

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 974 999**

21 Número de solicitud: 202230987

51 Int. Cl.:

C02F 3/12

(2013.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

15.11.2022

43 Fecha de publicación de la solicitud:

02.07.2024

Fecha de concesión:

05.11.2024

45 Fecha de publicación de la concesión:

12.11.2024

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE GRANADA (100.0%)
Cuesta del Hospicio, S/N
18071 Granada (Granada) ES**

72 Inventor/es:

**GONZÁLEZ MARTÍNEZ, Alejandro;
GONZÁLEZ LÓPEZ, Jesús y
ROSA MASEGOSA, Aurora**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

54 Título: **Biorreactor granular aeróbico**

57 Resumen:

La presente invención describe un biorreactor y procedimiento de flujo continuo para el tratamiento de aguas y obtención de biomasa donde el biorreactor comprende un tanque (2) con una entrada (5) y una salida (6), un medio de aireación (7) y, además, un medio deflector (13) configurado para extraer agua clarificada y evitar la salida de materia granulada (11) con al menos una velocidad de decantación de 10 m/h que comprende un cuerpo principal (14) hueco con una primera apertura (15), situada en su parte inferior, configurada para permitir la entrada del fluido acuoso (9) a su interior y devolver la biomasa granulada (11) al tanque (2), una segunda apertura (16), situada en su parte lateral, conectada a la salida (6) del tanque (2), y una tercera apertura (17), situada en su parte superior, configurada para permitir la salida de burbujas de aire (10).

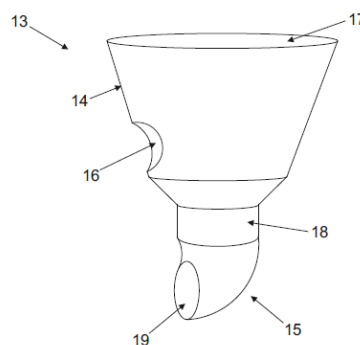


Fig. 2

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).

ES 2 974 999 B2

DESCRIPCIÓN

Biorreactor granular aeróbico**5 Campo de la invención**

La presente invención se encuadra dentro del campo de tratamiento de agua, específicamente en los equipos de tratamiento empleados para el tratamiento de aguas residuales, tratamiento de aguas potables y de aquellos efluentes industriales biodegradables.

Estado de la técnica

La contaminación causada por la descarga de las aguas residuales al medio ambiente es uno de los principales problemas medioambientales. El agua residual contiene una variedad amplísima de compuestos químicos y biológicos que pueden afectar a los ecosistemas naturales y/o a la salud de las personas, siendo por tanto una prioridad el tratamiento de las mismas antes de su vertido. De manera general, se puede definir una composición de un agua residual urbana según la Tabla 1.

Tabla 1: Composición de un agua residual urbana estándar

Residuos	Concentración (mg/L)
Sólidos totales	700-800
- Disueltos totales / en suspensión / sedimentables	450-550 / 150-250 / 5-15
DBO ₅	200-300
COT	150-170
DQO	300-600
Nitrógeno total	40-80
- Orgánico / Amoníaco libre	15-30 / 25-50
Fósforo total	8-16
- Orgánico / inorgánico	3-6 / 5-10
Cloruros	40-60
Sulfato	25-35

Las tecnologías más extendidas de tratamiento de aguas residuales urbanas a nivel mundial son tecnologías basadas en reactores biológicos de fangos activos.

5 A lo largo de sus más de 100 años de historia estas tecnologías han sufrido no obstante numerosas modificaciones, intentando mejorar su eficiencia a nivel de eliminación de materia orgánica, fosforo y nitrógeno, al mismo tiempo que una reducción en el espacio requerido para su instalación y en los costes económicos derivados del proceso.

10 El sistema de depuración biológica por fangos activos, también denominado lodos activos, consiste en el desarrollo de un cultivo bacteriano en un depósito agitado, aireado y alimentado con el agua residual, que es capaz de metabolizar como nutrientes los contaminantes biológicos presentes en esa agua.

15 Permite la eliminación de diferentes sustancias contaminantes mediante un proceso biológico natural, realizado por diferentes grupos microbianos responsables de la depuración, para posteriormente eliminar la biomasa generada del agua mediante sedimentación.

20 Sin embargo, la gran generación de biomasa, en forma de lodo, y el gran gasto energético en bombeo del agua de recirculación, lo que supone cerca del 50% del total del coste del tratamiento, provoca un gran incremento en los costes de tratamiento, así como la generación de importantes cantidades de lodos que necesitan de un tratamiento adecuado y de alto coste.

25 Además, las mayores restricciones establecidas en cuanto a la calidad de las aguas residuales urbanas tratadas, como por ejemplo la Directiva 271/91 UE; 98/15/CE), hace necesario modificar los sistemas convencionales de fangos activos para solucionar los problemas relacionados con la eutrofización que el nitrógeno causa en áreas especialmente

30 Durante la última década, se ha mostrado un gran interés en el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales mediante la utilización de tecnologías basadas en sistemas granulares aeróbicos.

35 La biomasa granular aeróbica opera en condiciones con aireación, es decir, en presencia de oxígeno. Es especialmente útil para tratar altas cargas orgánicas, así como para realizar la eliminación de nitrógeno y fósforo. En la actualidad la biomasa granular aeróbica se obtiene

en sistemas secuenciales aeróbicos, alimentados con agua residual, los cuales se basan en 4 etapas operacionales: aireación, decantación de la biomasa, vaciado del agua tratada y llenado con agua contaminada. Estas etapas permiten la obtención de una película de biomasa efectiva para el tratamiento del agua.

5

La granulación aeróbica permite una mayor retención de biomasa gracias a que existe una etapa de decantación previa al vaciado del agua tratada. Todo ello, permite realizar una selección de la biomasa con mayor capacidad de decantación, lo que impide la pérdida de esta por el efluente en el proceso de vaciado. Esto provoca, una mejor capacidad de sedimentación, menores requerimientos de recirculación de fangos y mayor resistencia a cambios bruscos en el influente y a compuestos tóxicos, en comparación con el fango activo.

10

La biomasa granular está compuesta por una gran diversidad microbiana que es la encargada de eliminar los contaminantes existentes en las aguas residuales. Sin embargo, entre todos los microorganismos existentes (heterótrofos, desnitrificantes, nitrificantes...) hay algunos que presentan una mayor capacidad de crecimiento dentro de los sistemas de biopelículas granulares, tales como las familias *Comamonadaceae*, *Zooglea*, *Pseudomonas*, entre otras. Estos microorganismos permiten obtener una mayor compactación y estabilidad mediante la producción de Exopolisacáridos (EPS).

15

20

La estructura estratificada de la biomasa granular permite conseguir zonas aeróbicas y anaeróbicas dentro de dicha biomasa. Esto permite realizar múltiples procesos biológicos al mismo tiempo, como por ejemplo los procesos de nitrificación, desnitrificación, eliminación de fosforo y materia orgánica, los cuales se pueden realizar de manera simultánea en un solo biorreactor bajo condiciones de aireación.

25

En la actualidad, la granulación aeróbica es una tecnología alternativa para el tratamiento de agua, y son ya numerosas las plantas de tratamiento en Europa (fundamentalmente de aguas residuales industriales) que incorporan este sistema, en biorreactores granulares secuenciales (BGS). Los BGS son por tanto una tecnología la cual permite obtener las condiciones operacionales requeridas para la formación de los gránulos (Isanta et al., 2015; Gonzalez-Martinez et al., 2017; Liu et al., 2017; Muñoz-Palazón., 2018).

