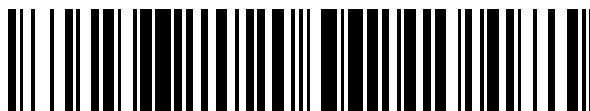


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 618 933**

51 Int. Cl.:

C02F 3/12 (2006.01)

C02F 3/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.04.2013** **PCT/NL2013/050247**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.10.2013** **WO2013151434**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.04.2013** **E 13716862 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.01.2017** **EP 2834198**

54 Título: **Tratamiento híbrido de aguas residuales**

30 Prioridad:

03.04.2012 NL 2008598

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.06.2017

73 Titular/es:

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V. (100.0%)
Laan 1914 no 35
3818 EX Amersfoort, NL

72 Inventor/es:

PEETERS, TOM WIL THEO

74 Agente/Representante:

TOMAS GIL, Tesifonte Enrique

ES 2 618 933 T3

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

DESCRIPCIÓN

Tratamiento híbrido de aguas residuales

5 Campo de la invención

[0001] La invención se refiere a un proceso mejorado de tratamiento de aguas residuales que utiliza un reactor de lodo activado en un proceso híbrido que incluye un reactor de biomasa granular aerobia.

10 Antecedentes

[0002] En la práctica común, las plantas de tratamiento de aguas residuales (WWTPs) incluyen una fase del proceso biológico en el que parte de las aguas residuales que contienen materia sólida, nutrientes y materia orgánica suspendida y soluble se trata por lodo activado (consistente principalmente en microorganismos).

15 Este proceso puede tener lugar o bien anaerobia o aerobiamente. El proceso más ampliamente aplicado para el tratamiento aeróbico de aguas residuales se llama proceso de "lodo convencional activado" (CAS). Incluye que aire u oxígeno se introducen en un reactor de tratamiento biológico que contiene una mezcla de aguas filtradas y algunas veces tratadas de forma primaria o aguas residuales industriales y biomasa de purificación, también designada "lodo activado". Los Sólidos Suspendidos en Licor Mezclado (MLSS) se desarrollan hacia una biomasa que contiene flóculo, que crece típicamente en agregados esponjosos suspendidos. El tanque de sedimentación posterior (normalmente designado "clarificador final") se utiliza para permitir que sedimenten los flóculos biológicos, separando así el lodo de purificación del agua tratada.

20 El lodo sedimentado se recicla hacia el proceso biológico como "lodo activado de recirculación" (RAS). Para mantener la biomasa en el reactor de tratamiento a un nivel deseado durante el crecimiento de biomasa, parte del RAS se desecha periódicamente como "lodo activado en exceso" (WAS).

[0003] El proceso de CAS se aplica a una variedad de configuraciones, que comprenden uno o varios tanques de tratamiento en trenes de tratamiento paralelos o secuenciales. Tales tanques pueden por ejemplo ser puestos en funcionamiento como reactor de flujo de pistón, como reactor de tanque agitado continuo (CSTR) o como reactor biológico secuencial (SBR). Aunque el proceso de CAS se usa ampliamente, tiene varios inconvenientes importantes, como: características de poca sedimentación del lodo, limitación a concentraciones bajas de MLSS, tendencia a desarrollar lodo flotante y un periodo definido de residencia de lodo activado. Estos inconvenientes son descritos brevemente de aquí en adelante.

35 Características de poca sedimentación del lodo

[0004] Debido a su estructura a modo de flóculos, las características de sedimentación de residuo activado son relativamente pobres, incluso cuando la planta esté funcionando bien. Esto produce la necesidad de clarificadores finales grandes y como consecuencia costes de construcción altos y huellas grandes de plantas.

40 Por tanto, muchas mejoras del pasado estaban focalizadas en conseguir técnicas de separación mejoradas. Una de estas es el uso de microfiltración para separar el lodo activado del agua tratada en un Reactor Biológico de Membrana (MBR). Otra es la adición de productos químicos para mejorar las características de sedimentación de la biomasa. En el documento WO96/14912 se describe un método que mejora las propiedades de sedimentación de lodo activado por la extracción de gas y creando una densidad más alta de biomasa.

45 El método de retirar selectivamente lodo con mal sedimentación se describe en el documento EP1627854.

Limitación a concentraciones bajas de MLSS

50 [0005] El proceso de CAS se limita a una concentración relativamente baja de MLSS, típicamente 3-5 g MLSS/L. Concentraciones más altas de MLSS llevan a un atraso desfavorable de residuo prolongado en los clarificadores finales y, especialmente durante condiciones con flujos hidráulicos superiores al promedio, a arrastre potencial de lodo. El estado de la técnica mide para aumentar el nivel de MLSS focalizado en la aplicación de microfiltración para separación de lodo / agua (Reactores Biológicos de Membrana) en vez de sedimentación o el uso de material portador sumergido para mejorar la concentración de biomasa, como por ejemplo descrito en el documento WO03/068694.

Lodo flotante

60 [0006] El proceso de CAS coincide con una incidencia periódica de la flotación o muy difícil de sedimentar el "lodo de hinchamiento", un fenómeno provocado por un crecimiento aumentado de microorganismos filamentosos en los flóculos de lodo activado. Las medidas típicas de contrarrestación incluyen oxidación química para destruir principalmente los organismos filamentosos o el uso de reactores biológicos secuenciales antes del lodo activado donde se redujo el crecimiento de microorganismos filamentosos.

65 Periodo definido de residencia de lodo activado

[0007] El proceso de CAS para la eliminación de nutrientes está diseñado típicamente con un periodo de permanencia de lodo activado definido en el sistema de 5-15 días.

Este periodo de tiempo establece un límite a la acumulación de especies favorables de microorganismos con bajos índices de crecimiento, que no se pueden mantener en el sistema de tratamiento. Medios para extender el periodo de residencia del lodo incluyen el Reactor Biológico de Membrana, la adición de material portador sumergido para crecimiento adjunto y el uso de bioaumentación. En estos procesos de bioaumentación, se cultiva una población específica de microorganismo y frecuentemente se inmoviliza en los reactores de bioaumentación.

Los reactores se alimentan con sustrato específico o corrientes laterales de residuos integrados desde la instalación de tratamiento de aguas residuales y después se dosifica al sistema de CAS, como se describe en por ejemplo el documento EP0562466. Otro ejemplo de tal proceso de bioaumentación in situ es descrito en el documento WO00/05177: describe un reactor de bioaumentación externo para enriquecer organismos específicos en la matriz del lodo activado.

