la

zona de reacción con el gas oxidante, proveniente de la zona de combustión sumergida. Esto puede hacerse mediante la puesta en circulación del silicato líquido con respecto a puntos fijos de inyección de las materias de combustión, del gas oxidante y del comburente. Esta puesta en circulación puede hacerse, por ejemplo, mediante convección natural resultante de una diferencia de temperatura y/o de profundidad de la cuba, o mediante agitación (especialmente rotación) del silicato, especialmente por medio de un agitador por ejemplo metálico, especialmente de acero resistente, especialmente de velocidad variable, especialmente del tipo magneto-hidrodinámico (o «MHD») o mediante movimiento (por ejemplo, rotación) de la propia cuba, o por cualquier otro medio. En este caso, hay dos salidas de fluidos gaseosos: 1) el gas combustible que se dirige a su utilización; 2) los humos de combustión del carbono residual (no transformado en gas combustible) y/o de la combustión sumergida que desembocan en otro circuito, como, por ejemplo, el de los humos principales de horno industrial de utilización. La separación de estos dos gases (gas combustible producido por una parte y gas de combustión por otra) se garantiza gracias a dos chimeneas separadas, estando una colocada próxima e incluso justo encima del conducto de introducción del gas oxidante (agua u O<sub>2</sub> o CO<sub>2</sub>) y estando colocada la otra próxima e incluso justo encima del conducto de introducción del comburente. Por lo tanto, la invención se refiere asimismo al procedimiento de acuerdo con el cual la combustión sumergida por una parte y la reacción entre el gas oxidante y la materia orgánica por otra parte se realizan en zonas suficientemente separadas para que los humos de la combustión y el gas combustible puedan recuperarse en chimeneas diferentes.

De forma destacable, el gas oxidante puede generarse al menos parcialmente, e incluso totalmente, en el interior del baño de silicato fundido a partir de la combustión sumergida que le aporta calorías. En efecto, la combustión sumergida entre un combustible y un comburente genera agua y CO<sub>2</sub> que van a ascender en forma de burbujas por el baño de silicato para reaccionar a continuación con las materias orgánicas que se encuentran sobre todo en la parte alta del baño, flotando más o menos. El combustible puede ser una parte del propio gas combustible generado de acuerdo con la invención y que se reinyecta en el baño. Se puede añadir otro combustible a este propio gas combustible, pero no es necesariamente indispensable.

El gas combustible producido de acuerdo con la invención contiene hidrógeno (H<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO). También contiene, en general, metano (CH<sub>4</sub>). La suma de los porcentajes molares de hidrógeno y de monóxido de carbono es de al menos un 10 % e incluso en general de al menos un 30 % e incluso de al menos un 35 %. Estos porcentajes de gas reductor (H<sub>2</sub> y CO) se alcanzan en cuanto el gas oxidante encuentra suficiente materia orgánica en su presión.

Este gas combustible tiene, en general, un poder calorífico inferior de al menos 1 MJ/Nm<sup>3</sup> e incluso en general de al menos 5 MJ/Nm<sup>3</sup> y puede incluso alcanzar al menos 10 MJ/Nm<sup>3</sup>. Es, en general, inferior a 30 MJ/Nm<sup>3</sup>.

El rendimiento es la energía útil (energía del gas producido y utilizado en el exterior) dividida entre todas las energías entrantes (materia combustible y energía proveniente eventualmente del exterior). Este rendimiento varía, en general, de un 10 a un 80 %.

El procedimiento de acuerdo con la invención puede funcionar especialmente de manera continua: el gas producido sale caliente (de 500 °C a 1300 °C) por arriba del aparato y puede dirigirse hacia el procedimiento industrial que lo utilizará: horno de vidrio, generador de electricidad, planta metalúrgica, etc. Dado que el gas combustible producido está caliente, sería conveniente que, para aprovechar al máximo su calor, el dispositivo de acuerdo con la invención se acercara a la instalación que lo utilizará para limitar las pérdidas térmicas. Esto también tiene la ventaja de limitar o evitar las condensaciones de alquitranes en el conducto que lleva el gas combustible hasta la instalación de utilización. Este gas combustible también se puede refrigerar, por ejemplo, convirtiendo su energía, por ejemplo, en vapor de agua por medio de una caldera y, si fuera necesario, filtrar (eliminación del polvo), purificar (eliminación del agua), comprimir y almacenar antes de enviarlo a la instalación de utilización. En este caso, la utilización puede estar más alejada. En un procedimiento que funciona de forma ininterrumpida, el silicato está contenido en una cuba, siendo el silicato evacuado regularmente de la cuba, y las materias vitrificables se introducen regularmente para alimentar el baño de silicato.