30

Los reactores BGS utilizan una secuenciación seriada de alimentación, aireación, sedimentación y vaciado. Dicho proceso es complicado y requiere un control separado de

35

cada paso. La alimentación y el vaciado son especialmente problemáticos ya que deben realizarse en un corto período de tiempo, necesitando sistemas de bombeo y cambios radicales en las condiciones operacionales.

- 5 El proceso de granulación aeróbica se encuentra favorecido en los BGS, gracias al proceso de decantación previo al vaciado y al movimiento circular dentro del biorreactor, sin que ello determine pérdidas de biomasa. Si bien los últimos sistemas BGS desarrollados han tratado de simplificar la operación del sistema realizando simultáneamente las fases de rellenado y vaciado, la dificultad sigue siendo un obstáculo técnico. En cualquier caso, el tiempo de
10 llenado y vaciado en los reactores BGS es siempre una desventaja operativa intrínseca en estos sistemas (Pronk et al., 2015).

Por ello, la utilización de reactores secuenciales estaría limitado al tratamiento de localidades que generen bajos caudales, ya que operar con múltiples BGSs en paralelo o
15 instalar tanques de ecualización para poder manejar mayores caudales de entrada se vislumbra como una alternativa irreal.

Sin embargo, en los últimos años, ha crecido el interés en desarrollar biorreactores granulares de flujo continuo (BRFC) (Chen et al., 2017; Xin et al., 2017; Corsino et al., 2016;
20 Qian et al, 2017).

La aplicación de esta tecnología se estima que permitiría llevar a cabo el tratamiento de efluentes con altos caudales, tales como, los que se tratan en los sistemas de depuración de aguas urbanas en grandes ciudades superiores a 20.000 habitantes equivalentes.

25 Al contrario de los reactores BGS, los reactores BRFCs brindan ventajas en términos de mayor control y mayor simplicidad de manejo en el proceso de depuración (Corsino et al., 2016; Qian et al., 2017). A su vez, es posible su utilización en infraestructuras previamente existentes en las Estaciones Depuradoras Convencionales de fangos activos actualmente
30 operativas, las cuales funcionan con flujo continuo debido al gran volumen del influente tratado.

Para ello, se ha descrito el empleo de reactores con láminas de separación que definían una primera zona aireada de una segunda sin airear, el empleo de otros diseños tales como
35 tubos concéntricos con una zona de aireación central y una zona externa sin aireación.

Sin embargo, la eliminación del periodo de decantación y la posibilidad de pérdida de biomasa por la salida constante de agua tratada por el efluente en los sistemas BRFCs actuales se traduce como un efecto negativo sobre la compactación y estabilidad de los gránulos, haciendo imposible el empleo de este tipo de sistemas para tratar una corriente de agua de manera continua a largo plazo.

De forma resumida, estos equipos presentan importantes limitaciones operacionales:

- Reactores BGS requieren trabajar con bajos caudales de operación
- Los reactores BGS requieren de una automatización elevada por su operación en modo secuencial.
- Reactores BRFCs existentes presentan elevada pérdida de biomasa
- Imposibilidad de tratamiento en continuo en un tiempo prolongado
- Falta estabilidad y compactación de los gránulos aeróbicos en reactores BRFCs,
- Elevada pérdida de eficiencia de los sistemas BRFCs

Con el objeto de superar las limitaciones reportadas en el estado del arte en cuanto a biorreactores para el tratamiento del agua, se propone un nuevo equipo para dicho fin.

Descripción de la invención

La presente invención describe un biorreactor de flujo continuo para la formación de biomasa granular aeróbica y el tratamiento de aguas potables y aguas residuales, tanto urbanas como industriales.

La presente invención logra solventar los problemas de estado de la técnica en relación con el tratamiento de agua residuales en modo continuo, logrando la formación de gránulos estables a largo plazo. De este modo, a diferencia con las soluciones actuales de biorreactores en flujo continuo, la formación de estos gránulos permite el empleo de estos sistemas para el tratamiento de aguas de manera continua y estable en el tiempo.

Para conseguir dicha granulación estable, la presente invención describe una novedosa configuración de biorreactor, operable bajo unas condiciones de operación que permiten la optimización en el desarrollo de la biomasa. Dichas condiciones operacionales están recogidas en la siguiente Tabla 2.

De este modo, una aireación en el intervalo 2–15 mg O₂ / litro logra crear un movimiento de la biomasa dentro de biorreactor que permite la compactación de la biomasa hasta la creación de una estructura granular, donde dicha compactación permite la realización de procesos anaeróbicos dentro del granulo. Por otro lado, los intervalos de pH (6–9) y temperatura (15–30 °C) utilizados, son los óptimos para el crecimiento de los microorganismos que favorecen la formación granular. Finalmente, el tiempo de retención hidráulico establecido, es el tiempo necesario para poder obtener una concentración de biomasa suficiente para poder eliminar los contaminantes requeridos en las aguas residuales, como, por ejemplo, según lo establecido en la Directiva Europea 91/271/CEE.

Tabla 2: Condiciones operacionales del reactor BRFC.

Condición operacional	Cantidad
pH	6 – 9
Aireación (mg O ₂ / litro)	2 - 15
Tiempo de retención hidráulico (h)	2 – 24
Temperatura (°C)	5 – 45

A diferencia con reactores granulares secuenciales, donde la formación de la biomasa y el tratamiento del agua se lleva a cabo por medio de periodos de decantación, vaciado y llenado, la presente invención presenta una alimentación de una corriente acuosa en flujo continuo. De este modo, se obtiene una importante mejora en el sistema al no requerir la existencia de algunas de estas etapas.

En este sentido, el presente biorreactor fomenta la estabilización de contacto multicelular resultado de las fuerzas de atracción inicial, tales como fuerzas físicas (fuerzas de Van der Waals, tensión superficial, etc.), químicas y bioquímicas.

Para ello, el presente biorreactor comprende un tanque donde se acumula la corriente acuosa. Dicho tanque presenta una base con una pared en torno a la base, con una entrada de un influente preferentemente agua residual y una salida para un efluente clarificado.

Adicionalmente, el biorreactor comprende un medio aireador configurado para introducir aire en el tanque del biorreactor. De este modo, la entrada de aire presenta dos funciones. Por una parte, aporta el oxígeno necesario para el desarrollo de los microorganismos y, por otro lado, genera un movimiento físico de carácter convectivo que favorece el contacto entre las

bacterias existentes en el fluido, mediante procesos hidrodinámicos de difusión por transferencia de materia y de movilidad celular.

Como consecuencia de la existencia del medio aireador, el biorreactor presenta un flujo ascendente de aire, preferentemente, en forma de burbujeo en un intervalo 0,5 y 8,5 mg O₂ por litro. Esta configuración es la más eficiente para poder obtener la biomasa granular por dos principales razones:

1.- Debido a que las burbujas de aire siempre tienden a subir en el agua, se logra una mayor difusión de oxígeno de la burbuja de gas al agua para poder realizar los procesos aeróbicos. De este modo, se reducen las necesidades bombeo del aire y, por tanto, el coste.

2.- La aireación ascendente, permite que la biomasa no decante en el fondo impidiendo la formación de la biomasa granular permitiendo mantener en movimiento constante la biomasa para llevar a cabo la formación de la biomasa granular.

Por tanto, sin la presencia de esta corriente ascendente, la biomasa granulada del fango tiende a descender al fondo del tanque, mientras que las partículas en suspensión se mantendrán en el seno del fluido. Al introducir una corriente fluida ascendente, dará lugar a un lecho fluidificado, donde la materia particulada presenta una fuerza ascendente que tiende a llevarlas hacia la parte superior.

