

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 442 254**

(51) Int. Cl.:

C02F 1/24 (2006.01)

C02F 3/28 (2006.01)

C02F 103/28 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.03.2007 E 07723257 (7)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2013 EP 1993955**

(54) Título: **Procedimiento y dispositivo para el tratamiento anaeróbico de agua residual**

(30) Prioridad:

15.03.2006 DE 102006011951

20.12.2006 DE 102006060428

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

10.02.2014

(73) Titular/es:

**MERI ENTSORGUNGSTECHNIK FÜR DIE
PAPIERINDUSTRIE GMBH (100.0%)
LEVELINGSTRASSE 18
81673 MÜNCHEN, DE**

(72) Inventor/es:

**MENKE, LUCAS y
TROUBOUNIS, GEORGE**

(74) Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 442 254 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 y dispositivo para el tratamiento anaeróbico de agua residual

- 5 La presente invención se refiere a un procedimiento para la depuración de agua residual, en particular para la depuración continua de agua residual en la industria papelera, en el que se alimenta agua residual que va a depurarse a un reactor anaeróbico, se pone en contacto el agua residual en el reactor anaeróbico con microorganismos anaeróbicos para degradar impurezas contenidas en el agua residual, y el agua residual depurada se descarga del reactor anaeróbico. Además, la presente invención se refiere a un dispositivo adecuado para la
 10 realización del procedimiento de acuerdo con la invención.

Para la depuración de aguas residuales se conocen una pluralidad de procedimientos mecánicos, químicos así como biológicos y correspondientes reactores. En la depuración biológica de aguas residuales se pone en contacto el agua residual que va depurarse con microorganismos aeróbicos o anaeróbicos, que degradan las impurezas orgánicas contenidas en el agua residual en el caso de microorganismos aeróbicos predominantemente en dióxido de carbono y agua y en el caso de microorganismos anaeróbicos predominantemente en dióxido de carbono y metano. A este respecto, los procedimientos biológicos de depuración de aguas residuales se realizan recientemente de manera creciente con microorganismos anaeróbicos, ya que en la depuración de aguas residuales anaeróbica por un lado no debe introducirse oxígeno con un alto coste de energía en el biorreactor y por otro lado en
 20 la depuración se genera biogás rico en energía, que a continuación puede usarse para la obtención de energía. Dependiendo del tipo y la forma de la biomasa usada se dividen los reactores para la depuración anaeróbica de aguas residuales en reactores de lodos de contacto, reactores UASB, reactores EGSB, reactores de lecho sólido y reactores de lecho fluidizado. Mientras que los microorganismos en reactores de lecho sólido se adhieren a materiales de soporte estacionarios y los microorganismos en reactores de lecho fluidizado se adhieren sobre
 25 material de soporte pequeño que se mueven libremente, los microorganismos en los reactores UASB y EGSB se usan en forma de los denominados aglomerados.

En los reactores UASB y EGSB se alimenta agua residual que va a depurarse al reactor a través de una entrada en la zona de reactor inferior continuamente y se hace pasar a través de un lecho de lodo que contiene aglomerados de
 30 microorganismos que se encuentran por encima de la entrada. Durante la degradación de los compuestos orgánicos del agua residual, los microorganismos forman en particular gas que contiene metano y dióxido de carbono, que se designa también como biogás, que se acumula parcialmente en forma de pequeñas vesículas en los aglomerados de microorganismos y parcialmente en forma de vesículas de gas libres sube hacia arriba en el reactor. Debido a las vesículas de gas acumuladas se reduce el peso específico de los aglomerados, por lo que los aglomerados suben hacia arriba en el reactor. Para separar el biogás formado y los aglomerados que suben del agua, están dispuestos en la parte central y/o superior del reactor separadores la mayoría de las veces en forma de cubierta de gas, debajo de cuya cima se acumula biogás que forma una reserva de gas, por debajo de la cual se encuentra una capa de flotación de aglomerados de microorganismos y agua residual. El agua depurada liberada de gas y aglomerados de microorganismos sube en el reactor hacia arriba y se retira en el extremo superior del reactor a través de rebosaderos, mientras que los aglomerados de microorganismos liberados de las vesículas de gas debido al aumento de peso específico ahora se hunden en el reactor de nuevo hacia abajo. Los procedimientos de este tipo y los correspondientes reactores se describen por ejemplo en el documento EP 0 170 332 A1, en el documento EP 1 071 636 B1 y en el documento EP 0 539 430 B1.

45 Se sabe también alimentar el agua residual que va depurarse antes de la alimentación en un reactor anaeróbico a un reactor de acidificación previa, en el que tiene lugar una hidrólisis enzimática y acidogénesis. Mientras que en la hidrólisis enzimática se degradan polímeros, por ejemplo polisacáridos, polipéptidos y grasas, mediante exoenzimas que proceden de microorganismos en sus monómeros, tales como azúcares, aminoácidos y ácidos grasos, se transforman estos monómeros en la acidogénesis mediante microorganismos acidogénicos en ácidos orgánicos, alcoholes, aldehídos, hidrógeno y dióxido de carbono. Por lo tanto tiene lugar en el reactor de acidificación previa una primera depuración previa. Además pueden ajustarse en el reactor de acidificación previa mediante la adición de nutrientes y oligoelementos adecuados las condiciones de crecimiento adecuadas para los microorganismos anaeróbicos usados en el siguiente reactor anaeróbico. Por ejemplo, el agua residual que se produce en la industria papelera presenta con regularidad sólo muy pocos compuestos de nitrógeno y fósforo, de modo que éstos deben añadirse al agua residual antes de su alimentación al reactor anaeróbico, para garantizar un crecimiento óptimo de los microorganismos en el reactor anaeróbico. De la misma manera pueden ajustarse en el reactor de acidificación previa, mediante la adición de correspondientes agentes de ajuste del pH, los valores de pH del agua residual que va a depurarse adecuados para el crecimiento de los microorganismos en el siguiente reactor anaeróbico.

