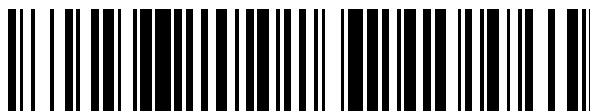


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 625 763**

51 Int. Cl.:

**C02F 11/10** (2006.01)  
**F23G 5/027** (2006.01)  
**F23G 7/00** (2006.01)  
**C02F 11/12** (2006.01)  
**C02F 1/66** (2006.01)  
**F23G 5/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.07.2014 PCT/IB2014/063119**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **22.01.2015 WO15008219**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.07.2014 E 14767107 (7)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.03.2017 EP 3022158**

54 Título: **Procedimiento optimizado de carbonización hidrotermal e instalación para su puesta en práctica**

30 Prioridad:

**18.07.2013 FR 1357093**

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

**20.07.2017**

73 Titular/es:

**SUEZ INTERNATIONAL (100.0%)  
16 Place de l'Iris - Tour CB 21  
92040 Paris la Défense Cedex, FR**

72 Inventor/es:

**PARDO, PIERRE EMMANUEL y  
BOURDAIS, JEAN LOUIS**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

ES 2 625 763 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento optimizado de carbonización hidrotermal e instalación para su puesta en práctica

5 La invención se refiere a un procedimiento de carbonización hidrotermal de productos pastosos o de residuos, o de lodos de estación depuradora, procedimiento del tipo de aquellos procedimientos según los cuales los productos que van a tratarse se introducen en un reactor presurizado y se calientan a una temperatura de carbonización T0, comprendida generalmente entre 140°C y 280°C, y los productos que van a tratarse, antes de introducirse en el reactor, se someten a las siguientes etapas:

- presurizar,
- 10 – precalentar en un intercambiador, por un fluido térmico que circula según un circuito cerrado, y que recibe calor procedente de los productos que salen del reactor.

El campo de la invención es el del tratamiento de productos pastosos o de residuos, concretamente aquellos que se producen durante el tratamiento de aguas (lodos de estaciones de depuración).

15 Más concretamente, la invención se refiere a un procedimiento optimizado de carbonización hidrotermal de productos pastosos, en particular lodos de estación depuradora deshidratados, que permite el tratamiento de grandes cantidades de productos minimizando las dimensiones de los equipos y mejorando la reacción química.

Se recuerda que la carbonización hidrotermal es un procedimiento que, mediante el aumento de la temperatura y la presión de un compuesto orgánico en fase líquida, pretende inducir reacciones químicas que permitan, mediante la liberación de moléculas de CO<sub>2</sub>, aumentar la hidrofobia del producto orgánico, lo que permite a continuación una deshidratación óptima.

20 Este tipo de acondicionamiento térmico ya se ha usado para compuestos considerados líquidos, es decir, cuya sequedad es del orden del 5% o menos, lo que induce unos consumos térmicos importantes.

Este tipo de acondicionamiento térmico también se ha usado para compuestos considerados sólidos, es decir, productos pastosos o lodos que tienen al menos una sequedad del orden del 15%, pudiendo llegar hasta del 25 al 30%. En esta aplicación, el calentamiento se realiza de dos maneras diferentes:

- 25 ⇨ O bien por vía directa mediante inyección de vapor en el reactor.
- ⇨ O bien por vía indirecta mediante calentamiento de la pared del reactor, es decir, que el fluido de calentamiento circule por una envoltura que rodea el reactor.

30 La vía directa tiene como consecuencia la dilución del producto, y la creación de golpes de ariete si la temperatura inicial del reactor es demasiado baja; además, para aumentar a altas temperaturas, concretamente superiores a 200°C, las presiones de vapor resultan muy elevadas.

35 La vía indirecta tiene como consecuencia la imposición de límites al tamaño de los reactores; en efecto, dado que la transferencia térmica solamente se produce en la pared del reactor aunque debe calentarse el volumen interior, surge rápidamente un problema de tamaño limitado, más allá del cual no se calienta lo suficiente el producto, concretamente el lodo; además, se recomienda un mezclado intenso para permitir una homogeneización del producto a través del reactor. Finalmente, la vía indirecta conlleva una estratificación de la temperatura en el sentido de circulación del producto; el producto orgánico solo alcanza su temperatura final al final del reactor, lo que limita el tiempo de permanencia del producto a esta temperatura final.