Ahora bien, las partículas granuladas presentan un tamaño, preferentemente en el intervalo 1 – 40 mm de diámetro, y una configuración tal que no se ven suficientemente alteradas por la corriente de aireación y descenderán por su propio peso en contra del flujo de aireación, mientras que los flóculos, partículas suspendidas en el fluido, son desplazadas por el propio efecto de la aireación y separadas por la parte superior del tanque.

Por tanto, la presente invención permite mantener la biomasa particulada en el tanque, dando lugar al proceso de granulación, mientras que se elimina aquella biomasa sobrante que no es requerida para el proceso de granulación.

En función del flujo de aire se puede controlar el tiempo de las partículas en el interior del tanque, dando lugar a un proceso de estabilización de los gránulos de forma correcta.

Sin embargo, el proceso de granulación es un proceso progresivo, por lo que la biomasa puede presentar inicialmente un tamaño menor, donde el efecto de la aireación del tanque sí

fuese relevante y la empujase a la parte superior del tanque dando lugar a la pérdida de biomasa necesaria en el tanque.

5 Para evitar este efecto y la consecuente pérdida de biomasa como ocurre en otras soluciones del estado de la técnica, el biorreactor comprende un medio deflector conectado a la salida del tanque del biorreactor.

10 Este medio deflector está configurado para limitar la salida de la biomasa granular, es decir, su mecanismo de funcionamiento es equivalente a una trampa para gránulos, donde en caso de introducirse algún gránulo en el interior del medio deflector, éste tiende a regresar al tanque del biorreactor. Para ello, el medio deflector comprende un cuerpo principal hueco con tres aperturas.

15 El medio deflector comprende una primera apertura, o entrada principal, situada en su parte inferior. La situación de esta entrada desfavorece la entrada de la biomasa granular, debido a la tendencia a sedimentarse de este tipo de partículas. Es decir, la primera apertura está configurada para permitir la entrada al cuerpo principal de un flujo de agua tratada con una concentración reducida de biomasa granular. Así mismo está configurada para devolver la biomasa granular decantable al tanque del biorreactor en caso de que ésta entrase en el
20 interior del medio deflector.

Por otro lado, la segunda apertura, o salida del medio deflector, se encuentra conectada con la salida del tanque del biorreactor. Dicha segunda apertura se encuentra situada preferentemente de manera lateral. El efluente que sale del medio deflector es, por tanto,
25 una corriente de agua tratada, que comprende los flóculos presentes en el fluido.

Por último, la tercera apertura si encuentra en la parte superior del medio deflector. El medio deflector se sitúa sumergido en el fluido dentro del tanque del biorreactor. De manera preferente, la parte superior se encuentra a la misma altura o por encima del nivel del agua, lo que permite evitar que los gránulos puedan pasar por encima, es decir, entren en el
30 interior del medio deflector a partir de esta tercera apertura. La función de la apertura de la parte superior es permitir la salida de aire en el caso de que alguna burbuja de aire entre dentro del medio deflector, evitando así su acumulación, lo que dificultaría la salida del flujo de agua tratado del biorreactor. De manera preferente, esta tercera apertura ocupa la parte superior del cuerpo principal hueco de manera completa. De este modo, se evita la
35

existencia de una superficie sobre la que se formaría una biopelícula que podría llegar a taponar la salida del medio deflector.

Por tanto, el biorreactor descrito en la presente invención comprende un medio deflector con un cuerpo principal hueco, donde dicho cuerpo principal hueco comprende

- una primera apertura, situada en la parte inferior del cuerpo principal, configurada para permitir la entrada del fluido al interior del cuerpo principal y devolver la biomasa granular decantable al tanque
- una segunda apertura, situada en la parte lateral del cuerpo principal, conectada a la salida del biorreactor aeróbico
- una tercera apertura situada en la parte superior del cuerpo principal configurada para permitir la salida de burbujas.

Así, a diferencia con otros biorreactores actuales, este medio deflector puede actuar como separador del fluido tratado de la biomasa granular. La presencia de un medio deflector como el descrito en la presente invención se traduce en que el biorreactor que lo comprende puede operar con un caudal de alimentación y salida continuo, al reducir la pérdida de biomasa en el interior del tanque, mejorando la estabilidad del biorreactor en el tiempo.

En definitiva, el deflector está configurado para la salida del biorreactor de aquella biomasa que no alcanza una decantación superior de 10 m/h, velocidad necesaria para poder considerarla como óptima para la formación de la biomasa granular.

De esta manera, bajo un caudal de alimentación continuo, se consigue mantener la biomasa granular dentro del biorreactor BRFC, al mismo tiempo que permite la salida de la biomasa sobrante. Al incrementar el tiempo de retención de la biomasa en el interior del tanque, se fomenta la maduración de la agregación celular a través de la producción de polímeros extracelulares dando lugar a una biomasa granular, con una velocidad de decantación óptima.

Todo ello, se traduce en que el biorreactor BRFC de la presente invención permite obtener las ventajas de un sistema granular como la de obtener unos rendimientos y una concentración de biomasa muy superior a los sistemas convencionales de fangos activos, pero, además, trabajando bajo una configuración de caudal continuo, en lugar de hacerlo en modo secuencial como ocurre en otros reactores granulares que se utilizan en el tratamiento de aguas residuales. Por tanto, al eliminar los flóculos, los cuales compiten por los mismos

nutrientes, se favorece el crecimiento de la biomasa granular dentro del reactor BRFC, dando un enriquecimiento progresivo del fango aeróbico granular en un régimen continuo.

El resultado de esta configuración es la formación de biomasa granular en la parte inferior del tanque y un efluente tratado de manera continua.

En un segundo aspecto de la invención, se puede definir un procedimiento desarrollado en el biorreactor de la presente invención que comprende las siguientes etapas:

- Entrada y acumulación de manera continua de un influente en el tanque del biorreactor, donde el tanque del biorreactor presenta un caudal de aire en el tanque del biorreactor en el intervalo 0,5 - 8,5 mg O₂ por litro y un tiempo de retención hidráulico durante 2 – 24 h, a un pH entre 6 y 9, y una temperatura entre 5 – 45 °C;
- Inoculación de microorganismos y formación de biomasa granular en el tanque del biorreactor
- Separación de la biomasa granular y el agua tratada en el interior del medio deflector
- Salida de un efluente clarificado de manera continua.

Así, gracias al biorreactor de la presente invención, la biomasa granulada formada presenta, preferentemente, una velocidad de decantación superior a 10 m/h y una concentración de biomasa de hasta 30 g/L, preferentemente en el intervalo 1 – 20 g/L, de manera estable en el tiempo.

Por un lado, a diferencia con las soluciones actuales, la velocidad de decantación de la biomasa formada en el biorreactor de la presente invención permite evitar la necesidad de una elevada recirculación de fangos en un decantador secundario para mantener una concentración de bacterias óptima, como sí ocurre en los sistemas convencionales de depuración. Adicionalmente, se logra una mayor compactación de la biomasa formada, lo que se traduce en la capacidad de tener mayor número de biomasa por litro permitiendo realizar procesos aeróbicos y anaeróbicos en un mismo biorreactor.

Por otro lado, el biorreactor según la presente invención presenta la salida en la parte superior. De este modo, existe la posibilidad de poder tener biomasa granular en todo el volumen del biorreactor, lo que provoca un incremento importante de biomasa por litro. En otras palabras, gracias a la presente solución, se logra una mayor cantidad de bacterias dentro del sistema, por lo que el rendimiento en la eliminación de contaminantes es mucho mayor, superior al 95%.

