

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 399 106**

51 Int. Cl.:

C02F 3/28 (2006.01)

C12M 1/107 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.10.2006 E 06806379 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.12.2012 EP 1943194**

54 Título: **Procedimiento y reactor para el tratamiento anaerobio de aguas residuales mediante un USAB**

30 Prioridad:

25.10.2005 DE 102005050997

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

25.03.2013

73 Titular/es:

**AQUATYX WASSERTECHNIK GMBH (100.0%)
Jahnstrasse 36
88214 Ravensburg , DE**

72 Inventor/es:

**KNÖRLE, ULRICH y
WIDAK, KLAUS**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 399 106 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 reactor para el tratamiento anaerobio de aguas residuales mediante un USAB.

5 La invención se refiere a un procedimiento y un reactor para el tratamiento anaerobio de aguas residuales mediante un manto de lodo anaerobio de flujo ascendente (Upflow Anaerobic Sludge Blanket = UASB) en un reactor, mediante separación por flotación del agua del reactor, la biomasa y el biogás en un primer separador, separación del agua del reactor y el biogás en un segundo separador dispuesto por encima del primer separador, poniéndose en circulación una parte de la biomasa presente como lodo o lechada granulada en el interior del reactor.

10 El procedimiento UASB se usa preferiblemente para el tratamiento de aguas residuales que están cargadas con contaminantes orgánicas, estando presentes las contaminantes en forma disuelta o no disuelta. El Anaerobic Sludge Blanket o manto de lodo anaerobio contiene diferentes especies de bacterias, de las que algunas convierten en primer lugar las contaminantes orgánicas no disueltas parcialmente en sustancias solubles en agua – principalmente ácidos grasos orgánicos – y las hidrolizan. A continuación de ello las sustancias disueltas se transforman en biogás mediante los microorganismos anaerobios contenidos en el manto de lodo y así se limpia el agua residual. El biogás es una mezcla de gases a partir de los componentes metano y dióxido de carbono, así como sulfuro de hidrógeno) y otros gases traza. Si
15 ahora se presupone que está disponible suficiente biomasa para la descomposición de las sustancias contenidas en el agua, se deduce el tiempo de estancia óptimo hidráulico para el agua a limpiar en el reactor desde el grado de contaminantes, expresado por ejemplo como demanda química de oxígeno (CSB), y al grado de limpieza deseado. Se conoce que bajo condiciones favorables se pueden conseguir grados de limpieza de más del 90% con tiempos de estancia hidráulica en el rango de pocas horas.

20 No obstante, luego se pueden obtener rendimientos elevados de forma duradera si se consigue mantener una cantidad suficientemente grande de biomasa de forma duradera en el reactor o lograr un crecimiento de la biomasa. La tasa de crecimiento de la biomasa anaerobia se sitúa en el rango de aproximadamente $0,05 \cdot d^{-1}$ y por consiguiente es menor en comparación con la biomasa aerobia en aproximadamente un orden de magnitud. Se puede garantizar que en el reactor se forma nuevamente al menos la misma biomasa que la que se vierte constantemente. En el caso más desfavorable de una circulación hidráulica elevada con una baja concentración CSB se produce un elevado riesgo de un vertido de la biomasa del reactor, ya que la tasa de formación para la nueva biomasa depende también del substrato disponible o el CSB del agua residual suministrada. De este modo se puede ver que la retención de biomasa efectiva tiene una importancia decisiva en referencia al rendimiento de un reactor anaerobio.

30 En reactores anaerobios conocidos debido a la producción intensiva de biogás aparecen velocidades del flujo ascendente de varios m/h. Si los microorganismos no están fijados mediante cultivo especial en soportes especiales, la elevada velocidad del flujo ascendente provoca una selección de especies que forman cuerpos agregados naturales. Este proceso de selección se basa en que las especies que no forman cuerpos agregados son más ligeras, por ello cada vez más se vierten fuera del reactor y finalmente se expulsan por las especies agregantes. Este proceso de selección se extiende durante intervalos de tiempo de varios meses hasta algunos años y conducen a la formación de una forma de lodo especial que se designa comúnmente como lodo granulado o también "lodo de pellets". Estos "pellets" tienen una
35 velocidad de sedimentación en el agua de 50 a 150 m/h, mientras que los flocúlos de lodo bajan con aproximadamente 1 m/h.

40 Los pellets de lodo están presentes típicamente como granulado esférico o lenticular con diámetros de aproximadamente 0,5 a 2 mm. El granulado está hecho en general de un armazón calizo poroso que se forma en el transcurso del proceso de selección. Las bacterias se establecen en este caso no sólo en la superficie del granulado, como por ejemplo en un granulado de soporte macizo cerrado de un reactor de manto fijo, sino que también se pueden encontrar en las superficies interiores del armazón calizo.

45 Mediante la actuación de los microorganismos se forma el biogás que por un lado asciende como burbujas de gas, por otro lado se adhiere también a la biomasa. Debido al revestimiento parcial del pellet con el biogás disminuye el peso específico del pellet por debajo de la densidad del agua y los pellet ascienden. Los pellets conducidos hacia arriba se capturan mediante colectores de gas dispuestos en los separadores y de nuevo entregan allí el gas poco a poco. El desprendimiento del gas del pellet individual se refuerza mediante la presión hidrostática que desciende hacia arriba en el reactor, de modo que el gas es comprensible y se dilata con presión exterior decreciente. Las burbujas de gas adheridas al pellet se vuelven mayores con presión decreciente. Las fuerzas de fricción y cizallamiento que actúan debido al
50 movimiento de ascensión en el agua tienen por consiguiente una superficie de ataque mayor y se favorece el desprendimiento de las burbujas de gas del pellet. Mediante el desprendimiento del gas del pellet individual aumenta de nuevo el peso específico del pellet de modo que vuelve a caer a la zona inferior del reactor, donde comienza de nuevo el proceso. Mediante la formación y desprendimiento de gas de los pellets se pone en marcha un circuito de flotación y sedimentación.

55 El transporte de sustancias o la difusión en la superficie de los pellets de lodo tiene un papel decisivo para la

transformación de los contaminantes orgánicos. La intensidad del flujo de difusión de una sustancia determinada es proporcional a sus gradientes de concentración del agua residual respecto a los microorganismos en el pellet de lodo. El último está circundado parcialmente por un revestimiento de biogás adherente. El gradiente de concentración y la difusión son inversamente proporcionales al espesor de este revestimiento de gas adherente. La conversión de compuestos orgánicos y, unido a ello, la eficiencia del procedimiento de limpieza se puede aumentar por consiguiente, desprendiéndose el revestimiento de biogás que se adhiere a los pellets de lodo lo más rápidamente posible. Se conoce suficientemente que el revestimiento de gas que se adhiere a los pellets de lodo se reduce debido a una turbulencia elevada, es decir, mediante gradientes de velocidad elevados. No obstante, en este caso se debe tener en cuenta que los movimientos de circulación demasiado violentos en el reactor y las fuerzas mecánicas de cizallamiento unidas con ello pueden perturbar o impedir de forma persistente el proceso de crecimiento del pellet de lodo. En el caso extremo incluso se puede destruir el frágil granulado. Por lo tanto es deseable un movimiento de circulación o gestión de circulación efectivos de la biomasa con separación de gas suave.

El documento EP 0 170 332 A1 da a conocer un procedimiento y un dispositivo para el tratamiento anaerobio de aguas residuales mediante UASB, en el que se usa un recipiente a cuya zona inferior se conduce el agua residual a limpiar y de cuya zona superior se deriva el agua residual limpiada. En el recipiente están operativos microorganismos anaerobios. Entre la entrada del agua residual y el rebosadero para el agua residual limpiada se encuentran acumuladores de gas apilados unos sobre otros en el recipiente en la forma de colectores, cuya zona superior está conectada con un dispositivo de separación de lodo y gas a través de un conducto. Mediante la actuación de los microorganismos se genera gas que se acumula en el lodo, de modo que éste flota hacia arriba como el así denominado lodo flotante. Este lodo flotante se captura mediante el colector y poco a poco entrega de nuevo su gas, de modo que se vuelve más pesado de nuevo y vuelve a bajar hacia el fondo como el así denominado lodo sedimentado. El gas entregado por los pellets asciende hacia arriba a los conductos junto con las burbujas de gas libres, capturadas por los colectores y arrastra en este caso partículas de lodo flotante y líquido que se separan en la cámara de separación de lodo y gas. El gas se evacúa convenientemente mientras que el líquido arrastrado que también puede contener partículas de lodo llega a un conducto de caída que lo conduce de vuelta al fondo del recipiente. De este modo se debe levantar en remolinos el lodo sedimentado en el fondo, lo que debe conducir a un ahuecado de la zona de lodo en la región del fondo y a una mezcla mejor de los microorganismos con el agua residual entrante. No obstante, ya que el agua es relativamente pesada está limitada la cantidad del agua residual transportable mediante el gas flotante y por consiguiente la potencia de arremolinamiento del agua residual reconducida. Además, se conoce que los reactores del agua residual de este tipo deben disponer de alturas de reactor de al menos 11 m antes de que aparezca el efecto allí descrito.

El documento EP 0 244 029 A1 describe un reactor UASB que está dotado de un dispositivo para la separación de las tres fases agua, lodo y biogás. El dispositivo de separación comprende colectores de gas que están conectados con una caja de acumulación de gas a través de aberturas de paso, estando dispuestas las aberturas de paso en la zona superior de los colectores de gas por debajo de la cresta del colector. Adicionalmente cada colector de gas está dotado en el interior de cajas de retención. Las cajas de retención y la abertura de paso están conformadas de manera que se configura un acolchamiento de gas que actúa como barrera para el agua y el lodo.

El documento WO 99/51532 muestra un procedimiento y un dispositivo para la limpieza anaerobia de aguas residuales en un recipiente que recoge aguas residuales y lodo con generación de gases. El gas que generado se captura mediante un acumulador de gas y el circuito accionado mediante el gas ascendente se usa para el ahuecado del lodo sedimentado que ha bajado hacia el suelo del recipiente. Debido a un efecto de elevación del gas ascendente se aspira el lodo sedimentado del fondo y se conduce de forma separada del agua residual a la zona superior del recipiente y de vuelta al agua residual.

