

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 908 743**

21 Número de solicitud: 202031093

51 Int. Cl.:

**C02F 9/14** (2006.01)

**C02F 3/28** (2006.01)

**C02F 11/04** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

**30.10.2020**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**03.05.2022**

Fecha de concesión:

**22.09.2022**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**29.09.2022**

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE BURGOS (100.0%)  
C/ Hospital del Rey S/N  
09001 Burgos (Burgos) ES**

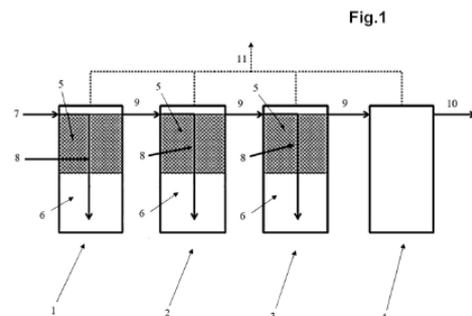
72 Inventor/es:

**RAMOS RODRÍGUEZ, Cipriano;  
DIEZ BLANCO, Victorino;  
CÁMARA NEBREDA, José María y  
EZQUERRA CARPINTERO, Daniel**

54 Título: **Instalación para el tratamiento de aguas residuales**

57 Resumen:

La invención proporciona una instalación para el tratamiento de aguas residuales multi-etapa consistente en cuatro etapas sucesivas conectadas en serie, las tres primeras configuradas como reactores anaerobios híbridos y la última es un decantador para la retención de partículas no deseadas procedentes de las tres etapas anteriores, disponiendo el interior de cada una de las etapas, en su parte superior, un relleno/filtro anaerobio que ocupa un cierto volumen y un cultivo suspendido que ocupa el resto del volumen en contacto con los contaminantes orgánicos presentes en el agua residual de entrada, siendo la circulación en el interior de cada etapa de forma ascendente y presentando todas las etapas de la instalación una línea de recogida de biogás.



ES 2 908 743 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.  
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

**DESCRIPCIÓN**  
**INSTALACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

**5 CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCIÓN**

La presente invención se refiere a una instalación para el tratamiento de aguas residuales, en particular una instalación multi-etapa consistente en cuatro etapas sucesivas conectadas en serie, que permite una mejora considerable de la calidad  
10 físico-química del agua tratada en dicha instalación.

Así, la presente invención se engloba en el campo de la ingeniería ambiental, más concretamente dentro del sector de la depuración de aguas residuales.

**15 ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN**

A nivel nacional, de los 8.000 municipios que existen en España, al menos un 72% son municipios con una población inferior a 2.000 habitantes, de los cuales un 47% cuenta con menos de 500 habitantes. A la vista de estos datos, las regulaciones  
20 sobre el vertido de aguas residuales en estas poblaciones apenas se cumplen, sólo el 40% cumple con los límites de vertido, mientras que el otro 60% o bien no dispone de ningún sistema de tratamiento o bien dispone de sistemas de depuración convencionales que no se mantienen adecuadamente. Esto se debe principalmente a que estos núcleos de población pequeños carecen de la liquidez económica  
25 necesaria para aplicar tecnologías eficaces de depuración del agua, que no sólo incluyen los gastos en obra civil, sino también en mantenimiento.

Incluso si este gasto es viable, se exige a mayores un gasto adicional debido a la vigilancia y la supervisión de la instalación, ya que habitualmente tales poblaciones  
30 no cuentan con mano de obra especializada propia.

Así, en estos casos, se opta por tecnologías convencionales baratas de instalar, no muy eficientes, y que quedan inservibles con el tiempo al no realizarse el

mantenimiento, que suele ser costoso y no constituye una necesidad real de inversión en estos pequeños núcleos.

Una de estas tecnologías de depuración de aguas residuales convencionales y  
5 asequibles para estos núcleos de población son las conocidas fosas sépticas de dos  
compartimentos. En el primero de los compartimentos se produce la sedimentación  
de partículas gruesas y la flotación de partículas grasas y aceites. Durante el tiempo  
que las partículas se encuentran sedimentadas y en condiciones de ausencia de  
oxígeno, las bacterias y otros microorganismos presentes en las partículas comienzan  
10 a digerir la materia contaminante provocando la formación de burbujas que, en su  
ascenso, dificultan la sedimentación de partículas menos pesadas. Es por ello que se  
dispone de una segunda cámara de calma que permite la sedimentación de estas  
partículas más ligeras, mejorando la calidad del líquido de salida.

15 Este sistema es sencillo, fácil de instalar y barato, pero no permite alcanzar las  
calidades de agua de vertido que permiten las tecnologías aplicables a grandes  
urbes.

Esto ha promovido que surjan modificaciones orientadas a mejorar su eficiencia y que  
20 sean factibles de usar en el mismo entorno.

En este contexto, en la patente ES2432824, "Fosa anaerobia de alta velocidad", se  
describe una instalación para la depuración de aguas residuales mediante digestión  
anaerobia de conducción forzada que incluye una tercera cámara y tajaderas o  
25 compuertas que separan las cámaras, de forma que se provoca un flujo pistón en el  
agua entre las cámaras, obligándola a pasar por el lecho con microorganismos que  
se forma en el fondo de cada cámara. Esta disposición permite reducir la carga de  
microorganismos patógenos. En esta misma línea, en la solicitud de patente  
americana US20100012557A1, "Septic tank wastewater treatment system", se  
30 sustituye la segunda cámara de la fosa séptica por un reactor anaerobio de flujo  
ascendente (RAFA o UASB por sus siglas en inglés), permitiendo potenciar el  
tratamiento por microorganismos anaerobios del efluente que abandona la primera  
cámara, mejorando la calidad del agua de salida del sistema y haciéndola apta para

la aplicación al suelo. La patente ES2042424, "Procedimiento para la depuración de líquidos en general, particularmente de las aguas residuales municipales, e instalación que utiliza dicho procedimiento", describe un reactor anaerobio compartimentado (ABR - Anaerobic Baffled Reactor) combinado con una balsa  
5 aireada para tratar aguas residuales domésticas eliminando materia orgánica y nitrógeno amoniacal. Aquí, se modifican las dos últimas cámaras del reactor de forma que en una de ellas se realice la etapa de desnitrificación y la siguiente sirva como decantador para la primera. El efluente del reactor ABR con la materia orgánica contaminante digerida y ausencia de nitratos se envía a una etapa con aireación para  
10 promover la nitrificación del nitrógeno amoniacal de las aguas. El agua tratada que abandona esta fase pasa a un decantador para lograr sedimentar las partículas ligeras que puedan escapar del sistema y bombear una parte del líquido nitrificado al compartimento de desnitrificación del ABR. El resultado de este proceso es un agua tratada con una reducción importante en contaminantes orgánicos (de hasta un 90%  
15 de demanda química de oxígeno) y nitrógeno amoniacal.