Debido a la baja pérdida de biomasa que hay en el biorreactor en comparación con otros biorreactores, no se requiere decantar la biomasa en un segundo biorreactor y volver a introducirla en el biorreactor inicial, y capacita al reactor a funcionar en modo continuo durante un tiempo prolongado. Por tanto, el biorreactor de la presente invención permite reducir el volumen, con una reducción de hasta un 50% del volumen de un biorreactor equivalente, necesario mejorando las tasas de depuración obtenidas en sistemas convencionales de fangos activos. A su vez, la configuración en continuo del presente biorreactor logra incrementar en un 50% el volumen de agua tratada por unidad de tiempo en comparación con los reactores BGS. Además, la presente invención logra evitar la pérdida de biomasa de los biorreactores en continuo, lo que capacita a la presente invención a una operación estable a lo largo del tiempo.

Por tanto, desde un punto de vista económico, la presente invención mejora la sostenibilidad y competitividad del sector de tratamiento de las aguas, ya que la calidad de los efluentes se incrementa por medio de un tratamiento más eficaz y rentable logrando una disminución del gasto energético en recirculación superior al 50%. La presente invención alcanza unos rendimientos aceptables para el tratamiento de agua, logrando reducir hasta un 80% la cantidad de nitrógeno y un 90% la cantidad de materia orgánica.

Entre las ventajas de la invención respecto a otros sistemas ya existentes cabe señalar las siguientes:

- Capacidad de tratamiento de caudales grandes
- Carencia de medios de decantación previa al vaciado del biorreactor.
- Menor tamaño del biorreactor
- Mejora de la eficiencia del proceso
- Incremento de la cantidad de biomasa por volumen de biorreactor.
- Crecimiento de la biomasa granular en todo el volumen del biorreactor
- Operación estable a lo largo del tiempo

Estos resultados muestran como este sistema es una alternativa viable a las soluciones actuales de los sistemas de tratamiento de aguas.

Esto podría traducirse en un beneficio económico para las empresas pudiendo incrementar los beneficios y la liberación de recursos económicos para el fomento de la empleabilidad con la creación de nuevos puestos de trabajo con una mayor cualificación.

En las figuras, se muestran los siguientes elementos:

- | | | |
|----|-----|--------------------|
| | 1. | Biorreactor |
| 5 | 2. | Tanque |
| | 3. | Base del tanque |
| | 4. | Pared del tanque |
| | 5. | Entrada del tanque |
| | 6. | Salida del tanque |
| 10 | 7. | Medio de aireación |
| | 8. | Difusor |
| | 9. | Fluido acuoso |
| | 10. | Burbujas de aire |
| | 11. | Biomasa granular |
| 15 | 12. | Flóculos |
| | 13. | Medio deflector |
| | 14. | Cuerpo principal |
| | 15. | Primera apertura |
| | 16. | Segunda apertura |
| 20 | 17. | Tercera apertura |
| | 18. | Saliente |
| | 19. | Orificio lateral |

A lo largo de la descripción y las reivindicaciones la palabra "comprende" y sus variantes no pretenden excluir otras características técnicas, componentes o pasos. Además, la palabra "comprende" incluye el caso "consiste en". Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención. Los siguientes ejemplos y dibujos se proporcionan a modo de ilustración, y no se pretende que sean limitativos de la presente invención. Además, la presente invención cubre todas las posibles combinaciones de realizaciones particulares y preferidas aquí indicadas.

Breve descripción de las figuras

La Figura 1 muestra una realización del biorreactor de flujo continuo

La Figura 2 muestra un alzado de una realización del medio deflector del biorreactor.

La Figura 3 muestra una planta de una realización del medio deflector del biorreactor.

- 5 La Figura 4 muestra una gráfica comparativa de los resultados de concentración de biomasa granular (CBG), en g/L, de un biorreactor de flujo continuo (BRFC1), de acuerdo con la presente invención, frente a otras soluciones existentes (BRFC2 y BRFC3) a lo largo del tiempo (t), en días.

10 Descripción detallada de la invención

La presente invención describe un biorreactor (1) de flujo continuo para el tratamiento de agua mediante la formación de biomasa granular aeróbica. El agua a tratar puede consistir en un influente de aguas potables o aguas residuales, tanto urbanas como industriales. Por
15 tanto, para poder desarrollar el tratamiento de agua y formación de la biomasa granular en el interior del tanque del biorreactor, funcionando en flujo continuo, el biorreactor requiere una configuración específica.

De este modo, la Figura 1 muestra una realización del biorreactor (1) de flujo continuo.

20 El biorreactor (1) de flujo continuo según la presente invención comprende un tanque (2) configurado para tratar un fluido acuoso (9) en su interior. Dicho tanque (2) presenta una base (3) con una pared (4) dispuesta en torno a dicha base (3), con una entrada (5) de un influente, preferiblemente agua residual a tratar, y una salida (6) para un efluente clarificado,
25 con presencia de flóculos (12) y una cantidad de biomasa granular (11) reducida. Preferentemente, la entrada se encuentra situada en la parte más alejada del tanque (2) de la salida de modo que el influente cargado de contaminantes se homogeniza en el interior del tanque, siendo tratado antes de su salida. En una realización preferente, la entrada (5) se encuentra situada en una parte inferior, próxima a la base (3) del tanque (2), mientras
30 que la salida (6) se encuentra dispuesta en la parte superior, lo más alejada posible de dicha entrada (5).

Adicionalmente, el biorreactor (1) comprende un medio de aireación (7) configurado para introducir burbujas de aire (10) en el interior del tanque (2) del biorreactor (1). En una
35 realización preferente, el biorreactor (1) presenta un flujo ascendente de aire, en forma de

burbujeo. Para ello, el medio de aireación (7) puede comprender un difusor (8), por ejemplo, en forma de placa porosa, que distribuya de manera homogénea las burbujas de aire (10).

Sin embargo, el proceso de granulación requiere un tiempo de retención de la biomasa en el tanque (2). Para evitar la pérdida de dicha biomasa en el tanque (2), el biorreactor (1) comprende un medio deflector (13) conectado a la salida del tanque (2) del biorreactor (1) configurado para extraer agua clarificada y evitar la salida de biomasa granulada (11) con al menos una velocidad de decantación de 10 m/h.

Como se aprecia en la Figura 1, el medio deflector (13) se dispone sumergido en la parte superior del tanque (1), preferentemente a la misma altura o por encima del nivel del agua, lo que permite evitar que la biomasa granular (11) pueda situarse por encima del medio deflector (13).

Adicionalmente, en otra realización preferente, el medio deflector se sitúa de manera alejada a la corriente de burbujas de aire (10) producido en el medio de aireación (7). De este modo, se reduce la entrada de biomasa granular (11) al interior del medio deflector (13), logrando mantener a este tipo de biomasa en el tanque (2) por el tiempo suficiente para la formación de los gránulos.

La capacidad de mantener la biomasa en el interior del tanque (1) del biorreactor descrito en la presente solución hasta la formación de biomasa granular (11) logra evitar la pérdida de biomasa, de modo que puede ser empleado como biorreactor de flujo continuo de manera estable con el paso del tiempo, a diferencia de las soluciones conocidas en el estado de la técnica.

En este sentido, Figura 2 muestra un alzado de una realización preferente del medio deflector (13) del biorreactor (1).

