

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 750 078**

51 Int. Cl.:

**C02F 3/12** (2006.01)

**C02F 3/30** (2006.01)

**C02F 3/34** (2006.01)

**B01D 21/00** (2006.01)

**B03D 3/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.07.2016 PCT/EP2016/068055**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.02.2017 WO17025345**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.07.2016 E 16744428 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2019 EP 3334693**

54 Título: **Proceso y sistema continuo para el tratamiento de aguas residuales**

30 Prioridad:

**10.08.2015 NL 2015286**

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

**24.03.2020**

73 Titular/es:

**HASKONINGDHV NEDERLAND B.V. (100.0%)**

**Laan 1914 no 35**

**3818 EX Amersfoort, NL**

72 Inventor/es:

**HORJUS, FRANS WIERD**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 750 078 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

Proceso y sistema continuo para el tratamiento de aguas residuales

La presente invención se refiere a un proceso y sistema mejorado para el tratamiento de aguas residuales, en particular para el tratamiento secundario de aguas residuales utilizando microorganismos, y un sistema para realizar el proceso.

5 **Antecedentes**

10 El tratamiento de aguas residuales generalmente implica varias etapas. Durante el tratamiento primario, los sólidos pesados se depositan en el fondo de un recipiente y se acumulan materiales oleosos ligeros en la superficie del agua. Los sólidos pesados y los aceites ligeros se eliminan y las aguas residuales tratadas primariamente se someten a un tratamiento secundario, en el que se elimina el material biológico disuelto y suspendido. El tratamiento secundario generalmente se realiza utilizando microorganismos que convierten el material biológico en lodo. Típicamente, el tratamiento secundario se combina con el tratamiento terciario, en el que los microorganismos eliminan los contaminantes como los fosfatos y los nitratos. Un tratamiento combinado secundario y terciario de aguas residuales típicamente involucra una zona anaeróbica, una zona anóxica y una zona aeróbica, donde las aguas residuales se contactan con lodo activo. Los microorganismos presentes en el lodo efectúan el crecimiento del lodo, en donde la materia orgánica se convierte en lodo. El lodo excedente se separa del agua tratada por asentamiento y posteriormente se descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales como desecho.

15 Los procesos para el tratamiento de aguas residuales se conocen, por ejemplo, a partir del documento WO 2008/141413, en el que una mezcla de aguas residuales y lodos, aguas abajo de las zonas anaeróbicas y aeróbicas, conducen a un asentamiento rápido que funciona de manera discontinua. El lodo sedimentado se transfiere a la zona anaeróbica y el resto de la mezcla se conduce a un segundo sedimentador. En el documento US 2014/0144836 se describe un sistema alternativo de tratamiento de aguas residuales, en el que parte del lodo formado en el proceso está sujeto a un selector gravimétrico. El lodo pesado se retroalimenta al proceso mientras que el lodo ligero se somete a tratamiento posterior. La parte restante de la mezcla de lodo y agua se lleva a un sedimentador y el lodo depositado en él se recicla al inicio del proceso de tratamiento.

20 El documento JP 2008/284427 describe un método de tratamiento de aguas residuales en el que el lodo crudo fermentado se separa del agua residual orgánica para generar un ácido orgánico, y los ácidos orgánicos que se usan para producir un lodo granular de manera estable y eficiente. No hay separación hasta después del paso de sedimentación final, y esto está precedido por una sección de prevención de salida de gránulos que está allí para filtrar gránulos que tienen un tamaño mayor que 0,5 mm. Después de filtrar las partes más grandes, todo el lodo se devuelve al tratamiento biológico y a la formación/producción de gránulos.

25 Hoy en día, la formación de gránulos de lodo, a diferencia de los flóculos de lodo, se considera óptima para el tratamiento de aguas residuales. El lodo granular tiene excelentes propiedades de sedimentación. El lodo granular sedimenta muchos órdenes de magnitud más rápidamente que los flóculos de lodo, eliminando así la necesidad de enormes tanques de sedimentación en los que el agua residual tratada debe residir durante muchas horas (generalmente al menos 4 horas) para poder separarla del lodo. El uso de lodo granular puede reducir el área de una planta de tratamiento de aguas residuales a solo una quinta parte del área original, lo que reduce drásticamente el impacto ambiental de dicha planta. La formación de lodo granular es conocida para los procesos de tratamiento de aguas residuales por lotes, por ejemplo, de los documentos WO 98/37027 y WO 2004/024638, y se ha implementado con éxito en el proceso de tratamiento de aguas residuales de Nereda. Desde la primera formación de lodo granular, el campo ha buscado medios para permitir la formación de lodo granular en un proceso continuo de tratamiento de aguas residuales. Hasta la fecha, no se han encontrado tales medios. La presente invención proporciona la necesidad de un proceso continuo de tratamiento de aguas residuales en el que se forma y/o mantiene el lodo granular.

**Resumen de la invención**

30 La invención se refiere a un proceso mejorado para el tratamiento de aguas residuales. Los inventores descubrieron sorprendentemente que las aguas residuales pueden tratarse de manera continua mientras que al mismo tiempo se forman y/o mantienen gránulos de lodo dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales. Tal proceso continuamente operable para el tratamiento de aguas residuales, en el que los gránulos de lodo se forman y mantienen efectivamente, no tiene precedentes en la técnica. La invención se refiere además a un sistema para realizar el proceso de acuerdo con la invención.