60 La dureza de agua del agua residual o los carbonatos e hidrogenocarbonatos contenidos en el agua residual representan un problema esencial en la depuración de agua residual en un reactor anaeróbico. Tal como se ha expuesto ya anteriormente se usan en reactores anaeróbicos aglomerados de microorganismos o éstos se forman durante el funcionamiento del reactor que debido a su estructura y tamaño representan gérmenes de cristalización para depósitos de cal. Los depósitos de cal de este tipo sobre los aglomerados de microorganismos perjudican sin embargo su función. Tal como se ha expuesto anteriormente es importante para la función de reactores anaeróbicos que los aglomerados de microorganismos presenten un peso específico definido para que puedan subir hacia arriba

en el reactor durante la degradación de los compuestos orgánicos del agua residual mediante el biogás formado que se adhiere a los aglomerados de microorganismos, para separar en el separador de gas el biogás formado. Tras la separación del biogás, el peso específico en particular no debe ser grande de modo que los aglomerados de microorganismos se hundan hasta la base del reactor, dado que éstos por lo demás ya no pueden participar en el procedimiento de depuración. Un posible depósito de cal sobre los aglomerados de microorganismos conduce sin embargo a un desplazamiento incalculable del peso específico, lo que puede conducir a que los aglomerados de microorganismos ya no puedan llevar a cabo su función. También la actividad metabólica de los microorganismos anaeróbicos provoca un desplazamiento del equilibrio cal-ácido carbónico mediante la generación de entre otras cosas iones de hidrogenocarbonato (HCO^3-), lo que favorece posteriormente una precipitación de cal sobre los aglomerados de microorganismos. Para garantizar a pesar de la precipitación de cal sobre los aglomerados de microorganismos su función, deberían aumentarse las cantidades de recirculación en el reactor anaeróbico para mantener suspendidos los aglomerados a pesar del peso específico más grande en el reactor. A la cantidad de recirculación se le ponen límites sin embargo por un lado mediante la capacidad hidráulica de los separadores y por otro lado mediante la necesidad de mantener de manera laminar el flujo en el reactor. Mayores cantidades de recirculación provocan además mediante la generación de gradientes de presión en el lado de aspiración y en el lado de presión de la bomba en el conducto de recirculación el escape de dióxido de carbono y debido a ello un desplazamiento posterior del equilibrio cal-ácido carbónico en dirección de una precipitación de cal.

Para superar este problema se propuso por ejemplo en la publicación "anaerobe Behandlung von Abwässern der Papierindustrie con thermophilen Mikroorganismen" de Bobek *et al.* en IPW 7/2005 alimentar al reactor anaeróbico inhibidores de incrustación. Estos inhibidores de incrustación conducen sin embargo a que la proporción inorgánica de los aglomerados de microorganismos aumente adicionalmente. Además, mediante la alimentación de los inhibidores de incrustación en el funcionamiento de los reactores anaeróbicos se producen costes adicionales considerables.

Otra solución conocida de este problema consiste en eliminar el dióxido de carbono tras el reactor anaeróbico, es decir aguas abajo del reactor anaeróbico en un reactor aeróbico. Sin embargo, el lodo de cal precipitado en la fase aeróbica puede influir negativamente en las unidades de aireación mediante obstrucción en su función, lo que está unido a su vez a costes elevados.

Por el documento WO 92/20628 se conoce un procedimiento para el tratamiento de agua residual, en el que se somete agua residual que va a depurarse en un reactor anaeróbico a una etapa de tratamiento anaeróbica, antes de que la suspensión que contiene además de agua residual sólidos suspendidos, que contienen biomasa activa, se transfiera del reactor anaeróbico a un recipiente de flotación, en el que los sólidos suspendidos se separan usando un gas anóxico del líquido de la suspensión y entonces los sólidos separados se alimentan al reactor anaeróbico.

Por tanto es objetivo de la presente invención facilitar un procedimiento sencillo y económico para la depuración de agua residual, en particular para la depuración de agua residual en la industria papelera, en el que las impurezas contenidas en el agua residual pueden degradarse evitando los problemas mencionados anteriormente de manera eficaz en un reactor anaeróbico.

De acuerdo con la invención se consigue este objetivo mediante un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 y mediante un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 7.

Sometiendo el agua residual que va a depurarse antes de la alimentación en el reactor anaeróbico a una etapa de flotación por reducción de la presión, puede reducirse la dureza del agua residual mediante precipitación de cal, por lo que puede impedirse de manera eficaz en el reactor anaeróbico una precipitación de cal que perturba la función de los aglomerados de microorganismos. Otra ventaja especial del procedimiento de acuerdo con la invención consiste en que puede realizarse la etapa de flotación por reducción de la presión al menos parcialmente en un dispositivo de microflotación, que está previsto en los dispositivos que comprenden un reactor anaeróbico conocidos en el estado de la técnica para la depuración de aguas residuales con frecuencia para la depuración gruesa, de modo que para la realización del procedimiento de acuerdo con la invención sean necesarias únicamente pequeñas modificaciones en instalaciones ya existentes.

Por descalcificación al menos parcial se entiende en el sentido de la presente invención la reducción de la dureza del agua.

De acuerdo con el invención se somete a una etapa de flotación de reducción de la presión en el procedimiento de acuerdo con la invención al menos una parte del agua residual con el fin de la descalcificación al menos parcial antes de la alimentación en el reactor anaeróbico.

En la etapa de flotación por reducción de la presión se ajusta el agua residual preferentemente a un valor de pH neutro o alcalino, se mezcla con gas y se solicita con presión, antes de que el agua residual así tratada se someta a una presión reducida. Mientras se obtiene mediante el ajuste de un valor de pH neutro o alcalino una precipitación de cal, la adición posterior de gas comprimido, la solicitud con presión y la posterior exposición frente a una presión o expansión reducida en comparación con la presión solicitada provoca el burbujeo de pequeñas burbujas

de gas en la mezcla de agua residual, fluyendo las burbujas de gas individuales a través de la mezcla hacia arriba y a este respecto arrastrando los copos de cal precipitados, que pueden separarse fácilmente del agua residual.

- 5 Para obtener una precipitación de cal eficaz en la etapa de flotación por reducción de la presión se propone en un perfeccionamiento de la idea de la invención ajustar el agua residual a un valor de pH entre 7 y 10, preferentemente entre 7 y 9 y de manera especialmente preferente entre 7,5 y 8,5. Ciertos agentes de ajuste de pH adecuados para el ajuste del valor de pH en el intervalo mencionado anteriormente incluyen por ejemplo disolución de hidróxido de sodio (NaOH), disolución de hidróxido de potasio (KOH) e hidróxido de calcio (Ca(OH)₂). Lógicamente puede realizarse el ajuste del valor de pH también de todas otras maneras conocidas por el experto, por ejemplo debido a 10 que se hace reaccionar un compuesto químico, tal como urea, catalíticamente, por ejemplo enzimáticamente, para dar un compuesto básico, tal como amoníaco.