Determinadas materias orgánicas sólidas, especialmente del tipo biomasa, pueden transformarse en un líquido viscoso (o aceite) mediante pirólisis a aproximadamente 500 °C bajo presión (como el petróleo se constituye naturalmente a partir de materias orgánicas). Por lo tanto, antes de la gasificación en el dispositivo de acuerdo con la invención, estas materias orgánicas se pueden transformar en aceite. Esto proporciona la ventaja de reducir considerablemente el volumen de materia que se introduce en el gasificador de acuerdo con la invención. Además, esta materia condensada en forma de aceite se vuelve transportable en la medida en que los costes de transporte resulten razonables, lo que no ocurre realmente con la biomasa de partida, que es demasiado voluminosa habida cuenta de la energía que proporciona.

La gasificación de acuerdo con la invención puede realizarse bajo presión, lo que permite suministrar el gas combustible bajo presión. Esto puede ser deseable, especialmente para alcanzar impulsos suficientes de gas combustible en los quemadores de la utilización final. La gasificación bajo presión es más fácil de realizar a partir de un aceite, ya que la carga del aceite puede efectuarse por medio de una bomba.

El gas combustible generado por el dispositivo de acuerdo con la invención puede utilizarse para alimentar, como combustible, un quemador de horno industrial, como un horno de vidrio. Este gas se quema entonces por el aire secundario (siendo inyectado el aire primario en el silicato), que puede haber sufrido una regeneración térmica en un regenerador siguiendo el principio bien conocido por el experto en la industria del vidrio (alternancia humos/aire en los regeneradores).

Si fuera necesario, el gas combustible generado de acuerdo con la invención puede calentarse antes de quemarse en su utilización final (se habla de doble regeneración si se recalientan tanto el comburente como el combustible). No obstante, esto no tiene necesariamente interés si el gas producido tiene alto poder calorífico y si ya está suficientemente caliente. Por lo tanto, es una ventaja del procedimiento de acuerdo con la invención cuando el gas combustible se utiliza directamente después de su síntesis porque este gas se genera caliente, lo que es ventajoso en ciertas aplicaciones como, especialmente, la combustión en un quemador de un horno de vidrio.

El gas combustible puede salir eventualmente a una temperatura relativamente moderada ( $< 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), especialmente si es refrigerado por las capas de materia orgánica o de carbón introducidas recientemente que atraviesa en el dispositivo. Como es un gas con un PCI relativamente débil (si se compara con el gas natural), se prefiere recalentarlo antes de quemarlo en el horno de utilización (por ejemplo, horno de vidrio) para obtener la temperatura adiabática de llama suficiente, especialmente para la fusión del vidrio. Para ello, se puede prever un sistema de doble regeneración: en una primera alternancia, los humos calientes emitidos por la combustión en el horno de utilización (especialmente un horno de vidrio) calientan dos cámaras de refrigeración, una para el aire de combustión (como en los hornos de gas modernos) y la otra para el gas combustible. En la alternancia siguiente, se invierten los circuitos gaseosos y es entonces cuando el aire y el gas se calientan en estas cámaras: los dos se queman en el momento de su entrada en el horno de utilización, produciendo los humos calientes y cediendo su calor a la carga. Las dos cámaras, de aire y de gas combustible, deben, por supuesto, ser herméticas entre sí, so pena de combustión prematura e incluso de explosión.