[0008] Los inconvenientes de los sistemas típicos de CAS se superan en gran parte por el proceso y sistema de la biomasa granular aerobia (d), como desarrollado por Delft University of Technology (WO2004/024638). Se cultiva en esta biomasa granular del proceso con un tamaño típico de 0.2-3.0 mm, que tiene características muy diferentes de los flocos, como crecen en CAS. Por ejemplo la velocidad de asentamiento de los granulos aplicados está en el rango de 5.0-50.0 m/h (en la comparación: típico para CAS serían 0.5-1.0 m/h). Los índices de volumen de lodo (SVI) para la biomasa granular aerobia son 70 ml/g o inferior y típicamente son comparables en el valor después de 5 y 30 minutos de tiempo de asentamiento.

Además, las concentraciones de MLSS se pueden mantener a niveles 2-4 veces superior que en los sistemas de CAS, dando como resultado aprox. 2-4 veces más "potencia de purificación".

Además, la estructura estratificada de granulos en zonas aerobias, anóxicas y anaerobias y la gama en los tamaños de granulos suponen una distribución grande de edades del lodo.

Esto permite que microorganismos específicos y favorables con bajos índices de crecimiento sobrevivan en el proceso AGB.

[0009] Sin embargo, un inconveniente del proceso de AGB es el hecho de que los granulos tienen que crecer en un sistema de alimentación discontinuo, en los reactores secuenciales por lotes.

Se ha informado que la AGB solo se puede desarrollar y mantener en operaciones tipo lote, durante las que se seleccionan microorganismos que crecen lentamente a altas concentraciones de alimentación seguidas de un régimen de carestía durante condiciones de no alimentación (ver: WO2004/024638).

Tales condiciones, por definición, no se pueden establecer fácilmente en sistemas CAS alimentados continuamente.

[0010] Por lo tanto, la tecnología no puede usarse fácilmente para actualizar sistemas CAS alimentados continuamente en sistemas dirigidos al crecimiento de AGB.

La sustitución de los sistemas de CAS continuos ampliamente usados significarían desinversión grande de capital. Los esfuerzos para desarrollar un sistema de AGB alimentado continuamente han sido proporcionados en la bibliografía pero hasta el momento no han resultado factibles en condiciones prácticas.

Se hace referencia a un estudio sobre la formación y estabilidad de granulos aerobicos en un sistema continuo: (N.Morals, et al., separación y tecnología de purificación, volumen 89, página 199-205, 2012).

Se han hecho también esfuerzos para reemplazar el lodo activado en sistemas MBR continuos con biomasa granulosa aerobia para reducir la contaminación de membrana.

Se investigó si el lodo activado en los sistemas continuos MBR podría ser sustituido por biomasa granulosa cultivada en los reactores de cultivo o cultivada en los reactores de biomasa granulosa.

Los resultados mostraron que era no realizable mantener los granulos aerobicos en el sistema MBR: los granulos se deterioraron rápidamente (referencia: Xiufen et al., Characteristics of Aerobic Biogranules from Membrane Bioreactor System, Journal of Membrane Science, 287, page 294-299, 2006).

Como consecuencia, en el estado de la técnica actual, la mejora del rendimiento de los sistemas CAS existentes usando biomasa granular aerobia solo es posible por la actualización de los sistemas de CAS en reactores de AGB accionados por secuencia de lotes.

[0011] Aunque en un hipotético caso una biomasa granulosa sería capaz de sobrevivir en el CAS, el tamaño y características de asentamiento de los granulos son de manera que en muchos CAS la intensidad de mezcla no es suficiente y sedimentarán en el fondo y como tales resultarán inactivos para el proceso de tratamiento.

[0012] Un supuesto inconveniente de sistemas accionados por lotes como el sistema de AGB es la sensibilidad a fluctuaciones fuera de especificaciones de carga hidráulica alta.

Esto es porque todas las operaciones ocurren en un tanque y la alimentación a un tanque es discontinua.

Esto es diferente de los sistemas CAS equipados con grandes clarificadores finales, donde dichos clarificadores pueden hacer de tanque de amortiguamiento para impedir la pérdida de lodo.

Este inconveniente se puede contrarrestar instalando tanques de amortiguamiento de alimentación o modelos de alimentación por varios tanques de proceso de AGB.

[0013] El documento JP-A 2009-090161 divulga un tratamiento de aguas residuales aeróbicas que comprende una serie (no una disposición paralela) de tanques de aireación.

El lodo granular en copos se produce en un lecho oscilante con material portador en el primer tanque aireado y se alimenta al segundo tanque. El documento JP-A 2007-136368 divulga un tratamiento de aguas residuales aerobias donde el lodo se granula en un tanque de contacto, y el lodo se suministra después a un reactor inferior; el lodo granular excedente se devuelve del reactor aeróbico al tanque de contacto.

5 El documento WO 2007/029509 divulga un proceso de tratamiento de aguas residuales aeróbicas con regreso de lodo, que utiliza un tanque dividido aireado y microorganismos inmovilizados sobre un portador en el primer compartimento.

Resumen de la invención

10 [0014] Sorprendentemente se descubrió que las deficiencias e inconvenientes de los procesos del estado de la técnica se podrían superar añadiendo un sistema AGB a un sistema CAS y manipulando las corrientes de lodo desde el sistema de AGB.

15 La conexión del proceso híbrido resultante mejora considerablemente el rendimiento y flexibilidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales del estado de la técnica.

[0015] La invención comprende por tanto un proceso nuevo para el tratamiento biológico de aguas residuales donde se mejora el rendimiento de los sistemas de CAS. La adición de uno o más reactores de AGB sirve para dos fines: 1) tratar parte de las aguas residuales crudas y por medio de esto contribuir así al rendimiento global de tratamiento de la planta de tratamiento global híbrido y 2) por medio de esta actuación, aumentar sinérgicamente el rendimiento de CAS existente sin adición productos químicos, sin una actualización completa del sistema de CAS para la operación de secuencia por lotes, sin usar medidas de degasificación ni usar membranas, sin utilizar material de soporte de biomasa sumergida y sin bioaumento con microorganismos cultivados de forma especial o inmovilizados producidos por sustrato externo.

25 También, las fluctuaciones de carga hidráulica se pueden ajustar mientras se mantiene el tratamiento de residuos eficaz.

Breve descripción de los dibujos

30 [0016] En los dibujos anexos:

La Figura 1 representa esquemáticamente un equipo de proceso de tratamiento de aguas residuales híbridas de la invención;

35 La Figura 2 representa esquemáticamente una variación del proceso de tratamiento híbrido de aguas residuales de la invención como funcionando en una fase de puesta en marcha;

La Figura 3 representa esquemáticamente otra variación del proceso de tratamiento híbrido de aguas residuales de la invención que comprende una unidad de procesamiento de lodo residual;

La Figura 4 representa esquemáticamente un reactor para ser usado en el proceso granular aeróbico de la invención.