35 El proceso de acuerdo con la invención comprende un paso anaeróbico (a), un paso aeróbico (b), un paso de selección de lodo (c) y un paso de eliminación de lodo (d). El proceso implica la selección del lodo de sedimentación rápida de una parte del lodo que se origina en el paso aeróbico (b) y que devuelve ese lodo a la zona anaeróbica del paso (a), donde se pone en contacto con las aguas residuales entrantes. El lodo de sedimentación lenta no se devuelve a la zona anaeróbica, sino a la zona aeróbica del paso (b). Como tal, el contenido total de lodo dentro del sistema está garantizado y al mismo tiempo se promueve el crecimiento de lodo de sedimentación rápida, mientras que el crecimiento de lodo de sedimentación lenta no lo es. En comparación con el tratamiento convencional de aguas residuales, el presente proceso difiere en al menos uno o dos aspectos. En primer lugar, solo una parte del lodo se somete a un paso de reciclaje (paso de selección de lodo (c) con reciclaje a los pasos (a) y (b)) y, en segundo lugar,

5 el lodo reciclado de sedimentación rápida se devuelve específicamente a la zona anaeróbica, y no a una zona diferente del sistema de tratamiento de aguas residuales. Los inventores descubrieron sorprendentemente que cuando estas dos características se combinan en un proceso continuo para el tratamiento de aguas residuales, se forma un lodo granular. Los procesos de tratamiento de aguas residuales de la técnica anterior, en los que el lodo de sedimentación rápida no se devuelve específicamente a la zona anaeróbica, no estimula el crecimiento específicamente de este lodo de sedimentación rápida, de modo que no se forma lodo granular en el mismo.

10 De acuerdo con la invención, el proceso es una mejora importante sobre los procesos continuos de tratamiento de aguas residuales de la técnica anterior. La mejora con respecto a los procesos de la técnica anterior reside principalmente en que el lodo granular se forma y mantiene dentro del sistema, lo que proporciona al presente proceso y sistema varias ventajas. En primer lugar, la sedimentación del paso (d) puede reducirse drásticamente, ya que el lodo granular se deposita notablemente más rápidamente que los flóculos de lodo. Además, la solución del paso (d) puede emplear un flujo ascendente (aumentado). Los procesos de la técnica anterior no se emplean como un flujo ascendente, o solo a una velocidad de flujo ascendente muy baja. Se puede usar un flujo ascendente más rápido en el proceso actual mientras se mantiene una separación efectiva de lodo y agua tratada. En segundo lugar, el uso de un tanque anóxico entre la zona anaeróbica y aeróbica, así como el reciclaje de agua/lodo de la zona aeróbica a la zona anóxica y la zona anaeróbica, no es necesario, en tanto que aún es posible la eliminación completa de compuestos de nitrógeno del agua residual. Además, el volumen del tanque anaeróbico puede reducirse considerablemente, ya que el lodo sometido a la zona anaeróbica es una corriente concentrada de lodo granular, en comparación con el lodo flocular diluido en los procesos de la técnica anterior. Todo esto se combina con un proceso operativo continuo y estable, donde el lodo granular se mantiene fácilmente. Estas ventajas conducen a una simplificación dramática de las plantas de tratamiento de aguas residuales, mientras se mantiene la eficacia en la purificación de las aguas residuales entrantes sin cesar.

#### Descripción detallada

25 La presente invención se refiere a un proceso mejorado para el tratamiento de aguas residuales, y a un sistema diseñado para realizar el proceso de acuerdo con la invención. El experto apreciará que todo lo mencionado a continuación para el proceso de acuerdo con la invención se aplica igualmente al sistema de acuerdo con la invención y viceversa.

#### Proceso

El proceso de acuerdo con la invención comprende:

- 30 (a) poner en contacto las aguas residuales con lodo de sedimentación rápida que se origina en el paso (c) en una zona anaeróbica, para obtener una mezcla de aguas residuales y lodo;
- (b) someter la mezcla que se origina en el paso (a) y el lodo de sedimentación lenta que se origina en el paso (c) a una zona aeróbica para obtener una mezcla de agua y lodo;
- 35 (c) someter a una primera parte de la mezcla que se origina en el paso (b) a un paso de selección de lodo, en donde el lodo se selecciona en base a la velocidad de sedimentación y se recoge una primera porción que contiene lodo de sedimentación lenta y una segunda porción que contiene lodo de sedimentación rápida, en donde la velocidad de sedimentación promedio del lodo de sedimentación rápida es mayor que la velocidad de sedimentación del lodo de sedimentación lenta, y en donde la primera porción se devuelve al paso (b) y la segunda porción se devuelve al paso (a); y
- 40 (d) separar el lodo de una segunda parte de la mezcla que se origina en el paso (b), para obtener aguas residuales tratadas.