Para evitar tener que calentar el gas combustible antes de su utilización en el horno de utilización, se recomienda aumentar la temperatura de salida del gas que sale del dispositivo de fabricación del gas combustible (llamado « gasógeno ») y su PCI, a fin de garantizar una temperatura adiabática de llama suficiente. Este resultado se puede obtener mediante la utilización de un gasógeno con una temperatura de gasificación muy alta ( $> 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y/o que funcione con separación de las inyecciones de comburente y de gas oxidante (según el principio de dos chimeneas de la figura 2). En este caso, en efecto, se produce una descomposición total de los alquitranes y condensables, y una maximización de la relación  $\text{CO}/\text{CO}_2$  y de la tasa de  $\text{H}_2$  en el gas combustible producido. El gas está suficientemente caliente ( $> 500^{\circ}\text{C}$ ) y su PCI es suficientemente elevado ( $> 20\text{ kJ/kg}$ ) para alimentar directamente el horno de utilización, especialmente un horno de vidrio, sin tener que pasar por una regeneración. Se quema entonces a su entrada en el horno con el aire de combustión que podrá haber experimentado la regeneración clásica. Esta solución presenta la ventaja de no tener que recalentar el gas en un regenerador cerámico, que siempre es difícil de cerrar herméticamente: de este modo se minimizan los riesgos de combustión prematura o de explosión.

El vapor de agua y/o aire/ $\text{O}_2$  caliente necesario en el gasificador se puede producir mediante una caldera o un intercambiador que utilice la energía residual de los humos. El vapor de agua necesario en el procedimiento de acuerdo con la invención como gas oxidante puede producirse por medio de una caldera. Esta caldera puede instalarse en el circuito de los humos principales de un horno de utilización (como un horno de vidrio u otro procedimiento industrial) del gas combustible producido de acuerdo con la invención o en el circuito de refrigeración del gas combustible producido. El calor de estos humos o de estos gases sirve para evaporar el agua. En particular, en el caso en que haya dos chimeneas de recogida de gases (de combustión por una parte y de combustible por otra parte), la caldera puede instalarse en el circuito de los humos de combustión que se escapan del dispositivo de acuerdo con la invención. Preferentemente, el vapor de agua está a una temperatura de entre  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  bajo una presión de entre 1 bar y 100 bar.

Asimismo, se describe un dispositivo industrial que comprende un horno de utilización del gas combustible producido quemándolo y en el que el calor de los humos de combustión sirve para evaporar el agua, la cual sirve, como gas oxidante, para producir gas combustible de acuerdo con el principio de gasificación de la invención, reintroduciéndose el gas combustible producido en el horno de utilización para quemarlo en él. Este horno de utilización puede ser cualquier sistema basado en la combustión de un gas combustible, como un horno de vidrio (fusión del vidrio, horno de vidrio flotado de transformación en vidrio plano, etc.). Especialmente, el horno puede ser del tipo regenerador o recuperador, es decir, que una parte del calor de los humos podrá haberse recuperado ya por un regenerador o recuperador antes de enviarlo a la caldera para evaporar el agua. Se dice que los humos vuelven a salir de dichos regeneradores o recuperadores aún a temperaturas altas, en general inferiores a  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  pero en general superiores a  $300^{\circ}\text{C}$  y, por este motivo, el dispositivo es extremadamente ventajoso, ya que estas calorías, habitualmente expulsadas a la atmósfera con los humos, resultan en este caso muy útiles para evaporar el agua en el marco de un sistema de producción energética. Asimismo, se describe un dispositivo industrial que comprende:

- una unidad de producción que comprende un quemador de carburante gaseoso que genera gases de combustión,
- una caldera que produce vapor de agua (por supuesto, esto abarca el hecho de que puede tener varias calderas),

- una unidad de producción de gas combustible que comprende la reacción de un gas oxidante que comprende vapor de agua con una materia orgánica,

5 siendo llevados los gases de combustión hasta la caldera para evaporar el agua y producir vapor de agua, siendo llevado el vapor de agua producido por la caldera hasta la unidad de producción de gas combustible para reaccionar con la materia orgánica, siendo llevado el gas combustible hasta la unidad de producción para quemarse en ella como carburante gaseoso. En este marco, la unidad de producción de gas combustible puede funcionar de acuerdo con el procedimiento de la invención, es decir, con un baño de silicato, pero también puede tratarse de una unidad que funcione según los principios conocidos en lecho fijo o fluidizado.