Como se aprecia en esta Figura 2, el cuerpo principal (14) es hueco y comprende tres aperturas (15, 16 y 17), que pueden ser atravesadas por el fluido acuoso:

- una primera apertura (15) o entrada, situada en la parte inferior del cuerpo principal (14), configurada para permitir la entrada del fluido acuoso (9) al interior del cuerpo principal (14). Adicionalmente, está configurada para devolver la materia granulada (11) al interior del tanque (2) en caso de que ésta acceda al interior del medio deflector

- una segunda apertura (16) o salida, situada en la parte lateral del cuerpo principal (14). Esta segunda apertura (16) se encuentra conectada a la salida del tanque (2) del biorreactor (1).
- una tercera apertura, situada en la parte superior del cuerpo principal (14) configurada para permitir la salida de burbujas de aire (10).

La primera apertura (15), permite la entrada al interior del cuerpo principal (14) del medio deflector (13) por parte del fluido acuoso (9). Este fluido (9) presenta diferente material particulado incluyendo tanto biomasa granulada (11) como flóculos (12), que pueden desplazarse en el seno del fluido por efecto de la aireación. La diferencia entre este material particulado es la capacidad de decantación de la biomasa granular (11). Específicamente, se pueden señalar como biomasa granular (11) como aquellas partículas compuestas por microorganismos que presentan una velocidad de decantación de al menos 10 m/h. La situación de esta entrada en la parte inferior del medio deflector (13) se opone a la entrada de la biomasa granular (11), debido a la tendencia a sedimentarse de dicha biomasa granular (11).

Por su parte, la segunda apertura (16), se encuentra conectada con la salida (6) del tanque (2), y se sitúa preferentemente de manera lateral, y aún más preferente en una zona elevada del cuerpo principal (14) al favorecer la separación de la biomasa granular (11). De este modo, por un lado, se reduce el impacto de la aireación en la zona donde se dispone el medio deflector (13) y, adicionalmente, podría ser posible emplear infraestructuras como el depósito existente en las Estaciones Depuradoras Convencionales, los cuales proporcionan una instalación aceptable para la presente invención al funcionar con flujo continuo debido al elevado volumen del influente tratado. La estructura de estos depósitos sería modificada para la adaptación de los medios de aireación (7) o la incorporación de los medios deflectores (13), si bien el coste podría verse reducido al reutilizar las estructuras ya existentes.

Por último, la tercera apertura (17) se encuentra situada en la parte superior del cuerpo principal (14). Su principal función es permitir la salida de burbujas de aire (10) que hayan entrado en el medio deflector (13). La posibilidad de la salida de estas burbujas de aire (10), existente en el interior del medio deflector (13) supone la creación de una zona en el interior del tanque (2) donde el efecto de la aireación ascendente se ve reducido. De este modo, el volumen hueco existente en el cuerpo principal supone un espacio idóneo para la decantación de la biomasa granular (11).

En una realización preferente, se presenta un medio deflector (13) con un cuerpo principal (14) en forma troncocónica invertida. Como se mencionaba anteriormente, esta forma contribuye a que la biomasa granular (11), arrastrada por la aireación e introducida dentro del medio deflector (13), pueda tener una zona donde no haya burbujas de aire (10) y regresen al interior del tanque (2). El cuerpo principal (14) presenta un volumen tal que permite la separación de la biomasa granular (11). Adicionalmente, es preferible la devolución de dicha biomasa granular (11) al tanque (2), sin la formación de una biopelícula en el interior del medio deflector (13). De este modo, la forma troncocónica aporta un espacio central aceptable para llevar a cabo la separación de la biomasa y paredes por las que la biomasa granular (11) puede rodar hasta la primera apertura (15), cuyo diámetro es preferiblemente reducido en comparación con el cuerpo principal (14).

Por su parte, la primera apertura (15) del medio deflector (13), situada en la parte inferior, provoca que, por las propias características de decantación de la biomasa granular (11), no pueda subir hacia zonas más altas del medio deflector (13) donde se encuentra la segunda apertura (16), y la salida (6) del tanque (2). Para mejorar esa limitación en la entrada de biomasa granular (11), la primera apertura (15) puede presentar un saliente (18) adicional, que reorienta la primera apertura (15) al comprender, el saliente (18), un orificio lateral (19) de manera paralela al flujo ascendente de las burbujas de aire (10). En una realización aún más preferente, este orificio lateral (19) se encuentra orientado hacia la pared (2) del tanque (2), reduciendo el efecto del flujo ascendente de la aireación.

Ahora bien, a pesar de la mejora que supone la configuración presente por el medio deflector (13), en el caso de que algún granulo de la biomasa granular (11) entrara dentro del medio deflector (13), el propio cuerpo principal (14) del medio deflector está configurado para permitir el retorno hacia el tanque del biorreactor de los gránulos (por gravedad), mientras que los flóculos (12), al tener una menor velocidad de decantación, no serían capaz de retornar al tanque (2) y atravesarían la segunda apertura (16) hacia la salida (6) del tanque (2).

La Figura 3 muestra una planta de una realización del medio deflector (13) del biorreactor (1). En esta Figura 3, se muestra de manera detallada como la tercera apertura (17) abarca la superficie completa de la parte superior del cuerpo principal (14). Esta configuración, además de permitir la salida de las burbujas de aire (10), facilita la capacidad de limpieza en el interior del medio deflector (13). La alternativa de presentar una cubierta parcial que

permite la salida de las burbujas de aire (10) sería viable operacionalmente, e impediría la entrada de agentes externos por la parte superior del medio deflector (13). Sin embargo, la existencia de una superficie como la descrita generaría la posibilidad de acumulación de una biopelícula, que podría reducir el rendimiento del biorreactor (1).

5

La corriente saliente del biorreactor (1) es una corriente acuosa clarificada, que comprende los flóculos (12) presentes en el fluido, pero cuya concentración de biomasa granular (11) se ha visto minimizada. Desde una perspectiva superior de esta realización, se puede comprobar como la primera apertura (15), situada en la parte inferior, presenta un diámetro inferior al volumen presente en el interior del cuerpo principal (14) del medio deflector (13). Esta primera apertura (15) es por donde sale la biomasa granular (11) una vez que el efecto de la aireación es suprimido.

10

En definitiva, el medio deflector (13) está configurado para la salida del biorreactor (1) de aquella biomasa que no alcanza una decantación superior de 10m/h que es la necesaria para poder considerarla como óptima para la formación de la biomasa granular (11).

15

De esta manera, bajo un caudal de alimentación continuo, se consigue mantener la biomasa granular (11) dentro del biorreactor BRFC, al mismo tiempo que permite la salida de la biomasa sobrante, como los flóculos (12), capacitando la formación de biomasa granulada a la vez que se trata una corriente de agua.

20

En un segundo aspecto de la invención, se describe un procedimiento para el tratamiento de aguas. El procedimiento para el tratamiento de aguas empleado presenta las siguientes etapas

25

- Entrada y acumulación de manera continua de un influente en el tanque (2) del biorreactor (1),
- Inoculación de microorganismos y formación de biomasa granular (11) en el tanque (1) del biorreactor (2)
- Salida de un efluente de agua clarificada de manera continua

30

De este modo, de acuerdo con el procedimiento de tratamiento de agua mediante la formación de biomasa granular según la presente invención, el resultado es un efluente depurado obtenido gracias al metabolismo producido por las poblaciones microbianas existentes en la biomasa granular (11) formada en el biorreactor (1).

35

La alimentación del influente al tanque (2) se puede realizar mediante bombeo o por gravedad, de este modo, es posible realizar una alimentación constante en base al caudal del influente de entrada que sea necesario tratar.