45 En una realización, el paso (b) se realiza directamente después del paso (a), sin alteraciones significativas adicionales a la mezcla de aguas residuales y lodos obtenidos en el paso (a). En una realización, el paso (c) se realiza directamente después del paso (b), sin alteraciones significativas adicionales a la primera parte de la mezcla de agua y lodo obtenida en el paso (b). En una realización, el paso (d) se realiza directamente después del paso (b), sin ninguna alteración significativa adicional a la segunda parte de la mezcla de agua y lodo obtenida en el paso (b). En una realización, el paso (a) se realiza directamente después del paso (c), sin ninguna alteración significativa adicional a la segunda porción que contiene lodo de sedimentación rápida obtenido en el paso (c). En una realización, el paso (b) se realiza directamente después del paso (c), sin alteraciones significativas adicionales a la primera porción que contiene el lodo de sedimentación lenta obtenido en el paso (c). En una realización, la mezcla que se obtiene en el paso (a) está totalmente formada por las aguas residuales entrantes y el lodo de sedimentación rápida que se origina en el paso (c). En una realización, la mezcla que se obtiene en el paso (b) está totalmente formada por la mezcla que se origina en el paso (a), el lodo de sedimentación lenta se origina en el paso (c) y opcionalmente el lodo que se origina en el paso (d). En una realización, el lodo de la primera porción es lodo de sedimentación lenta y la primera porción también podría denominarse la primera porción de lodo de sedimentación lenta. En una realización, el lodo de la segunda porción es lodo de sedimentación rápida y la segunda porción también podría denominarse la segunda porción de lodo de sedimentación rápida. En una realización, el lodo de la tercera porción opcionalmente obtenida es lodo de sedimentación lenta y la tercera porción también podría denominarse la tercera porción de lodo de sedimentación

lenta.

En el proceso de la invención, las aguas residuales se someten a purificación de aguas residuales convencionales con microorganismos, que implican la eliminación de fosfato, nitrificación y desnitrificación empleando una zona anaeróbica y una aerobia como se conoce en la técnica. En el proceso de acuerdo con la invención, las aguas residuales se ponen en contacto con lodo de sedimentación rápida en la zona anaeróbica del paso (a). Aunque una de las principales ventajas del proceso de acuerdo con la invención es que puede realizarse continuamente, no se excluye un rendimiento por lotes. Además, los inventores descubrieron que la operación continua, en particular la alimentación continua de lodo de sedimentación rápida a la zona anaeróbica, optimiza aún más la formación y el mantenimiento de lodo granular dentro del sistema. Se encontró que la absorción continua de nutrientes en la zona anaeróbica promueve la formación de lodo granular de manera óptima. Por lo tanto, el presente proceso es preferiblemente un proceso continuo. Aquí, el agua residual se alimenta continuamente al paso (a) del proceso de la invención, mientras que el agua tratada se descarga continuamente del paso (d). Cuando el agua (residual) avanza a través del proceso, en particular los pasos (a), (b) y (d), los microorganismos presentes en el lodo convierten la materia orgánica presente en las aguas residuales en lodo adicional. Durante especialmente los pasos (a) y (b) del proceso de acuerdo con la invención, las condiciones son tales que se promueve el crecimiento del lodo. Por lo tanto, la cantidad de lodo aumenta mientras que solo se necesita una parte del lodo para mantener el proceso en funcionamiento. Por lo tanto, en el paso (c), el lodo que mejor se adapta para mantener el proceso en funcionamiento, sedimento de sedimentación rápida, se selecciona y se devuelve al paso (a). Este lodo de sedimentación rápida, obtenido como una segunda porción en el paso (c), es granular y tiene excelentes propiedades de sedimentación. El resto del lodo, que se deposita más lentamente y que se obtiene como primera porción (y opcionalmente tercera) en el paso (c) y como lodo separado en el paso (d), se alimenta típicamente a la zona aeróbica del paso (b) y/o puede ser dado de alta del proceso. Una de las ventajas sorprendentes del proceso de acuerdo con la invención es que en el paso (c), se selecciona el mejor lodo para ejecutar el proceso y se devuelve al paso (a). Además, esto se logra mientras no la fracción completa de lodo presente al final del paso (b) tiene que ser sometida a dicha selección de lodo, pero solo una parte del mismo debe ser sometida al paso de selección de lodo (c). El paso de selección de lodo (c) se puede realizar, por ejemplo, en un reactor de flujo ascendente con una velocidad de flujo ascendente bastante alta, como se describe más adelante, mientras se mantiene la separación del lodo granular deseado, de sedimentación rápida y rápida, del lodo flocular óptimo no deseado, de sedimentación lenta.

Por lo tanto, en el proceso de la invención, el lodo de sedimentación rápida o "lodo pesado" (la segunda porción que se origina en el paso (c)) se mezcla con el agua residual entrante, formando así una mezcla de agua residual y lodo. Esta mezcla puede formarse directamente en la zona anaeróbica o puede estar presente un selector separado aguas arriba de la zona anaeróbica en la que el lodo y las aguas residuales entrantes se mezclan antes de alimentarse a la zona anaeróbica. La mezcla de lodo y aguas residuales reside en la zona anaeróbica del paso (a) durante un cierto período de tiempo. A la zona aeróbica del paso (b), la porción de lodo (la primera porción que se origina en el paso (c)) se agrega a la mezcla que se origina en el paso (a). Esta porción contiene principalmente lodo no granular, ya que se refiere al lodo de sedimentación lenta o "lodo ligero" del paso de selección (c). Además, el agua que reside en el paso (b) ya está parcialmente tratada, ya que la mayoría de la materia orgánica es absorbida por el lodo en el paso (a). Por lo tanto, la mezcla que reside en la zona aeróbica del paso (b) se denomina mezcla de lodo y agua.