10 Por lo tanto, la invención se refiere asimismo al procedimiento de fabricación industrial continuo que utiliza el dispositivo industrial que se acaba de describir. Este procedimiento comprende

- una producción ininterrumpida en una unidad de producción industrial que comprende un quemador de carburante gaseoso que genera gases de combustión,

- una producción ininterrumpida de vapor de agua en una caldera,

15 - una producción ininterrumpida de gas combustible en una unidad de producción de gas combustible que comprende la reacción de un gas oxidante que comprende vapor de agua con una materia orgánica,

siendo llevados los gases de combustión hasta la caldera para evaporar el agua y producir vapor de agua, siendo llevado el vapor de agua producido por la caldera hasta la unidad de producción de gas combustible para reaccionar con la materia orgánica, siendo llevado el gas combustible hasta la unidad de producción industrial para quemarse en ella como carburante gaseoso,

20 funcionando la producción de gas combustible de acuerdo con el procedimiento de una de las reivindicaciones 1 a 14.

Las materias orgánicas que pueden introducirse en el silicato puede ser materias sólidas o líquidas combustibles como biomasa y/o desechos como los neumáticos usados, los plásticos, residuos de la trituración de automóviles, lodos, materias combustibles de sustitución (llamadas «MCS») e, incluso, residuos domésticos. Las materias orgánicas pueden ser de naturaleza biológica o proceder de la industria agroalimentaria. Puede tratarse de harinas animales. Puede tratarse de biomasa, especialmente del tipo: paja, tallos de *Miscanthus*, etc. Puede tratarse también de carbón, lignito, esquisto bituminoso, turba, etc. Estas materias pueden ser también residuos de madera, de papel de la industria papelera. También pueden estar constituidas por polímeros orgánicos, por ejemplo polietileno, polipropileno, poliestireno, residuos de neumáticos o de la trituración de componentes de automóvil. Las materias orgánicas pueden estar íntimamente mezcladas con materias inorgánicas que enriquezcan de forma útil la composición. Por ejemplo, puede ser arena contaminada por una marea negra, de forma que la arena enriquece el silicato con sílice mientras que el hidrocarburo contaminante es una fuente de gas combustible. También se pueden gasificar arenas naturales que contienen hidrocarburos como los esquistos bituminosos. Puede tratarse también de compuestos de vidrio/plástico. Se pueden citar, por ejemplo, los acristalamientos laminados que asocian al menos un vidrio con al menos una lámina de polímero termoplástico o no, del tipo butiral de polivinilo (PVB), etilvinilacetato (EVA), poliuretano (PU) o tereftalato de polietileno (PET). Se pueden citar también los materiales compuestos a base de polímero reforzado con fibra de vidrio (o fibra de carbono u otro tipo de fibra de refuerzo) utilizados, por ejemplo, en la industria del automóvil o en los barcos. Se pueden mencionar también los compuestos vidrio/metal (acristalamientos provistos de elementos de conexión, de revestimientos metálicos). Por lo tanto, el dispositivo puede servir para el aprovechamiento de residuos orgánicos.

40 El silicato se carga progresivamente con cenizas minerales originadas a partir de la materia combustible introducida. Se puede evacuar de forma ininterrumpida, especialmente por medio de un rebosadero con sifón (para evitar la salida de gas combustible) conectado a la cuba principal. Se puede garantizar la constancia de la viscosidad del silicato a una temperatura dada analizando su composición química e introduciendo óxidos correctores (CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, etc.) con las materias combustibles. La naturaleza y la cantidad de óxido corrector dependen, por supuesto, de la naturaleza de las materias introducidas.

El dispositivo puede integrarse en una instalación industrial (como un horno de vidrio) que será capaz entonces de prescindir total o parcialmente de combustible fósil. Para la utilización del gas producido en los quemadores, solo se puede equipar un número limitado de quemadores con este gas de gasificación, manteniendo los otros quemadores con fueloil o gas natural. Por lo tanto, se pueden reducir proporcionalmente las emisiones de CO<sub>2</sub> gravables y se puede, por lo tanto, bajar el precio de la energía.

El dispositivo es barato, utiliza materiales poco onerosos y su tamaño es compacto en comparación con los dispositivos de la técnica anterior que utilizan lechos fijos o fluidizados.