40 En un ejemplo de funcionamiento por esta vía indirecta, se prevé un precalentamiento del producto que va a tratarse por el producto que sale del reactor. Para ello, un circuito de aceite, que constituye un fluido térmico, permite la recuperación de una parte del calor del producto carbonizado usando un intercambiador de “producto carbonizado caliente/aceite”, y un intercambiador de aceite caliente/producto frío que va a tratarse”.

El documento US2006/0096163A1 describe un procedimiento de carbonización hidrotermal de lodos de estación depuradora.

Existe un problema con el intercambiador.

45 Para un producto sólido de partida, es decir cuya sequedad es del orden del 15% al menos, el problema de los coeficientes de intercambio de calor, así como de la incrustación del producto, es importante. Esto es por lo que, según el estado de la técnica, se prevén dos intercambiadores, respectivamente de “producto carbonizado caliente/aceite”, y de “aceite caliente/producto frío que va a tratarse”, con el aceite como fluido térmico intermedio, y no solamente un intercambiador de “producto caliente/producto frío” ya que no sería posible, en un intercambiador de calor de tubos concéntricos, limpiar adecuadamente el tubo exterior sometido a deposición. Además, el precalentamiento del producto orgánico antes de la inyección en el reactor es parcial, y está limitado a una

50

- temperatura, concretamente de aproximadamente 90°C, claramente inferior a la predominante en el reactor para evitar incrustaciones. El producto no alcanzará la temperatura de carbonización, en el reactor, hasta después de un tiempo de calentamiento, que es tanto más largo cuanto más baja es su temperatura en la entrada. Por tanto, las dimensiones del reactor deberán ser relativamente importantes para garantizar, en una primera fase, el calentamiento a la temperatura de carbonización, y después, en una segunda fase, la carbonización.
- 5 La invención tiene como objeto, sobre todo, proporcionar un procedimiento de carbonización hidrotermal que permita minimizar los requisitos térmicos a nivel del reactor, para permitir construir reactores grandes sin mezclado al tiempo que se controlan los problemas de aprovechamiento de los intercambiadores.
- 10 Los objetivos presentados anteriormente, así como otros que se desprenderán a continuación, se consiguen con la ayuda de la optimización del procedimiento de carbonización hidrotermal.
- 15 Según la invención, el procedimiento de carbonización hidrotermal de productos pastosos o de residuos, o de lodos de estación depuradora, del tipo definido anteriormente, se define tal como se describe en la reivindicación 1. En particular, el fluido térmico se calienta en el circuito por medio de una fuente de calor externa, aguas abajo del intercambio con los productos que salen del reactor, y aguas arriba del precalentamiento de los productos que entran en el reactor, y porque la temperatura del producto que va a tratarse, precalentado por el fluido térmico, a su entrada en el reactor, está comprendida entre la temperatura de carbonización T0 y T0 - 100°C.
- Preferiblemente, la sequedad de los productos que van a tratarse está comprendida entre 15% y 30%.
- 20 El producto que va a tratarse circula por al menos un tubo, incluido en el intercambiador de precalentamiento, hasta su entrada en el reactor, y se realiza en al menos un lugar del tubo una inyección de líquido para crear un anillo de líquido contra la pared interior del tubo y reducir las caídas de presión.
- Preferiblemente, el líquido inyectado es una disolución ácida, que no solamente reduce las caídas de presión, sino que también evita, o al menos reduce, la incrustación. La inyección de disolución ácida puede realizarse en diversos niveles del intercambiador de precalentamiento, para controlar la colmatación del intercambiador.
- 25 Ventajosamente, la caída de presión o pérdida de carga del intercambiador está controlada, y, en caso de aumento de la caída de presión, se aumenta la cantidad de disolución ácida inyectada para el anillo de líquido.
- Ventajosamente, el coeficiente de intercambio de calor del intercambiador se controla, y, en caso de disminución del coeficiente de intercambio, se aumenta la cantidad de solución ácida inyectada para el anillo de líquido.
- La presión en el reactor está comprendida generalmente entre 20 y 35 bares. El fluido térmico es preferiblemente un aceite, pero podría usarse agua sobrecalentada.
- 30 La inyección de ácido en el "anillo de líquido" se realiza después de la presurización del lodo.
- Ventajosamente, el procedimiento usa un reactor con deflectores, sin mezcladura, calentado en la pared, en el que el producto circula en flujo pistón.
- Un enfriamiento del producto está previsto antes del almacenamiento y la deshidratación.
- 35 La invención también se refiere a una instalación para la puesta en práctica del procedimiento definido anteriormente, que se define tal como se describe en la reivindicación 9.
- Ventajosamente, el intercambiador de calor entre el producto que va a tratarse y el fluido térmico es de tubos concéntricos, y el producto que va a tratarse circula por el tubo interior en el que se inyecta el líquido para formar el anillo de líquido, pasando el fluido térmico por el tubo exterior.
- 40 Ventajosamente, el intercambiador de calor es alargado, comprendiendo un mínimo de codos para mantener el anillo de líquido en su posición. En caso de existir numerosos codos, están previstas varias inyecciones.
- Las paredes del reactor pueden calentarse por aceite caliente, y presentar deflectores, es decir, comprender un deflector en la trayectoria del producto. El reactor puede agitarse de manera que se limpie mediante el rascado de los bordes del reactor.
- 45 La instalación puede comprender, en la salida de la caldera, una válvula de tres vías que permita el calentamiento de la pared del reactor por aceite caliente proporcionado por la caldera, permitiendo esta válvula de tres vías una regulación de temperatura mediante mezcladura.
- 50 La invención consiste, además de las disposiciones expuestas anteriormente, en un determinado número de disposiciones adicionales que se mencionarán más explícitamente a continuación con respecto a un ejemplo de realización descrito con referencia al dibujo adjunto, pero que no es en absoluto limitativo. En este dibujo:
- la figura 1 es un esquema de una instalación para la puesta en práctica del procedimiento según la invención,