En los últimos años se han desarrollado tecnologías de tratamiento de corrientes líquidas residuales de viviendas o de pequeños núcleos urbanos donde se combinan distintos procesos, sobre todo biológicos, para dar lugar a reactores híbridos, tratando  
20 de encontrar una solución para lograr sistemas eficientes de depuración que produzcan aguas aptas para vertidos a reservas acuíferas.

Uno de los principales inconvenientes que tiene el tratamiento anaerobio de aguas residuales de pequeños núcleos urbanos es la escasa liquidez económica de estas  
25 poblaciones, que, en muchas ocasiones, no permite que los sistemas utilizados dispongan de algún sistema de calefacción del agua. Es de señalar que los procesos anaerobios se ven favorecidos a temperaturas alrededor de 30 - 35 °C, y que, si no se dispone de un sistema de calefacción, la temperatura de trabajo puede bajar hasta temperaturas de 20 °C o menos, dependiendo de la climatología de la zona. Esto  
30 provoca que el ritmo de crecimiento microbiano anaerobio, más lento que el aerobio, sea aún menor, lo que obliga a aplicar sistemas que permitan un contacto prolongado entre los microorganismos y la materia orgánica para contrarrestar el efecto de la baja temperatura. En estos casos, la solución estriba en el uso de materiales que permitan

la retención de los microorganismos y de la materia orgánica, evitando la salida de partículas del sistema al quedar retenidas en la matriz del material de relleno, permitiendo a los microorganismos disponer de altos tiempos de contacto para degradar la materia orgánica. Los materiales que se usan habitualmente aquí son variados, desde materiales plásticos de PVC o HDPE hasta inorgánicos como gravilla. También las formas en las que se pueden encontrar son variables: en forma de esferas, láminas o cilíndricas. Cuando se emplean estos materiales es frecuente referirse a ellos como material de relleno o soporte para los microorganismos/biomasa o simplemente relleno.

10

Este es el caso de la solicitud de patente US4676906A, "Hybrid high rate anaerobic treatment process", que describe un proceso de tratamiento anaeróbico donde se combina en un único proceso un reactor de biomasa en suspensión (contactor anaerobio) en la parte inferior con un reactor de biomasa adherida en la parte superior (filtro anaerobio). El líquido residual se distribuye por la parte inferior provocando un flujo ascendente a través del cultivo suspendido, siendo la materia orgánica degradada parcialmente, para alcanzar la parte superior donde se encuentra la biomasa adherida, logrando la degradación casi completa. El agua tratada abandona el sistema por la parte superior una vez que ha atravesado el filtro anaerobio. Este sistema está pensado para aguas residuales muy cargadas y requiere de un soporte interno para el material de relleno del filtro anaerobio, así como está provisto de tuberías internas para lograr la recirculación del agua residual para mantener la agitación en el reactor, además de fondo cónico y tuberías de distribución del agua residual en la parte inferior. La temperatura de trabajo que permite el sistema se encuentra entre 15 y 60 °C.

Igualmente, la solicitud mejicana MX2017009210A, "Aparato, método y sistema anaerobio multi-reactor para el tratamiento de aguas residuales", describe un sistema multi-reactor anaerobio consistente en 2 o más reactores híbridos constituidos por una zona superior formada por un cultivo microbiano adherido a un soporte fijo y una zona inferior formada por un soporte móvil que contiene microorganismos adheridos. Una bomba centrífuga alimenta un tanque de distribución al que están conectados los reactores, que operan en paralelo. El agua residual atraviesa los reactores en sentido

descendente atravesando primero la zona de lecho fijo, lo que permite una degradación parcial de la materia orgánica, así como provocar una regulación del flujo que entra en la zona inferior del reactor, para luego pasar a la zona de lecho fluidizado, donde continua la degradación de los contaminantes. Finalmente, el agua de salida pasa a un depósito colector que permite la salida del agua tratada por rebose. Este sistema permite trabajar en condiciones mesofílicas, a 15 - 35 °C, y necesita de sistemas de bombeo, así como de deflectores que impidan la pérdida de material de relleno del lecho fluidizado, un soporte para el material del lecho fijo y sensores que permitan conocer el grado de expansión del lecho fluidizado.

10

Siguiendo la línea de diseño de los ABR, en los que una cámara/recinto se separa en varios compartimentos, también son conocidos sistemas que cuentan con varias cámaras/recintos sucesivos dispuestos en serie cada uno con una función específica. A este respecto, la solicitud de patente WO0109047A1 describe una instalación consistente en varias etapas sucesivas dispuestas en serie, empleándose la primera etapa para retener partículas insolubles, las 3 - 4 etapas siguientes como filtro anaerobio, ya que se disponen en su interior soportes para el crecimiento de microorganismos en condiciones anaerobias, para pasar a una penúltima etapa donde se incluye un soporte para el crecimiento microbiano con agitación por aire (etapa óxica). Finalmente, una etapa de decantación permite clarificar el agua de salida del sistema. El proceso descrito en dicho documento aparece como una solución versátil, ya que permite diseñar la operación con flujos de agua en sentido ascendente o descendente dentro de cada etapa, así como bombear los fangos retenidos por la decantación a etapas anaerobias anteriores, permitiendo la desnitrificación, o emplear una etapa posterior a los tratamientos anaerobios para efectuar un proceso completamente aerobio mediante la inyección de oxígeno o bien trabajar en ausencia completa de oxígeno.

La instalación para el tratamiento de aguas residuales de la presente invención, en particular una instalación multi-etapa consistente en cuatro etapas sucesivas conectadas en serie, constituye un sistema eficiente de depuración de aguas residuales sin necesidad de bombeo de agua, ya que se aprovecha el desnivel del terreno, así como sin bombeo de gas o aire o de cualquier otro elemento que

necesite una aportación de energía eléctrica. Su sencilla construcción hace que la obra civil sea económica y su mantenimiento se limite a comprobar el agua de salida y vaciar cierta cantidad de volumen cada cierto tiempo (baja frecuencia de operación debido a la baja producción de fangos asociada a los procesos biológicos anaerobios), lo que permite que la supervisión pueda ser realizada por mano de obra no profesional. La sencillez de construcción, así como la ausencia de consumos eléctricos y el bajo mantenimiento hacen que el factor económico no sea un factor condicionante a la hora de escoger la tecnología. Además, la generación de biogás que puede resultar de la aplicación de la instalación de la invención puede ser rentable para la producción de energía eléctrica cuando la tecnología trate altos caudales de aguas residuales (una depuradora que trate el agua residual de varios pueblos). La opción de utilizar los fangos purgados como fertilizantes y el agua tratada como agua de riego supone un valor añadido a la tecnología aquí propuesta.