Las materias orgánicas introducidas están, en general, frías en comparación con la temperatura del baño de silicato. Si los gases formados por el procedimiento de acuerdo con la invención pasan próximos a o en la zona de carga de estas materias, por una parte estos gases recalientan las materias orgánicas, pero por otra parte los gases se enfrían, lo que puede tener el inconveniente de generar alquitranes y, además, esta temperatura disminuida es

eventualmente menos favorable en el marco de la utilización final. Por este motivo, se puede obligar de forma ventajosa a que el gas combustible producido pase por una zona más caliente de la superficie del silicato, situada preferentemente corriente abajo con respecto al sentido del escurrido o de la evacuación del silicato. Esta zona más caliente está producida especialmente por un aporte calorífico que puede ser de origen eléctrico. También puede producirse por combustión sumergida de una parte del gas combustible producido con O<sub>2</sub> o aire. Este funcionamiento es del tipo «marcha invertida» porque los gases de gasificación (gas combustible generado) van en el sentido de frío hacia calor (como en los gasificadores con lecho fluidizado a favor de la corriente). En el presente documento, los gases se forman en la primera cámara (por lo tanto, pueden estar bastante fríos, ya que la materia orgánica introducida está fría) pero en seguida son obligados a pasar a la zona baja entre la bóveda y el silicato, lo que los recalienta, con la ventaja de descomponer los alquitranes y proseguir con la gasificación. Por lo tanto, el gas combustible se puede recalentar haciéndolo pasar bajo una bóveda rebajada antes de su evacuación por la chimenea.

La figura 1 representa el dispositivo en el modo de realización de acuerdo con el cual el gas combustible fabricado no se separa del gas de combustión. Una cuba 1 contiene un baño fundido de silicato 2 a 1200 °C con una viscosidad inferior a 1000 poises, en el cual la biomasa MCS se introduce sobre la superficie del baño mediante un tornillo sin fin 3. Bajo el nivel de la superficie del baño se introduce asimismo vapor de agua a 400 °C por un conducto 4 y aire a 500 °C por un conducto 5. Se recoge mediante una chimenea única 6 el gas combustible formado mezclado con el gas de combustión. Se introduce de forma continua una mezcla de materias vitrificables mediante el mismo tornillo sin fin para conservar la composición del silicato casi constante. La temperatura del baño de silicato se mantiene mediante electrodos. El silicato se evacua de forma ininterrumpida en función de la evolución de su composición a través de la garganta 7.

La figura 2 representa el dispositivo en el modo de realización de acuerdo con el cual el gas combustible fabricado se separa del gas de combustión. Una cuba 21 contiene un baño fundido de silicato 22 a 1300 °C con una viscosidad inferior a 1000 poises, en el cual la biomasa MCS se introduce bajo la superficie del baño mediante un tornillo sin fin 23. El vapor de agua se introduce en una primera zona de la cuba mediante un conducto 24, mientras que el aire se introduce en una segunda zona de la cuba bastante alejada de la primera zona mediante un conducto 25. El baño 22 se agita mediante un agitador rotatorio 28 para que el calor de la combustión creado en la segunda zona se aporte a la segunda zona. Una primera chimenea 26 situada encima de la primera zona recoge el gas combustible producido y una segunda chimenea 27 situada encima de la segunda zona recoge los gases de combustión. Estos gases de combustión pueden dirigirse hacia una caldera o un circuito de recogida de humos de un horno de utilización para recuperar en él las calorías. Se introduce de forma continua una mezcla de materias vitrificables mediante el mismo tornillo sin fin para conservar la composición del silicato casi constante. El silicato se evacua de forma ininterrumpida en función de la evolución de su composición a través de la garganta 29.

La figura 3 representa el dispositivo en el modo de realización con «marcha invertida» de acuerdo con el cual el gas combustible fabricado no se separa de los gases de combustión y se le obliga a pasar a una zona baja entre la bóveda y el silicato para recalentarlo. Una cuba 31 contiene un baño fundido de silicato 32 a 1300 °C con una viscosidad de 50 poises, en el cual la biomasa MCS se introduce encima de la superficie del baño mediante un tornillo sin fin 33. Se recoge mediante una chimenea única 36 el gas combustible formado mezclado con el gas de combustión. Se introduce también de forma continua una mezcla de materias vitrificables (que aportan sílice, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) mediante el mismo tornillo sin fin 33 para conservar la composición del silicato casi constante. El silicato se evacua de forma ininterrumpida en función de la evolución de su composición a través de la garganta 37. El baño de silicato también se recalienta mediante quemadores sumergidos 38 alimentados con O<sub>2</sub> (comburente) y gases combustibles producidos enfriados, eventualmente enriquecidos por otros gases combustibles, que calientan mucho más la zona que recibe la masa que se va a gasificar y la zona central del baño (situada bajo la bóveda rebajada). El gas combustible formado es obligado a debe atravesar esta zona más caliente del baño líquido mediante su paso bajo una parte rebajada 39 de la bóveda. De forma destacable, la combustión sumergida de O<sub>2</sub>/gas combustible es la fuente «in situ» de gas oxidante que comprende agua y CO<sub>2</sub> que va a reaccionar con la materia orgánica que se encuentra más arriba o sobre el baño de silicato fundido. No se excluye añadir gas oxidante del exterior, pero no es indispensable. Por último, el gas combustible evacuado por la chimenea 36 contiene menos de un 30 % de CO<sub>2</sub>.