la figura 2 es una sección longitudinal esquemática parcial de un tubo para la circulación del producto que va a tratarse, con tuberías de inyección de líquido, para crear un anillo de líquido, y

la figura 3 es una sección esquemática transversal del tubo de la figura 2 a nivel de las tuberías de inyección de líquido.

5 La invención está basada en un enfoque original que consiste en combinar:

- las cualidades de los intercambiadores indirectos de tubos concéntricos, de aceite/producto,
- con la tecnología del anillo de líquido,
- y la carbonización hidrotermal de lodos en un reactor simple.

10 Haciendo referencia a la figura 1 de los dibujos, puede observarse que los productos que van a tratarse llegan por un conducto 1a a una bomba 1.

En la salida, por el conducto o tubo 1b, de la presurización mediante la bomba 1, se pone en práctica una inyección 20 de ácido diluido con la tecnología de anillo de líquido. La inyección se realiza mediante al menos una tubería 20a transversal, concretamente radial (figuras 2 y 3), que desemboca en el tubo 1b de salida presurizado de la bomba. Están previstas al menos dos inyecciones de líquido diametralmente opuestas, y preferiblemente cuatro inyecciones distribuidas de manera regular por la periferia.

15 El "anillo A de líquido ácido" (figuras 2 y 3) formado de este modo, debido a las velocidades bajas en las tuberías y a la ausencia de mezclado, permanece pegado a la pared interna del tubo y por ello disuelve incrustaciones eventuales debidas al calentamiento del producto. Además, este ácido participa en la reacción de carbonización y en la capacidad de deshidratación del producto carbonizado.

20 Un intercambiador 2, preferiblemente del tipo de tubos concéntricos, calienta el producto a partir de un fluido térmico caliente, preferiblemente aceite caliente.

Según la invención, el aceite se calienta a través de una caldera 12 a una temperatura de 150-350°C, preferiblemente de 250°C. La caldera se alimenta con un combustible exterior a la instalación, concretamente gas natural. El aceite caliente a contracorriente recalienta el producto, en el intercambiador 2 hasta casi alcanzar su temperatura definitiva de 140-240°C, preferiblemente 200°C.

25 El intercambiador 2 está dimensionado en el lado de aceite de modo que la temperatura del aceite en la salida de intercambiador sea lo más baja posible, concretamente de 10 a 80°C por encima de la temperatura del producto que va a recalentarse, preferiblemente superior a 40°C.