Para fomentar la precipitación de cal y poder separar del agua residual de manera especialmente fácil los flóculos de cal formados en la etapa de flotación por reducción de la presión ha resultado ventajoso añadir al agua residual 15 antes o durante la etapa de flotación por reducción de la presión al menos un agente de precipitación y/o al menos un coadyuvante de floculación. Mientras que el agente de precipitación facilita la precipitación de cal, el coadyuvante de floculación provoca la formación de flóculos de cal con una estructura y tamaño deseados para una separación fácil de los mismos.

- 20 Mientras que como agente de precipitación ha dado buen resultado poli(cloruro de aluminio), un ejemplo preferente de un coadyuvante de floculación adecuado es poliacrilamida.

En un perfeccionamiento de la idea de la invención se propone prever en el procedimiento de acuerdo con la invención además una etapa de acidificación previa, en la que el agua residual se somete a en un reactor de 25 acidificación previa a una hidrólisis y/o a una acidogénesis. Así se consigue ya una depuración previa del agua residual alimentada al reactor anaeróbico. En esta forma de realización de la presente invención puede (re)conducirse el agua residual tras la etapa de flotación por reducción de la presión al reactor anaeróbico y/o al reactor de acidificación previa.

- 30 Preferentemente en el procedimiento de acuerdo con la invención se regula y/o se controla la temperatura del agua residual, en particular la del agua residual alimentada al reactor anaeróbico, para ajustar la temperatura óptima para los microorganismos contenidos en el reactor anaeróbico.

35 De acuerdo con una forma de realización preferente está previsto alimentar el agua residual que va depurarse continuamente a un dispositivo de flotación por reducción de la presión, en el que tiene lugar la etapa de flotación por reducción de la presión y allí mezclar con al menos una parte del agua residual descargada continuamente del reactor anaeróbico y descargar del dispositivo de flotación por reducción de la presión continuamente agua residual al menos parcialmente descalcificada, que se conduce a un reactor de acidificación previa así como desde allí continuamente al reactor anaeróbico.

- 40 Como alternativa a esto también es posible alimentar el agua residual que va a depurarse continuamente a un dispositivo de flotación por reducción de la presión, en el que tiene lugar la etapa de flotación por reducción de la presión y mezclar allí con al menos una parte del agua residual descargada continuamente del reactor anaeróbico y descargar del dispositivo de flotación por reducción de la presión continuamente agua residual al menos parcialmente descalcificada, que se conduce continuamente al reactor anaeróbico. Además es también posible separar el agua residual al menos parcialmente descalcificada, retirada continuamente del dispositivo de flotación 45 por reducción de la presión en dos flujos parciales y (re)conducir un flujo parcial al reactor anaeróbico y el otro flujo parcial al reactor de acidificación previa y/o descargarla al menos parcialmente del dispositivo y usarla de nuevo en un procedimiento de producción.

50 En un perfeccionamiento de la idea de la invención se propone separar el agua residual depurada, descargada continuamente del reactor anaeróbico en dos flujos parciales, de los cuales uno se retira del dispositivo, conduciéndose el otro flujo parcial al dispositivo de flotación por reducción de la presión.

- 55 En la forma de realización mencionada en último lugar ha resultado ventajoso que el flujo parcial alimentado al dispositivo de flotación por reducción de la presión, con respecto al flujo total descargado del reactor anaeróbico, ascienda a entre el 5 % y el 80 % y de manera especialmente preferente entre el 30 % y el 50 %.

60 De acuerdo con la invención se realiza la conducción del procedimiento de manera que la dureza del agua se reduzca en la etapa de flotación por reducción de la presión al menos en un 40 %.

Otro objeto de la presente invención es un dispositivo para la depuración de agua residual, que es adecuado en particular para la realización del procedimiento de acuerdo con la invención descrito anteriormente.

- 65 De acuerdo con la invención, el dispositivo comprende al menos un reactor para la depuración anaeróbica de agua residual con al menos un conducto de alimentación para la alimentación de agua residual que va a depurarse en el

reactor así como al menos un conducto de descarga para la descarga de agua residual depurada del reactor, en el que el dispositivo comprende además un dispositivo de flotación por reducción de la presión que presenta un reactor de flotación por reducción de la presión, que está unido al menos a un conducto de descarga del reactor anaeróbico a través de un conducto de alimentación de flotación por reducción de la presión de manera que al menos un flujo parcial del agua residual depurada retirada del reactor anaeróbico a través del conducto de descarga puede conducirse al reactor de flotación por reducción de la presión, en el que el dispositivo de flotación por reducción de la presión presenta un conducto de retorno que va desde el reactor de flotación por reducción de la presión directa o indirectamente hacia el reactor anaeróbico, al menos un conducto de alimentación para un gas comprimido así como un dispositivo de disolución de gas, que está unido al reactor de flotación por reducción de la presión a través de un conducto y en el que desemboca el conducto de alimentación de gas comprimido, desembocando el conducto de alimentación de agua residual en una unidad de mezcla y desde allí a través de un conducto de alimentación desemboca en el reactor de flotación por reducción de la presión, presentando la unidad de mezcla un conducto de alimentación para agentes de ajuste de pH.

15 Además se prefiere que el dispositivo de flotación por reducción de la presión presente al menos un conducto de alimentación para un agente de precipitación y/o un coadyuvante de floculación.

Además ha resultado conveniente que el conducto de alimentación de agua residual desemboque en una unidad de mezcla y desde allí a través de un conducto de alimentación desemboque en el reactor de flotación por reducción de la presión, presentando la unidad de mezcla un conducto de alimentación para agentes de precipitación y/o coadyuvantes de floculación.

Para conseguir una depuración previa del agua residual, el dispositivo presenta preferentemente además un dispositivo de acidificación previa, que está previsto preferentemente aguas arriba del reactor anaeróbico.

25 En un perfeccionamiento de la idea de la invención se propone unir el dispositivo de acidificación previa en su zona de entrada con un conducto de retorno del dispositivo de flotación por reducción de la presión y en su zona de salida con el conducto de alimentación del reactor anaeróbico.