La figura 4 representa un dispositivo industrial que funciona en bucle en lo que se refiere a la utilización del calor de los humos. El dispositivo comprende un horno de utilización 41 de gas que lo quema y produce humos que se escapan por 42. Estos humos pasan a una caldera 43 para evaporar el agua que se envía a través de 44 al baño de silicato 45 que funciona de acuerdo con el principio de la invención, dirigiendo el gas combustible producido a través de 46 hasta el horno 41 para quemarlo. El horno 41 es alimentado con gas proveniente del baño de silicato, pero también de otra fuente 47. Los humos, después de haber servido para evaporar el agua, son evacuados por 48 en la chimenea principal del horno.

### Ejemplo 1

En el dispositivo de la figura 1 se han introducido 9 toneladas/día de residuos de madera y 1000 Nm<sup>3</sup>/h de aire cargado con un 83 % en volumen de vapor de agua para garantizar la gasificación. El aporte electrocalorífico en el interior del baño de silicato era de 500 kW. La madera introducida genera alrededor de un 3 % en peso de cenizas y se evacuan 300 kg/día de silicato cargado de cenizas. La composición (% mol) del gas de biomasa era:

H<sub>2</sub> : 22,3 %

CH<sub>4</sub> : 4,4 %

CO : 20,9 %

CO<sub>2</sub> : 18,6 %

5 N<sub>2</sub> : lo complementa para alcanzar el 100 %.

Se ve especialmente que se ha generado más H<sub>2</sub> que CO.

El gas producido tenía un poder calorífico inferior de 9 MJ/Nm<sup>3</sup>.

Si se considera que la madera tiene una energía de 12 MJ/kg, se estima que se ha recuperado un 80 % de esta energía por gasificación de acuerdo con la invención.

## 10 EJEMPLO 2

Se procede como para el ejemplo 1, salvo porque el aire introducido no contenía agua. La composición (% mol) del gas de biomasa era:

H<sub>2</sub> : 10,6 %

CH<sub>4</sub> : 3,2 %

15 CO : 30 %

CO<sub>2</sub> : 6 %

N<sub>2</sub> : lo complementa para alcanzar el 100 %.

Se ve que se ha generado más CO que H<sub>2</sub>.

20 El gas producido tenía un poder calorífico inferior de 7 MJ/Nm<sup>3</sup>. El aporte electrocalorífico en el interior del baño de silicato era de 300 kW.