Descripción detallada de la invención

[0017] La invención proporciona por tanto un proceso de tratamiento de aguas residuales que comprende el sometimiento de una parte del suministro de aguas a un proceso de lodo activado que usa biomasa aeróbica a modo de flóculo, y el suministro de parte de las aguas residuales a un proceso de biomasa granular usando biomasa granular aeróbica, donde parte de la biomasa, es decir la biomasa de residuos y sólidos suspendidos que surge del proceso de biomasa granular se suministra al proceso de lodo activado.

50 [0018] El proceso de lodo activado (sistema de CAS) y el proceso de biomasa granular (reactores de AGB) son accionados en paralelo, lo que significa que el flujo principal de aguas residuales se divide en un flujo sometido al sistema de CAS y un flujo sometido al (los) reactor(es) de AGB, y las corrientes de división no se mezclan sustancialmente durante el proceso de tratamiento, de forma diferente a cantidades pequeñas que acompañan la transferencia de biomasa desde el sistema de AGB al sistema de CAS. La disposición en paralelo se describe más detalladamente más adelante.

55 La parte de la biomasa del proceso de biomasa granular que se suministra al proceso de lodo activado, es decir, los sólidos suspendidos, es especialmente la parte más ligera de la biomasa, es decir, la parte que tiene tamaños de partículas más pequeñas y/o una velocidad de asentamiento inferior (en particular, velocidad de asentamiento inferior) que la parte que no es suministrada al sistema CAS, es decir, permanece en el reactor de AGB. La biomasa granular en exceso desde los reactores de AGB preferiblemente no se suministra al sistema CAS, pero será procesada o reutilizada fuera del proceso. El lodo en exceso del sistema CAS se suministra preferiblemente al proceso de biomasa granular.

65 [0019] Como se utilizan en este caso, la biomasa granular aerobia (AGB), por ser usada en el proceso de biomasa granular, y biomasa aerobia a modo de flóculos, por ser usada en el proceso convencional de lodo activado (CAS), se distinguen por una o más características:

- (1) el índice de volumen de lodo (SVI_{30}), definido como el volumen en mililitros ocupado por 1 g de una suspensión después de 30 min. de asentamiento: la biomasa granular aerobia tiene un SVI_{30} que es menos de 70 ml/g, preferiblemente menos de 60 ml/g, más preferiblemente menos de 50 ml/g, de la forma más preferible menos de 40 ml/g; mientras la biomasa aerobia a modo de flóculo tiene típicamente un SVI_{30} superior a 70 ml/g, particularmente más de 80 ml/g, más en particular entre 90 y 150 ml/g; una biomasa de lodo como se usa aquí puede designarse como granulosa, si el SVI_{30} es inferior a 70 ml/g, y como a modo de flóculo, si el SVI_{30} es más de 70 ml/g. Además, el correspondiente SVI después 5 minutos de asentamiento, designado como SVI_5 para biomasa granulosa aerobia es inferior a 150 ml/g, preferiblemente menos de 100 ml/g, más preferiblemente menos de 70 ml/g, de la forma más preferible menos de 60 ml/g; mientras la biomasa aerobia a modo de flóculo tiene un SVI_5 superior a 150 ml/g, típicamente más de 250 ml/g. Una biomasa de lodo como se utiliza en este caso puede así designarse alternativa o adicionalmente como granulosa, si el SVI_5 es inferior a 150 ml/g, y como a modo de flóculos, si el SVI_5 es más de 250 ml/g.
- (2) la velocidad de asentamiento, definida como la altura de lodo asentado por hora: la biomasa granular aerobia tiene una velocidad de asentamiento de al menos 3 m/h, preferiblemente al menos 4 m/h, más preferiblemente entre 10 y 50 m/h, mientras la biomasa aerobia a modo de flóculos tiene una velocidad de asentamiento inferior a 3 m/h, particularmente menos de 2 m/h, más particularmente entre 0,5 y 1,5 m/h; una biomasa de lodo como se utiliza aquí puede designarse por tanto como granular, si la velocidad de asentamiento es de más de 3 m/h, y como a modo de flóculos, si la velocidad de asentamiento es inferior a 3 m/h.
- (3) tamaño medio de partícula: la biomasa granular aerobia comprende distintas partículas que después del tamizado mecánico en el laboratorio bajo lavado de agua tibia tiene un tamaño medio de partículas de al menos 0,2 mm, preferiblemente entre 0,4 y 3 mm, mientras los aglomerados de biomasa aerobia a modo de flóculos durante el tamizado mecánico en el laboratorio bajo lavado de agua tibia muestran un tamaño medio de partículas inferior a 0,2 mm, particularmente menos de 0,1 mm; una biomasa de lodo como usada aquí puede ser designada por tanto como granular, si el tamaño medio de partículas del residuo es más de 0,2 mm, y como a modo de flóculos, si el tamaño medio de partículas del residuo es inferior a 0,2 mm.
- [0020] La parte de la biomasa que sale del proceso de biomasa granular que se suministra al proceso de lodo activado tiene típicamente características que son intermedias entre las características de la biomasa granular aerobia y la biomasa aerobia a modo de flóculos tal como se ha definido anteriormente. Así, la parte de la biomasa transferida desde el(los) reactor(es) de AGB al sistema de CAS tendrá un índice de volumen de residuo (SVI_{30}) tal como se ha definido anteriormente entre 40 y 90 ml/g, especialmente entre 50 y 90 ml/g, y un SVI_5 entre 70 y 250 ml/g, especialmente entre 150 y 250 ml/g.
- Asimismo, la parte de la biomasa transferida desde el(los) reactor(es) de AGB al sistema de CAS tendrá una velocidad de asentamiento de entre 1,5 y 10 m/h, especialmente entre 3 y 10 m/h. Además o alternativamente, la parte de la biomasa transferida desde el(los) reactor(es) de AGB al sistema de CAS tendrá un tamaño de partícula de entre 0,1 y 0,4 mm.
- [0021] En una forma de realización ventajosa, el proceso de lodo activado del proceso híbrido de la invención se acciona de un modo convencional, continuo, donde el vertido del reactor de lodo activado se suministra continuamente a un clarificador, donde el vertido se separa a un líquido clarificado y una fracción de lodo. El líquido clarificado se combina preferiblemente combinado con el agua tratada que sale del proceso de biomasa granular, con otros post-tratamientos donde se desee.
- Parte del material no disuelto (es decir, la fracción de residuo) separada del clarificador se devuelve al proceso de lodo activado y parte se puede descargar o seguir tratándose como se describe más adelante. Formas de realización alternativas, tales como las que usan un reactor de secuenciación por lotes, sin clarificador final, son también parte de la invención.
- [0022] El proceso de biomasa granular del proceso híbrido de la invención se acciona ventajosamente a modo de lotes. El proceso granular puede funcionar por pasos alternantes como también descritos en el documento WO2004/024638 de la siguiente manera: (a) adición de aguas residuales a la biomasa granular aerobia en un reactor mientras el agua tratada se descarga del reactor, (b) suministrar gas que contiene oxígeno, en particular aire, a las aguas residuales adicionales en el reactor, mientras se mantiene el nivel de oxígeno en las aguas residuales en el reactor entre 0,2 y 5 mg/l, preferiblemente entre 0,4 y 4 mg/l, más preferiblemente entre 1 y 3 mg/l, (c) permitir que la biomasa granular se asiente, y (d) descargar parte de la biomasa (sólidos suspendidos: MLSS) del reactor; y luego volver a la fase (a).
- Al menos parte de esta biomasa descargada es suministrada al proceso de lodo activado.
- La fase (d) del proceso, es decir, la descarga de parte de los sólidos suspendidos, no tiene que ser incluida en cada uno y todos los ciclos del proceso, dependiendo de los requisitos relativos al lodo del proceso de lodo activado y el proceso granular. Por ejemplo, la etapa (d) se puede incluir en cada segundo o tercer etc. ciclo.
- [0023] En vez de descargar el agua tratada en la fase (a), es decir, al mismo tiempo que se suministran aguas residuales crudas al reactor, el agua tratada se puede descargar junto con la descarga de la parte de la biomasa del reactor en la fase (d), es decir, antes de la etapa de suministro (a) que sigue a la fase (d).