30 Como alternativa a esto es posible también dejar que desemboque un conducto de retorno del dispositivo de flotación por reducción de la presión directamente o a través de un dispositivo de mezcla dispuesto en el conducto entre el dispositivo de acidificación previa y el reactor anaeróbico en la zona de entrada del reactor anaeróbico.

35 Para ajustar una temperatura óptima en particular para los microorganismos contenidos en el reactor anaeróbico, el dispositivo presenta preferentemente un dispositivo de ajuste de la temperatura que está dispuesto preferentemente en el conducto de retorno. Preferentemente, en caso del dispositivo de ajuste de la temperatura se trata de un intercambiador de calor o de un dispositivo de refrigeración, por ejemplo una torre de refrigeración.

40 Preferentemente, el reactor anaeróbico presenta un recipiente de reactor, en cuya zona inferior está previsto el conducto de alimentación al reactor anaeróbico, al menos un distribuidor de entrada para el mezclado del agua residual alimentada al reactor con el medio que se encuentra en el reactor, al menos un rebosadero dispuesto en el recipiente de reactor superior para la descarga de agua depurada al conducto de descarga del reactor así como al menos un separador. Además puede presentar el reactor anaeróbico un conducto descendente que está dispuesto preferentemente de manera concéntrica alrededor del eje longitudinal del reactor.

45 A continuación se describe la presente invención puramente a modo de ejemplo por medio de formas de realización ventajosas y con referencia a los dibujos adjuntos.

A este respecto muestran:

50 la figura 1 una vista esquemática de un dispositivo para la depuración de agua residual en la industria papelera de acuerdo con el estado de la técnica,

55 la figura 2 una vista esquemática de un dispositivo para la depuración de agua residual en la industria papelera de acuerdo con un primer ejemplo de realización y

la figura 3 una vista esquemática de un dispositivo para la depuración de agua residual en la industria papelera de acuerdo con un segundo ejemplo de realización.

60 El dispositivo 10 mostrado en la figura 1 para la depuración de agua residual según el estado de la técnica comprende un reactor anaeróbico 12 así como un dispositivo de acidificación previa 14. El dispositivo de acidificación previa 14 está antepuesto al reactor anaeróbico 12 y está unido a éste a través de un conducto de alimentación 16 y una bomba 18. Además, el dispositivo de acidificación previa 14 presenta un conducto de entrada 20 para agentes de ajuste de pH, nutrientes, oligoelementos y similares así como un conducto de alimentación de agua residual 22 para la alimentación del agua residual que va a depurarse en el dispositivo de acidificación previa 14. Además, el dispositivo 10 comprende un conducto de descarga del reactor anaeróbico 24, a través del cual se

retira del reactor 12 el agua residual depurada en el reactor anaeróbico 12. Del conducto de descarga 24 bifurcan dos conductos de descarga de flujo parcial 26, 26', de los cuales el conducto de flujo parcial 26 retorna a través de la bomba 18' a la zona de entrada del reactor anaeróbico 12, mientras que a través del conducto de flujo parcial 26' se descarga un flujo parcial del agua residual depurada del dispositivo 10. Finalmente, el reactor anaeróbico 12 presenta un conducto de descarga de gas 28 para la descarga del biogás formado en el reactor anaeróbico 12.

- En el funcionamiento del dispositivo 10 se conduce el agua residual que va a depurarse, que procede por ejemplo de una fabrica papelera, en primer lugar a través del conducto de alimentación de agua residual 22 al dispositivo de acidificación previa 14, en el que ésta se ajusta mediante los aditivos y coadyuvantes alimentados a través del conducto de entrada 20, tales como por ejemplo agentes de ajuste de pH, nutrientes y/o oligoelementos, a condiciones adecuadas para el reactor anaeróbico 12 conectado posteriormente, bajo las cuales los microorganismos contenidos en el reactor 12 son metabólicamente activos. Como agentes de ajuste de pH se usan por ejemplo disoluciones de hidróxido de metal alcalino o alcalinotérreo, tales como por ejemplo disolución de hidróxido de sodio, mientras que urea y dihidrogenofosfato de potasio son ejemplos de nutrientes adecuados y oligoelementos. Además aparece en el dispositivo de acidificación previa 14 una descomposición parcial de las impurezas mediante hidrólisis enzimática y acidogénesis. Después de que se haya mezclado el agua residual en el dispositivo de acidificación previa 14 con los aditivos y coadyuvantes, se bombea ésta por medio de la bomba 18 a través del conducto de alimentación 16 al reactor anaeróbico 12.
- En el reactor anaeróbico 12 se mezcla el agua residual introducida en primer lugar por medio de un distribuidor de entrada (no representado) en la zona inferior del reactor 12 con el medio que se encuentra en el reactor 12 y se hace pasar a través de un lecho de lodo (no representado) que contiene aglomerados de microorganismos que se encuentran por encima de la entrada, degradando los microorganismos anaeróbicos que se encuentran en el reactor 12 las impurezas orgánicas contenidas en el agua residual predominantemente para dar dióxido de carbono y metano. El biogás que contiene en particular metano y dióxido de carbono que se forma en la degradación de los compuestos orgánicos se acumula parcialmente en forma de pequeñas vesículas en los aglomerados de microorganismos y suben parcialmente en forma de vesículas de gas libres hacia arriba en el reactor. Debido a las vesículas de gas acumuladas disminuye el peso específico de los aglomerados, por lo que los aglomerados suben hacia arriba en el reactor. Para separar el biogás formado y los aglomerados que suben del agua están dispuestos en la parte central y/o superior del reactor separadores (no mostrados) en la mayoría de los casos en forma de cubiertas de gas, debajo de cuya cima se acumula el biogás que forma una reserva de gas, por debajo de la cual se encuentra una capa de flotación de aglomerados de microorganismos y agua residual. El agua depurada liberada de gas y aglomerados de microorganismos sube en el reactor hacia arriba y se retira en el extremo superior del reactor a través del conducto de descarga 24, mientras que el biogás formado abandona el reactor anaeróbico 12 a través del conducto de descarga de gas 28.