En una realización, el proceso se inicia ventajosamente mezclando el primer lote de aguas residuales entrantes con lodo que comprende el 25 - 80% en peso, más preferiblemente el 40 - 60% en peso de lodo de sedimentación rápida según la invención en el paso (a). Se prefiere un máximo para optimizar la carga del transporte. Una cantidad relativa mínima de lodo de sedimentación rápida ayuda a optimizar la cantidad de lodo pesado obtenido en el paso (c), lo que permite trabajar con un tamaño reducido y la complejidad de los selectores de lodo en el paso (c).

El agua residual a tratar con el proceso de acuerdo con la invención o en el sistema de acuerdo con la invención típicamente contiene un nutriente orgánico (materia orgánica). Típicamente, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de las aguas residuales entrantes es de al menos 50 mg/l, como 100 - 10000 mg/l. Cualquier tipo de aguas residuales, tales como aguas residuales, pueden tratarse de acuerdo con la invención. Por lo tanto, el proceso de acuerdo con la invención también puede denominarse tratamiento de aguas residuales. Las aguas residuales sometidas al proceso de acuerdo con la invención pueden tratarse previamente antes de el paso (a), tal como las aguas residuales que han recibido un tratamiento primario como se conoce en la técnica, aunque el tratamiento primario no siempre será necesario para operar el presente proceso de manera eficiente. El pretratamiento típico de las aguas residuales incluye uno o más de clarificación, eliminación de arena, eliminación de grasa y pre-sedimentación.

Los inventores descubrieron que el lodo que se forma y circula a través del proceso es principalmente granular. En el paso (c), específicamente el lodo de sedimentación rápida (o "lodo pesado") se selecciona y alimenta al paso (a), donde se pone en contacto con la concentración más alta de nutrientes orgánicos como presente en las aguas residuales entrantes. La absorción de nutrientes por el lodo es promovida por las condiciones anaeróbicas durante el paso (a), el crecimiento del lodo granular es estimulado en el proceso de acuerdo con la invención. El lodo contiene microorganismos tan comunes como el lodo presente y producido por las plantas de tratamiento de aguas residuales. Aunque las plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales contienen floculos de lodo, los inventores descubrieron que, con la configuración actual del sistema de tratamiento de aguas residuales, el lodo crece en forma granular en lugar de floculos. Sin embargo, pequeñas cantidades de lodo floculado pueden estar presentes dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales de acuerdo con la invención. Como tal lodo de floculación no se somete

al paso (a), su crecimiento no se promueve y la fracción de lodo de floculación típicamente permanece de pequeña a insignificante. El presente proceso funciona sin problemas con cantidades menores de lodo floculante. En vista de la presencia de microorganismos, el lodo presente en el sistema según la invención también puede denominarse "lodo activo". Los microorganismos necesarios para el proceso de acuerdo con la invención se pueden encontrar en el lodo de las plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales. No necesitan aislarse, ya que las condiciones especificadas aseguran que estos microorganismos sigan siendo parte de los gránulos de lodo. Las condiciones del proceso según la invención dan lugar a la formación de gránulos de lodo, que son significativamente más grandes y más densos que los flocos de lodo obtenidos en plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales. Los gránulos de lodo tienen una velocidad de sedimentación media superior a 1 m/h, preferiblemente superior a 5 m/h incluso superior a 10 m/h, en comparación con la velocidad de sedimentación de como máximo 1 m/h para flocos de lodo. La velocidad de sedimentación promedio del lodo suspendido en el agua se define aquí como la velocidad igual a la velocidad máxima de flujo ascendente generada en la suspensión de lodo/agua a la que, respectivamente, en el lodo está presente en el efluente superior. Las velocidades de establecimiento o las velocidades de establecimiento se determinan comúnmente en la técnica. Un procedimiento típico para determinar la velocidad de sedimentación promedio es la medición de la velocidad en m/h del movimiento descendente del frente de lodo en un recipiente no agitado. Esta medición puede ocurrir dentro del sistema, por ejemplo, en el tanque anaeróbico o en el tanque aeróbico (cuando se detiene la entrada de oxígeno durante la medición), o una muestra de la mezcla de lodo/agua puede transferirse a un recipiente de laboratorio. La medida más conocida en la técnica para la velocidad media de sedimentación es el índice volumétrico de lodos (IVL). El IVL se define como el volumen (en ml) ocupado por 1 gramo de lodo después de un cierto tiempo de sedimentación. Los valores típicos para la relación del IVL después de 5 minutos de sedimentación (IVL-5) sobre el IVL después de 30 minutos de sedimentación (IVL-30) para el lodo granular son inferiores a 3, típicamente en el rango de 2 a 2,8, más típicamente aproximadamente 2,5, mientras que el lodo de floculación convencional tiene una relación IVL-5/IVL-30 superior a 3.

Cuando la concentración de lodo de sedimentación rápida dentro del sistema es relativamente pequeña, por ejemplo, durante el arranque del sistema, la cantidad de lodo de sedimentación rápida que se selecciona como la segunda porción en el paso (c) es relativamente pequeña, pero dado que es una parte más grande de lodo se seleccionará como la primera porción, el contenido total de lodo en el sistema permanece suficientemente alto. Como solo el lodo de sedimentación rápida se somete al paso (a), esta porción de lodo crecerá en tamaño. La cantidad de lodo de sedimentación rápida que se selecciona como la segunda porción en el paso (c) aumentará así. Cuando el proceso de acuerdo con la invención se ejecuta en un estado estable, la segunda porción seleccionada en el paso (c) será mucho más grande, mientras que la porción de lodo adicional, es decir, la primera porción seleccionada en el paso (c) que se agrega durante el paso (b), es relativamente más pequeño.