En este caso, la biomasa y el agua tratada se pueden suministrar al proceso de lodo activado. Esto es particularmente útil cuando se inicia el sistema.

[0024] Una característica importante del presente proceso es que el tamaño medio de partícula y/o velocidad de sedimentación de la biomasa (sólidos suspendidos) que es retirada del proceso granular aerobio y se puede suministrar al proceso de lodo activado es inferior al tamaño medio de partícula y/o velocidad de sedimentación de la biomasa granular aerobia que queda en el reactor granular aerobio.

Sin embargo, la biomasa transferida tendrá un tamaño de partícula mayor y/o velocidad de sedimentación más alta que el tamaño medio de partícula y/o velocidad de sedimentación del lodo en el proceso de lodos activado, como explicado anteriormente, y mejora el rendimiento del proceso de lodo activado.

[0025] El proceso de biomasa granular tiene lugar de un modo ascendente, donde las aguas residuales de la fase (a) se suministran desde el fondo y desplazan hacia arriba el agua tratada en la parte superior del reactor.

El gas que contiene oxígeno se suministra en la fase (b) en el fondo del reactor, no antes que después del suministro de las aguas frescas residuales.

En la fase (c), la materia suspendida que comprende precursores de biomasa parcialmente granular, biomasa granular más pequeña y bioaglomerados con velocidad de sedimentación inferior se descargan a entre 30 y 90% de la altura del reactor medida desde el fondo a la parte superior, mientras que la biomasa granular mayor en exceso se puede retirar periódicamente del proceso desde la parte inferior del reactor.

Detalles adicionales pueden verse en la figura 4 descrita más adelante.

Por tanto, se pueden descargar dos tipos de biomasa del proceso granular aerobio: en primer lugar los sólidos suspendidos, es decir, la parte de biomasa granular relativamente ligera, de tamaño pequeño y sedimentación lenta, que frecuentemente se pierde en al menos el 30% de la altura del reactor desde el fondo, y en segundo lugar, la biomasa granular pesada, que se puede perder a una frecuencia inferior desde el fondo del reactor.

[0026] En una configuración preferida del proceso mostrado en la figura 1, se construye un reactor de AGB (4) y se conecta con el reactor CAS existente (3) de tal manera que en paralelo al reactor CAS, el reactor de AGB se alimenta con parte (2) de las aguas residuales crudas entrantes o pretratadas (1) mientras el material suspendido desperdiciado por los reactores de biomasa granular aerobia (10) se suministra frecuentemente al sistema CAS (3+5) y resulta gradualmente en potenciales de purificación y capacidad mejoradas del proceso CAS.

En la figura 1 (5) se representa el clarificador final, alimentado continuamente (6) por el sobrante desde el reactor CAS, mientras (7) representa el flujo de retorno del lodo, dividido en RAS (8) y WAS (9).

El vertido de AGB (12) se lleva directamente al vertido (13) desde el clarificador final, para descarga directa o tratamiento terciario.

Gránulos en exceso grandes y completamente crecidos se desechan periódicamente desde el reactor de AGB (11).

El(los) nuevo(s) reactor(es) de AGB se puede(n) construir añadiendo nuevos tanques o actualizando parte del(los) reactor(es) de CAS existentes o compartimentos de los mismos o actualizando los tanques o clarificadores existentes.

[0027] La proporción de la parte de las aguas residuales suministradas al proceso de biomasa granular y la parte de las aguas residuales alimentadas al proceso de lodo activado se puede controlar dependiendo de la calidad de las aguas residuales.

Más típicamente la proporción de flujo AGB y flujo CAS es seleccionado entre 5:95 y 75:25, particularmente entre 10:90 y 50:50.

De esta manera, la configuración del proceso de la invención puede utilizarse para reducir uno de los inconvenientes de AGB alimentado por lotes, siendo el desafío el manejo de fluctuaciones grandes en la carga hidráulica, con proporciones mayores entre tormenta y flujos de tiempo seco como ocurre en áreas con sistemas de alcantarillado combinada.

Por ejemplo, durante condiciones de flujo de agua de tormenta, cuando las aguas residuales son abundantes y están relativamente diluidas, la mayoría de la carga hidráulica se puede suministrar al sistema de CAS alimentado continuamente y tratada con la ayuda del clarificador final, mientras la carga hidráulica al sistema de AGB solo ha aumentado un poco.

Por otro lado, se puede suministrar una proporción relativamente alta de las aguas residuales al proceso de biomasa granular en caso de volúmenes menores de aguas residuales relativamente concentradas, tal como puede ocurrir bajo condiciones meteorológicas secas.

En circunstancias particulares, las aguas residuales se pueden suministrar exclusivamente al proceso de lodo activado o al proceso granuloso.

Esta configuración del proceso puede reducir significativamente el volumen del tanque de AGB o volumen de tanque del tanque de amortiguamiento del agua de tormenta y ahorra en el coste global de construcción.

[0028] En principio, cualquier agua residual que no sea excesivamente tóxica para la biomasa usada se puede tratar por el proceso de la invención.