Del agua residual depurada, retirada continuamente durante el funcionamiento del dispositivo 10 del reactor anaeróbico 12 a través del conducto de descarga 24 se retira a través del conducto de flujo parcial 26' un flujo parcial del dispositivo 10, mientras que el otro flujo parcial se reconduce a través del conducto de flujo parcial 26 a la zona de entrada del reactor anaeróbico 12. Debido a la actividad metabólica de los microorganismos anaeróbicos se realiza en el reactor anaeróbico 12 un desplazamiento del equilibrio cal-ácido carbónico, por lo que una precipitación de cal sobre los aglomerados de microorganismos que actúan como gérmenes de cristalización, lo que influye negativamente a su funcionalidad.

A diferencia del dispositivo 10 mostrado en la figura 1 según el estado de la técnica, el dispositivo 10 representado en la figura 2 para la depuración de agua residual presenta además del reactor anaeróbico 12 y el dispositivo de acidificación previa 14 un dispositivo de flotación por reducción de la presión 30 representado en la figura 2 enmarcado de manera discontinua. Además, el agua residual que va a depurarse se alimenta al dispositivo 10 no a través de un conducto de alimentación de agua residual 22 que conduce al dispositivo de acidificación previa 14, sino a través de un conducto de alimentación de agua residual 22 que conduce al dispositivo de flotación por reducción de la presión 30.

El dispositivo de flotación por reducción de la presión 30 comprende un dispositivo de ajuste del valor de pH 32, al que puede alimentarse a través de un conducto de entrada 20' una sustancia adecuada, por ejemplo disolución de hidróxido de sodio, para el ajuste del valor de pH del agua residual alimentada al dispositivo de flotación por reducción de la presión 30 del reactor anaeróbico 12 a través del conducto de flujo parcial 26 a un valor deseado. Además, el dispositivo de flotación por reducción de la presión 30 comprende un reactor de flotación por reducción de la presión 34, en el que se separa cal del agua residual por medio de la flotación por reducción de la presión. Para este fin, el reactor de flotación por reducción de la presión 34 muestra un conducto de circuito 36 que está unido a la unidad de mezcla 38 y con un reactor de disolución de gas 40. A través del conducto de entrada 20", 20'" pueden añadirse a la unidad de mezcla 38 agentes de precipitación y/o coadyuvantes de floculación, mientras que el reactor de disolución de gas 40 está dotado de un conducto de alimentación de gas comprimido 42.

El conducto de alimentación de agua residual 22 conduce a una unidad de mezcla 43, en la que desembocan igualmente conductos de entrada 21, 21', a través de los cuales pueden añadirse al agua residual que va a depurarse en la unidad de mezcla 43 agentes de ajuste de pH, agentes de precipitación y/o coadyuvantes de

floculación. Desde la unidad de mezcla 43 accede el agua residual que va a depurarse alimentada al dispositivo 10 a través de un conducto de entrada 46 al reactor de flotación por reducción de la presión 34.

En la zona de salida del reactor de flotación por reducción de la presión 34 está previsto un conducto de retorno 44, en el que puede preverse opcionalmente un dispositivo de refrigeración (no representado), que conduce o bien de acuerdo con una primera variante de este ejemplo de realización como conducto de retorno 44a a la zona de entrada del reactor anaeróbico 12 o como conducto de retorno 44b a la zona de entrada del reactor de acidificación previa 14. De igual manera es también posible prever tanto un conducto de retorno 44a como un conducto de retorno 44b, de modo que una parte del agua residual descalcificada, depurada reconducida a través del conducto 44 se conduce a través del conducto de retorno 44a a la zona de entrada del reactor anaeróbico 12 y la otra parte del agua residual descalcificada, depurada reconducida a través del conducto 44 se conduce a través del conducto de retorno 44b a la zona de entrada del reactor de acidificación previa 14. El conducto de retorno 44a puede conducir también en lugar de directamente al reactor anaeróbico 12 tal como se ha representado a un dispositivo de mezcla no representado en este caso, que puede preverse entre el reactor de acidificación previa 14 y el reactor anaeróbico 12 en el conducto 16, en particular antes de la bomba 18.

En el funcionamiento del dispositivo 10 mostrado en la figura 2 se conduce el agua residual que va a depurarse continuamente a través del conducto de alimentación de agua residual 22 a la unidad de mezcla 43, en la que ésta se mezcla con agentes de ajuste de pH, agentes de precipitación y coadyuvantes de floculación alimentados a la unidad de mezcla 43 a través de los conductos de entrada 21, 21', de modo que se ajustan condiciones adecuadas para una precipitación de cal del agua residual, ascendiendo el valor de pH ajustado preferentemente a entre 7,5 y 8,5. De la unidad de mezcla 43 se conduce el agua residual así pretratada a través del conducto de entrada 46 continuamente al reactor de flotación por reducción de la presión 34. Además, un flujo parcial del agua residual depurada, retirada continuamente del reactor anaeróbico 12 a través del conducto 24 se conduce a través del conducto de flujo parcial 26 al dispositivo de ajuste del valor de pH 32, en el que el agua residual que va a depurarse se mezcla con el agente de ajuste de pH alimentado al dispositivo de ajuste del valor de pH 32 a través del conducto de entrada 20' y se ajusta a condiciones adecuadas para una precipitación de cal. Preferentemente, la proporción del flujo parcial alimentado al dispositivo de ajuste del valor de pH 32 a través del conducto de flujo parcial 26 asciende, con respecto al flujo total extraído del reactor anaeróbico 12 a través del conducto de descarga 24, a del 5 % al 80 % y de manera especialmente preferente del 30 % al 50 %. Además se prefiere que el valor de pH de este flujo parcial se ajuste mediante la adición del agente de ajuste del valor de pH, preferentemente disolución de hidróxido de sodio, a de 7,5 a 8,5. Por ejemplo, la concentración de disolución de hidróxido de sodio tras la adición del agente de ajuste del valor de pH puede ascender, con respecto a una disolución al 50 % en peso, a de 0,2 a 0,6 l/m³. A continuación se conduce la mezcla así generada a través de un conducto de alimentación de flotación por reducción de la presión 46' al reactor de flotación por reducción de la presión 34.