Si se considera que la madera tiene una energía de 12 MJ/kg, se estima que se ha recuperado un 80 % de esta energía por gasificación sin vapor de agua.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento de fabricación de gas combustible que tenga un poder calorífico inferior de al menos  $1 \text{ MJ/Nm}^3$ , que comprende la reacción de un gas oxidante que comprende vapor de agua u oxígeno o  $\text{CO}_2$  con una materia orgánica en contacto con un baño de silicato fundido contenido en una cuba y que comprende un aporte calorífico al silicato fundido, funcionando dicho procedimiento de forma ininterrumpida, evacuándose el silicato de la cuba regularmente e introduciéndose materias vitrificables regularmente para alimentar el baño de silicato, produciéndose una renovación continua del baño de silicato que permite evacuar de forma ininterrumpida el hierro, cuya concentración se mantiene de este modo por debajo de su límite de precipitación en el baño.
  - 10 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado por que el silicato comprende de un 40 a un 80 % en peso de  $\text{SiO}_2$ .
  3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado por que la suma de la masa de  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y óxido de metal alcalino contenidos en el silicato varía de un 5 a un 60 % en peso.
  4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el aporte calorífico es del tipo combustión sumergida.
  - 15 5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado por que el comburente de la combustión sumergida comprende más de un 80 % en volumen de oxígeno puro.
  6. Procedimiento de acuerdo con la reacción anterior, caracterizado por que la llama de la combustión sumergida es oxidante.
  - 20 7. Procedimiento de acuerdo con una de las dos reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el gas oxidante es generado por la combustión sumergida.
  8. Procedimiento de acuerdo con una de las tres reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la combustión sumergida por una parte y la reacción entre el gas oxidante y la materia orgánica por otra parte se realizan en zonas suficientemente separadas para que los humos de la combustión y el gas combustible puedan recuperarse en chimeneas diferentes.
  - 25 9. Procedimiento de acuerdo con una de las cuatro reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el carburante de la combustión sumergida comprende gas combustible generado por el propio procedimiento, estando mezclado eventualmente este gas con otros gases combustibles.
  - 30 10. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el gas oxidante encuentra suficiente materia orgánica para que la suma de los porcentajes molares de hidrógeno y monóxido de carbono en el gas combustible sea de al menos un 10 %.
  11. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el gas oxidante comprende al menos un 30 % en volumen de vapor de agua.
  12. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el silicato está a una temperatura de entre  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $1700 \text{ }^\circ\text{C}$ .
  - 35 13. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el aporte calorífico es eléctrico.
  14. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el gas combustible se recalienta al pasar bajo una bóveda rebajada antes de su evacuación por una chimenea.
  15. Procedimiento de fabricación industrial conocido que comprende
  - 40 - una producción ininterrumpida en una unidad de producción industrial que comprende un quemador de carburante gaseoso que genera gases de combustión,
  - una producción ininterrumpida de vapor de agua en una caldera,
  - una producción ininterrumpida de gas combustible en una unidad de producción de gas combustible que comprende la reacción de un gas oxidante que comprende vapor de agua con una materia orgánica,
  - 45 - siendo llevados los gases de combustión hasta la caldera para evaporar el agua y producir vapor de agua, siendo llevado el vapor de agua producido por la caldera hasta la unidad de producción de gas combustible para reaccionar con la materia orgánica, siendo llevado el gas combustible hasta la unidad de producción industrial para quemarse en ella como carburante gaseoso.
- funcionando la producción de gas combustible de acuerdo con el procedimiento de una de las reivindicaciones 1 a 14.