Para permitir el paso sin obstáculos del lodo de sedimentación rápida, se prefiere que la transición entre la zona anaeróbica del paso (a) y la zona aeróbica del paso (b) esté libre de barreras. Asimismo, se prefiere que la transición entre la zona aeróbica del paso (b) y el selector de lodo del paso (c) esté libre de barreras. Asimismo, se prefiere que la transición entre la zona aeróbica del paso (b) y el separador del paso (d) esté libre de barreras. En una realización preferida, la mezcla libre de barreras se transfiere de el paso (a) a (b), de el paso (b) a (c) y de el paso (b) a (d). Aquí, "sin barreras" se refiere a la ausencia de barreras físicas, tales como diferencias de altura (umbrales, aumentos, etc.) y bombas, entre las diversas zonas, tanques o módulos dentro del sistema de acuerdo con la invención, de modo que incluso el rápido El sedimento de sedimentación que se forma en el sistema actual es fácil y sin obstáculos capaz de circular a través del sistema. Dado que el lodo de sedimentación rápida tiende a acumularse en el fondo de un tanque, tal como se obtiene un flujo efectivo de la mezcla de lodo/agua cuando las transiciones entre los tanques están libres de barreras. Dichas transiciones sin barreras típicamente toman la forma de aberturas en la pared que separa las unidades. Para una circulación eficiente del lodo de sedimentación rápida en todo el sistema, se prefiere que las aberturas se ubiquen en la parte inferior de la pared. En otras palabras, existe una abertura entre la parte inferior de las unidades y la pared que separa las unidades. Como tal, las barreras al pesado lodo de sedimentación rápida para circular a través del sistema se eliminan tanto como sea posible.

Pasos (a) y (b): tratamiento anaeróbico y aeróbico de aguas residuales

El uso de zonas anaerobias y aerobias para el tratamiento de aguas residuales es conocido en la técnica. Aquí, una mezcla de aguas residuales y lodos se somete primero a una zona anaerobia y luego se transfiere a una zona aeróbica. Como el tratamiento de aguas residuales ocurre típicamente en tanques, la zona anaeróbica también puede denominarse tanque anaeróbico y la zona aeróbica también puede denominarse tanque aeróbico. La secuencia de una zona anaeróbica aguas arriba y una zona aeróbica aguas abajo se utilizan para convertir la materia orgánica presente en las aguas residuales en lodo, lo que se logra mediante microorganismos presentes en el lodo. No se requiere el uso de un tanque anóxico entre las zonas anaeróbica y aeróbica, ya que el interior de los gránulos de lodo permanece anaeróbico o anóxico durante todo el proceso. Además, no se requieren reciclados de mezclas de lodo/agua de la zona aeróbica a la zona anóxica y/o de la zona anóxica a la zona anaeróbica, mientras que la purificación del agua residual sigue siendo efectiva. La eliminación de estos reciclados mejora en gran medida la eficiencia del proceso, ya que se evita la mezcla de aguas residuales tratadas con aguas residuales que aún no se han tratado. Como tal, la concentración de nutrientes orgánicos más allá del paso (a) sigue siendo muy baja.

El lodo que se usa en el paso (a) para contactar con las aguas residuales entrantes es el lodo de sedimentación rápida obtenido como una segunda porción en el paso (c). Esta segunda porción contiene lodo con excelentes propiedades

de sedimentación, que se recoge selectivamente durante el paso (c) para su uso en el paso (a). En el proceso de acuerdo con la invención, este lodo de sedimentación rápida es principalmente granular, y al someter específicamente este lodo de sedimentación rápida a la zona anaeróbica con las aguas residuales entrantes, se promueve selectivamente el crecimiento de gránulos de lodo. El lodo de sedimentación rápida se pone en contacto con las aguas residuales entrantes que tienen el mayor contenido de materia orgánica, lo que promueve el crecimiento de las mismas. Como tal, el lodo que está presente dentro del sistema de aguas residuales es principalmente o incluso exclusivamente en forma granular. Mantener el contenido de lodo de sedimentación rápida lo más alto posible es el objetivo principal del proceso de acuerdo con la invención, ya que la presencia de lodo de sedimentación rápida facilita en gran medida los pasos posteriores del proceso, en particular la separación del paso (d). Con este fin, se debe evitar tanto como sea posible el reciclaje del lodo de sedimentación lenta (no granular) al paso (a). Esto se logra mediante el paso de selección de lodo (c), como se describe a continuación. Como tal, el lodo de sedimentación lenta no se pone en contacto solo con pequeñas cantidades de nutrientes orgánicos, que se consumen principalmente en el paso (a) y, por lo tanto, su crecimiento se restringe tanto como sea posible. Por lo tanto, el crecimiento del lodo de sedimentación rápida se promueve en el paso (a), mientras que el crecimiento del lodo de sedimentación lenta se reduce ya que no está sujeto a una zona anaeróbica. Este efecto se ve reforzado por la eliminación de los reciclados, como se discutió anteriormente, ya que el lodo de sedimentación rápida está expuesto a la concentración más alta posible de nutrientes orgánicos durante el paso (a), mientras que el contacto del lodo de sedimentación lenta con la materia orgánica es tan limitado como sea posible.