Del reactor de flotación por reducción de la presión 34 se extrae a través del conducto de circuito 36 continuamente una parte del líquido que se encuentra en el reactor de flotación por reducción de la presión 34 y este flujo parcial se conduce por la unidad de mezcla 38 y el reactor de disolución de gas 40, antes de que el flujo parcial se reconduzca de nuevo al reactor de flotación por reducción de la presión 34. En la unidad de mezcla 38 se añaden al flujo parcial a través de los conductos de entrada 20", 20'" agentes de precipitación y coadyuvantes de floculación, que fomentan la precipitación de cal y la formación de flóculos de cal dimensionados de manera de adecuada para una separación del agua residual. Como agente de precipitación puede usarse por ejemplo polímero de aluminio, mientras que poliacrilamida es un ejemplo de un coadyuvante de floculación adecuado. En el reactor de disolución de gas 40 previsto aguas debajo de la unidad de mezcla 38 se añade un gas comprimido, por ejemplo aire u otro gas que contiene oxígeno o también un gas libre de oxígeno al flujo parcial con el fin de la preparación en la flotación de reducción de gas comprimido posterior a través del conducto de alimentación de gas comprimido 42, y el flujo parcial mezclado con el gas comprimido se solicita con presión, antes de que se reconduzca el flujo parcial así tratado al reactor de flotación por reducción de la presión 34. En el reactor de flotación por reducción de la presión 34 se expande la mezcla solicitada con presión y mezclada con gas repentinamente, de modo que el gas que se encuentra disuelto en el agua se burbujea y suben en forma de burbujas de gas en el reactor de flotación por reducción de la presión 34 hacia arriba. Al mismo tiempo, la cal que se encuentra en el agua forma debido a los agentes de precipitación y coadyuvantes de floculación existentes flóculos de tamaño y estructura adecuados, de modo que éstos se hacen avanzar por las burbujas de gas que suben hacia arriba en la superficie del agua en el reactor de flotación por reducción de la presión 34. Mientras que el lodo de cal que se forma así se elimina a través del conducto de descarga de lodo 48 del reactor de flotación por reducción de la presión 34, el agua depurada y liberada de cal se conduce, dependiendo de la variante de procedimiento, a través del conducto de retorno 44a directamente o a través del dispositivo de mezcla mencionado anteriormente a la zona de entrada del reactor anaeróbico 12 y/o a través del conducto de retorno 44b a la zona de entrada del reactor de acidificación previa 14.

Debido a la precipitación y separación de la cal del agua residual alimentada al dispositivo 10 a través del conducto de alimentación de agua residual 22 y la precipitación y separación de la cal del flujo parcial que procede del reactor anaeróbico 12, alimentado al dispositivo de flotación por reducción de la presión 30, en el dispositivo de flotación por reducción de la presión 30 se reduce la dureza del agua del agua residual alimentada en el reactor anaeróbico 12 a través del conducto de entrada 16 y eventualmente el conducto de retorno 44a hasta un valor adecuadamente bajo, que en el reactor anaeróbico 12 no se deposita ninguna cantidad de cal que perturbe la función de los aglomerados

de microorganismos, de modo que se optimiza la eficacia de depuración del reactor anaeróbico 12.

Conduciéndose el agua residual que va a depurarse, alimentada al dispositivo 10 a través del conducto de alimentación de agua residual 22 en primer lugar al dispositivo de flotación por reducción de la presión 30, antes de ésta se conduzca al reactor anaeróbico 12 situado aguas abajo del dispositivo de flotación por reducción de la presión 30, puede combinarse un dispositivo de microflotación que actúa como dispositivo para la separación de material particulado, antepuesto regularmente al reactor anaeróbico 12 en los dispositivos conocidos por el estado

5 de la técnica con el reactor de flotación por reducción de la presión 34. Debido a ello pueden reducirse los costes del dispositivo 10 considerablemente.

10 En el dispositivo mostrado en la figura 2 están previstos dos conductos de entrada 20', 21 para agentes de ajuste de pH, de los cuales el conducto de entrada 20' a través del dispositivo de ajuste del valor de pH 32 desemboca en el flujo parcial alimentado a través del conducto de flujo parcial 26 del reactor anaeróbico y el conducto de entrada 21 a través de la unidad de mezcla 43 desemboca en el agua residual que va a depurarse alimentada a través del

15 conducto de alimentación de agua residual 22. En lugar de esto puede preverse también únicamente uno de los dos conductos de entrada 20', 21 o en lugar de los dos conductos puede preverse un conducto de entrada que conduce directamente al reactor de flotación por reducción de la presión 34 para agentes de ajuste de pH (no representado). De la misma manera puede prescindirse del conducto de entrada 21' que conduce a la unidad de mezcla 43 para agentes de precipitación y/o coadyuvantes de floculación, de modo que la concentración de agentes de precipitación

20 y/o coadyuvantes de floculación se realiza sólo a través de los conductos de entrada 20", 20"".

El dispositivo 10 representado en la figura 3 de acuerdo con un segundo ejemplo de realización se diferencia del mostrado en la figura 2 debido a que el flujo parcial alimentado al dispositivo de flotación por reducción de la presión

25 30 a través del conducto de flujo parcial 26 del reactor anaeróbico 12 se conduce tras el dispositivo de ajuste del valor de pH 32 no directamente al reactor de flotación por reducción de la presión 34, sino en primer lugar al conducto 36' que conduce a la unidad de mezcla 38. Además está previsto un conducto de circuito 36 que va desde el reactor de flotación por reducción de la presión 34 hasta el conducto 36', que está dotado de una válvula 49, a través de la cual puede abrirse o cerrarse el conducto de circuito. Como alternativa a la forma de realización