## 15 **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

La presente invención queda establecida y caracterizada en la reivindicación independiente, mientras que las reivindicaciones dependientes describen otras características de la misma.

20

En la presente descripción, la entrada de agua residual a la instalación aquí proporcionada puede entenderse como el influente, mientras que la salida de agua tratada puede entenderse como efluente. Así mismo, se entenderá el concepto “agua residual” como una corriente líquida con contaminantes orgánicos o residuo líquido, formada tanto por aguas negras como grises, al ser de origen principalmente doméstico o urbano. Igualmente, en la presente descripción, cada una de las fases por las que pasa el agua residual en la instalación se denominan indistintamente como etapas, tanques, entendiéndose el término “reactores” en el caso de aquellas fases donde la actividad es principalmente biológica. La fracción de volumen que es necesario retirar cada cierto tiempo para evitar colmataciones y pérdida de biomasa se denomina aquí fango o lodo, y al proceso de retirada correspondiente purga de fangos o lodos. Igualmente, se usa aquí indistintamente el término biomasa en referencia a cultivo biológico, cultivo microbiológico o simplemente microorganismos.

30

Finalmente, la referencia aquí a biogás se entenderá como el gas generado durante el proceso de digestión microbiológico en condiciones anaeróbicas consistente en una mezcla formada principalmente por metano y dióxido de carbono.

5 El objeto de la invención es una instalación para el tratamiento de aguas residuales multi-etapa conformada por cuatro etapas sucesivas conectadas en serie, donde las primeras tres de estas etapas sucesivas están configuradas como un reactor anaerobio híbrido, funcionando la última etapa como un decantador que favorece la retención de partículas que puedan escapar de las primeras tres etapas, mejorando  
10 la calidad del agua tratada. Dado que en las cuatro etapas citadas puede desprenderse biogás debido a la actividad biológica de los microorganismos presentes en los reactores, la instalación presenta una línea de recogida de biogás común a todas las etapas y conectada a todas ellas por su parte superior.

15 Frente a los sistemas convencionales como la fosa séptica, la principal ventaja de la presente invención radica en que se potencia la actividad biológica de los microorganismos logrando mayores porcentajes de reducción de materia orgánica, además de retener sólidos no sedimentables gracias al filtro/relleno dispuesto en la parte superior de los reactores (etapas 1 a 3). En comparación con los sistemas  
20 aerobios, tales como filtros percoladores o filtros biológicos, el ritmo de crecimiento de los microorganismos anaerobios es menor que el ritmo de crecimiento de los microorganismos aerobios, lo que se traduce en una menor producción de fangos (masa de microorganismos), prolongando el periodo de funcionamiento de la instalación sin necesidad de purgar fangos o lodos para evitar su colapso.  
25 Igualmente, el empleo de digestión anaerobia evita la necesidad de airear el agua con soplantes o bombas de aire, ya que no se necesita oxígeno disuelto en el agua para mantener la actividad biológica (ventaja frente a los sistemas de depuración por oxidación biológica). Esta característica de los procesos anaerobios aplicada a la presente invención permite ahorrar energía.

30 Además, la digestión anaerobia permite convertir la materia orgánica en biogás, una fuente de energía renovable que puede emplearse para generar energía en forma de calor o electricidad (una ventaja frente a cualquier tecnología que emplee procesos

biológicos aerobios). Esta ventaja de producción de biogás permite, en aquellas instalaciones que produzcan el suficiente biogás y éste sea rentable aprovechar, la instalación de equipos eléctricos de bombeo para la limpieza del filtro/relleno anaerobio por recirculación de agua o por recirculación de biogás, así como la  
5 posibilidad de calentar el agua en los reactores, lo que mejora la eficiencia de la instalación, la cual, dado que no es necesario el bombeo de líquidos de ningún tipo, junto con la no necesidad de soplantes, implica un requerimiento energético mínimo. En la instalación aquí descrita, el agua circula por gravedad y por vasos comunicantes de una etapa a otra, lo cual constituye una ventaja frente a los  
10 sistemas industriales citados anteriormente en el estado de la técnica que necesitan recirculación o bombeo de agua o bombeo de reactivos químicos.

Una ventaja adicional de la presente instalación es la sencillez de construcción (ventaja frente a sistemas que emplean membranas o que necesiten soporte para  
15 filtro/relleno), sin necesidad de elementos estructurales en el interior de las etapas que hagan las veces de soporte del material de filtro/relleno, ya que se emplea un material de filtro/relleno de baja densidad, permitiendo su flotación.

Por otra parte, la instalación de la invención ofrece versatilidad de operación, ya que  
20 las etapas son aditivas: en función de la carga contaminante del agua residual o de su caudal puede ser necesario reducir o incrementar una etapa el proceso. La adaptación en este caso es sencilla, ya que sólo es necesario adaptar uno o más reactores en tamaño.

25 Finalmente, otra ventaja de la instalación de la invención se deriva del menor número de etapas que debe recorrer el agua en su tratamiento para lograr la calidad de agua de salida requerida, lo que se traduce en una mayor sencillez de construcción y menor coste de explotación.

### 30 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

Se complementa la presente memoria descriptiva con un juego de figuras, ilustrativas de ejemplos de realización preferentes y nunca limitativas de la invención.

La figura 1 muestra una vista esquemática de una primera forma de realización de la instalación de tratamiento de aguas residuales de la invención, mostrando tres etapas o reactores híbridos conectados en serie y una etapa final de decantación. El biogás se recoge por la parte superior de las etapas y el flujo de agua para todas las etapas es ascendente.

La figura 2 muestra la realización de la figura 1 incluyendo opcionalmente una bomba para el bombeo, durante el mantenimiento de la instalación, de parte del biogás generado al interior de los reactores híbridos.

La figura 3 muestra una realización similar a la de la figura 1 incluyendo opcionalmente una bomba para el bombeo, durante el mantenimiento de la instalación, de parte del volumen de agua contenida en la etapa de decantación hacia los reactores híbridos en contracorriente, es decir, en flujo descendente, para descolmar el material de relleno/filtro anaerobio.

La figura 4 muestra la realización de la figura 1 incluyendo opcionalmente sistemas de calentamiento del agua de los reactores híbridos para mejorar la actividad biológica.

La figura 5 muestra una vista esquemática de una segunda forma de realización de la instalación de tratamiento de aguas residuales de la invención, con una geometría en cono invertido para la etapa de decantación y opcionalmente una bomba para bombear los fangos recogidos en el fondo del decantador hacia los reactores híbridos o para su purga.

### **EXPOSICIÓN DETALLADA DE LA INVENCION**

Tal como se muestra en la figura 1, la presente invención proporciona una instalación para el tratamiento de aguas residuales multi-etapa consistente en cuatro etapas sucesivas (1, 2, 3, 4) conectadas en serie, de las cuales las tres primeras (1, 2, 3) están configuradas como reactores anaerobios híbridos y la última (4) es un decantador para la retención de las potenciales partículas no deseadas procedentes

de las tres etapas anteriores.