Las aguas residuales, que opcionalmente se pretratan, se someten primero en el paso (a) a la zona anaeróbica del proceso de tratamiento de aguas residuales, en donde se contacta con el lodo de sedimentación rápida que se recoge selectivamente en el paso (c). Así, dentro de la zona anaeróbica se obtiene una mezcla de aguas residuales y lodo de sedimentación rápida. En la zona anaeróbica, se excluye la presencia de oxígeno molecular, aunque puede haber rastros de oxígeno, como el oxígeno disuelto en las aguas residuales, sin dificultar el proceso. Las condiciones durante el paso se denominan anaeróbicas ya que no se agrega oxígeno. Dentro de la zona anaeróbica, las condiciones y el tiempo de residencia de las aguas residuales son tales que los gránulos de lodo son capaces de absorber nutrientes orgánicos de las aguas residuales entrantes. Estos nutrientes orgánicos generalmente se almacenan dentro de los microorganismos en forma de polímeros, como el poli-beta-hidroxibutirato (PHB). Los tiempos de residencia promedio típicos para la mezcla de lodo y agua en la zona aeróbica de el paso (a) son 15 min - 5 h, preferiblemente 30 min - 2 h.

La mezcla de aguas residuales y lodo obtenida al final del paso (a) se transfiere luego a la zona aeróbica del paso (b), a la que se suministra oxígeno molecular (aireación), por ejemplo, usando aireadores como se conoce en la técnica. El agua sometida al paso (b) se agota en nutrientes orgánicos en comparación con las aguas residuales entrantes. Preferiblemente, la zona anóxica está presente entre las zonas anaeróbica y aeróbica y la zona aeróbica del paso (b) sigue directamente a la zona anaeróbica del paso (a). Durante el paso (b), se agrega al menos una fracción de lodo adicional a la mezcla, es decir, la primera porción del lodo que se origina en el paso (c). Opcionalmente, al menos parte del lodo separado que se origina en el paso (d) también se agrega durante el paso (b). Estas fracciones de lodo adicionales se agregan típicamente al comienzo del paso (b) como es común en la técnica, tal como el lodo reside durante un período de tiempo sustancial en la zona aeróbica. Los tiempos de residencia promedio de la mezcla de lodo y agua en la zona aeróbica del paso (b) pueden variar mucho, dependiendo, por ejemplo, de la extensión y el tipo de contaminación de las aguas residuales entrantes, y son típicamente 30 min - 3 días, preferiblemente 1 h - 2 días. Durante el paso (b), se introduce un gas que comprende oxígeno, típicamente aire, en la mezcla de lodo y agua. Bajo tales condiciones aeróbicas, el amonio que puede estar presente en las aguas residuales, se convierte en nitrato y/o nitrito (nitrificación). Como el interior de los gránulos de lodo permanece anaeróbico, los nutrientes orgánicos almacenados pueden reaccionar con nitrato o nitrito para formar gas nitrógeno (desnitrificación), que se expulsa al medio ambiente. Por lo tanto, debido a la presencia de lodo en forma granular, puede ocurrir nitrificación y desnitrificación en la misma zona, eliminando la necesidad de una zona anóxica, así como de reciclados desde la zona aeróbica a la zona anóxica a la anaeróbica. La aireación de la zona aeróbica se realiza a una velocidad tal que la concentración de oxígeno molecular disuelto en el agua residual durante el paso (b) es preferiblemente al menos 0,05 y más preferiblemente al menos 0,1 mg/ml, mientras que preferiblemente no es superior a 5 mg/ml, más preferiblemente no superior a 2 mg/ml. Usando tal suministro de oxígeno, tanto los procesos de nitrificación como de desnitrificación ocurren de manera efectiva y el nitrógeno se elimina efectivamente de las aguas residuales.

La mezcla de agua (residuos) y lodo reside en las zonas anaeróbicas y aeróbicas de los pasos (a) y (b) durante un período de tiempo suficiente para permitir la absorción y/o eliminación efectiva de nutrientes orgánicos, nitrógeno y fósforo de las aguas residuales entrantes. Al final del paso (b), la mezcla de lodo y agua se divide en una primera parte que se alimenta al paso de selección de lodo (c) y una segunda parte que se alimenta al paso de separación (d). Para operar el proceso sin problemas en modo continuo, se prefiere que la cantidad de la mezcla que se alimenta al paso (c) permanezca constante, mientras que la cantidad que se conduce al paso (c) varía con el volumen de aguas residuales entrantes en el paso (a). Como tal, el paso de selección de lodo es capaz de operar de manera completamente independiente de la entrada de aguas residuales, lo cual es crucial para la operación continua. Las plantas de tratamiento de aguas residuales generalmente tienen que hacer frente a grandes variaciones en el flujo de entrada de aguas residuales. Por ejemplo, durante un período de fuertes lluvias, la afluencia de aguas residuales puede aumentar considerablemente en comparación con los períodos de relativa sequía. Típicamente, las cantidades respectivas de la primera y segunda parte están gobernadas por el área de los pasajes, a través de los cuales fluye la

mezcla del paso (b) al paso (c) o (d) respectivamente. Durante la operación, las cantidades respectivas de la primera y segunda parte pueden verse influenciadas si se desea, ajustando los parámetros de operación del selector de lodo en el paso (c), tal como ajustando el flujo ascendente en el reactor de flujo ascendente.