30 mostrada en la figura 3, el flujo parcial alimentado al dispositivo de flotación por reducción de la presión 30 a través del conducto de flujo parcial 26 del reactor anaeróbico 12 tras el dispositivo de ajuste del valor de pH 32 puede alimentarse también a través de un tubo de aspiración de una bomba de presión al reactor de disolución de gas 40.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la depuración de agua residual, en particular para la depuración continua de agua residual en la industria papelera, en el que se alimenta agua residual que va a depurarse a un reactor anaeróbico (12), se pone en contacto el agua residual en el reactor anaeróbico (12) con microorganismos anaeróbicos para degradar impurezas contenidas en el agua residual, y el agua residual depurada se descarga del reactor anaeróbico (12), en donde al menos una parte del agua residual con el fin de la descalcificación al menos parcial se somete antes de la alimentación al reactor anaeróbico (12) a una etapa de flotación por reducción de la presión, reduciéndose la dureza del agua en la etapa de flotación por reducción de la presión al menos en un 40 %, realizándose el procedimiento en un dispositivo que comprende al menos un reactor (12) para la depuración anaeróbica de agua residual con al menos un conducto de alimentación (16) para la alimentación al reactor (12) de agua residual que va a depurarse así como al menos un conducto de descarga (24) para la descarga de agua residual depurada del reactor (12), en donde el dispositivo (10) comprende además un dispositivo de flotación por reducción de la presión (30) que presenta un reactor de flotación por reducción de la presión (34), que está unido al menos a un conducto de descarga (24) del reactor anaeróbico (12) a través de un conducto de alimentación de flotación por reducción de la presión (46") de manera que al menos un flujo parcial del agua residual depurada extraída del reactor anaeróbico (12) a través del conducto de descarga (24) puede conducirse al reactor de flotación por reducción de la presión (34), presentando el dispositivo de flotación por reducción de la presión (30) presenta un conducto de retorno (44, 44a, 44b) que va desde el reactor de flotación por reducción de la presión (34) directa o indirectamente hacia el reactor anaeróbico (12), al menos un conducto de alimentación (42) para un gas comprimido así como un dispositivo de disolución de gas (40), que está unido al reactor de flotación por reducción de la presión (34) a través de un conducto (36, 36') y en el que desemboca el conducto de alimentación de gas comprimido (42), desembocando el conducto de alimentación de agua residual (22) en una unidad de mezcla (43) y desde allí a través de un conducto de alimentación (46) desemboca en el reactor de flotación por reducción de la presión (34), presentando la unidad de mezcla (43) un conducto de alimentación (21) para agentes de ajuste de pH, a través de cual se añade al agua residual en el procedimiento agentes de ajuste de pH.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el agua residual en la etapa de flotación por reducción de la presión se ajusta a un valor de pH neutro o alcalino entre 7 y 10, preferentemente entre 7 y 9 y de manera especialmente preferente entre 7,5 y 8,5, se mezcla con gas y se aplica presión, antes de que se exponga el agua residual así tratada a una presión reducida.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** se añade al agua residual antes o durante la etapa de flotación por reducción de la presión al menos un agente de precipitación y/o al menos un coadyuvante de floculación, en el que el al menos un agente de precipitación es preferentemente poli(cloruro de aluminio) y/o el al menos un coadyuvante de floculación es preferentemente poliacrilamida.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el agua residual que va a depurarse se alimenta continuamente a un dispositivo de flotación por reducción de la presión (30), en el que tiene lugar la etapa de flotación por reducción de la presión, y allí se mezcla con al menos una parte del agua residual descargada continuamente del reactor anaeróbico (12) y del dispositivo de flotación por reducción de la presión (30) se descarga continuamente agua residual al menos parcialmente descalcificada, que se conduce a un reactor de acidificación previa (14) así como desde allí continuamente al reactor anaeróbico (12).
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el agua residual que va a depurarse se alimenta continuamente a un dispositivo de flotación por reducción de la presión (30), en el que tiene lugar la etapa de flotación por reducción de la presión, y allí se mezcla con al menos una parte del agua residual descargada continuamente del reactor anaeróbico y del dispositivo de flotación por reducción de la presión (30) se descarga continuamente agua residual al menos parcialmente descalcificada, que se conduce continuamente al reactor anaeróbico (12) y/o se descarga al menos parcialmente del dispositivo (10) y se usa de nuevo en un procedimiento de producción.
6. Procedimiento según la reivindicación 4 o 5, **caracterizado por que** el agua residual depurada, descargada continuamente del reactor anaeróbico (12) se separa en dos flujos parciales, de los cuales uno se retira del dispositivo, conduciéndose el otro flujo parcial al dispositivo de flotación por reducción de la presión (30), ascendiendo el flujo parcial alimentado al dispositivo de flotación por reducción de la presión (30), con respecto al flujo total descargado del reactor anaeróbico (12), a entre el 5 % y el 80 % y de manera especialmente preferente entre el 30 % y el 50 %.
7. Dispositivo para la depuración de agua residual, en particular para la depuración continua de agua residual en la industria papelera según una de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende al menos un reactor (12) para la depuración anaeróbica de agua residual con al menos un conducto de alimentación (16) para la alimentación al reactor (12) de agua residual que va a depurarse así como al menos un conducto de descarga (24) para la descarga de agua residual depurada del reactor (12), en donde el dispositivo (10) comprende además un dispositivo de flotación por reducción de la presión (30) que presenta un reactor de flotación por reducción de la presión (34), que está unido al menos a un conducto de descarga (24) del reactor anaeróbico (12) a través de un conducto de

- alimentación de flotación por reducción de la presión (46') de manera que al menos un flujo parcial del agua residual depurada retirada del reactor anaeróbico (12) a través del conducto de descarga (24) puede conducirse al reactor de flotación por reducción de la presión (34), presentando el dispositivo de flotación por reducción de la presión (30) un conducto de retorno (44, 44a, 44b) que va desde el reactor de flotación por reducción de la presión (34) directa o indirectamente hacia el reactor anaeróbico (12), al menos un conducto de alimentación (42) para un gas comprimido así como un dispositivo de disolución de gas (40), que está unido al reactor de flotación por reducción de la presión (34) a través de un conducto (36, 36') y en el que desemboca el conducto de alimentación de gas comprimido (42), desembocando el conducto de alimentación de agua residual (22) en una unidad de mezcla (43) y desde allí a través de un conducto de alimentación (46) en el reactor de flotación por reducción de la presión (34), presentando la unidad de mezcla (43) un conducto de alimentación (21) para agentes de ajuste de pH.
8. Dispositivo según la reivindicación 7, **caracterizado por que** el dispositivo de flotación por reducción de la presión (30) presenta al menos un conducto de alimentación (20", 20'', 21') para un agente de precipitación y/o un coadyuvante de floculación.
9. Dispositivo según la reivindicación 7 u 8, **caracterizado por que** la unidad de mezcla (43) presenta un conducto de alimentación (21') para agentes de precipitación y/o coadyuvantes de floculación.
10. Dispositivo según una de las reivindicaciones 7 a 9, **caracterizado por que** éste presenta además un dispositivo de acidificación previa (14) que está previsto aguas arriba del reactor anaeróbico (12).
11. Dispositivo según la reivindicación 10, **caracterizado por que** el dispositivo de acidificación previa (14) está unido en su zona de entrada a un conducto de retorno (44b) del dispositivo de flotación por reducción de la presión (30) y en su zona de salida al conducto de alimentación (16) del reactor anaeróbico (12).
12. Dispositivo según la reivindicación 10 u 11, **caracterizado por que** un conducto de retorno (44a) del dispositivo de flotación por reducción de la presión (30) desemboca, directamente o a través de un dispositivo de mezcla dispuesto en el conducto (16) entre el dispositivo de acidificación previa (14) y el reactor anaeróbico (12), en la zona de entrada del reactor anaeróbico (12).