Como puede observarse, cada una de las etapas (1, 2, 3) configuradas como reactores híbridos anaerobios presentan, en su parte superior, un relleno/filtro anaerobio (5), que preferentemente ocupa entre un 30 y un 40% del volumen interior de estos reactores (1, 2, 3), destinándose el resto del volumen del reactor a un cultivo suspendido (6), formado por colonias de microorganismos que se mantienen en suspensión y en contacto con los contaminantes orgánicos presentes en el agua residual de entrada y cuya función es una degradación de tales contaminantes orgánicos en condiciones anaerobias, produciendo biogás.

El reactor híbrido anaerobio (1) incluye en su parte superior, una línea de entrada de agua residual (7). En esta etapa (1), la línea de entrada de agua residual (7) se prolonga mediante una línea de bajada (8) hacia el centro y fondo de este reactor (1), de forma que, en el seno del volumen del cultivo suspendido (6) se produce un flujo ascendente homogéneo que hace circular el líquido del volumen de cultivo (6) hacia la parte superior del reactor híbrido anaerobio sucesivo (2), contando éste con una línea de salida (9) en su parte superior y una línea de bajada (8) hacia el centro y fondo de este reactor (2). De forma similar a la etapa (1), esta segunda etapa (2) cuenta con una línea de salida (9) en su parte superior que dirige el volumen de cultivo hacia la etapa (3), incluyendo esta etapa (3) también una línea de bajada (8) del volumen de cultivo hacia el fondo y centro de esta etapa (3) y una correspondiente línea de salida (9) en su parte superior, de la que sale el líquido del volumen de cultivo hacia la etapa (4). Esta etapa o decantador (4) incluye igualmente una línea de salida (10) del agua ya tratada en las etapas sucesivas anteriores (1, 2, 3). Así, la circulación en el interior de cada etapa (1, 2, 3) se lleva a cabo de forma ascendente.

Tal como se observa en esta figura 1, todas las etapas (1, 2, 3, 4) de la instalación de la invención presentan una línea de recogida de biogás (11), producido en las sucesivas etapas 1 a 3, donde se produce una digestión anaerobia de los contaminantes orgánicos contenidos en el volumen de cultivo suspendido (6), así como en la etapa de decantación (4).

Las etapas (1, 2, 3, 4) de la instalación mostrada en esta primera forma de realización tienen todas ellas la misma geometría, preferentemente cilíndrica, de fondo plano y con una cubierta estanca (no mostrada) para asegurar las condiciones anaerobias en el interior. Dichas cubiertas preferentemente incluyen un orificio sellable que permite el acceso a su interior con el fin de purgar los lodos generados en cada etapa (1 a 4) mediante las herramientas adecuadas.

Así, en esta realización, el uso de la misma geometría para todas las etapas facilita las labores de construcción, sobre todo cuando las etapas se pueden construir a partir de módulos o depósitos prefabricados.

Por su parte, el relleno/filtro anaerobio (5) está conformado por un material que sirve de lecho para la adhesión de microorganismos y partículas orgánicas parcialmente digeridas procedentes de la zona de cultivo suspendido (6), de modo que los microorganismos adheridos completan la degradación de esta materia orgánica produciendo más biogás. Este relleno/filtro anaerobio (5) no sólo permite retener la biomasa, facilitando tiempos mayores de degradación de contaminantes orgánicos al retener las partículas, sino que además favorece un efecto filtro que mejora la calidad físico - química del agua por retención de sólidos de pequeño tamaño.

En una forma de realización, este relleno/filtro anaerobio preferiblemente es de tipo desordenado, de densidad inferior a la del agua para asegurar su flotación y con una alta superficie de adhesión microbiana por volumen, en particular por encima de 90 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. El material del relleno/filtro anaerobio no está particularmente limitado, siempre que sea un material inorgánico, pudiendo ser plástico, cerámico, gravas o similares.

En referencia ahora a la figura 2, en ella se muestra la realización de la figura 1 incluyendo opcionalmente un sistema de recirculación del biogás generado para, durante el mantenimiento de la instalación, hacer recircular parte del biogás generado al interior de los reactores híbridos, favoreciendo la mezcla de la biomasa en suspensión con los sólidos sedimentados, y con ello la digestión anaerobia, así como una descolmatación del relleno/filtro anaerobio.

Así, en esta segunda forma de realización, la línea de recogida de biogás (11) incluye una segunda línea de recirculación de biogás (12) asociada a la parte inferior de las etapas (1, 2, 3), de forma que, parte del gas que circula por la línea de recogida de biogás (11) se reintroduce por la parte inferior de las etapas (1, 2, 3), mediante la  
5 línea de recirculación (12), gracias a una bomba (13). Opcionalmente, las líneas de recirculación (12) pueden estar dotadas de válvulas de cerrado adecuadas para seleccionar el reactor al que se recircula este biogás, por ejemplo durante una actuación de mantenimiento de una de las etapas (1, 2, 3) individual.

10 La figura 3 muestra una tercera forma de realización en la que la instalación de la invención tiene una configuración similar a la de la figura 1 y además permite otro método de limpieza del material de relleno/filtro anaerobio.

Así, tal como se observa en esta figura 3, la instalación de la invención presenta  
15 igualmente cuatro etapas sucesivas (1, 2, 3, 4) conectadas en serie, de las cuales las tres primeras (1, 2, 3) están configuradas como reactores anaerobios híbridos y la última (4) es un decantador para la retención de las potenciales partículas no deseadas procedentes de las tres etapas anteriores.

20 Cada una de las etapas (1, 2, 3) configuradas como reactores híbridos anaerobios presentan, en su parte superior, un relleno conformado por un relleno/filtro anaerobio (5), que preferentemente ocupa entre un 30 y un 40% del volumen interior de estos reactores (1, 2, 3), destinándose el resto del volumen del reactor a un cultivo suspendido (6), formado por colonias de microorganismos que se mantienen en  
25 suspensión y en contacto con los contaminantes orgánicos presentes en el agua residual de entrada y cuya función es una degradación de tales contaminantes orgánicos en condiciones anaerobias, produciendo biogás.