- 5 La aireación en el biorreactor (1) se produce mediante el uso de medio de aireación (7) que comprende, preferentemente un difusor (8) como, por ejemplo, una placa porosa, en la base. Dicho medio de aireación (7), al localizarse en la zona inferior del biorreactor (1), permite mantener a la biomasa granular (11) en un movimiento continuo que da lugar a la formación granular. Específicamente, la cantidad de aire existente en el tanque se encuentra
10 en un intervalo de 0,5 – 8,5 mg de O₂ por litro. De manera preferente, el intervalo de operación es 2 – 4 mg de O₂ por litro. Esta corriente de aire aporta el oxígeno suficiente para todos aquellos procesos aeróbicos que se requieren para la eliminación de los contaminantes en el agua residual.
- 15 En adicción al aporte de aire, otros factores deben ser controlados para el correcto desarrollo del procedimiento de formación de la biomasa. En una realización preferente, la acumulación de la corriente acuosa se lleva a un pH entre 6 y 9, aún más preferente 6,5 – 8. Adicionalmente, la temperatura durante el proceso de granulación se encuentra entre 5 y 45 °C, preferentemente 15 – 25 °C. El empleo de estas condiciones afecta al comportamiento
20 de los microorganismos inoculados, lo que reduce el rendimiento del procedimiento de tratamiento de aguas.

Para un correcto tratamiento del agua, se requieren, además, los procesos anaerobios. La formación de la biomasa granular (11) es completamente necesaria para poder realizar
25 dichos procesos anaeróbicos, dado que se realizan en las zonas internas de los gránulos. Adicionalmente, la formación de biomasa granular (11) es imprescindible para poder incrementar la concentración de microorganismos dentro del sistema.

Por otro lado, gracias a la presente solución, toda aquella biomasa que se encuentre dentro
30 del biorreactor (1) pero no se encuentre en forma de biomasa granular (11), no tendrá capacidad de multiplicarse al irse junto con el efluente por la salida, reduciendo o incluso impidiendo la proliferación de microorganismos que puedan alterar el rendimiento del sistema. En otras palabras, los microorganismos existentes en los flóculos (12), competidores con la biomasa granular (11) por los nutrientes existentes, son eliminados en
35 la corriente saliente del biorreactor (1).

Por tanto, para desarrollarse el tratamiento de agua, debe formarse una biomasa granular (11) con las poblaciones microbianas adecuadas para poder eliminar todos los conaminantes. Entre las poblaciones microbianas empleadas para el tratamiento de aguas se pueden destacar: Bacterias Oxidadoras de Amonio (AOB), Bacterias Oxidadoras de Nitrito (NOB), Arqueas Oxidadoras de Amonio (AOA), y Bacterias Acumuladoras de Fosfato (PAO).

La retención de la biomasa es una etapa fundamental en el proceso. Esta etapa define el tratamiento del agua, así como la formación de un fango activo que comprende la biomasa granular (11), al permitir tiempo necesario para desarrollarse la actuación de los microorganismos.

Por tanto, a diferencia con otras soluciones existente en el sector, el resultado de esta etapa es la posibilidad de acumulación de biomasa granular (11) con una velocidad de decantación superior a 10 m/h en un fango activo lo que permite el empleo de la presente solución de manera estable para la depuración del caudal continuo de agua contaminada, a lo largo del tiempo.

Ejemplo 1 - Variación de tiempos de retención

En el ejemplo 1 se muestra un ejemplo de una realización del procedimiento empleado para el tratamiento de aguas mediante la formación de biomasa granular en un biorreactor según la presente invención. Dicho biorreactor presenta un volumen de 6 L de capacidad y se alimentó con una corriente acuosa de caudal continuo. El fluido es una corriente acuosa con una composición como la mostrada en la Tabla 3.

Tabla 3. Composición del agua residual empleada para la obtención de gránulos

Compuesto	Concentración (g/L)
$\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	0,79
NH_4Cl	0,25
KCl	0,04
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,10
K_2HPO_4	0,085
KH_2PO_4	0,03

La inoculación de los microorganismos se llevó a cabo mediante la utilización de un fango activo proveniente de una Estación Depuradora de Aguas Residuales. Se empleó un pH igual a 7, una aireación de 6 mg O₂/L y una temperatura de 22°C, dando lugar a unas condiciones óptimas para el desarrollo de los microorganismos empleados en este ejemplo.

5

En este sentido, En la siguiente Tabla 4 se muestran los resultados de concentración de biomasa granular (CBG), velocidad de decantación (VD), rendimiento de eliminación de materia orgánica (RMO) y rendimiento de eliminación de nitrógeno total (RNT) obtenidos en 6 muestras de utilización del sistema de la invención variando el tiempo de retención Hidráulico (TRH).

10

Tabla 4. Resultados según la variación de tiempos de retención

Muestra	TRH (h)	CBG (g/L)	VD (m/h)	RMO (%)	RNT (%)
Muestra 1	24	4.7	33	99	99
Muestra 2	16	4.9	33	99	96
Muestra 3	8	8,2	35	99	87
Muestra 4	6	8,1	39	97	77
Muestra 5	4	6,2	28	96	70
Muestra 6	2	5,8	20	92	61

Ejemplo 2 – variación de temperatura

15

En el mismo biorreactor del ejemplo 1, con un TRH de 8 horas, se llevó a cabo la inoculación del biorreactor y se llevó a cabo la operación a una temperatura variable. De acuerdo con la Tabla 5, se aprecia como el rendimiento disminuye al descender la temperatura a niveles inferiores a 10°C

20

Tabla 5. Resultados según la variación de temperatura

	Temperatura (°C)	RMO (%)	RNT (%)
Muestra 7	30	99	89
Muestra 8	20	93	82
Muestra 9	10	80	47
Muestra 10	5	60	26

Ejemplo 3 – Evolución con el tiempo

Tres bioreactores granulares de flujo continuo con distintos diseños (BRFC1, BRFC2 y BRFC3) se inocularon con el mismo fango activo y fueron operados bajo las mismas condiciones. En este sentido las condiciones operacionales expuestas fueron una aireación de 6 mg O₂/L, una temperatura de 22°C, un pH de 7 y un TRH de 8h.

Los diferentes modelos de biorreactor de flujo continuo (BRFC) utilizados fueron:

- BRFC1: reactor, según la presente invención, que comprende un medio deflector (13) acoplado a la salida del biorreactor, que permitía la sedimentación de los gránulos en la zona de salida de agua;
- BRFC2: reactor que comprende una lámina que separaba en dos el biorreactor, estableciendo una primera zona de aireación y subida de los gránulos y una segunda zona de no aireación y bajada de los mismos, donde se encontraba la salida del agua; y
- BRFC 3: reactor que comprende dos zonas, interior y exterior, definidas por dos tubos concéntricos. La zona interior, está definida por el interior del tubo concéntrico de menor radio, donde se introducía la aireación haciendo subir los gránulos, que volvían a bajar en ausencia de aireación por la zona exterior, definida por el espacio anular existente entre los tubos, donde se encontraba la salida del agua.