30 El producto entra en un reactor 3 con deflectores, en el que circula en flujo pistón hasta la salida. El reactor está rodeado por una envoltura 3a que forma una pared doble por la que circula el aceite caliente para el calentamiento del reactor. Una válvula 13 de mezcla de tres vías, juntamente o no con un bombeo (no representado), permite regular la temperatura del aceite en la envuelta del reactor. La válvula 13 comprende una vía conectada a la salida de la caldera 12, una vía conectada a la entrada de la envuelta 3a, y una vía conectada a la salida de la envuelta 3a, cuya salida también está conectada a la entrada de aceite en la caldera 12. El producto que va a tratarse, ya muy caliente en la entrada del reactor, ha adquirido un bajo poder de incrustación en el reactor. Un orificio de ventilación, no representado, está previsto en el reactor 3 para una evacuación de los gases producidos.

35 En la salida del reactor, el producto recalienta el circuito de aceite a contracorriente a través de un intercambiador 4. El circuito de aceite se pone en movimiento a través de una bomba 11. La caldera 12 está situada aguas abajo del intercambiador 4 y aguas arriba del precalentamiento por el intercambiador 2.

40 El reactor 3 puede agitarse para permitir una renovación de la capa de intercambio en caso de producto particularmente incrustante.

El resto de los equipos 5, 6, 30, 31, 32, 50 completan la instalación en el marco de una ultradeshidratación por carbonización hidrotermal. Un intercambiador 5 permite enfriar el producto carbonizado que sale del intercambiador 4, gracias a un fluido 50 intermedio. Una herramienta 6 de descompresión, generalmente una válvula, permite el envío sin vaporización a un depósito 30 de almacenamiento. Una bomba 31 recoge el producto en la salida del depósito 30, y permite la filtración del producto en un filtro 32 para obtener un producto ultradeshidratado.

45 Con el fin de mejorar adicionalmente el procedimiento, la inyección de ácido en anillo de líquido puede realizarse en varios lugares del intercambiador 2 para permitir una renovación de la capa de anillo de líquido.

50 Debe observarse que el anillo de líquido, que trata de reducir la caída de presión, podría obtenerse mediante una inyección de agua, o ventajosamente de polímero, mientras que el ácido se inyectaría en el reactor 3.

Ventajosamente, la caída de presión del intercambiador, entre la entrada 2a y la salida 2b (figura 1) se controla,

concretamente mediante un sensor 2c sensible a la diferencia de presiones entre la entrada y la salida. El sensor 2c transmite una señal, que representa la caída de presión, a una unidad 20b de inyección de la solución ácida. La unidad 20b tiene en cuenta la evolución de la caída de presión. En caso de aumento de esta caída de presión, se aumenta la cantidad de solución ácida inyectada para el anillo de líquido, con el fin de reducir esta caída de presión.

5 Ventajosamente, la temperatura en la entrada 2a del intercambiador 2, la de la salida 2b del intercambiador 2b y el caudal de la bomba 1 en el lado de producto se miden para calcular la cantidad de calor intercambiado en el intercambiador 2. Las temperaturas del aceite en la entrada y en la salida del intercambiador 2 también se miden para calcular y hacer un seguimiento del coeficiente de intercambio de calor del intercambiador 2 y adaptar la cantidad de ácido si disminuye el coeficiente de intercambio de calor.

10 El concepto de medición del coeficiente de intercambio de calor  $k$  resulta de la relación:

$$Q = k S DT, \text{ siendo}$$

$Q$ : calor intercambiado,

$k$  coeficiente de intercambio de calor del intercambiador,

$S$  superficie de intercambio,

15  $DT$  diferencia de temperaturas logarítmica entre los dos fluidos.

$$\text{Por tanto } k = Q / (S DT).$$

20 Al medir  $Q = \text{Caudal} * (T^\circ \text{ entrada} - T^\circ \text{ salida})$  de uno de los dos fluidos y  $DT$ , es decir, de un cálculo entre las temperaturas de entrada y salida de cada producto, se deduce  $k$  que, si disminuye es una señal de incrustación, que también puede medirse en otros términos debido al hecho de que debe "aumentarse la temperatura del aceite" para alcanzar la misma temperatura final, es decir aumentar la  $DT$  para tener el mismo  $Q$ , ya que  $k$  disminuye.