En este caso, la entrada de agua residual al reactor híbrido anaerobio (1) se realiza  
30 mediante una línea de entrada de agua residual (7) dispuesta en la parte inferior de dicha etapa (1) y, similarmente a la realización de la figura 1, en el seno del volumen del cultivo suspendido (6) se produce un flujo ascendente homogéneo que hace circular el líquido del volumen de cultivo (6) hacia la parte inferior del reactor híbrido

anaerobio sucesivo (2) mediante una línea de salida (9) en su parte superior y que se prolonga hacia la parte inferior de esta segunda etapa (2). De forma similar a la etapa (1), esta segunda etapa (2) cuenta con una línea de salida (9) en su parte superior que dirige el líquido del volumen de cultivo hacia la etapa (3) mediante una correspondiente línea de salida (9) en su parte superior, de la que sale el líquido del volumen de cultivo hacia la etapa (4). Esta etapa o decantador (4) incluye igualmente una línea de recirculación (14) del líquido hacia la etapa (3) anterior facilitada por una bomba (15) correspondiente.

10 Tal como se observa en esta figura 3, todas las etapas (1, 2, 3, 4) de la instalación de la invención presentan una línea de recogida de biogás (11), producido en las sucesivas etapas 1 a 3, donde se produce una digestión anaerobia de los contaminantes orgánicos contenidos en el volumen de cultivo suspendido (6), así como en la etapa de decantación (4).

15

Las etapas (1, 2, 3, 4) de la instalación mostrada en esta primera forma de realización tienen todas ellas la misma geometría, preferentemente cilíndrica, de fondo plano y con una cubierta estanca (no mostrada) para asegurar las condiciones anaerobias en el interior. Dichas cubiertas preferentemente incluyen un orificio sellable que permite el acceso a su interior con el fin de purgar los lodos generados en cada etapa (1 a 4) mediante las herramientas adecuadas.

20

En referencia al relleno/filtro anaerobio (5), es aplicable lo indicado para las realizaciones anteriores mostradas en las figuras 1 y 2.

25

Así, en esta realización, se bombea (15) parte del líquido del decantador (4) hacia el reactor híbrido anterior (3), circulando el líquido de un reactor a otro por la línea (9) en sentido contrario de operación y siempre provocando un flujo descendente en el interior de los reactores, facilitando la limpieza del relleno/filtro anaerobio (5) de las etapas anteriores.

30

En referencia ahora a la figura 4, en ella se muestra la realización de la figura 1 incluyendo sistemas de calentamiento (16) del agua de los reactores híbridos (1, 2, 3)

para mejorar la actividad biológica. Los sistemas de calentamiento permitirán un mejor rendimiento de los procesos biológicos, siendo posible que la instalación de la invención opere a temperaturas entre 20 - 35 °C de forma estable. Estos sistemas de calentamiento no están particularmente limitados, pudiendo ser eléctricos o de  
5 conducción de agua caliente, y en todo caso se disponen sumergidos en el líquido de los reactores. El acceso a estos sistemas de calentamiento se realizará por la cubierta de cada reactor (1, 2, 3).

Por último, la figura 5 muestra una vista esquemática de una segunda forma de  
10 realización de la instalación de tratamiento de aguas residuales de la invención, con una geometría en cono invertido para la etapa de decantación (4) y un sistema de bombeo para recircular los fangos sedimentados en el decantador (4) hacia los reactores híbridos anaerobios (1, 2, 3). Así, tal como se muestra en esta figura, el sistema de bombeo está conformado por líneas (17) dispuestas en los fondos de las  
15 etapas (1, 2, 3) y del decantador (4) que, asociadas a la bomba (18), permiten recircular los fangos sedimentados en la etapa (4) hacia las etapas anteriores (1 a 3), devolviendo a la instalación biomasa activa que haya podido perderse de los reactores (1 a 3), además de mantener en el interior de los mismos una velocidad ascensional que permite mantener la biomasa de la zona inferior en suspensión y  
20 aportar alcalinidad al medio. Este sistema de bombeo puede usarse también para purgar los fangos del sistema mediante una línea de salida de fangos (19). Por su parte, la geometría cónica con la zona estrecha orientada hacia debajo de la etapa de decantación (4) facilita la concentración de los sólidos sedimentados en el fondo de dicha etapa.

25 En las realizaciones indicadas anteriormente, y siempre que sea posible, la instalación de la invención se realiza de forma soterrada con el fin de aprovechar el efecto aislante térmico de la tierra, lo cual asegura la operación de la instalación en climas fríos.

30 Aunque las realizaciones se han descrito de forma independiente, la presente invención abarca la combinación de dos o más o cualesquiera de las mismas. Así, por ejemplo, las realizaciones aquí descritas pueden combinarse para conformar una

instalación que permita la limpieza del filtro anaerobio y/o la recirculación de fangos y/o el suministro de calor a los microorganismos.

### **Ejemplo**

5

Como un ejemplo para poder operar la instalación de aguas residuales, se muestran ahora las condiciones de operación, así como los resultados de una instalación de la invención experimental.

10 Esta instalación constaba de 3 reactores híbridos conectados en serie (1, 2, 3) y una última etapa de decantación (4).

El caudal de tratamiento de la instalación fue 480 l/día, para una carga orgánica media de 1,2 kg DQO/m<sup>3</sup>·día, dentro de un intervalo de 0,9 y 3,2 kg DQO/m<sup>3</sup>·día.

15

La temperatura de trabajo se mantuvo entre 13 y 20 °C, con una temperatura promedio de 15 °C, y se probaron tiempos de retención hidráulicos de entre 6 - 12 horas.

20 El agua residual presentaba un contenido en materia orgánica medio de 535 mg DQO/l, similar a la composición de las aguas residuales urbanas.

El volumen total de la instalación fue de 320 litros dividido en las cuatro etapas. Cada reactor híbrido (1, 2, 3) tenía un volumen de 80 litros, del cual, un 30% estaba ocupado por relleno/filtro anaerobio (5), estando el resto del volumen dedicado al cultivo biológico suspendido. El material de relleno/filtro anaerobio empleado se fabricó de polipropileno y disponía de una superficie de retención de biomasa de 590 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Su baja densidad permitía su flotación en la superficie de los reactores. En este ejemplo, la etapa (4) de decantación tenía una geometría idéntica a los reactores híbridos (1 a 3), es decir, cilíndrica con base horizontal, con su interior vacío.

30

El tiempo de operación de la instalación experimental fue de 550 días, durante el cual fue necesario retirar un 15% del volumen de fangos de los reactores híbridos una

única vez. Durante el tiempo de operación, esta instalación logró reducciones en DQO de entre un 85 - 95%, con valores de salida de entre 25 - 80 mg/l, siendo la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) un 50 - 60% de la DQO. La concentración de sólidos de salida alcanzó reducciones del 65% durante los 5 primeros meses, para  
5 luego reducirse paulatinamente hasta lograr reducciones del 98 - 99%. Respecto al contenido en nutrientes, se observaron valores de salida inferiores a 25 mg/l de nitrógeno amoniacal y un contenido en fósforo inferior a 1 mg/l.