Por ejemplo, las aguas residuales pueden contener residuos orgánicos a un nivel de entre 10 mg y 8 g expresado como COD, por 1, en particular entre 50 mg y 2 g COD por 1.

Alternativamente o además, las aguas residuales pueden contener nitrógeno total (como amoníaco y/o otros compuestos de nitrógeno) a un nivel de entre 0,2 y 1000, particularmente entre 1 y 75 mg por 1 (como nitrógeno), que dará como resultado una eliminación al menos parcial del nitrógeno como explicado más adelante.

También, las aguas residuales pueden contener fósforo total (como fosfato y/o otros compuestos de fósforo) entre 0,05 y 500, particularmente entre 1 y 15 mg por 1 (como fósforo).

[0029] La configuración del proceso anteriormente mencionado puede ser aplicada favorablemente para aumentar la capacidad global del funcionamiento de WWTPs con los sistemas deCAS.

En esta configuración del proceso se construyen uno o más reactores de AGB nuevos en un tren de tratamiento paralelo, junto a los sistemas CAS existentes.

Los sistemas CAS existentes se alimentan con gran parte de aguas residuales crudas o pretratadas pero una parte restante por los sistemas AGB.

De esta manera se pueden reducir el tamaño y capacidad del tren de tratamiento de AGB para la extensión proyectada, porque se aumentan sinérgicamente la capacidad y rendimiento de los sistemas CAS existentes.

Mientras tanto, la huella pequeña del sistema deAGB permite frecuentemente que se construya como una extensión de capacidad de planta próxima al(los) sistema(s) deCAS existente(s) en las mismas instalaciones, que es importante cuando la huella para la expansión de la planta está limitada o es costosa.

[0030] Así, el proceso de lodo activado, es decir, el sistema de CAS, puede comprender dos, tres, cuatro, o más trenes de tratamiento que discurren en paralelo.

El vertido CAS de los reactores de CAS combinados se pueden suministrar a un clarificador único, o alternativamente cada reactor CAS puede ser provisto de su propio clarificador.

Preferiblemente, cada uno de los muchos reactores deCAS que discurren en paralelo se alimenta con biomasa desde el proceso granuloso aerobio, aunque el suministro de biomasa no tiene que ser idéntico o continuo para cada reactor de lodo activado.

Cuando se usan muchos reactores deCAS, el proceso de biomasa granular puede comprender un tren de tratamiento, o alternativamente muchas unidades de tratamiento granular.

Es concebible también que el proceso comprenda un sistema CAS único y dos, tres, o más trenes granulares aerobios.

[0031] La configuración híbrida de AGB y CAS en paralelo tiene una ventaja adicional de que a menudo se necesita un tanque de amortiguamiento adicional para equilibrar el flujo discontinuo de residuos desde el reactor AGB para permitir la deshidratación y engrosamiento continuos con capacidades de equipo reducidas.

Aplicando la configuración del proceso nuevo de esta invención, toda la biomasa desperdiciada y otro material suspendido desde el reactor AGB se pueden suministrar de forma discontinua al sistema deCAS paralelo y además se puede procesar continuamente con el lodo activado en las instalaciones de tratamiento de residuo de CAS.

[0032] Las ventajas no esperadas de la invención fueron evaluadas y demostradas.

Se construyó un reactor AGB para la sustitución de un sistema deCAS existente y para acomodar la capacidad adicional requerida y el rendimiento de purificación del WWTP existente.El sistema deAGB fue accionado en paralelo al sistema de CAS como se muestra en la figura 2.El vertido limpio del sistema deAGB (12) se dirigió temporalmente al clarificador final del sistema CAS.Los residuos del sistema deAGB (10), con contenido de material suspendido comprendiendo precursores de biomasa parcialmente granular, biomasa granular menor y bioaglomerados, se llevaron también temporalmente al sistema de CAS existente, que estaba operativo en paralelo al deAGB.El material de residuos desde el sistema deAGB (4) fue transferido gradualmente por medio de (11-6-5-7-8) al sistema CAS (3+5).Esto fue hecho como una medida temporal para compensar la eficacia reducida de eliminación de nutrientes del sistema deAGB durante la puesta en marcha.

Sorprendentemente se descubrió después que el rendimiento y estabilidad del proceso del sistema deCAS mejoró gradual pero significativamente como resultado de esta interacción con el sistema deAGB.

Esta mejora se desarrolló más con el tiempo cuando la descarga del material de residuos no procedía a través de (11) sino directamente al sistema CAS (3) y el efluente se descargó directamente a (12) después del clarificador final (5), como representado en la figura 1.

[0033] Como se ha descrito anteriormente, el material de lodo residual (materia sólida suspendida) a partir del proceso de biomasa granular se refiere al proceso de lodo activado.

También el vertido líquido del proceso de biomasa granular se puede dirigir de forma discontinua al proceso de lodo activado.

[0034] Antes de poner en marcha el reactor deAGB nuevo, los índices de volumen de residuo (DSV₁₃₀) en el sistema de CAS eran de 125-175 mL/g y estos bajaron de forma significativa a 75-100 mL/g sin que hubiera cambios en el sistema CAS.

Como resultado, la concentración de biomasa en el sistema de CAS podría aumentar de 3-4 g MLSS/L a 4-5 g MLSS/L sin afectar al nivel de materiales sólidos suspendidos en su vertido.

Claramente, la biomasa de residuos del sistema deAGB fue capturada en gran medida en el sistema deCAS, a su favor.

Además, la concentración de biomasa de residuos totales del sistema CAS aumentó de 8 g MLSS/L a 12 g MLSS/L en un flujo hidráulico reducido hacia las instalaciones de tratamiento de lodo.

[0035] De forma sorprendente se descubrió que la población de microorganismos en el sistema de CAS se había diversificado y también aparecían microorganismos significativamente más especializados y de crecimiento más lento que anteriormente.

La biomasa del sistema deCAS todavía mantenía su estructura a modo de flóculos pero se volvió más densa con inclusiones de biomasa granular de residuos pequeños, dando como resultado capacidad de sedimentación y purificación mejoradas. También se midió que la concentración de biopolímeros y sustancias poliméricas extracelulares habían aumentado significativamente en la biomasa del sistema deCAS. Además de estas conclusiones, el sistema deCAS existente, altamente cargado, completamente aireado, mostró una capacidad de desnitrificación muy mejorada. Un hallazgo destacable, porque un índice de desnitrificación tan elevado habría sido imposible con base en las condiciones aerobias predominantes y edad del lodo en el sistema de CAS.

Las pruebas mostraron una concentración de vertido de $\text{NO}_3\text{-N}$ decreciente de 8-10 g $\text{NO}_3\text{-N/L}$ a 3-4 g $\text{NO}_3\text{-N/L}$.