Del documento DE 199 31 085 A1 se conoce un procedimiento UASB para la limpieza anaerobia de aguas residuales, en el que el biogás formado y el lodo flotante cargado de gas se capturan en colectores de gas. El gas forma por debajo de una cresta del techo del colector de gas un acolchamiento de gas y se acumula por encima del lodo flotante. El gas llega a través de un conducto a una curva de tubo en forma de U en la que se configura un acolchamiento de gas que impide el ascenso y arrastre del lodo flotante a otro conducto que está conectado con un conducto ascendente. De este modo solo llega gas a través del otro conducto al conducto ascendente. En este el gas provoca un intenso flujo ascendente y de este modo una depresión en la abertura de aspiración del conducto ascendente o conducto de aspiración en la zona superior del recipiente del reactor. La abertura de aspiración se encuentra por debajo de un rebosadero para el agua residual limpiada, es decir, apenas por debajo del nivel de agua y por consiguiente por encima de los dos sistemas de acumulación para el biogás y el lodo flotante. Mediante la depresión en la abertura de aspiración se aspira el medio de la zona superior del recipiente del reactor, es decir, por encima de los dos sistemas de acumulación. El medio es en este caso agua ampliamente limpiada con restos de lodo ascendente.

El documento EP 0 711 732 A2 describe un módulo de un reactor para la limpieza anaerobia de aguas residuales, que contiene un durmiente de rebosadero superior que fija el nivel de agua en el módulo para el agua residual limpiada, varios colectores de captación para el biogás dispuestos escalonados sobre toda la sección transversal del módulo con una derivación a un espacio de acumulación de gas y un conducto de salida superior para el aire de escape no recogido por los colectores de salida. Por encima del separador correspondiente se conduce el aire rico en biogás a una cámara de

acumulación de gas. La extracción del biogás del colector de captación se realiza a través de una tubería corta.

El documento EP-A2- 1 291 326 describe un separador de tres fases para la separación del gas y partículas con al menos dos colectores de acumulación de gas que se extienden en la dirección horizontal y presentan respectivamente una sección de placa, convergiendo las secciones de placa en la dirección hacia abajo y liberando en su extremo inferior al menos un paso para las partículas y el agua. Los documentos DE 103 58 234 A y DE 103 14 933 A se refieren a un procedimiento y un reactor para la limpieza anaerobia de aguas residuales según el principio UASB, en el que se retienen ampliamente pellets activos y los pellets sobrantes se conducen a la cámara de acumulación de gas y desde allí se reconducen a la zona de fondo. El reactor presenta dos sistemas de colectores dispuestos uno sobre otro que comprenden respectivamente una caja de acumulación de gas con varios colectores de acumulación de gas. Cada uno de los colectores de acumulación de gas está conectado con una de las cajas de acumulación de gas a través de una caja de transferencia de gas. La pared de la caja de acumulación de gas tiene una abertura de paso para el gas que está dispuesta por debajo de las cajas de transferencia de gas y por encima del colector de acumulación de gas y su cresta. Para llegar del colector de acumulación de gas a la caja de acumulación de gas los pellets deben flotar en el interior de la caja de transferencia de gas hacia arriba en contra de la fuerza de la gravedad. La disposición según los documentos DE 103 58 234 A y DE 103 14 933 A encarna el principio de un sifón rotativo e impide ampliamente que los pellets pasen del colector de acumulación de gas a través de la caja de transferencia de gas a la caja de acumulación de gas. Además, el documento De 103 58 234 A da a conocer colectores de gas que están dotados de varias paredes de separación dispuestas a la manera de un laberinto. Las paredes de separación le impiden a los pellets salir del colector de acumulación de gas a la caja de transferencia de gas.

Del documento US-A-4 704 252 se conoce un reactor con manto fluidizado de material granulado, en el que el líquido a tratar de forma aerobia y anaerobia fluye desde abajo hacia arriba a través del manto fluidizado. El gas para el líquido a tratar de forma aerobia es aire, oxígeno o aire enriquecido con oxígeno. El gas para el líquido a tratar de forma anaerobia se genera en el mismo manto fluidizado. El reactor se compone de tres secciones con conexión entre sí, es decir, una zona de fluidización, una cámara de desgasificación y una cámara de separación y decantación. En la zona de fluidización se le añade gas al líquido a tratar que atraviesa el manto fluidizado, por lo que se origina una mezcla de tres fases de material gaseoso, líquido y granulado. Esta mezcla fluye a través de un tubo a la cámara de desgasificación en la que el gas sobrante se separa del material granulado y se evacúa a través de un conducto de salida. La mezcla restante de líquido y granulado fluye a la cámara de separación y decantación en la que el granulado se separa del líquido y se reconduce a través del tubo de recirculación al manto fluidizado. El líquido tratado sale del reactor a través de un canal.

El documento EP-A1-0 808 805 da a conocer un procedimiento y un reactor de manto de lodo para la limpieza anaerobia de aguas residuales, en el que debido a las relaciones de flujo especiales el agua residual y la biomasa se mezcla de forma intensa. El reactor comprende un sistema de separación de tres fases con elementos de separación de gas que están dispuestos en el interior del manto de lodo. Mediante el sistema de separación de tres fases se retiene la biomasa mientras que se extraen de forma separada por otro lado el agua tratada y el biogás formado en la fermentación.

El documento WO 02/02467 A se refiere a un dispositivo para la separación de tres fases en el tratamiento de aguas residuales y lodo con un acumulador de gas dispuesto en un tanque de sedimentación para la captación del gas que se produce en el proceso de conversión en el dispositivo o introducido en éste. El acumulador de gas presenta una superficie exterior inclinada respecto a la horizontal y que permite el deslizamiento del lodo de clarificación con un ángulo de inclinación regulable.

Del documento EP-A2-0 629 584 se conoce un reactor de biogás del tipo UASB con colectores de captación para biogás. Los colectores de captación presentan una sección transversal horizontal constante en un rango de altura vertical predeterminada. El reactor se hace funcionar mediante contrapresión de gas, de modo que el nivel de líquido oscila en el rango en altura vertical predeterminada de los colectores de captación.

Los ensayos han mostrado que sólo del 10 al 20% de la biomasa presente en el reactor participa de forma activa en el proceso de limpieza. El 80 a 90% de la biomasa presente prácticamente no contribuye a la limpieza del agua residual. Por lo tanto la reconducción de la biomasa y la participación de una proporción mayor de biomasa del manto de lodo, así como la separación suave del biogás tienen una importancia decisiva para el rendimiento del procedimiento UASB.

Los procedimientos conocidos no dan a conocer métodos para la reconducción efectiva y suave de la biomasa. Debido a su construcción con conductos acodados y estrechos los dispositivos conocidos favorecen las obstrucciones debidas al lodo arrastrado. En el caso de una obstrucción las partes críticas de la instalación sólo son accesibles desde fuera de forma práctica con herramientas especiales, como por ejemplo, empujadores curvados o flexibles, lo que dificulta considerablemente la limpieza y el mantenimiento. Además, la circulación o rendimiento de la biomasa es bajo y muy poca biomasa fresca del manto de lodo coopera de forma activa en la limpieza de las aguas residuales.

El objetivo de la presente invención consiste en proporcionar un procedimiento y un reactor para el tratamiento anaerobio de aguas residuales, que presenten una eficiencia y rendimiento elevados respecto al estado de la técnica y con los que

una proporción mayor de la biomasa presente en el manto de lodo participe activamente en la limpieza del agua residual y se produzca una mezcla parcial del biogás y la biomasa antes de la entrada en un conducto ascendente hacia un separador de gas evitando obstrucciones del conducto ascendente.

5 Este objetivo se resuelve mediante un procedimiento para el tratamiento anaerobio de aguas residuales mediante un manto de lodo anaerobio de flujo ascendente (Upflow Anaerobic Sludge Blanket = UASB) en el que se pone en circulación una biomasa presente como lodo o lechada granulada, que está caracterizada por las etapas de procedimiento siguientes:

(a) Mezcla del biogás y la biomasa en una biomixtura después de la salida del primer separador,

(b) Transporte de la biomixtura y del biogás separado en el segundo separador a un separador de gas

10 (c) Separación del biogás que se origina en el paso del procedimiento (b) en el separador de gas con liberación de la biomasa,

(d) Reconducción de la biomasa liberada hasta por debajo del manto de lodo UASB.

En el procedimiento según la invención la proporción de la biomasa reconducida respecto a la total en el reactor por día es mayor a $0,1 \cdot d^{-1}$, en particular mayor a $2 \cdot d^{-1}$ y especialmente preferido mayor a $10 \cdot d^{-1}$.

15 Además, la presente invención tiene el objetivo de crear un reactor para el tratamiento anaerobio de aguas residuales mediante un manto de lodo anaerobio de flujo ascendente (Upflow Anaerobic Sludge Blanket = UASB), que permita poner en circulación la biomasa. Otro objeto de la invención es por consiguiente un reactor para la realización del procedimiento según la invención. Este reactor comprende un depósito del reactor, conductos, un mezclador de aguas residuales, un primer y al menos un segundo separador para la separación por flotación del agua del reactor, la biomasa y el biogás, uno o varios mezcladores para la mezcla de la biomasa y el biogás y un separador de gas para la separación de la biomasa y el biogás, estando dispuesto el segundo separador verticalmente sobre el primer separador, presentando cada separador uno o varios colectores de gas y están conectados los colectores de gas del primer separador con uno o varios mezcladores para la mezcla de la biomasa y el biogás en una biomixtura y estando unidos los mezcladores a través de un conducto a un separador de gas para la separación de la biomasa y el biogás.

20 Junto a la elevada eficiencia y rendimiento, la invención permite una construcción sencilla y económica de un reactor con baja tendencia a la obstrucción, acceso directo a partes críticas de la instalación y el bajo gasto de mantenimiento unido a ello.

25 La invención se describe a continuación más en detalle mediante ejemplos de realización y en referencia a dibujos esquemáticos. Muestran:

Fig. 1 un reactor con un circuito de biomasa,

30 Fig. 2 colectores de gas de un primer y de otro separador,

Fig. 3a – 3b colectores de gas con mezclador común,

Fig. 3c – 3d colectores de gas con mezcladores separados,

Fig. 4a – 4d mezcla de biogás y biomasa en un mezclador,

Fig. 5a – 5d diferentes mezcladores según la invención,

35 Fig. 6a – 6b mezcladores con caja de retención y abertura de mantenimiento,

Fig. 7 separador con colectores de gas dispuestos unos sobre otros,

Fig. 8 mezclador con dos canales de entrada.