## REIVINDICACIONES

- 1.-Instalación para el tratamiento de aguas residuales multi-etapa caracterizada por que consiste en cuatro etapas sucesivas (1, 2, 3, 4) conectadas en serie, de las  
5 cuales las tres primeras (1, 2, 3) están configuradas como reactores anaerobios híbridos y la última (4) es un decantador para la retención de partículas no deseadas procedentes de las tres etapas anteriores, donde en el interior de cada una de las etapas (1, 2, 3) se dispone, en su parte superior, un relleno/filtro anaerobio (5) que ocupa un cierto volumen y un cultivo suspendido (6) que ocupa el resto del volumen  
10 en contacto con los contaminantes orgánicos presentes en el agua residual de entrada, siendo la circulación en el interior de cada etapa (1, 2, 3) de forma ascendente y presentando todas las etapas (1, 2, 3, 4) de la instalación una línea de recogida de biogás (11).
- 15 2.-Instalación para el tratamiento de aguas residuales según la reivindicación 1, caracterizada por que el primer reactor híbrido anaerobio (1) incluye en su parte superior, una línea de entrada de agua residual (7) que se prolonga mediante una línea de bajada (8) hacia el centro y fondo de este reactor (1), produciendo un flujo ascendente homogéneo en el seno del volumen del cultivo suspendido (6) que hace  
20 circular el líquido del volumen suspendido hacia la parte superior del reactor híbrido anaerobio sucesivo (2).
- 3.-Instalación para el tratamiento de aguas residuales según la reivindicación 1, caracterizada por que el reactor híbrido anaerobio (2) presenta una línea de salida (9)  
25 en su parte superior y una línea de bajada (8) hacia el centro y fondo de este reactor (2) que dirige el líquido del volumen de cultivo suspendido (6) hacia la etapa (3).
- 4.-Instalación para el tratamiento de aguas residuales según la reivindicación 1, caracterizada por que el reactor híbrido anaerobio (3) presenta una línea de bajada  
30 (8) del volumen de cultivo (6) hacia el fondo y centro de esta etapa (3) y una correspondiente línea de salida (9) en su parte superior, de la que sale el líquido del volumen de cultivo hacia la etapa (4).

5.-Instalación para el tratamiento de aguas residuales según la reivindicación 1, caracterizada por que la etapa o decantador (4) incluye una línea de salida (10) del agua ya tratada en las etapas sucesivas anteriores (1, 2, 3).

5 6.-Instalación para el tratamiento de aguas residuales según la reivindicación 1, caracterizada por que el reactor híbrido anaerobio (1) presenta una línea de entrada de agua residual (7) dispuesta en la parte inferior de dicha etapa (1), produciendo en el seno del volumen del cultivo suspendido (6) un flujo ascendente homogéneo que hace circular el líquido del volumen de cultivo (6) hacia la parte inferior del reactor  
10 híbrido anaerobio sucesivo (2) mediante una línea de salida (9) en su parte superior y que se prolonga hacia la parte inferior de esta segunda etapa (2), presentando esta segunda etapa (2) una línea de salida (9) en su parte superior que dirige el líquido del volumen de cultivo hacia la etapa (3) mediante una correspondiente línea de salida (9) en su parte superior, de la que sale el líquido del volumen de cultivo hacia la etapa  
15 (4), incluyendo esta etapa o decantador (4) una línea de recirculación (14) del agua hacia la etapa (3) anterior facilitada por una bomba (15) correspondiente.

7.-Instalación para el tratamiento de aguas residuales según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que además incluye un sistema de  
20 recirculación del biogás generado asociado a la línea de recogida de biogás (11) conformado por una segunda línea de recirculación de biogás (12) asociada a la parte inferior de las etapas (1, 2, 3) que reintroduce parte del biogás que circula por la línea de recogida de biogás (11) a la parte inferior de las etapas (1, 2, 3) mediante una bomba (13).

25

8.-Instalación para el tratamiento de aguas residuales según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que además incluye sistemas de calentamiento (16) del agua de los reactores híbridos (1, 2, 3).

30 9.-Instalación para el tratamiento de aguas residuales según la reivindicación 1, caracterizada por que las etapas (1, 2, 3, 4) tienen la misma geometría, preferentemente cilíndrica, de fondo plano, y con una cubierta estanca para asegurar las condiciones anaerobias en el interior, incluyendo dichas cubiertas un orificio

sellable que permite el acceso a su interior con el fin de purgar los lodos generados en cada etapa.

5 10.-Instalación para el tratamiento de aguas residuales según la reivindicación 1, caracterizada por que las etapas (1, 2, 3) tienen la misma geometría, preferentemente cilíndrica, de fondo plano, y la etapa (4) una geometría en cono invertido, incluyendo además esta etapa (4) un sistema de bombeo para recircular los fangos sedimentados hacia los reactores híbridos anaerobios (1, 2, 3) conformado por líneas (17) dispuestas en los fondos de las etapas (1, 2, 3) y del decantador (4) y asociadas a una bomba (18).

11.-Instalación para el tratamiento de aguas residuales según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que el relleno/filtro anaerobio (5) ocupa entre un 30 y un 40% del volumen interior de las etapas (1, 2, 3).

15

12.-Instalación para el tratamiento de aguas residuales según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que el relleno/filtro anaerobio (5) es inorgánico, de tipo desordenado, de densidad inferior a la del agua y con una superficie de adhesión microbiana por volumen por encima de  $90 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