El intercambiador 2 puede ser de tipo rectangular u otro tipo y estar dotado de un dispositivo de limpieza automático.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de carbonización hidrotermal de productos pastosos o de residuos, o de lodos de estación depuradora, en un reactor (3) presurizado y calentado a una temperatura de carbonización T0, comprendida generalmente entre 140°C y 280°C, procedimiento según el cual los productos que van a tratarse se someten, antes de introducirse en el reactor, a las siguientes etapas:
- 5
- presurizar,
  - precalentar en un intercambiador, por un fluido térmico que circula según un circuito cerrado, y que recibe calor procedente de los productos que salen del reactor,
- 10
- calentándose el fluido térmico en el circuito por una fuente (12) de calor externa, aguas abajo del intercambio con los productos que salen del reactor, y aguas arriba del precalentamiento de los productos que entran en el reactor,
- estando comprendida la temperatura del producto que va a tratarse, a su entrada en el reactor (3), precalentado por el fluido térmico, entre la temperatura de carbonización T0 y T0 - 100°C,
- 15
- caracterizado porque el producto que va a tratarse circula por al menos un tubo (1b), incluido en el intercambiador de precalentamiento, hasta su entrada en el reactor, y se realiza, en al menos un lugar del tubo, una inyección (20) de líquido para crear un anillo (A) de líquido contra la pared interior del tubo, y reducir las caídas de presión, realizándose esta etapa de inyección de líquido mediante al menos dos inyecciones de líquido diametralmente opuestas.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la sequedad de los productos que van a tratarse está comprendida entre 15% y 30%.
- 20
3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, en el que el líquido inyectado es una solución ácida.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que la inyección de solución ácida se realiza en diversos niveles del intercambiador de precalentamiento, para controlar la colmatación del intercambiador.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que la caída de presión del intercambiador se controla, y porque en caso de aumento de la caída de presión, se aumenta la cantidad de disolución ácida inyectada para el anillo de líquido.
- 25
6. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que el coeficiente de intercambio del intercambiador se controla y porque, en caso de disminución del coeficiente de intercambio, se aumenta la cantidad de solución ácida inyectada para el anillo de líquido.
7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la presión en el reactor está comprendida entre 20 y 35 bares.
- 30
8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el fluido térmico es aceite.
9. Instalación de carbonización hidrotermal de productos pastosos o residuos, o de lodos de estación depuradora, que comprende:
- un reactor (3) presurizado;
  - medios para calentar el reactor a una temperatura de carbonización T0, comprendida preferiblemente entre 140°C y 280°C,
  - un conducto (1b) de alimentación del reactor (3);
  - un fluido térmico;
  - una bomba (1) de presurización de dichos productos en dicho conducto (1b) de alimentación del reactor,
  - un intercambiador (2) de calor entre dicha bomba (1) y dicho reactor (3) para el precalentamiento del producto que va a tratarse por dicho fluido térmico;
  - otro intercambiador (4), pudiendo dicho fluido térmico circular en circuito cerrado y recibir calor en dicho intercambiador (4), procedente del producto que sale del reactor (3),
  - y una caldera (12) para calentar el fluido térmico del circuito cerrado, aguas abajo del intercambio con los productos que salen del reactor, y aguas arriba del precalentamiento de los productos que entran en el reactor, siendo la potencia térmica proporcionada por la caldera al fluido térmico suficiente como para que la temperatura del producto en la entrada del reactor esté comprendida entre T0 y T0 - 100°C,
- 45

- 5 – caracterizada porque el producto que va a tratarse circula por al menos un tubo (1b), incluido en el intercambiador (2) de precalentamiento, hasta su entrada en el reactor, y, en al menos un lugar del tubo, están previstas al menos dos inyecciones de líquido diametralmente opuestas para crear un anillo (A) de líquido contra la pared interior del tubo, estando una tubería (20a) transversal prevista y conectada al tubo para cada inyección (20) de líquido.
10. Instalación según la reivindicación 9, en la que el intercambiador (2) de calor entre el producto que va a tratarse y el fluido térmico es de tubos concéntricos, y porque el producto que va a tratarse circula por el tubo interior en el que se inyecta el líquido para formar el anillo de líquido, pasando el fluido térmico por el tubo exterior.
- 10 11. Instalación según la reivindicación 9 ó 10, en la que se calienta la pared del reactor (3) por aceite caliente, y presenta deflectores.
12. Instalación según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en la que el reactor se agita de manera que se limpia mediante el rascado de los bordes del reactor.
- 15 13. Instalación según la reivindicación 12, que comprende además, en la salida de la caldera (12), una válvula (13) de tres vías que permite el calentamiento de la pared del reactor por aceite caliente proporcionado por la caldera, permitiendo esta válvula de tres vías una regulación de temperatura mediante mezcladura.