40 La fig. 1 muestra esquemáticamente un reactor según la invención, que comprende un depósito del reactor 1, conductos 22 a 26, un mezclador de aguas residuales 2, un primer y un segundo separador 33, 35 para la separación del agua del reactor 7, biomasa 8 y biogás 9, un mezclador 5 para la mezcla de la biomasa 8 y el biogás 9 y un separador de gas 6 para la separación de la biomasa 8 y el biogás 9. El segundo separado 35 está dispuesto verticalmente sobre el primer separador 33. Cada separador 33, 35 presenta al menos un colector de gas 3, 4, estando unido(s) el/los colector(es) 3 del primer separador 33 con el mezclador 5. El agua residual cargada orgánicamente se le suministra al reactor a través del conducto de alimentación 22 y se entrega del mezclador de aguas residuales 2 dispuesto en una zona de fondo 30 con una ligera turbulencia a una zona de fermentación 31. El agua residual limpia se evacúa a través del conducto de evacuación 25 dispuesto en la zona superior del reactor. En la zona de fermentación 31 se sitúa la biomasa 8 como manto de lodo o lechada granulada. Las bacterias contenidas en la biomasa 8 degradan las sustancias orgánicas del

- 5 agua residual formándose el biogás 9. En la zona de fermentación 31 el biogás 9 se disuelve parcialmente en el agua del reactor 7, por otra parte forma burbujas que se adhieren a la biomasa 8 o ascienden libremente en el agua del reactor 7. La biomasa 8 involucrada en la formación del biogás 9 se vuelve más ligera que el agua del reactor 7 debido al biogás 9 adherido, y comienza a ascender asimismo como las burbujas de gas libres desde la zona de fermentación 31 a una primera zona de arrastre. El biogás 9 generado por la biomasa 8 provoca un flujo dirigido hacia arriba tanto de la biomasa 8 como también del agua del reactor 7.
- 10 Por encima de la primera zona de arrastre 32 está dispuesto el primer separador 33 con uno o más colectores de gas 3 (véase la fig. 2). Las burbujas libres de biogás 9 se captan en los colectores de gas 3 y forma un acolchado de gas. Directamente por debajo del acolchado de gas se forma una capa de flotación compuesta por la biomasa 8 mezclada con el biogás 9. La biomasa 8 y el biogás 9 fluyen del colector de gas 3 al mezclador 5. El mezclador 5 presenta una forma especial que, en conexión con las relaciones de presión hidrostáticas y la dinámica del flujo en el mezclador 5 o en el conducto de transporte 23 conectado con el mezclador 5, provoca una mezcla intensiva y/o un torbellino de la biomasa 8 y el biogás 9 dando una biomixtura. La biomixtura se transporta del mezclador 5 a través del conducto de transporte 23 al separador de gas 6. Como anteriormente la mezcla, el transporte de la biomixtura se basa en las relaciones hidrostáticas y dinámicas del flujo que se debaten brevemente a continuación. En los colectores de gas 3 reina una presión que se obtiene de la suma las columnas hidrostáticas de agua del reactor 7 que se cargan sobre el separador 33 y la presión ambiente de 1 atm y que es de hasta 2 atm según la altura de llenado del reactor. Por otro lado la presión en el conducto de transporte 23 cae constantemente al valor de presión en el separador 35 conectado con el conducto de transporte 23. El separador 35 está dispuesto cerca de la superficie de la columna de agua, de modo que la presión global que reina allí sólo es ligeramente más elevada que la presión ambiente de 1 atm. Del separador 35 al separador de gas 6 cae la presión igualmente aun más hasta 1 atm. En una forma de realización especial de la invención la presión en el separador de gas 6 se puede controlar a través de una válvula de regulación de caudal 27 en el conducto de evacuación 26. En este caso la válvula de regulación de caudal 26 sirve en primer lugar para el control del volumen del biogás 9 que fluye y por consiguiente para el control del espesor del acolchado de gas en los colectores de gas 3, 4.
- 15 El transporte en el conducto de transporte 23 se basa en el principio de tubos comunicantes, correspondiéndose la columna de líquido en el reactor sobre el separador 33 al primer brazo de un tubo en forma de U, el conducto de transporte 23 lleno con la biomixtura y el biogás 9 al segundo brazo y los colectores de gas 3 con los mezcladores 5 a la parte curvada en U. El conducto de transporte 23 discurre en el depósito del reactor 1 según se muestra en la fig. 1. Asimismo está previsto que el conducto de transporte 23 esté dispuesto parcialmente o totalmente fuera del depósito del reactor 1.
- 20 Junto al principio de los tubos comunicantes también se puede usar el arrastre dinámico por el flujo de la biomixtura debido al biogás 9 que fluye de forma rápida. Una tasa elevada de formación de gas en el reactor en conexión con la pequeña sección transversal del conducto de transporte 23 produce una elevada velocidad y turbulencia en el biogás 9 que sale, por lo que se arrastra la biomixtura en el mezclador 5 y el conducto de transporte 23. Para reforzar el transporte dinámico por flujo de la biomixtura es ventajoso dimensionar la sección transversal del conducto de transporte 23 menor en un factor 1 : 60 a 1 : 400 que la sección transversal del depósito del reactor. Los mezcladores 5 y el conducto de transporte 23 se encuentran preferiblemente en el depósito del reactor 1, no obstante, asimismo pueden estar dispuestos en parte o completamente fuera del reactor del depósito 1.
- 25 La mayor parte de la biomasa 8 flotante mezclada con el biogás 9 se capta en el separador 33 y se transporta al separador de gas 6. El agua del reactor 7 que llega a través del separador 33 a una segunda zona de arrastre 34 sólo arrastra una pequeña cantidad de la biomasa 8 flotante. En la zona de deriva 34 la presión hidrostática disminuye constantemente hasta 1 atm. De este modo el biogás 9 adherido a la biomasa 8 flotante constituye de forma creciente burbujas mayores que se desprenden finalmente. Mediante el desprendimiento del biogás 9 aumenta de nuevo el peso específico de la biomasa 8, de modo que ésta cae de vuelta al fondo del reactor. El apantallamiento debido al primer separador 33 en conexión con la entrega de gas aumentada en la zona de arrastre 34 provoca que el agua del reactor 7 que llega a la superficie de las columna de agua en reactor se evacúa a través del conducto de salida 25 y está prácticamente libre de biomasa 8. El biogás 9 acumulado en los colectores de gas 4 fluye a través del conducto de transporte 23 al separador de gas 6. Los colectores de gas 4 están dispuestos a una pequeña distancia por debajo de la superficie de la columna de agua en el reactor, de modo que la presión hidrostática es ligeramente más elevada de 1 atm, por lo que el biogás 9 se transporte de los colectores de gas 4 al separador de gas 6.
- 30 En el separador de gas 6 se separan la biomasa contenida en la biomixtura y el biogás 9. La biomasa 8 fluye desde el separador de gas 6 de vuelta al reactor a través del conducto de retorno 24 bajo el efecto de la fuerza de la gravedad. En una realización preferida de la invención el conducto de retorno 24 está conectado con el conducto de alimentación 22 de modo que la biomasa 8 reconducida se mezcla con el agua residual que afluye.
- 35 La fig. 2 muestra una sección a través de los separadores 33, 35 con los colectores de gas 3, 4. Los colectores de gas 3, 4 son preferiblemente cuerpos huecos con una pared envolvente poligonal o curvada de manera semicircular en forma de una V invertida o U invertida con una abertura 18 que señala hacia abajo. Cada uno de los colectores 3 está limitado por

paredes frontales planas, presentando al menos una pared frontal una o varias aberturas de paso 19 para la biomasa y el biogás 9. En una forma de realización alternativa de la invención los mezcladores conforman al menos una de las paredes frontales del colector de gas 3. En la configuración de la invención las aberturas de paso (19) están dispuestas en la zona superior de la pared frontal por debajo de la cresta de los colectores de gas (3). De forma similar a los colectores de gas 3, los colectores de gas 4 están limitados por paredes frontales planas, presentando al menos una pared frontal aberturas de paso 21 para el biogás 9. El biogás 9 acumulado en los colectores de gas 4 llega a través de las aberturas de paso 21 y el conducto de transporte 23 al separador de gas 6. Las aberturas de paso 21 están unidas al conducto de transporte 23 mediante conductos de conexión separados o mediante conductos colectores. En otra configuración de la invención las aberturas de paso (21) están dispuestas en la zona superior de la pared frontal por debajo de la cresta de los colectores de gas (4). Según está representado en la fig. 2 los colectores de gas 3, 4 están dispuestos en cada uno de los separadores 33, 35 en dos o más planos horizontales superpuestos. En un plano están dispuestos respectivamente en paralelo y espaciados unos de otros los colectores de gas 3, 4. El agua ascendente del reactor 7 pasa a través de las hendiduras entre los colectores de gas 3, 4 adyacentes y fluye hacia arriba. En cada uno de los separadores 33, 35 las hileras de los colectores de gas 3, 4 están desplazadas unas respecto a otras en los planos superpuestos, de manera que las proyecciones verticales de las aberturas 18 de los colectores de gas 3, 4 forman una superficie cerrada que recubre parcialmente o completamente la sección transversal interior del depósito del reactor 1. Mediante esta disposición en forma de un laberinto de los colectores de gas 3, 4 se capturan prácticamente completamente la biomasa 8 y el biogás 9.

Según se muestra en la fig. 3a en vista en planta y en la fig. 3b en una vista lateral, la invención comprende una forma de realización con un primer separador en el que varios colectores de gas 3 – dispuestos por ejemplo en un plano horizontal – están conectados con el mezclador 5. Además, también los colectores de gas 3 dispuestos unos sobre otros en dos o más planos horizontales se pueden conectar con un mezclador 5 común (véase la fig. 7).

Una forma de realización alternativa de la invención, representada en las fig. 3c y 3d en vista en planta y vista lateral, se refiere a un primer separador en el que los colectores de gas 3 están conectados respectivamente con mezcladores 5 separados. En esta forma de realización los mezcladores 5 están unidos al conducto de transporte 23, por ejemplo, a través de un conducto colector o a través de conductos de conexión separados.