20

Fig.1

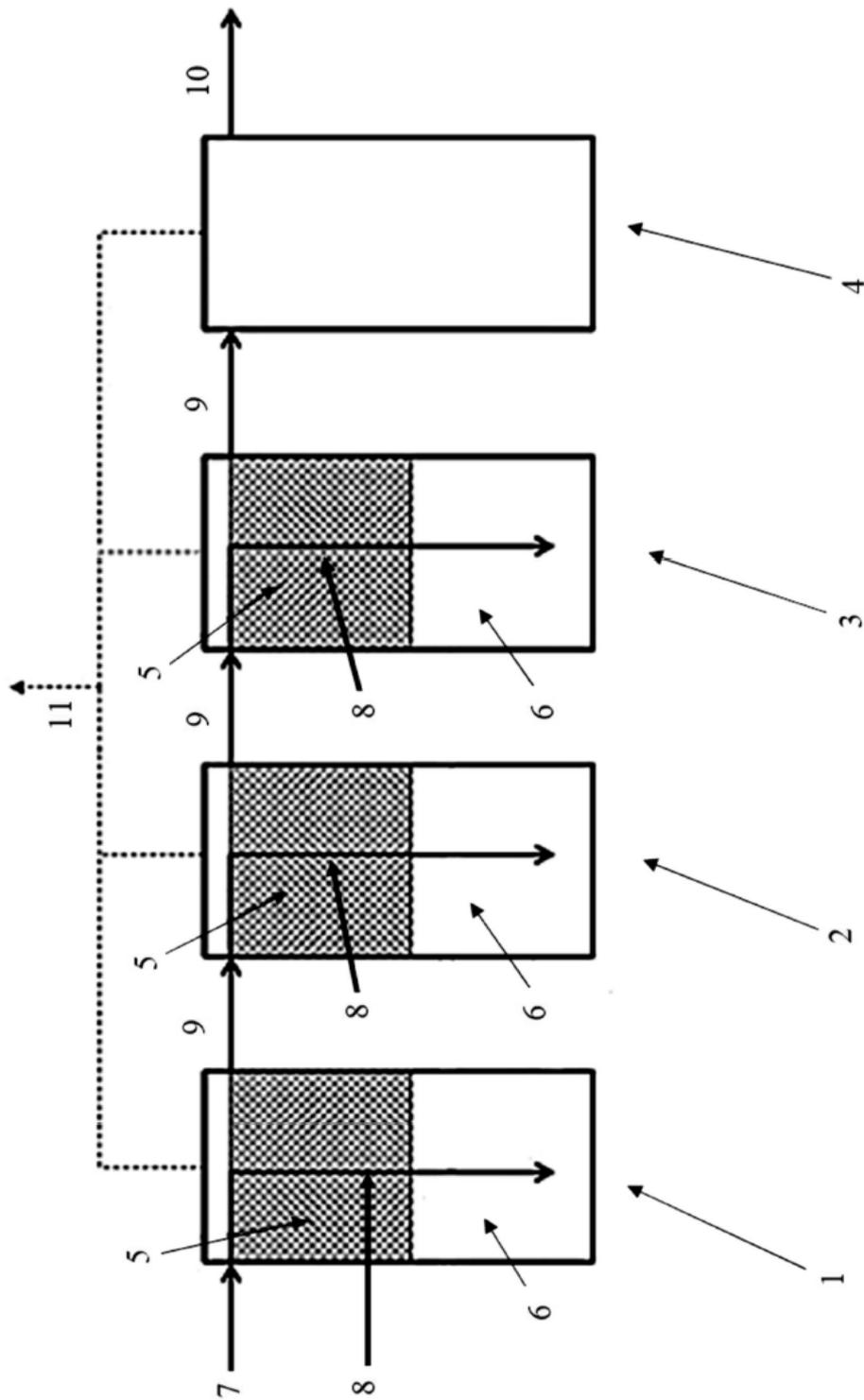


Fig.2

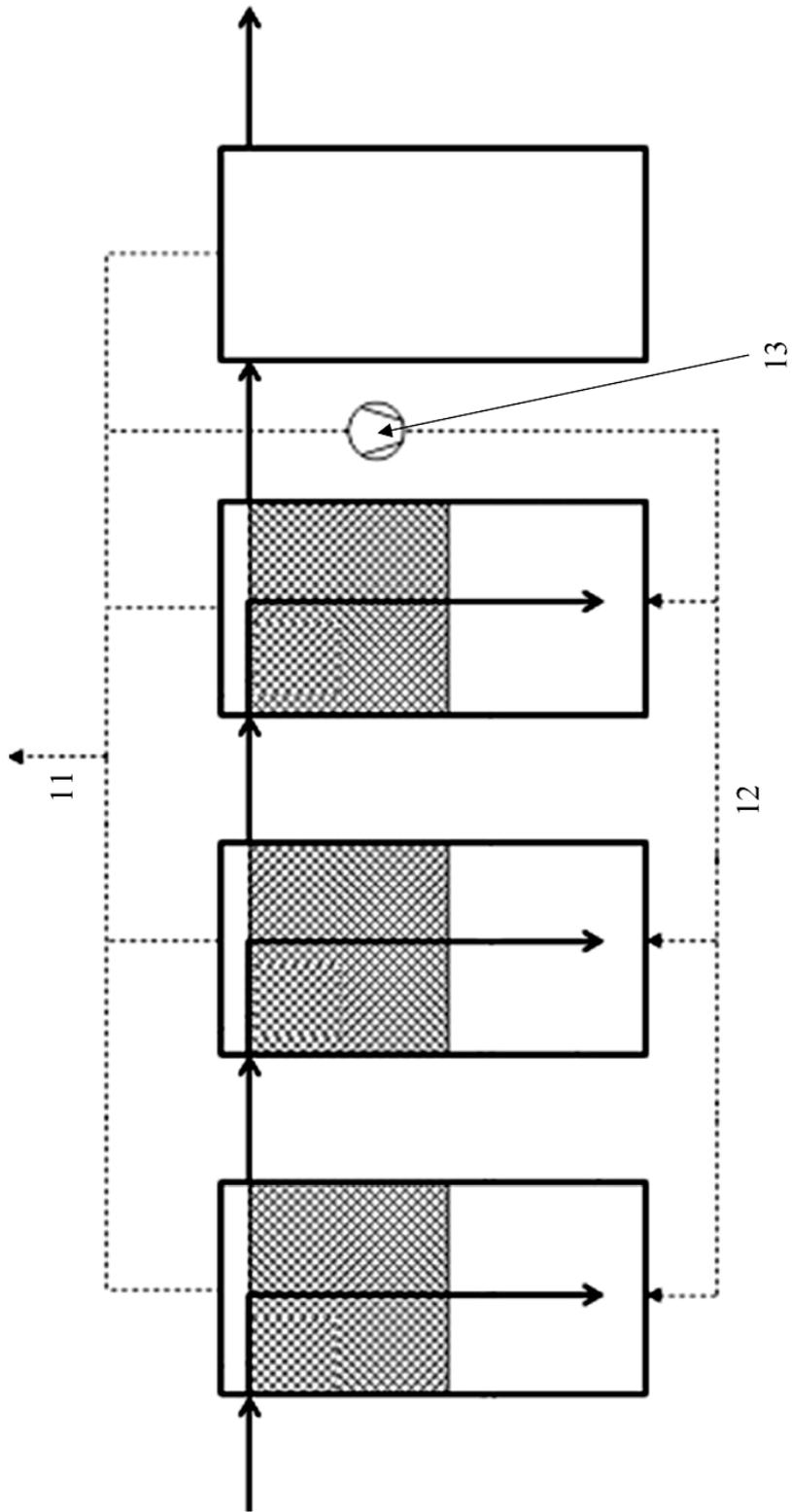