[0036] El material de partículas en el vertido de residuos del sistema de AGB desplazará parte del residuo activado en el sistema de CAS. Este material de residuos deAGB (materias sólidas suspendidas) contiene fracciones de gránulos aerobios diminutos, precursores de gránulos, fracciones de gránulos y bioaglomerados, que resultan de dividirse gránulos mayores (y más viejos). Tal y como se menciona, laAGB y partes de la misma contienen una población de microorganismo muy diversos, que incluyen microorganismos especializados y de forma favorable de crecimiento lento.

De forma sorprendente se descubrió que las características físicas de este material de residuos de AGB particulado no se deterioraron en el sistema CAS y el material tampoco perdió su capacidad de desnitrificación como es típico de los gránulos mayores.

[0037] En otra configuración del proceso el efecto sinérgico de poner en funcionamiento un sistema deAGB en la configuración híbrida con un sistema deCAS se puede usar ventajosamente para eliminar eficazmente componentes de nitrógeno de las aguas residuales.

Hace uso de las capacidades mejoradas de los sistemas de AGB para eliminar los altos niveles de compuestos de nitrógeno de las aguas residuales. En esta configuración del proceso, como representado en la figura 3, el sistema deAGB (4) se alimenta (parcialmente) por un flujo lateral (16) del sistema CAS (3+5) que contiene niveles altos de compuestos de nitrógeno, que se originan, por ejemplo, en una unidad de procesamiento (14) de lodo residual. La mayoría de tales corrientes laterales son pequeñas en volumen pero elevadas en concentraciones de nutrientes (nitrógeno, compuestos de fósforo) en comparación con el afluente (1), que se puede tratar por la AGB. Ejemplos de tales corrientes laterales son: rechazo de agua de los dispositivos de deshidratación, agua en decantación de los digestores, agua de tanques de selección anóxicos y mezclas de tales corrientes con el afluente.

El vertido del sistema de AGB (12), junto con material suspendido de residuos y/o biomasa (10), se refiere al sistema de CAS. Esta configuración del proceso de los sistemas híbridos AGB/CAS demuestran otro ejemplo del efecto positivo de la adición de un sistema deAGB a un sistema de CAS en el rendimiento general de un WWTP.

[0038] De forma sorprendente se descubrió que la invención también proporciona una solución rentable para mejorar la capacidad de eliminación biológica de fósforo (P) de un sistema deCAS existente equipado con eliminación del químico P.

Para sistemas deCAS convencionales de eliminación de P biológico, se requiere un preacondicionamiento anaerobio del lodo activado para obtener la liberación de P antes de que pueda tener lugar una absorción aumentada de P en el sistema de CAS bajo condiciones posteriores anóxicas / aerobias.

Como se conoce del documento WO 2004/024638, los sistemas deAGB han aumentado las capacidades de eliminación de P biológico, relacionadas con la proliferación de Organismos de Acumulación de Fosfato (OAPs) en el gránulo estratificado aerobio/anóxico. También se sabe que debido a los perfiles pH en el gránulo, puede tener lugar la precipitación de fosfato biocatalizado, que mejora más la capacidad de eliminación de P del sistema AGB.

[0039] La invención puede utilizarse para añadir capacidad de eliminación de fosfato biológico a un sistema WWTP existente y combinarlo con características mejoradas de sedimentación de biomasa de CAS, como se ha explicado anteriormente.

Sin embargo, se ha observado que la capacidad global de eliminación de P biológico de los sistemas híbridos de AGB/CAS era mucho mayor de lo que se podía calcular con base en la suma de los dos procesos combinados.

Se observó una reducción significativa en el requisito de dosificación de sustancias químicas para la precipitación de P en el CAS, lo que da como resultado una producción de lodo químico de forma favorable muy inferior.

Nuevamente se mostró que los residuos de AGB dirigidos hacia el sistema de CAS dieron como resultado la sustitución o unión de flóculos de biomasa de CAS con biomasa granular pequeña a partir del sistema AGB.

Este material particulado todavía mostraba las buenas capacidades de eliminación de P biológico bajo condiciones aerobias en el sistema CAS.

La invención permite que se introduzca en el sistema de CAS la capacidad adicional de eliminación de P biológico sin elaborar la construcción de compartimentos anóxicos y anaerobios separados en el sistema de CAS y donde la eliminación de P químico en el sistema de CAS se vuelve menos importante o incluso superfluo.

[0040] La invención también se puede usar para optimizar el rendimiento de un sistema CAS que trata mezclas de aguas residuales que incluyen materia orgánica de bajo peso molecular. Tales compuestos dan como resultado frecuentemente lodo en hinchamiento por microorganismos filamentosos, que son difíciles de sedimentar.

Se usa frecuentemente para minimizar este problema un tanque selector como primera fase en el proceso de tratamiento biológico. En tales tanques selectores estos componentes se biodegradan en parte de forma selectiva.

Se observó que cuando tales aguas residuales o parte de las aguas residuales se trataron en el sistema de AGB funcionando en paralelo al sistema CAS, parte de la materia orgánica de bajo peso fue biodegradada por la AGB en zonas anaerobias de los gránulos. Esto da como resultado un consumo de energía inferior para aireación y la producción de biogás, que podría ser capturado y utilizado. Especialmente era muy destacable que se midió la degradación anaerobia de compuestos de menos alcohol, tales como metanol y etanol, ya que tales compuestos en reactores anaerobios tradicionales difícilmente se convierten en conjunto. Además, se notó que esta capacidad de tratamiento anaerobio fue transferida desde el sistema de AGB al CAS en la configuración híbrida CAS/AGB.

En conclusión: otra configuración de la invención está poniendo en funcionamiento un sistema de AGB en paralelo a un sistema CAS para mejorar las características de sedimentación del lodo mientras que al mismo tiempo se reduce la capacidad de aireación requerida en el WWTP general.

[0041] El funcionamiento del proceso granular aerobio se ilustra esquemáticamente en la figura 4, que muestra un reactor granular aerobio 4. El reactor funciona a modo de flujo ascendente que comprende un lecho inferior 40 que contiene la biomasa granulosa mayor, y una parte superior 41 que contiene material suspendido que comprende precursores de biomasa parcialmente granular, biomasa granular menor y bioaglomerados. Las aguas residuales 2, y el flujo opcionalmente lateral 16, se introducen en el fondo a través de medios de entrada 42. El aire se introduce a través de la entrada 43 en el fondo con medios para la distribución (no mostrados), y el aire consumido deja el reactor en la parte superior.

El vertido limpio 12 deja el reactor a través del reborde y salida 45. El material en exceso 10, que tiene un tamaño medio de partículas que es inferior al tamaño medio de partícula de la biomasa granular en el reactor, se puede descargar a través de la salida 46, que se sitúa en algún lugar entre el 30 y 90% de la altura (líquida) del reactor. La biomasa mayor granular en exceso 11 se puede retirar a través de la salida 44.