Las fig. 4a a 4d ilustran el modo de funcionamiento de los mezcladores 5. Los mezcladores 5 son cuerpos huecos con una o varias entradas 10 para la biomasa 8 y el biogás 9, uno o varios pasos 11 y uno o varios canales 20, así como una o varias aberturas de salida 12 que están conectadas con el separador de gas 6 a través del conducto de transporte 23. En el ejemplo mostrado en las fig. 4a a 4d, el mezclador 5 conforma una limitación frontal de los colectores de gas 3. El biogás 9 captado en los colectores de gas 3 y la capa situada por debajo de la biomasa 8 flotante fluye a través de las entradas 10 en el mezclador 5. En la fig. 4a se representa una situación en la que la biomasa 8 situada en el mezclador 5 cierra el canal 20 de modo al biogás se le impide salir a través de la abertura de salida 12. Debido a la formación de gas continua en el reactor crece continuamente el grosor del acolchamiento de gas en el colector de gas, se baja el nivel de la biomasa 8 por debajo de las entradas 10 y en el mezclador 5 empuja la biomasa 8, según se muestra en las fig. 4b y 4c, a través del canal 20 y la abertura de salida 12 fuera del mezclador 5 y se transporta a través del conducto 23 al separador de gas 6. En consecuencia el biogás 9 puede salir en una medida aumentada por lo que disminuye el acolchamiento en el colector de gas 3, el nivel de la biomasa 8 flotante aumenta y, según se representa en la fig. 4d, la biomasa 8 fluye nuevamente al mezclador 5.

La fig. 5a a 5b muestran otras formas de realización de los mezcladores 5 según la invención en los que las entradas 10 presentan limitaciones 14, 15 superiores e inferiores y los pasos 11 limitaciones 17 superiores y las limitaciones 17 de los pasos 11 están dispuestas más profundamente que las limitaciones 15 superiores de las entradas 10. Los canales 20 son por ejemplo respectivamente tubulares y discurren rectilíneamente verticalmente hacia arriba. En las ampliaciones según las fig. 5a, 5b y 5d los mezcladores 5 están configurados de modo que las limitaciones 17 superiores de los pasos 11 están dispuestas más profundamente que las limitaciones 14 inferiores de las entradas 10. La fig. 5d ilustra un mezclador que está configurado como tubo en forma de U.

La fig. 6a muestra una forma de realización preferida de la invención en la que los mezcladores 5 están dotados en su lado interior de una o varias cajas de retención 13. Las cajas de retención 13 rodean las entradas 10 y presentan en su lado inferior aberturas 16 que están dispuestas más profundamente que las entradas 10. La biomixtura llega a los canales 20 a través de las aberturas 16 y los pasos 11.

La fig. 6b ilustra otra forma de realización de la invención orientada al mantenimiento y limpieza sencillos de los mezcladores 5 y del conducto de limpieza 23. En esta forma de realización los mezcladores 5 están dotados en su lado inferior de una abertura de mantenimiento 29' y una tapa 29'', cerrando la tapa 29'' las aberturas de mantenimiento 29' de forma estanca a gases.

La fig. 7 ilustra otra forma de realización ventajosa de la invención, en la que el mezclador 5 está dispuesto en el interior del depósito del reactor 1 y está provisto de una abertura 28 que señala hacia abajo. Según se muestra en la fig. 7 el mezclador 5 está conectado con colectores de gas 3 dispuestos en dos (o más) planos horizontales. Alternativamente a

ello los colectores de gas 3 pueden estar provistos respectivamente de mezcladores 5 separados de la forma constructiva mostrada en la fig. 7.

5 En la fig. 8 está representada otra configuración según la invención de los mezcladores 5, en la que las entradas 10 comprenden un primer canal de entrada 20' para el biogás y un segundo canal de entrada 20'' para la biomasa. Los canales de entrada 20', 20'' están dispuestos horizontalmente o están inclinados hacia abajo en la dirección hacia el paso 11. El primer canal de entrada 20' está dispuesto por encima del segundo canal de entrada 20'' y la limitación 17 superior del paso 11 se sitúa por debajo de la limitación 14 inferior del segundo canal de entrada.

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Procedimiento para el tratamiento anaerobio de aguas residuales mediante un manto de lodo anaerobio de flujo ascendente UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) en un reactor, en el que una parte de la biomasa (8) presente como lodo o lechada granulada se pone en circulación, mediante separación por flotación del agua del reactor (7), la biomasa (8) y el biogás (9) en un primer separador (33), mezcla del biogás (9) y la biomasa (8) en una mixtura después de la salida del primer separador (33), separación del agua del reactor (7) y el biogás (9) en un segundo separador (35) dispuesto verticalmente sobre el primer separador (33), transporte de la biomixtura y del biogás (9) separado en el segundo separador (35) a un separador de gas (6), separación del biogás en el separador de gas (6) con liberación de la biomasa (8), y reconducción de la biomasa (8) liberada hasta por debajo del manto de lodo UASB.
- 10 2.- Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el biogás y la biomasa se mezclan de manera hidrostática y/o se arremolinan entre sí por la dinámica del flujo.
- 3.- Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la biomixtura se transporta de manera hidrostática y/o por la dinámica del flujo.
- 15 4.- Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la biomasa reconducida se mezcla con las aguas residuales.
- 5.- Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la proporción de la biomasa reconducida respecto a la biomasa total en el reactor por día es mayor a $0,1 \cdot d^{-1}$, en particular mayor a $2 \cdot d^{-1}$ y especialmente preferido mayor a $10 \cdot d^{-1}$.
- 20 6.- Reactor para el tratamiento anaerobio de aguas residuales mediante un manto de lodo anaerobio de flujo ascendente (Upflow Anaerobic Sludge Blanket = UASB), que comprende un depósito del reactor (1), un conducto de alimentación (22) para aguas residuales a un mezclador de aguas residuales (2), un primer y al menos un segundo separador (33, 35) para la separación por flotación del agua del reactor (7), la biomasa (8) y el biogás (9), en el que el segundo separador (35) está dispuesto verticalmente sobre el primer separador (33), cada separador (33, 35) presenta uno o varios colectores de gas (3, 4) y los colectores de gas (3) del primer separador (33) están conectados con uno o varios mezcladores (5) para la mezcla de la biomasa (8) y el biogás (9) dando una biomixtura y los mezcladores (5) y colectores de gas (4) del segundo separador (35) están unidos a través de un conducto de transporte (23) a un separador de gas (6) para la separación de la biomasa (8) y el biogás (9), un conducto de reconducción (24) para la biomasa (8) del separador de gas (6) al reactor, un conducto de salida (25) para el agua del reactor del depósito del reactor (1) y un conducto de evacuación (26) del separado de gas (6) para el biogás (9).
- 25 7.- Reactor según la reivindicación 6, **caracterizado porque** los mezcladores (5) están unidos al conducto de transporte (23) mediante conductos de conexión separados o mediante conductos colectores.
- 8.- Reactor según la reivindicación 6, **caracterizado porque** la sección transversal del conducto de transporte (23) es menor en un factor 1 : 60 a 1 : 400 que la sección transversal del depósito del reactor (1).
- 30 9.- Reactor según la reivindicación 6, **caracterizado porque** el conducto de transporte (23) está dispuesto parcialmente o totalmente fuera del depósito del reactor (1).
- 35 10.- Reactor según la reivindicación 6, **caracterizado porque** los mezcladores (5) son cuerpos huecos con una o varias entradas (10) para la biomasa (8) y el biogás (9), uno o varios pasos (11) y una o varias aberturas de salida (12), en el que las entradas (10) presentan limitaciones (14, 15) inferiores y superiores y los pasos (11) presentan limitaciones (17) superiores y las limitaciones (17) están dispuestas más profundamente que las limitaciones (15) y más profundamente que las aberturas de salida (12).
- 40 11.- Reactor según la reivindicación 10, **caracterizado porque** las limitaciones (17) superiores de los pasos (11) están dispuestas más profundamente que las limitaciones (14) inferiores de las entradas (10).
- 45 12.- Reactor según la reivindicación 11, **caracterizado porque** cada mezclador (5) está dotado en su lado interior de una o varias cajas de retención (13), porque las cajas de retención (13) rodean las entradas (10), porque los lados inferiores de las cajas de retención (13) presentan aberturas (16) y porque las aberturas (16) están dispuestas más profundamente que las limitaciones (14) inferiores de las entradas (10) y más profundamente que las aberturas de salida (12).
- 50 13.- Reactor según la reivindicación 11, **caracterizado porque** las entradas (10) comprenden un primer canal de entrada (20') para el biogás y un segundo canal de entrada (20'') para la biomasa, porque los canales de entrada (20', 20'') están dispuestos horizontalmente o están inclinados hacia abajo en la dirección del paso (11) y porque el primer canal de entrada (20') está dispuesto sobre el segundo canal (20'').
- 14.- Reactor según las reivindicaciones 10 a 13, **caracterizado porque** los mezcladores (5) están dotados de aberturas

de mantenimiento (29') y tapas (29''), en el que las tapas (29'') cierran de forma estanca a gases las aberturas de mantenimiento (29').

15.- Reactor según las reivindicaciones 10 a 14, **caracterizado porque** los mezcladores (5) están dispuestos parcialmente o completamente fuera del depósito del reactor (1).

5 16.- Reactor según las reivindicaciones 10 a 14, **caracterizado porque** los mezcladores (5) están dispuestos en el interior del depósito del reactor (1).

17.- Reactor según la reivindicación 16, **caracterizado porque** los mezcladores (5) presentan una o varias aberturas (28) que señalan hacia abajo.

10 18.- Reactor según la reivindicación 6, **caracterizado porque** los colectores de gas (3, 4) son cuerpos huecos con una pared envolvente poligonal o curvada de manera semicircular en forma de una V invertida o U invertida con una abertura (18) que señala hacia abajo.

19.- Reactor según la reivindicación 18, **caracterizado porque** los colectores de gas (3) están limitados por dos paredes frontales planas, presentando al menos una pared frontal una o varias aberturas de paso (19) para la biomasa (8) y el biogás (9).

15 20.- Reactor según la reivindicación 19, **caracterizado porque** las aberturas de paso (19) están dispuestas en la zona superior de la pared frontal por debajo de la cresta de los colectores de gas (3).

21.- Reactor según la reivindicación 18, **caracterizado porque** los colectores de gas (3) están limitados por paredes frontales planas, conformando los mezcladores (5) al menos una de las limitaciones frontales de los colectores de gas.

20 22.- Reactor según la reivindicación 18, **caracterizado porque** los colectores de gas (4) están limitados por paredes frontales planas, porque al menos una pared frontal presenta aberturas de paso (21) para el biogás (9) y porque las aberturas de paso (21) están conectadas con el separador de gas (6) a través del conducto de transporte (23), estando unidas las aberturas de paso (21) al conducto de transporte (23) a través de conductos de conexión separados o a través de conductos colectores.