Fig.3

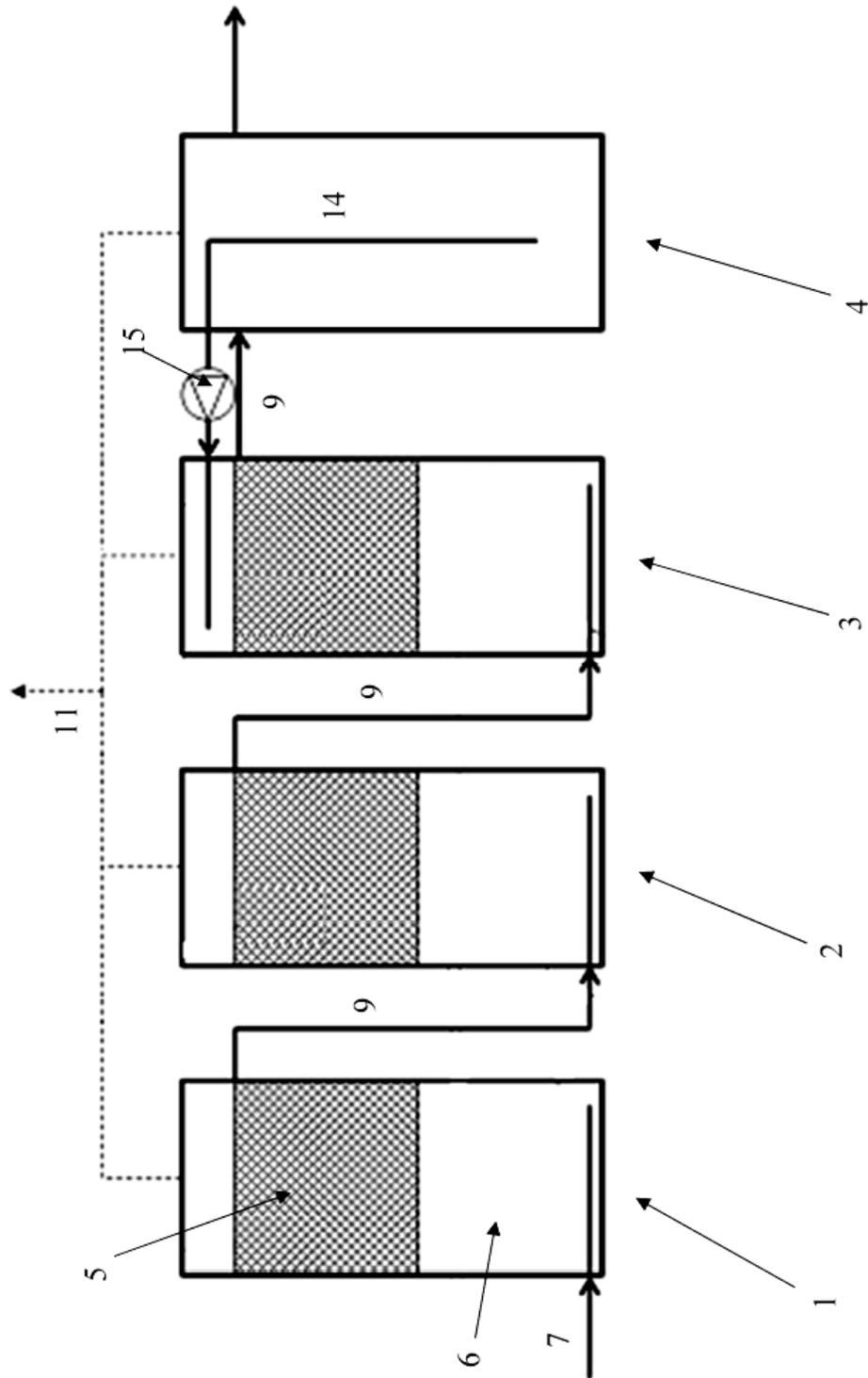


Fig.4

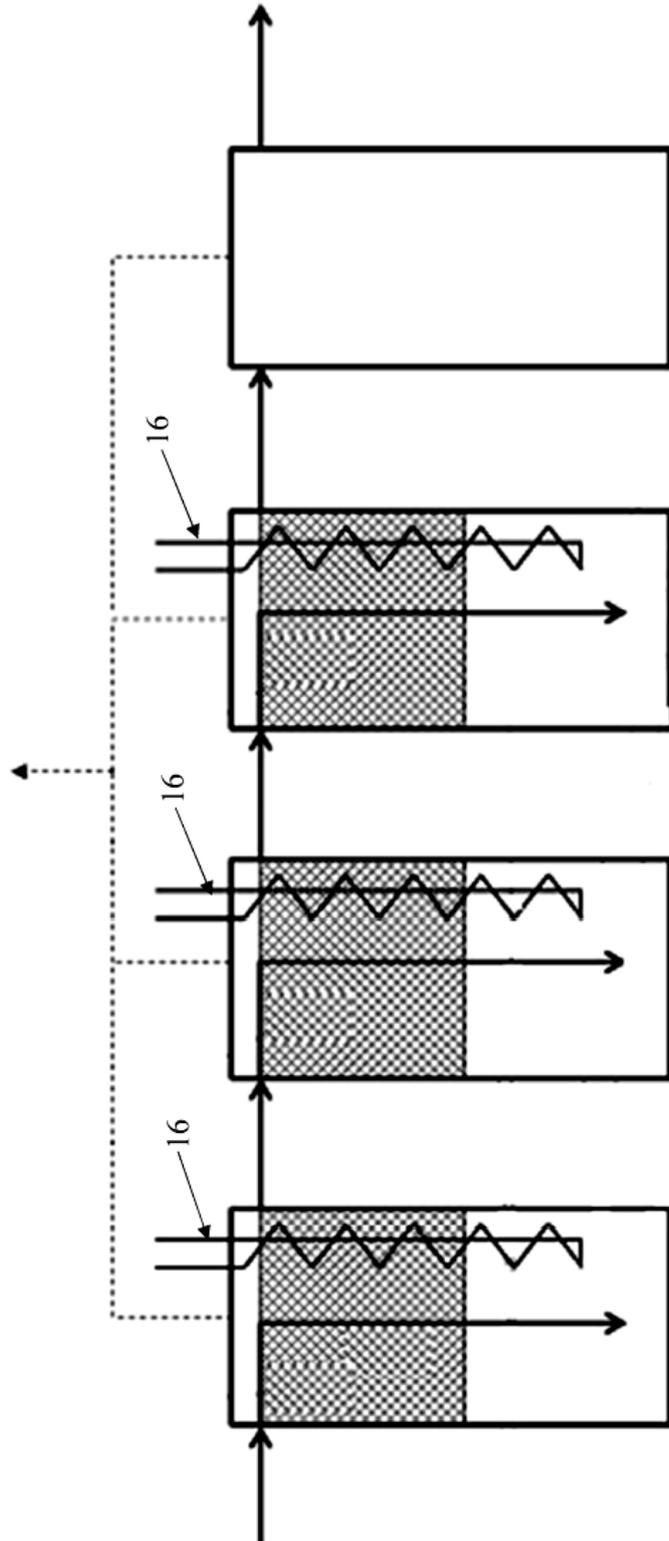


Fig.5