Paso (c): selección de lodos

5 En el paso (c), una primera parte del lodo que se origina en el paso (b) se somete a un paso de selección de lodo, en el que se selecciona un lodo en función de la velocidad de sedimentación, y una primera porción de lodo de sedimentación lenta y una segunda porción de sedimentación rápida. Se recogen los lodos. Aquí, "seleccionado" se refiere a la separación de dos o más porciones de lodo. La velocidad de sedimentación promedio de la segunda porción es más alta que la velocidad de sedimentación de la primera porción, preferiblemente al menos 2 veces más alta y más preferiblemente al menos 5, o incluso al menos 10 veces más alta. La primera parte se devuelve al paso (b) y la segunda parte se devuelve al paso (a). Tal selección de lodo puede realizarse por cualquier medio conocido en la técnica para separar las partículas sólidas en una suspensión en base al peso o la velocidad de sedimentación. Los selectores de lodo adecuados incluyen reactores de flujo ascendente y clarificadores de láminas. Convenientemente, se emplea un reactor de flujo ascendente. Tales medios pueden integrarse dentro de la zona aeróbica del paso (b), o la primera parte del lodo puede transferirse al reactor de flujo ascendente. Aquí, la velocidad de sedimentación promedio del lodo de sedimentación rápida es típicamente al menos dos veces más alta que la velocidad de sedimentación promedio del lodo de sedimentación lenta, preferiblemente al menos cinco veces más alto o incluso al menos diez veces más alto. La velocidad de sedimentación promedio del lodo de sedimentación rápida es superior a 1 m/h, preferiblemente superior a 5 m/h, lo más preferiblemente superior a 10 m/h, mientras que la velocidad de sedimentación promedio del lodo de sedimentación lenta es típicamente como máximo 1 m/h, o incluso menos de 0,5 m/h. Las velocidades de sedimentación por encima de 5 m/h incluso por encima de 10 m/h son indicativas de lodo granular, mientras que los flocúlos de lodo generalmente se depositan a una velocidad promedio de la mayoría de 1 m/h. Aunque no existe un límite práctico para la velocidad de sedimentación promedio del lodo de sedimentación rápida, generalmente no es superior a 25 m/h. En una realización preferida, la velocidad de sedimentación varía en el proceso dentro del intervalo de 1 - 25 m/h. De esta forma se pueden reducir las mantas de lodo incorporadas. En una realización, la velocidad de sedimentación varía dentro del intervalo anterior como un evento cíclico. En caso de que se use un reactor de flujo ascendente en el paso (c), la velocidad de sedimentación promedio del lodo de sedimentación rápida se define preferiblemente como mayor que la velocidad del flujo ascendente a la que opera el reactor de flujo ascendente, mientras que la velocidad de sedimentación promedio del lodo de sedimentación lenta se define entonces como más pequeño que la velocidad del flujo ascendente.

Al final del paso (b), la suspensión de lodo en el agua está presente dentro del sistema. Convenientemente, la corriente de la mezcla de lodo/agua se divide en dos partes, una de las cuales (es decir, la primera parte) se somete a el paso (c) y otra (es decir, la segunda parte) a el paso (d). Aunque es esencial que parte del lodo se someta al paso (c), el lodo se somete convenientemente al paso (c) como una mezcla de lodo y agua, ya que está presente al final del paso (b). Al final de la zona aeróbica del paso (b), típicamente se proporciona un paso al reactor de flujo ascendente del paso (c), de modo que la primera parte del lodo pueda fluir sin obstáculos al reactor de flujo ascendente. No es necesario para el funcionamiento adecuado del proceso de acuerdo con la invención que todo lodo presente al final del paso (b) esté sujeto al paso de selección de lodo (c). Como tal, la capacidad del selector de lodo empleado en el paso (c) se puede reducir, pero al mismo tiempo se recoge una porción significativa de lodo de sedimentación rápida y se devuelve al paso (a), de modo que el lodo granular se forme y mantenga de manera efectiva. en el sistema.

Es importante destacar que el paso (c) se realiza independientemente del flujo de entrada de aguas residuales, que puede variar mucho con el tiempo. Convenientemente, la cantidad absoluta de la primera parte del lodo que se origina en el paso (b), que se somete al paso (c), se mantiene constante a lo largo del tiempo. En otras palabras, el paso (c) se opera preferiblemente con una velocidad de alimentación en constante aumento de la primera parte de la mezcla del paso (b). La corriente concentrada de lodo de la segunda porción que se obtiene en el paso (c) y se devuelve al paso (a) es constante e independiente del flujo de aguas residuales entrantes. Como tal, el presente proceso es perfectamente capaz de hacer frente a grandes variaciones en los flujos de aguas residuales entrantes típicas de las plantas de tratamiento de aguas residuales y al mismo tiempo continúa funcionando sin problemas mientras se forma y/o mantiene el lodo granular. La cantidad relativa de la primera parte del lodo, que se somete al paso (c), puede variar mucho, dependiendo de la entrada de aguas residuales durante el paso (a). Según lo apreciado por la persona experta, la proporción de lodo con respecto a los desechos, que está presente en las aguas residuales entrantes en el paso (a), debe mantenerse más o menos constante, y puede depender del tamaño de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Al reciclar el lodo de sedimentación rápida en el paso (a), este lodo está en contacto con la mayor cantidad de materia orgánica, es decir, como está contenido en las aguas residuales entrantes, lo que promueve específicamente el crecimiento del lodo de sedimentación rápida. Como tal, los gránulos de lodo se forman y posteriormente se mantienen en el sistema mediante un ciclo desde el paso (a), a través del paso (b) hasta el paso (c) y posteriormente de regreso al paso (a). La materia orgánica presente en las aguas residuales entrantes se convierte en lodo granular durante el paso (a), mientras que el lodo de sedimentación más lento, como los flocúlos de lodo, solo se somete al paso (b) y, por lo tanto, no se promueve su crecimiento. La promoción del crecimiento de específicamente el lodo de sedimentación rápida es una mejora notable sobre los procesos de tratamiento de aguas residuales de la técnica anterior. Los inventores encontraron sorprendentemente que promover selectivamente el crecimiento del lodo de