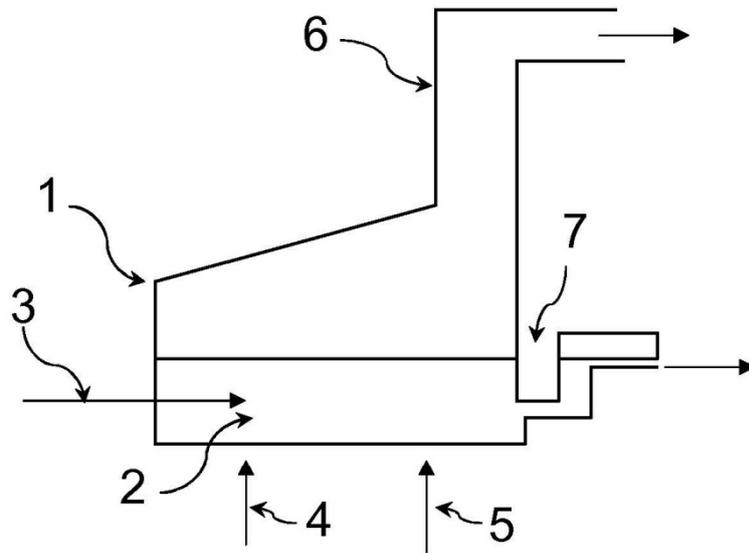


Fig 1

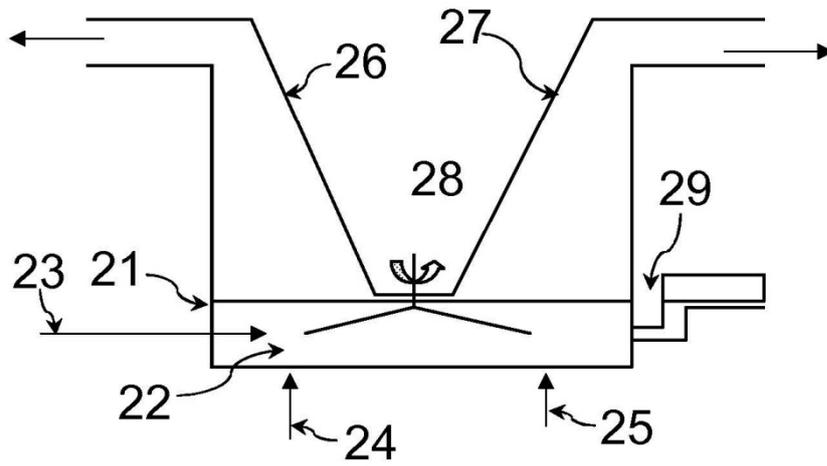


Fig 2

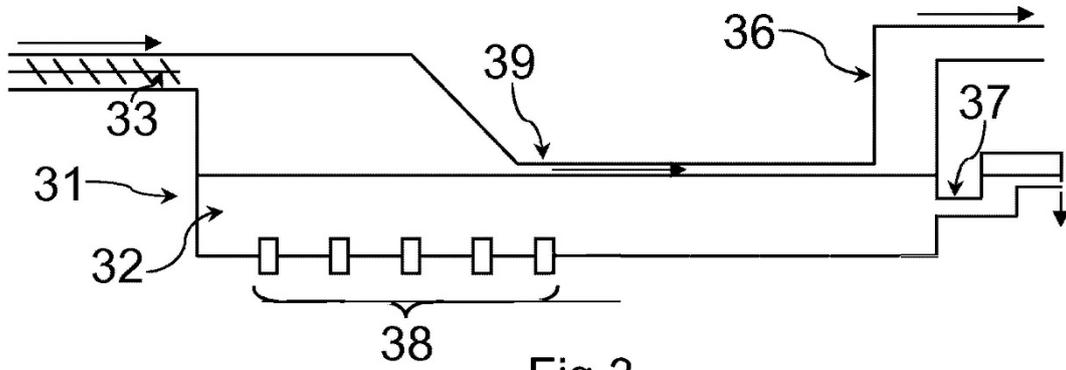


Fig 3

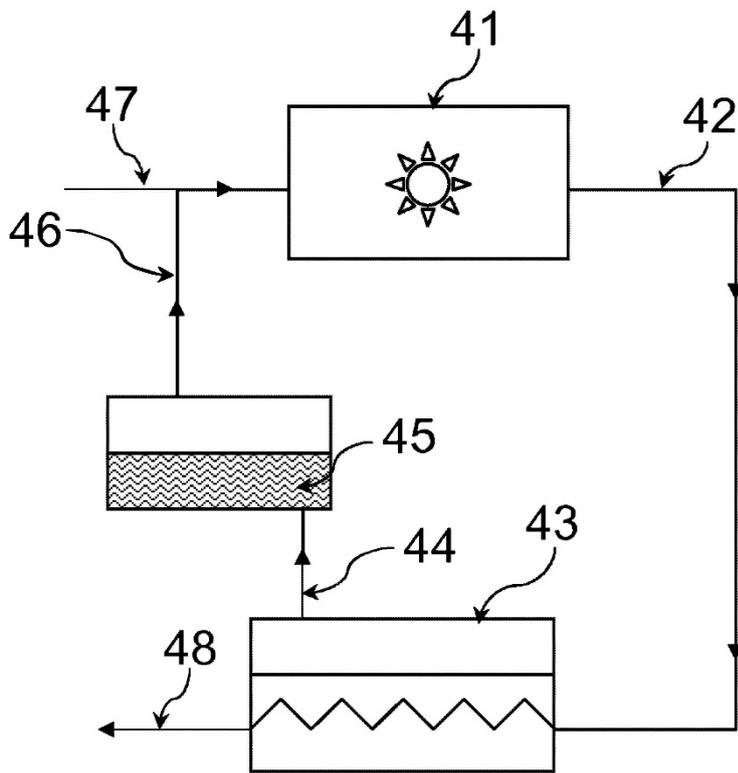


Fig 4