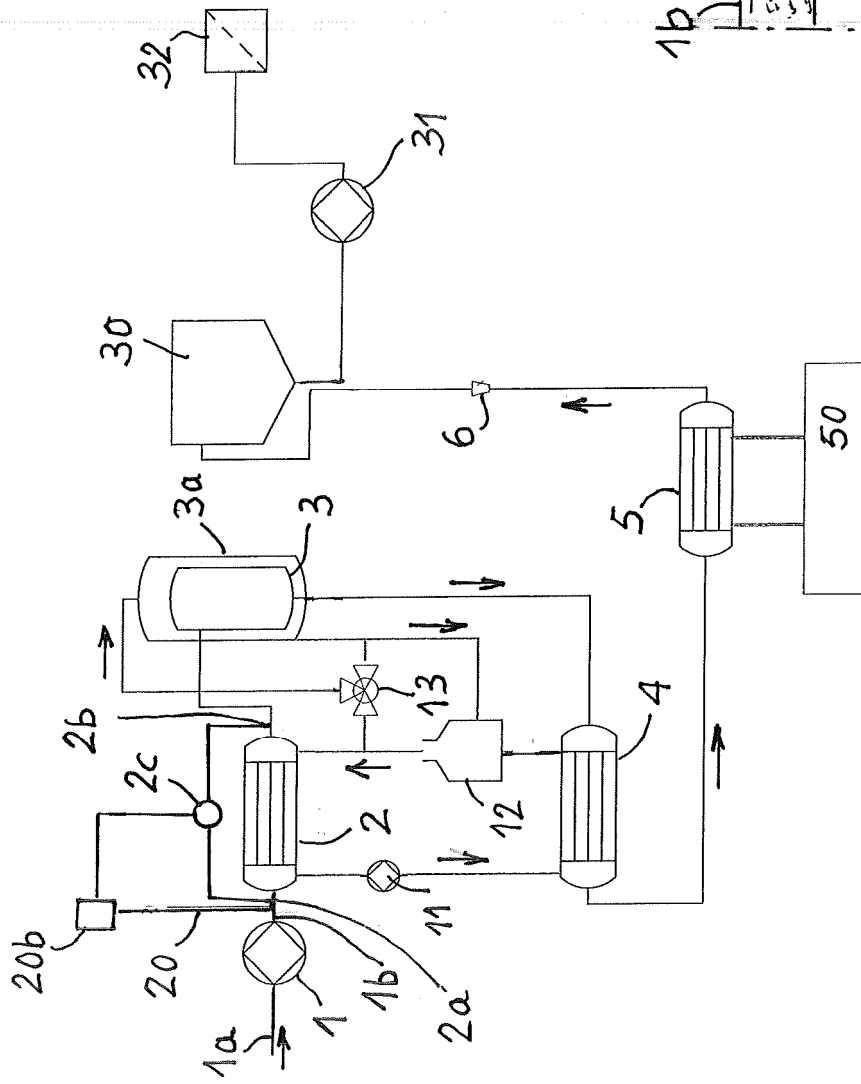


FIG. 1

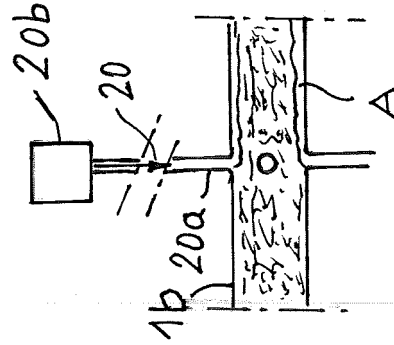


FIG. 2

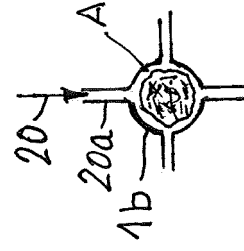


FIG. 3