25 23.- Reactor según la reivindicación 22, **caracterizado porque** las aberturas de paso (21) están dispuestas en la zona superior de la pared frontal por debajo de la cresta de los colectores de gas (4).

30 24.- Reactor de gas según la reivindicación 18, **caracterizado porque** los colectores de gas (3, 4) están dispuestos en los separadores (33, 35) en dos o más planos horizontales superpuestos, porque los colectores de gas (3, 4) de un plano están dispuestos en paralelo y espaciados uno de otro, porque entre colectores de gas (3, 4) adyacentes de un plano está presente una hendidura para el paso del agua del reactor (7) y porque en cada uno de los separadores (33, 35) las hileras de los colectores de gas (3, 4) están desplazadas unas respecto a otras en planos superpuestos, de manera que las proyecciones verticales de las aberturas (18) de los colectores de gas (3, 4) forman una superficie cerrada que recubre parcialmente o completamente la sección transversal interior del depósito del reactor (1).

35 25.- Reactor según la reivindicación 6, **caracterizado porque** el separador de gas (6) está dispuesto en el depósito del reactor (1) o fuera del depósito del reactor (1) y por encima del separador (35) superior, porque el separador de gas (6) está conectado con el mezclador de aguas residuales (2) a través del conducto de reconducción y de alimentación (24, 22) y porque el separador de gas (6) está conectado con el conducto de evacuación (26) para la derivación del biogás (9).

26.- Reactor según la reivindicación 25, **caracterizado porque** el conducto de evacuación (26) está equipado de una válvula de regulación de caudal (27).