Como se aprecia en la Figura 4, el rendimiento en el tratamiento de agua se ha mantenido estable a lo largo del tiempo (t - en días), confirmándose la mejora frente a otras soluciones donde la pérdida de la concecntración de biomasa granular (CBG – g/L) es tal que no pueden ser empleados en flujo continuo y requieren la continua incorporación de nueva biomasa. En este sentido, se puede observar como los diseños alternativos de un biorreactor de flujo continuo, BRFC2 y BRFC3, ya desarrollados previamente, alcanzan rendimientos de biomasa muy inferiores a los alcanzados por el biorreactor BRFC1, reactor de acuerdo a la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Biorreactor de flujo continuo configurado para el tratamiento de aguas que comprende:

- Un tanque (2) que comprende una base (3) y una pared (4) en torno a dicha base (3), configurado para tratar un fluido acuoso (9) en su interior,
- Una entrada (5) para un influente y una salida (6) para un efluente, y
- Un medio de aireación (7) configurado para introducir burbujas de aire (10) en el tanque (2),

caracterizado por que el biorreactor comprende además

- Un medio deflector (13) configurado para extraer agua clarificada y evitar la salida de materia granulada (11) con al menos una velocidad de decantación de 10 m/h que comprende un cuerpo principal (14) hueco, donde dicho cuerpo principal (14) hueco comprende
 - una primera apertura (15), situada en la parte inferior del cuerpo principal (14), configurada para permitir la entrada del fluido acuoso (9) al interior del cuerpo principal (14) y devolver la biomasa granular (11) al tanque (2),
 - una segunda apertura (16), situada en la parte lateral del cuerpo principal (14), conectada a la salida (6) del tanque (2), y
 - una tercera apertura (17), situada en la parte superior del cuerpo principal (14), configurada para permitir la salida de burbujas de aire (10).

2. Biorreactor aeróbico de acuerdo con la reivindicación 1, donde el medio deflector (13) comprende una forma troncocónica.

3. Biorreactor aeróbico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-2, donde la tercera apertura (17) del medio deflector (13) abarca la superficie completa de la parte superior del cuerpo principal (14).

4. Biorreactor aeróbico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-3, donde el cuerpo principal (14) del medio deflector (13) comprende un saliente (18) conectado a través de la primera apertura (15) que comprende un orificio lateral (19) paralelo a la pared (4) del tanque (2), configurado para permitir la entrada del fluido acuoso (9) al interior del cuerpo principal (14) y devolver la biomasa granular (11) al tanque (2).

5. Biorreactor aeróbico de acuerdo con la reivindicación 4, donde el saliente (18) del cuerpo principal (14) está orientado hacia la pared (4) del tanque (2).

6. Biorreactor aeróbico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-5, donde el medio de aireación (7) se sitúa en la base (3) del tanque (2).

7. Biorreactor aeróbico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-6, donde el medio de aireación (7) comprende un difusor (8) configurado para formar burbujas de aire (10).
8. Procedimiento de tratamiento de agua mediante la formación de biomasa granular en un biorreactor (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7, caracterizado por que comprende las siguientes etapas:
 - Entrada y acumulación de manera continua de un influente en el tanque (2) del biorreactor (1), donde el tanque (2) presenta un caudal de aire en el intervalo de 2 - 15 mg O₂ / litro y un tiempo de retención hidráulico durante 2 – 24 h, a un pH entre 6 y 9, y una temperatura entre 5 – 45 °C;
 - Inoculación de microorganismos y formación de biomasa granular (11) en el tanque (2) del biorreactor (1)
 - Separación de la biomasa granular (11) y el agua tratada en el interior del medio deflector (13)
 - Salida de un efluente de agua clarificada de manera continua.
9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, donde la entrada de aire forma una corriente de burbujas de aire.
10. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 - 9, donde el pH se encuentra entre 6,5 y 8.
11. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 - 10, donde la entrada de aire presenta un caudal entre 2 – 4 mg O₂ / litro.
12. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 - 11, donde la temperatura se encuentra entre 15 – 35 °C.
13. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 - 12, donde la separación de la biomasa granular (11) es una etapa de decantación.
14. Biomasa granular (11) obtenida según el procedimiento de acuerdo con cualquiera de la reivindicaciones 9 – 13.