30

Fig. 1

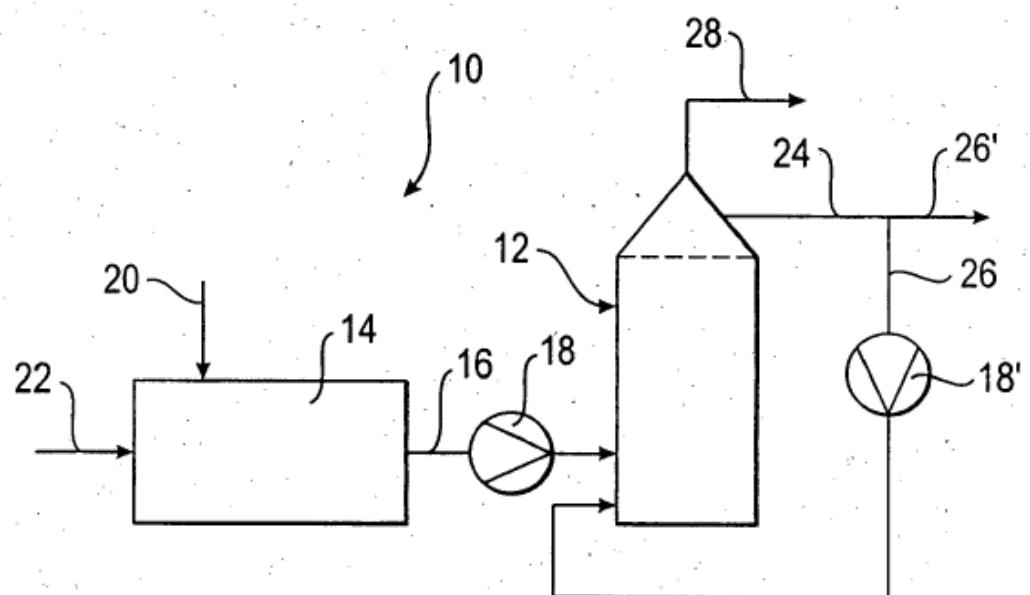


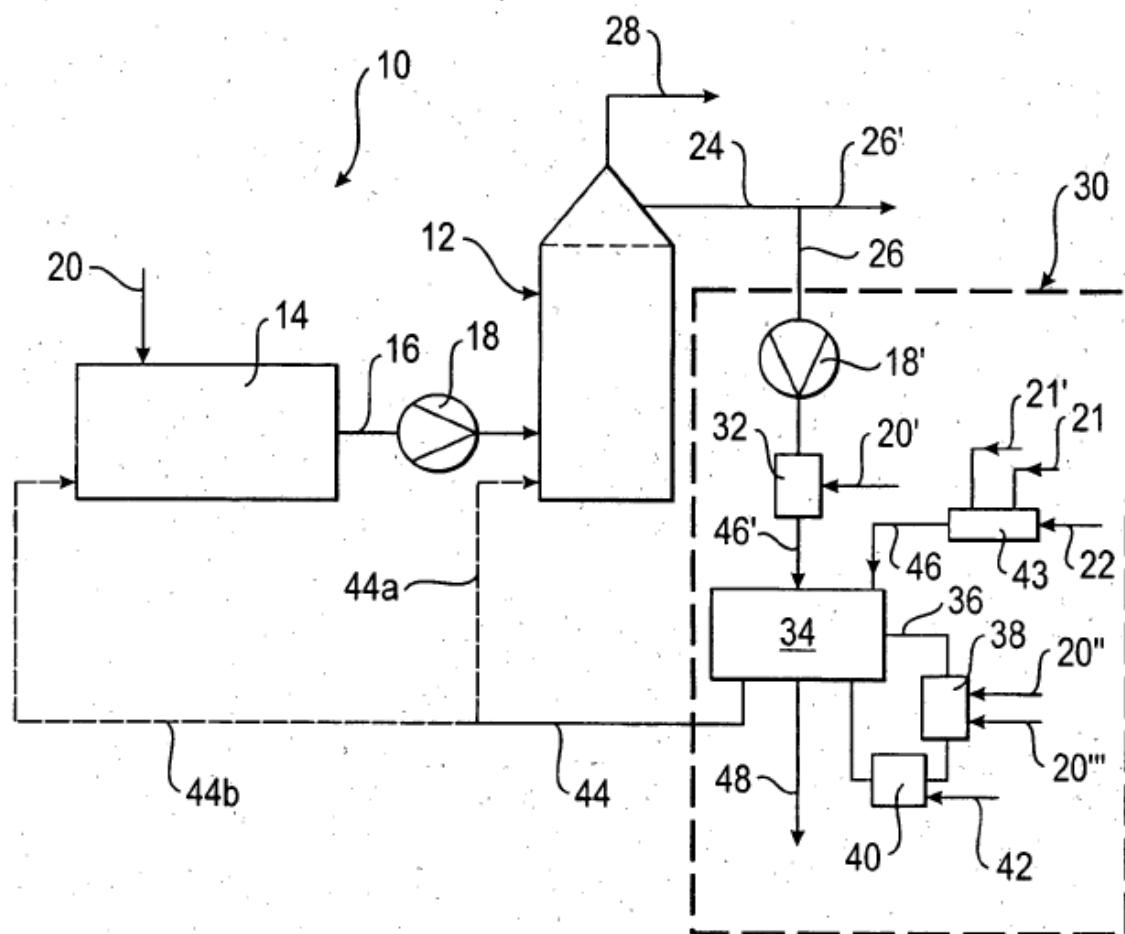
Fig. 2

Fig. 3