40

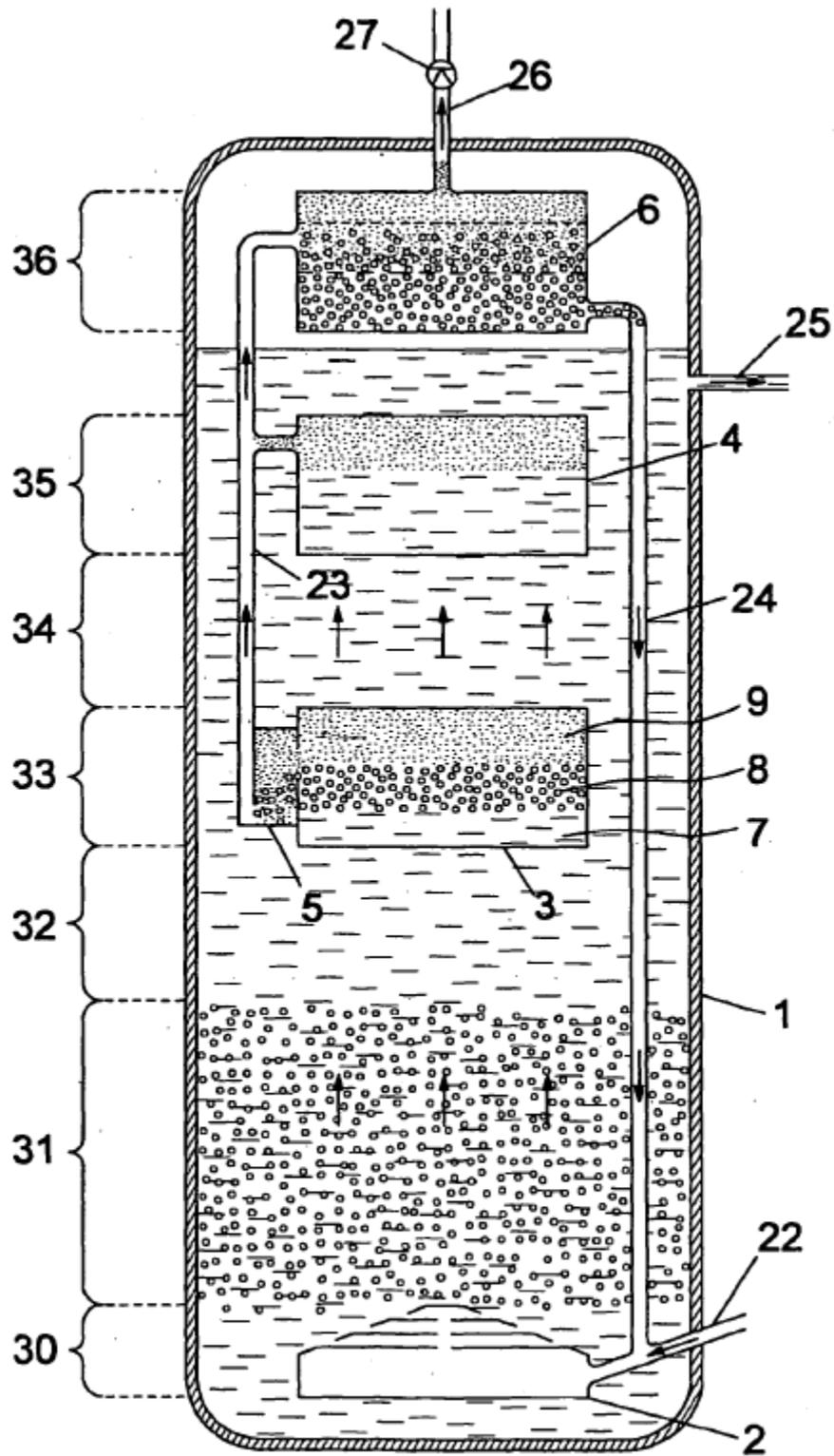


Fig. 1

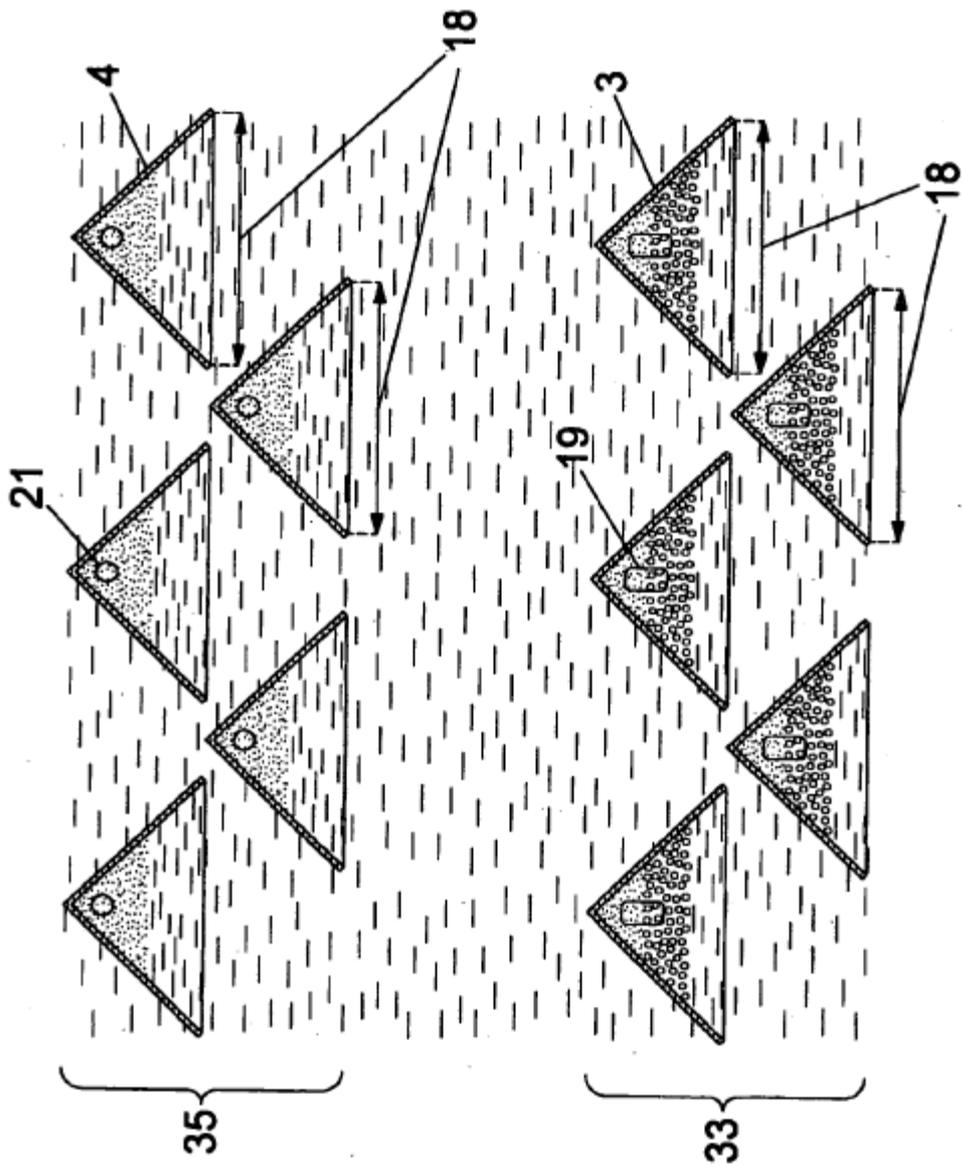


Fig. 2

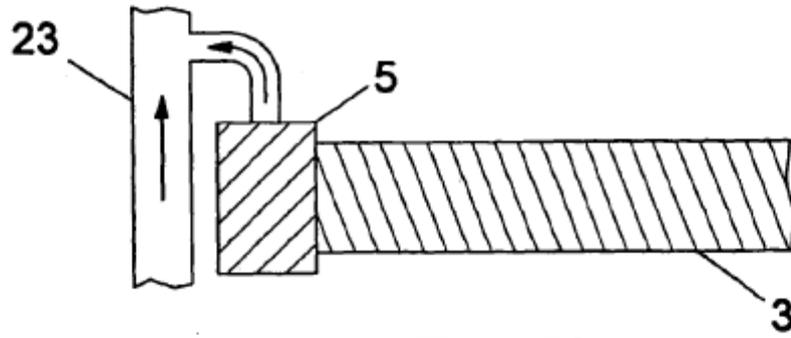


Fig. 3b

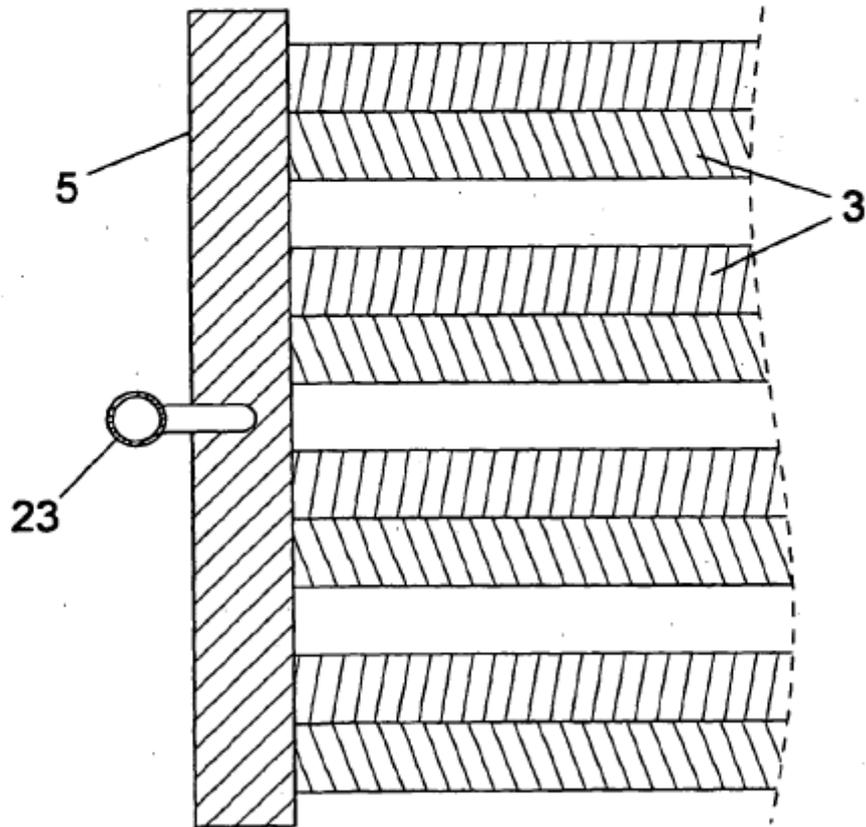


Fig. 3a

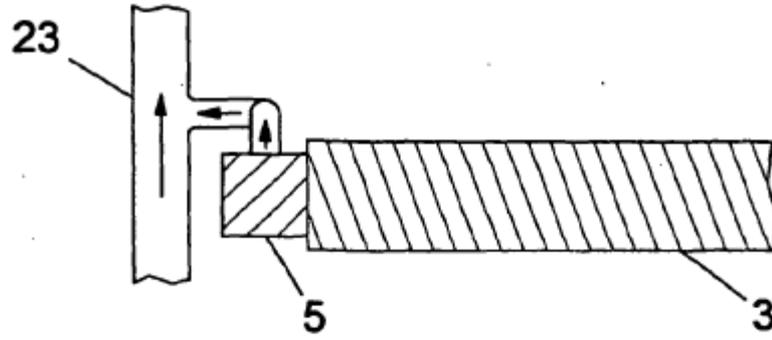


Fig. 3d