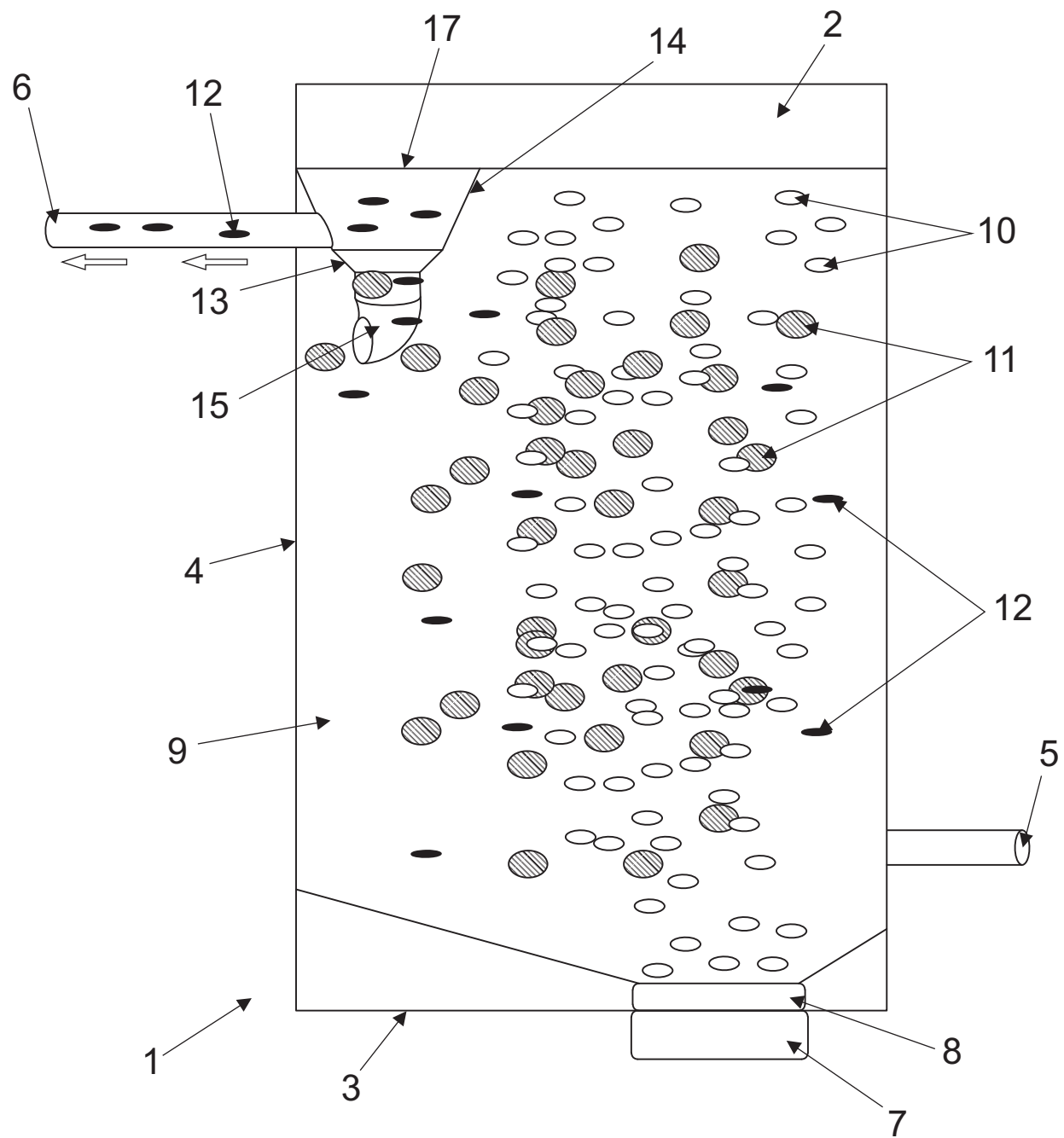


Fig. 1

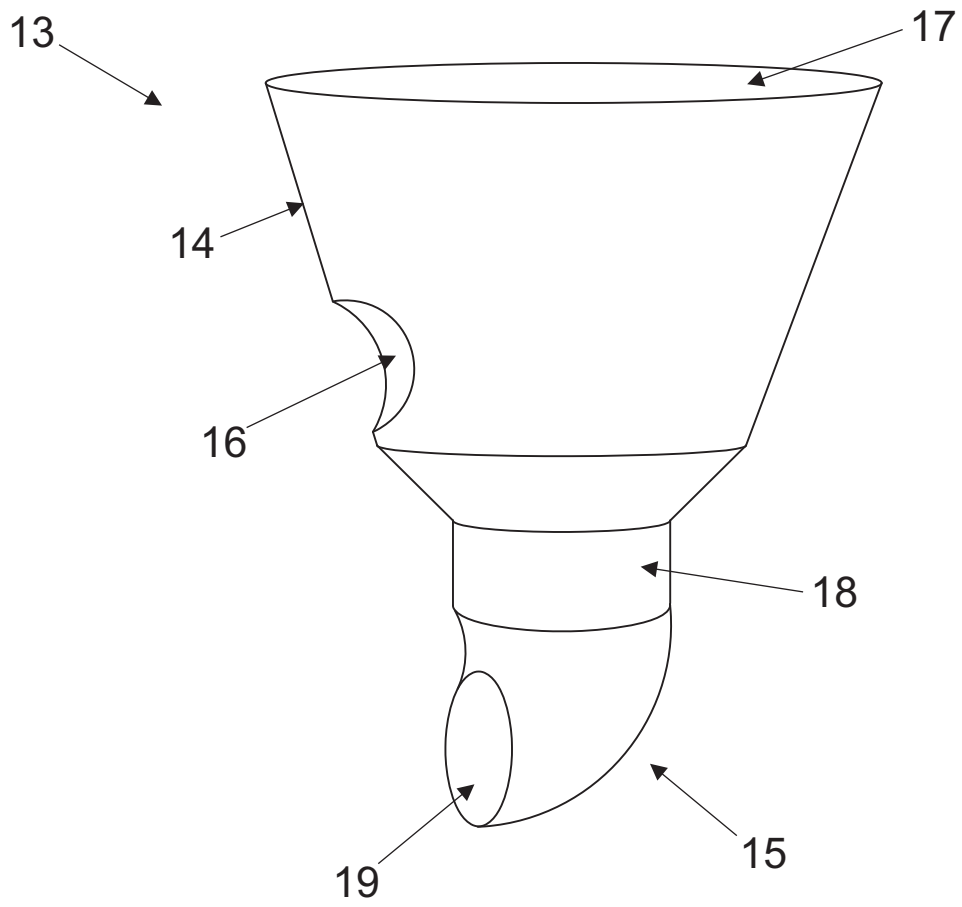


Fig. 2

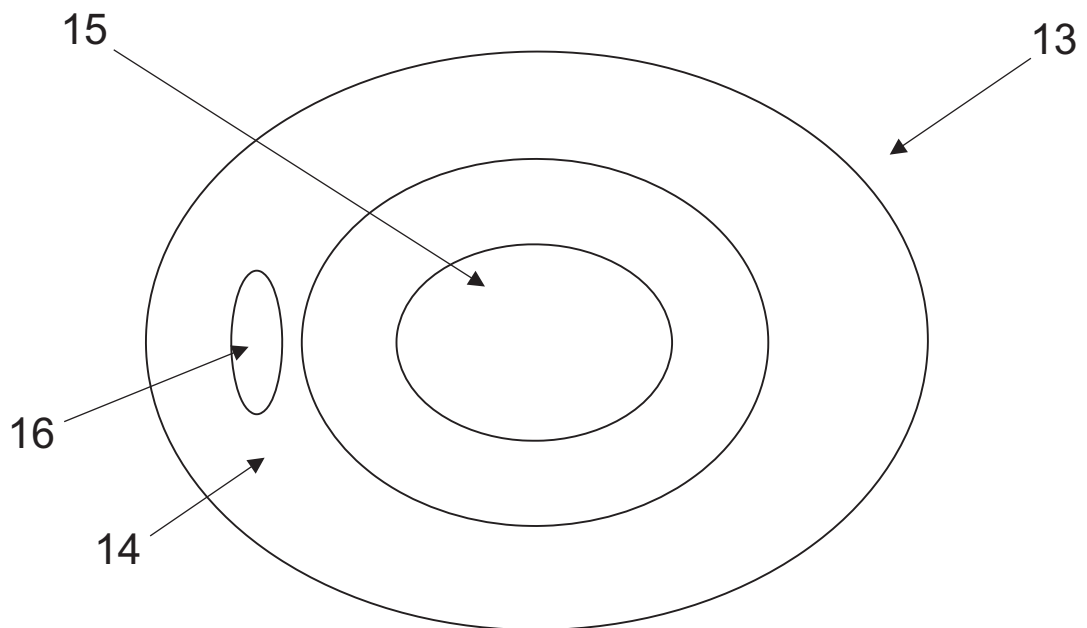


Fig. 3

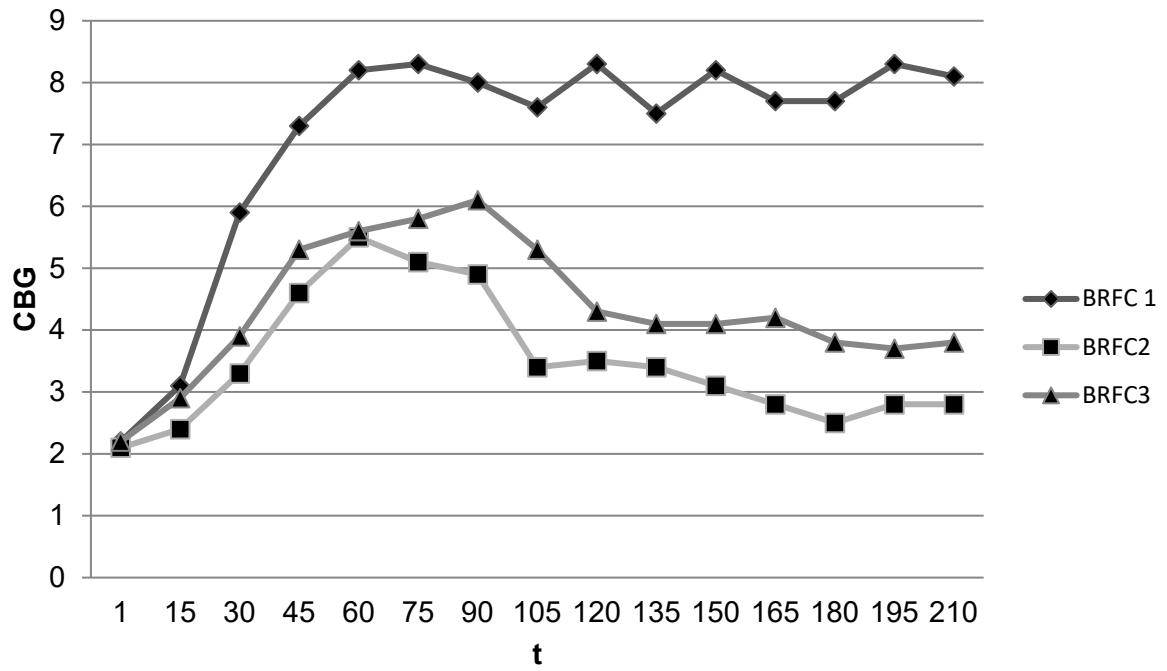


Fig. 4