La entrada 42 y 43 y salidas 44, 45 y 46 son provistas preferiblemente de una válvula para controlar el flujo de entrada y flujo de salida de las varias corrientes. En particular, el suministro de aire y los medios de distribución 43 son provistos de un regulador de flujo controlado por el nivel de oxígeno en el contenido del reactor para mantener una concentración de oxígeno en el contenido de reactor en los límites requeridos, es decir 0.2-5 mg/l, para producir características óptimas de biomasa granular.

[0042] En otro proceso ventajoso, la configuración híbrida de los sistemas de CAS y AGB se aplica a la granulación objetivo en el AGB antes que el tratamiento de aguas residuales.

El exceso producido de gránulos cultivados se puede cosechar como biomasa de residuos valiosa y vender como material de semilla para nuevos sistemas de AGB.

[0043] La invención comprende además el equipo para la puesta en práctica de la configuración del proceso híbrido con los sistemas de AGB y CAS, como se ha descrito. Tal equipo comprende ventajosamente un reactor de lodo activado (3) con una entrada de líquido, una salida de líquido, una entrada de gas, un reactor de biomasa granular (4) con una entrada de líquido (42) en el fondo del reactor y una salida de líquido (45) en la parte superior del reactor y una salida (46) en al menos un tercio de la altura del reactor (4), una entrada de gas (43) en el fondo del reactor, un conducto de líquido que conecta una salida del reactor de biomasa granular (4) con una entrada del reactor de lodo activado (3), y preferiblemente un separador (5) conectado con una salida de líquido del reactor de lodo activado (3), donde el separador tiene una salida de lodo y una salida de líquido clarificado, y que comprende además una válvula de control para regular el flujo líquido relativo a la entrada de líquido del reactor de lodo activado (3) y la entrada líquida del reactor de biomasa granular (4).

Tal equipo puede comprender ventajosamente muchos reactores de lodo activado (3) y/o muchos reactores de biomasa granular (4) dispuestos en paralelo.

REVINDICACIONES

1. Proceso de tratamiento de aguas residuales que comprende la división de una corriente principal de aguas residuales en (i) una corriente de aguas residuales sujeta a un proceso de lodo activado usando biomasa aerobia a modo de flóculos, y (ii) una parte de la corriente de aguas residuales suministrada a un proceso de biomasa granular, accionado en paralelo a dicho proceso de lodo activado y usando biomasa granular aerobia, donde parte de la biomasa que sale del proceso de biomasa granulares suministrada al proceso de lodo activado, donde dicha parte de la biomasa suministrada al proceso de lodo activado tiene una velocidad de sedimentación inferior que la parte de la biomasa del proceso de biomasa granular que no se suministra al proceso de lodo activado.
2. Proceso según la reivindicación 1, donde la biomasa granular aerobia se caracteriza por uno o más de los siguientes: un índice de volumen de lodo, definido como el volumen en mililitros ocupado por 1 g de una suspensión después de 30 min de sedimentación, que es de menos de 70 ml/g, preferiblemente menos de 50 ml/g; una velocidad de sedimentación de al menos 3 m/h, preferiblemente entre 10 y 50 m/h; y un tamaño medio de partículas de al menos 0,2 mm, preferiblemente entre 0,4 y 3 mm, y donde la parte de la biomasa que sale del proceso de biomasa granular que se suministra al lodo activado está **caracterizada por** uno o más de los siguientes: un índice de volumen de lodo, definido como el volumen en mililitros ocupado por 1 g de una suspensión después de 30 min de sedimentación, que está entre 40 y 90 ml/g, preferiblemente entre 50 y 90 ml/g; una velocidad de sedimentación de entre 1,5 y 10 m/h, preferiblemente entre 3 y 10 m/h; y un tamaño medio de partículas de entre 0,1 y 0,4 mm.
3. Proceso según la reivindicación 1 o 2, donde la biomasa aerobia a modo de flóculos está **caracterizada por** uno o más de lo que sigue: un índice de volumen de lodo, definido como el volumen en mililitros ocupado por 1 g de una suspensión después de 30 min. de sedimentación, de más de 70 ml/g, más en particular entre 90 y 150 ml/g; una velocidad de sedimentación inferior a 3 m/h, más particularmente entre 0,5 y 1,5 m/h; y un tamaño medio de partículas inferior a 0,2 mm, particularmente inferior a 0,1 mm.
4. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 3, donde la biomasa granular aerobia está **caracterizada por** un índice de volumen de lodo, definido como el volumen en mililitros ocupado por 1 g de una suspensión después de 5 min. de sedimentación, que es de menos de 150 ml/g, preferiblemente menos de 100 ml/g.
5. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, donde la biomasa aerobia a modo de flóculos está **caracterizada por** un índice de volumen de lodo, definido como el volumen en mililitros ocupado por 1 g de una suspensión después de 5 min. de sedimentación, que es de más de 250 ml/g.
6. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 1-5, donde el proceso de biomasa granular se acciona por las fases consecutivas de (a) adición de aguas residuales a la biomasa granular aerobia en un reactor mientras el agua tratada se descarga desde el reactor, (b) suministro de gas que contiene oxígeno, en particular aire, al reactor, mientras se mantiene el nivel de oxígeno en las aguas residuales en el reactor entre 0,2 y 5 mg/l, (c) permitir que la biomasa granular sedimente y (d) extraer parte de la biomasa del reactor y suministrarla al menos parcialmente al proceso de lodo activado, donde el tamaño medio de partículas de la biomasa que se extrae es inferior al tamaño medio de partículas de la biomasa restante en el reactor.
7. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 1-6, donde el proceso de biomasa granular se acciona por las fases consecutivas de (a) adición de aguas residuales a la biomasa granular aerobia en un reactor, (b) suministro de gas que contiene oxígeno, en particular aire, al reactor, mientras se mantiene el nivel de oxígeno en las aguas residuales en el reactor entre 0,2 y 5 mg/l, (c) permitir que la biomasa granular sedimente y (d) descargar el agua tratada desde el reactor incluyendo la extracción de parte de la biomasa del reactor y suministrarla al menos parcialmente al proceso de lodo activado, donde el tamaño medio de partículas de la biomasa extraída es inferior al tamaño medio de partículas de la biomasa que queda en el reactor.
8. Proceso según la reivindicación 7, donde el proceso de biomasa granular se acciona a modo de flujo ascendente, donde las aguas residuales en la fase (a) se suministran desde el fondo y desplazan el agua tratada, que se descarga en la misma fase en la parte superior del reactor, el gas que contiene oxígeno en la etapa (b) se suministra al fondo del reactor y en la fase (d) la biomasa con el tamaño de partículas inferior se extrae a entre 30 y 90% de la altura del reactor desde el fondo a la parte superior.
9. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 1-8, donde la proporción de la parte de las aguas residuales suministrada al proceso de biomasa granular y la parte de las aguas residuales suministrada al proceso de lodo activado se puede controlar dependiendo de la calidad del suministro de aguas residuales y se selecciona entre 5:95 y 75:25, particularmente entre 10:90 y 50:50.
10. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 1-9, donde las aguas residuales contienen residuos orgánicos a un nivel de entre 10 mg y 8 g, expresado como COD, por 1, y/o nitrógeno total (como amoníaco y/o otro compuesto de nitrógeno) a un nivel de entre 0,2 y 1000 mg por 1, particularmente entre 1 y 75 mg por 1, y/o fósforo total (como fosfato y/o otros compuestos de fósforo) entre 0,05 y 500 mg por 1, particularmente entre 1 y 15 mg por 1.

11. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 1-10, **caracterizado por el hecho de que** el proceso de lodo activado comprende dos o más trenes de tratamiento.
- 5 12. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 1-11, **caracterizado por el hecho de que** el proceso de biomasa granular comprende un tren de tratamiento.
13. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 1-12, **caracterizado por el hecho de que** el proceso de biomasa granular comprende dos o más trenes de tratamiento.
- 10 14. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 1-13, **caracterizado por el hecho de que** al menos parte de un proceso de flujo lateral, derivado del proceso de lodo activado y que contiene niveles de nutrientes más elevados que las aguas residuales iniciales, se vuelve al proceso de biomasa granular.
- 15 15. Instalación para la ejecución del proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende un reactor de lodo activado (3) con una entrada de líquido, una salida de líquido, una entrada de gas, un reactor de biomasa granular (4) con una entrada de líquido en el fondo del reactor, una o más salidas de líquido en al menos un tercio de la altura del reactor (4) y una salida de líquido en el fondo del reactor (4), una entrada de gas en el fondo del reactor, un conducto de líquido que conecta una salida de una o más salidas de líquido a al menos un tercio de la altura del reactor de biomasa granular (4) con una entrada del reactor de lodo activado (3), y un separador (5) conectado a una salida de líquido del reactor de lodo activado (3), que tiene una salida de lodo y una salida de líquido clarificado, y que comprende además un dispositivo para regular los flujos de líquido relativo a la entrada de líquido del reactor de lodo activado (3) y la entrada de líquido del reactor de biomasa granular (4).
- 20

25

Fig 1

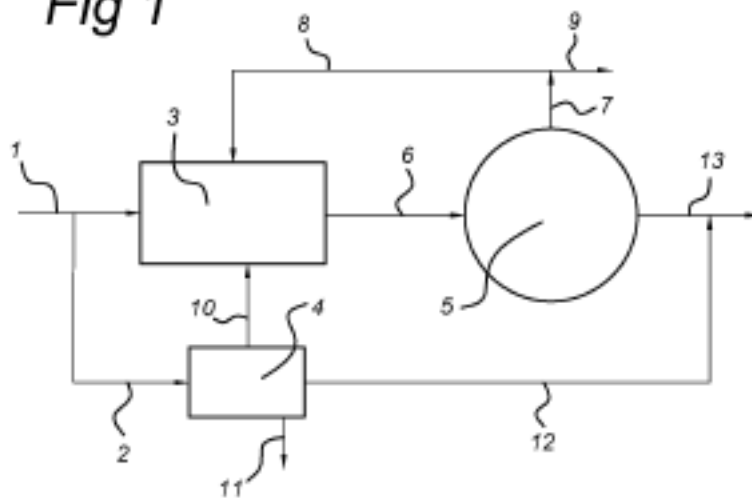


Fig 2

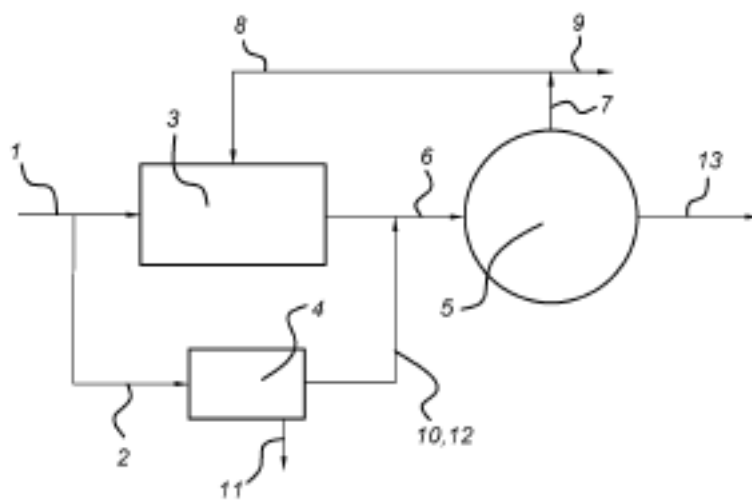


Fig 3

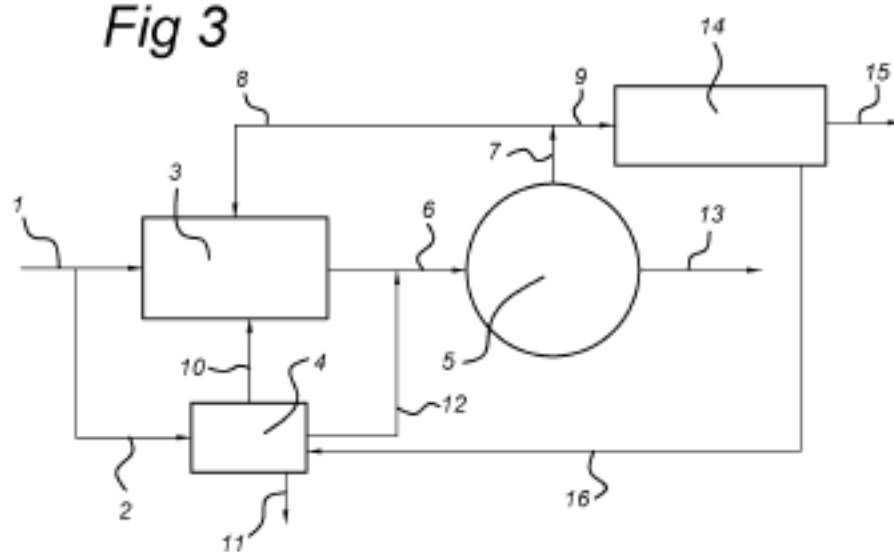


Fig 4