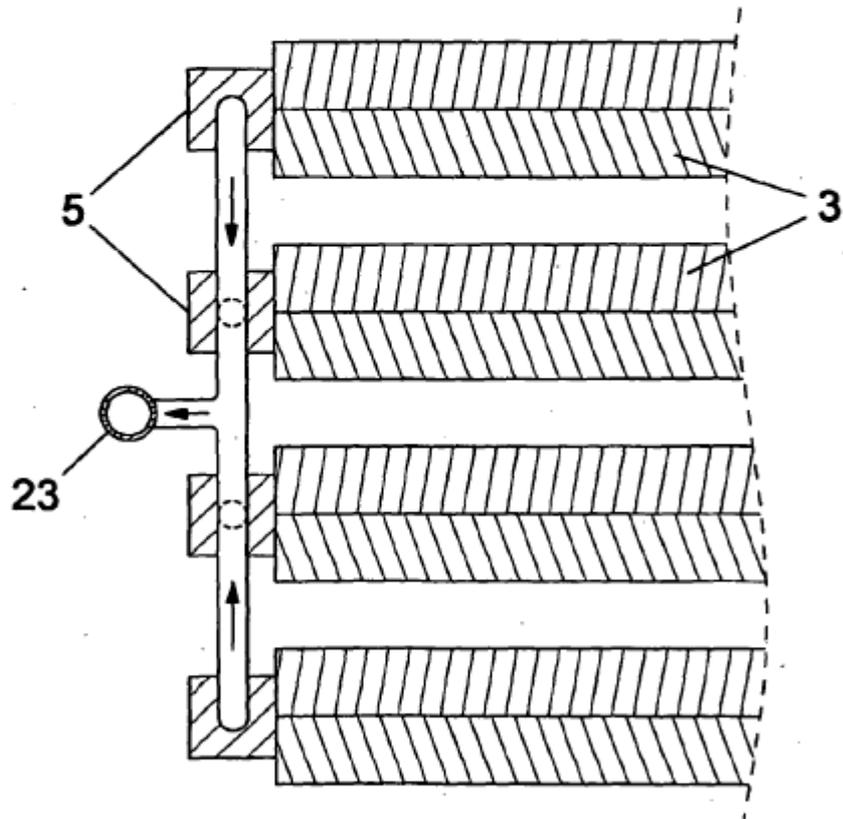


Fig. 3c

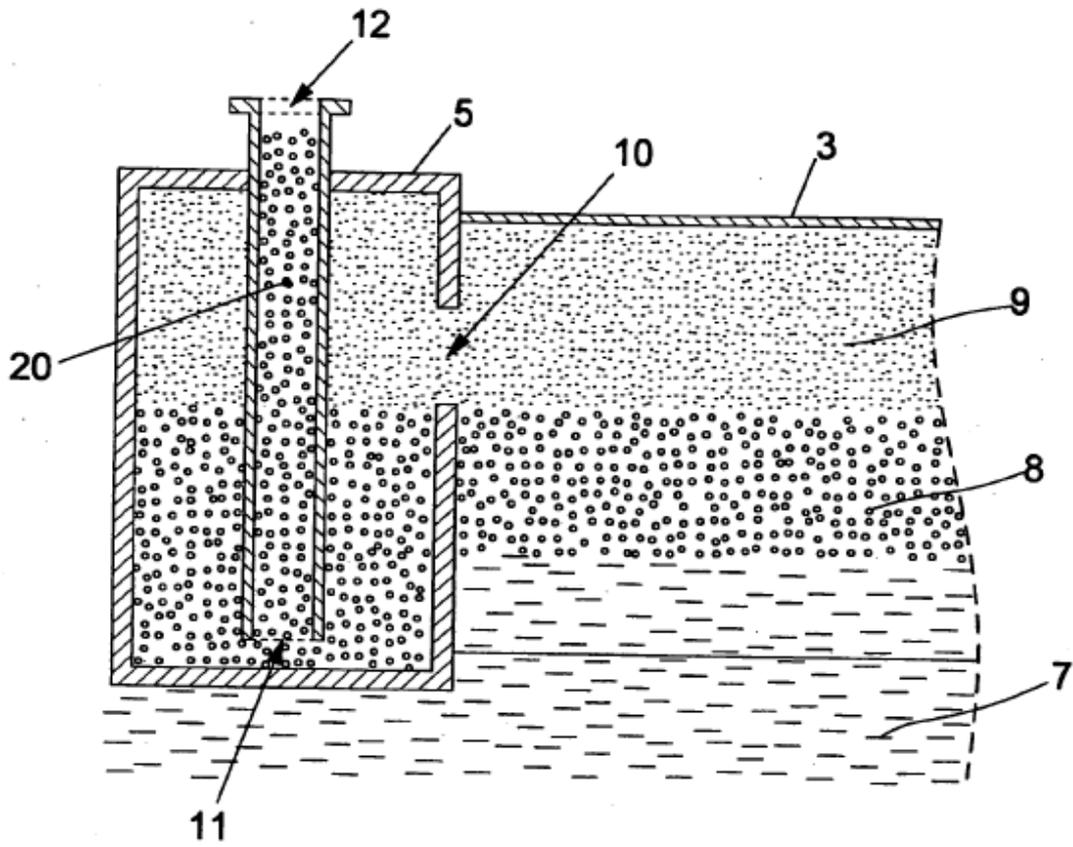


Fig. 4a

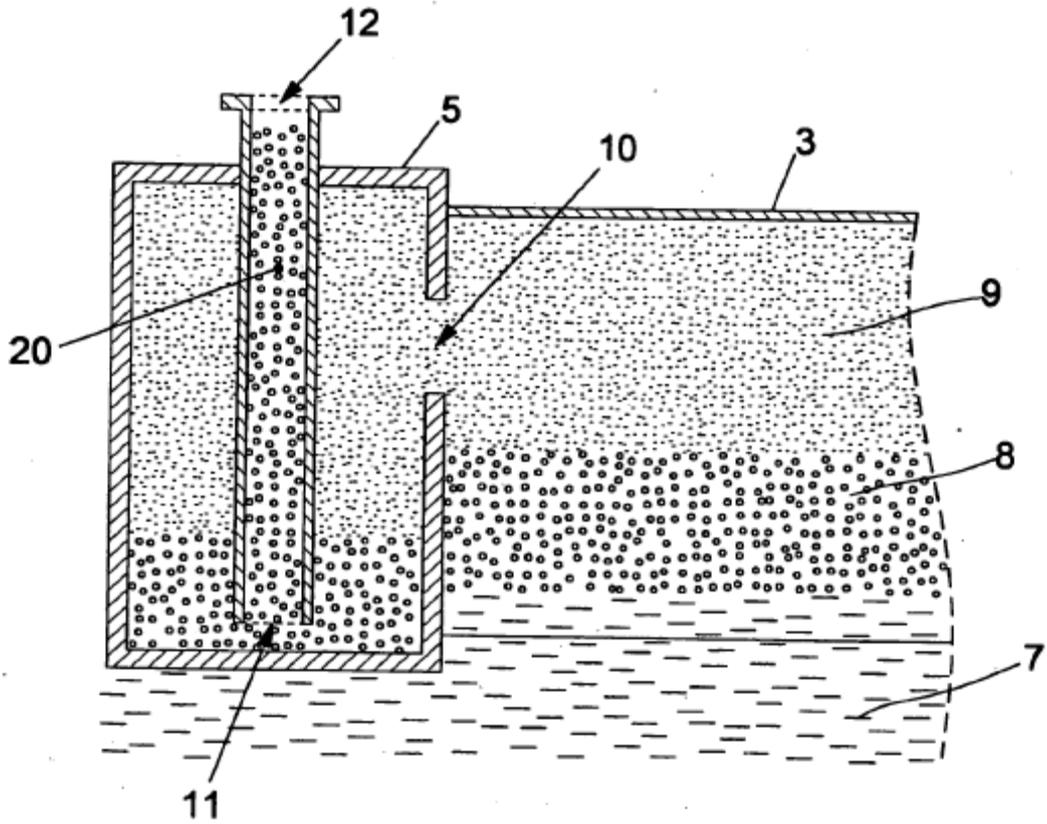


Fig. 4b

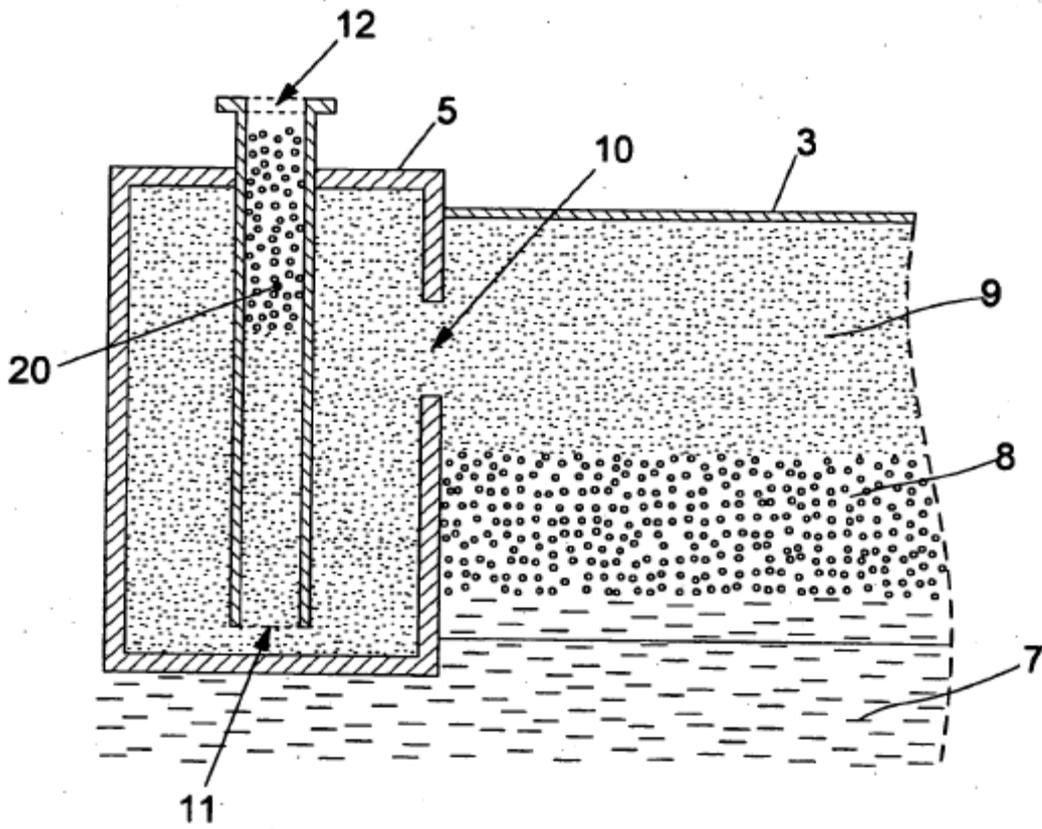


Fig. 4c

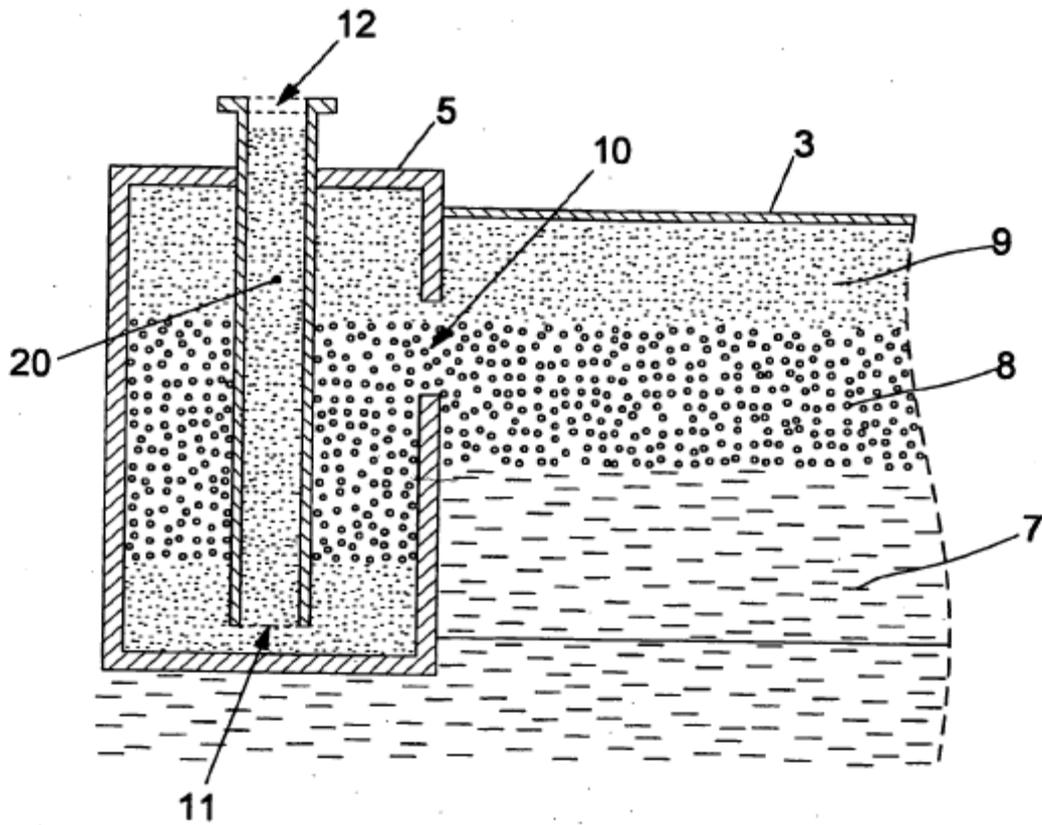


Fig. 4d

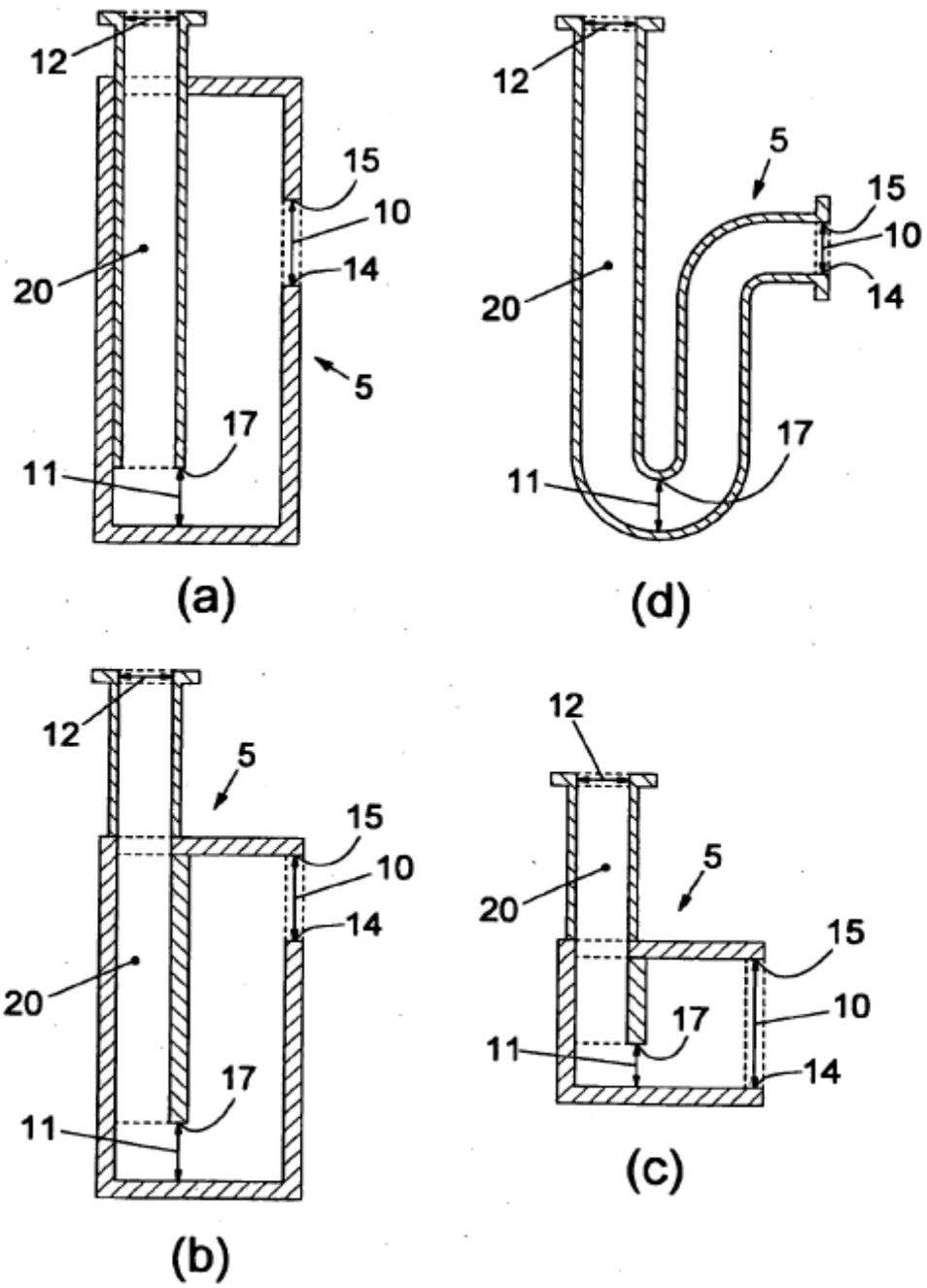


Fig. 5

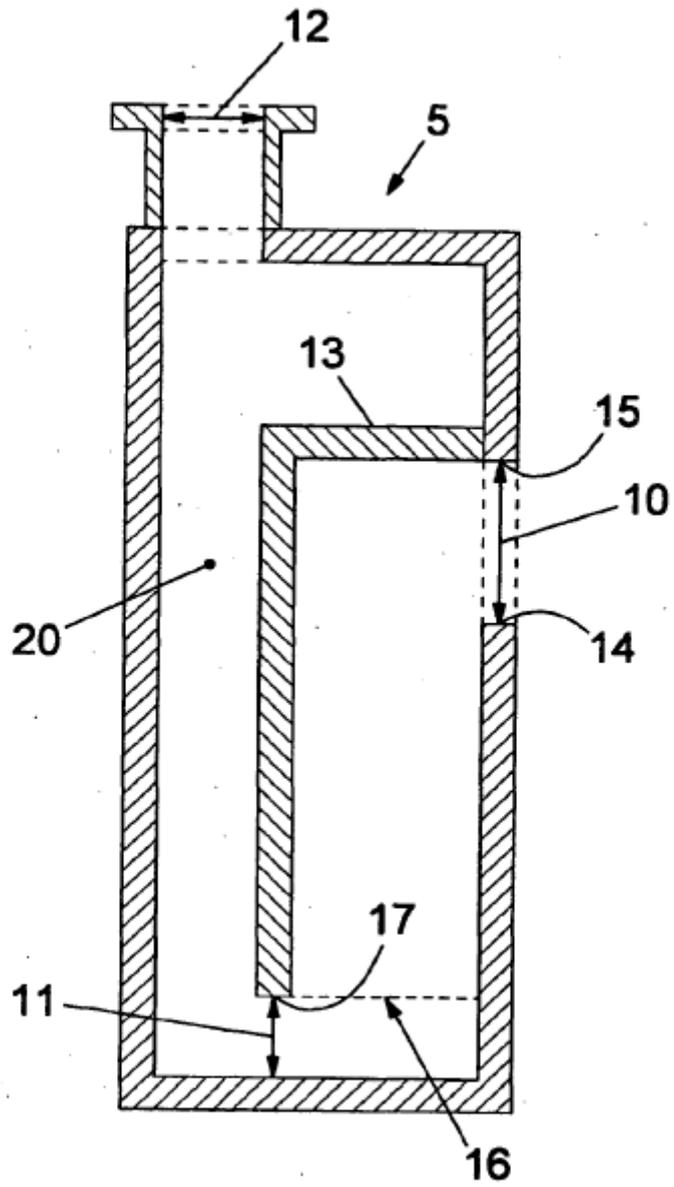


Fig. 6a

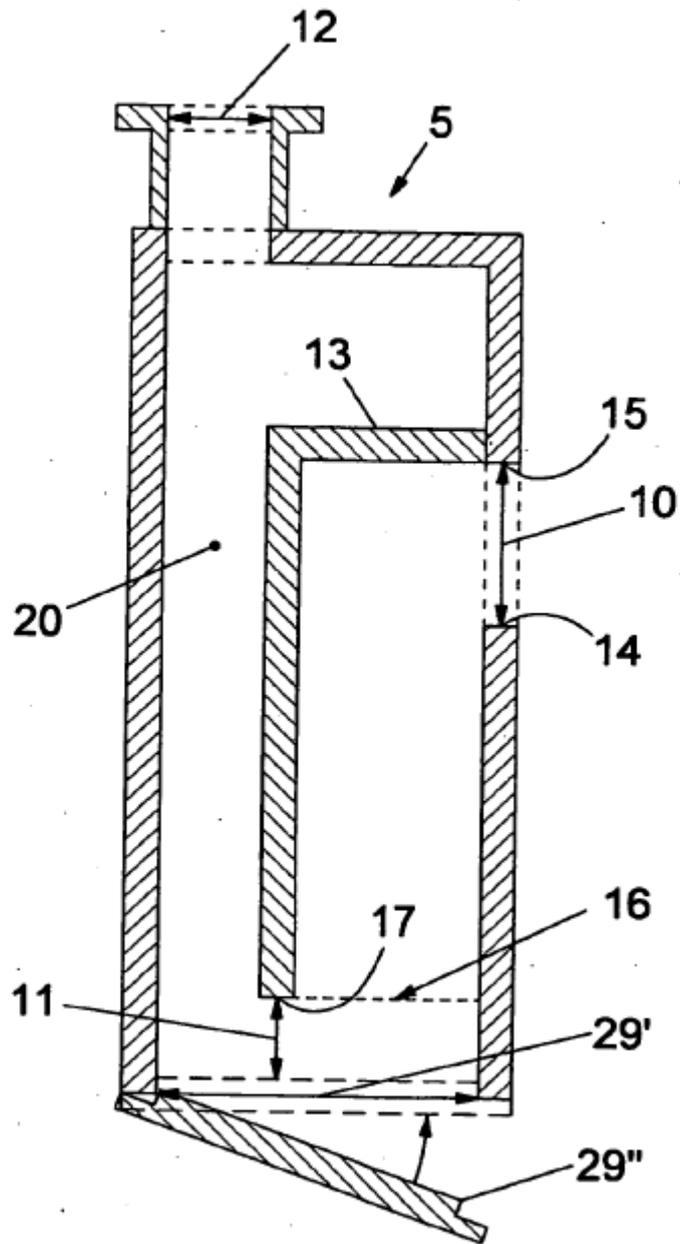


Fig. 6b

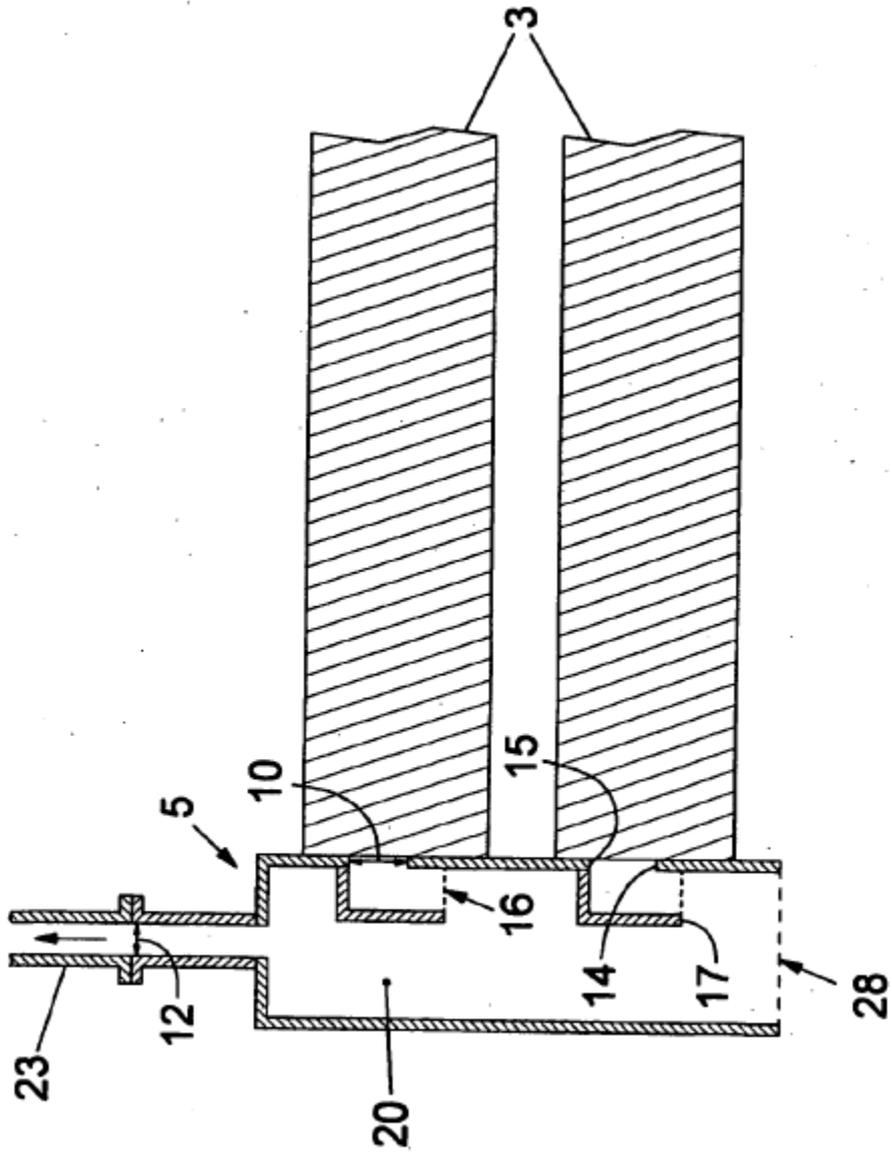


Fig. 7

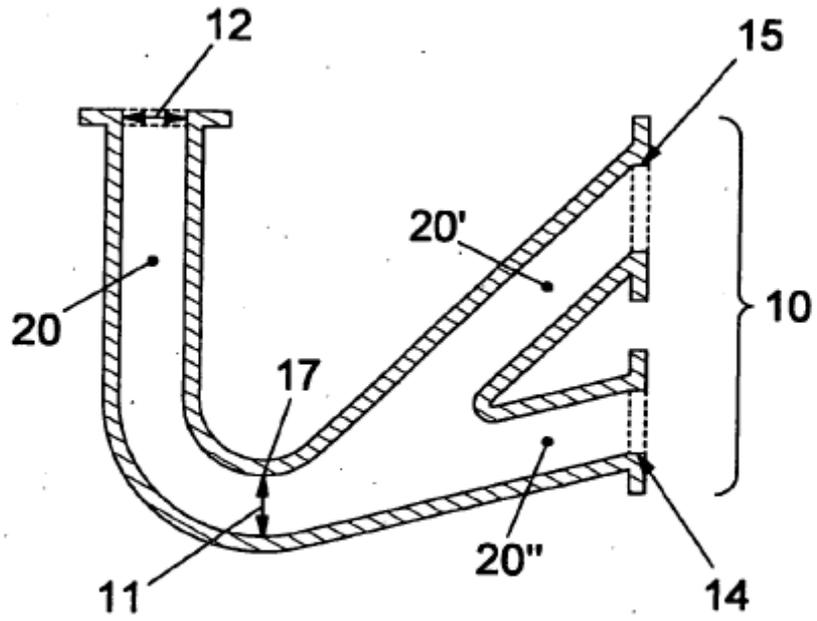


Fig. 8