5 sedimentación rápida asegura que el lodo granular se forme y se mantenga en el sistema. Aquí, es esencial que la segunda porción que contiene lodo de sedimentación rápida se ponga en contacto con las aguas residuales entrantes antes de ponerse en contacto con oxígeno, como en la zona aeróbica del paso (b). El lodo de sedimentación rápida está, junto con las aguas residuales entrantes, sujeto a la zona anaeróbica del paso (a). Para efectuar este contacto del lodo de sedimentación rápida y las aguas residuales en el paso (a), la segunda porción puede devolverse a la propia zona anaeróbica o a un selector ubicado aguas arriba de la zona anaeróbica. Dichos selectores para mezclar aguas residuales entrantes y lodos activos son conocidos en la técnica. Dentro del selector, las condiciones anaeróbicas están presentes. Preferiblemente, la segunda porción se devuelve directamente a la zona anaeróbica del paso (a).

10 La segunda parte del lodo que se origina en el paso (b) se somete a el paso (d), como se describe a continuación. Preferiblemente, la primera parte del lodo, que se somete a el paso (c) y la segunda parte del lodo, que se somete a el paso (d), juntas forman toda la cantidad total de lodo presente al final de Paso (b). Por lo tanto, todo el lodo presente al final del paso (b) está sujeto al paso (c) o al paso (d). En otras palabras, se prefiere que la corriente de lodo y agua se divida en dos partes al final del paso (b), una primera parte que está sujeta al paso (c) y una segunda parte que está sujeta al paso (d). La cantidad total de lodo que está presente al final del paso (b) está formada por el lodo que se originó en el paso (a) y el lodo que se forma durante el paso (b), así como la fracción de lodo adicional que se origina como una primera porción del paso (c) y que se agrega durante el paso (b) y opcionalmente la fracción de lodo adicional que se origina en el paso (d) y que se agrega durante el paso (b).

20 El paso de selección de lodo (c) implica la recolección de al menos dos porciones, preferiblemente tres porciones, del lodo que se somete al paso (c). La primera porción contiene lodo de sedimentación lenta y la segunda porción contiene lodo de sedimentación rápida. Aquí, "asentamiento lento" y "asentamiento rápido" se refiere a la velocidad de sedimentación promedio del lodo en una porción en comparación con la otra porción. Por lo tanto, la velocidad de sedimentación promedio de la segunda porción es mayor que la velocidad de sedimentación de la primera porción. La primera porción se devuelve al paso (b) y la segunda porción se devuelve al paso (a), típicamente usando una bomba que emplea una corriente ascendente de aire o líquido, como una bomba de transporte aéreo o una bomba de tornillo. Usando una bomba de este tipo, el estrés mecánico se elimina tanto como sea posible, lo que permite la circulación rápida del lodo de sedimentación rápida a través del sistema y evita el daño de los gránulos de lodo. Típicamente, cuanto más rápido es capaz de circular el lodo de sedimentación rápida a través del sistema, se forma y se mantiene el lodo más granular en el sistema. Típicamente, la segunda porción que contiene el lodo de sedimentación rápida se obtiene en forma concentrada, lo que disminuye el volumen total que se pone en contacto con el agua residual en el paso (a) es relativamente pequeño, de modo que el volumen total de la zona anaeróbica puede reducirse significativamente., por ejemplo, hasta un 40% más pequeño en volumen, en comparación con las instalaciones convencionales de tratamiento continuo de aguas residuales. Además, en vista de la independencia del paso (c) del flujo de entrada de aguas residuales, el presente proceso permite que un flujo continuo de lodo de alta calidad se ponga en contacto con las aguas residuales en el paso (a). Para la formación óptima de lodo granular, se prefiere que todo el lodo de sedimentación rápida recogido a medida que la segunda porción en el paso (c) se devuelve al paso (a). Como tal, el lodo granular puede crecer de manera óptima. Como se describió anteriormente, el paso (c) puede operar independientemente del flujo de entrada de aguas residuales. Por lo tanto, el ciclo de lodo de los pasos consecutivos (b) → (c) → (a) es operable independientemente de la entrada de aguas residuales, lo que permite la operación continua del paso de selección de lodo y asegura el crecimiento óptimo de lodo de sedimentación específicamente rápido.

45 Opcionalmente, se recoge una tercera porción durante el paso (c), que es una corriente de lodo residual. La corriente de lodo residual de la tercera porción contiene lodo de sedimentación lenta, como la primera porción. Si se recolecta o no una tercera porción depende principalmente de la concentración de lodo dentro del sistema. Como tal, la concentración de lodo es adecuada, se mantiene más o menos constante y, cuando es necesario, se descarga fácilmente lodo adicional del sistema como la tercera porción. Preferiblemente, aumentar todo el lodo que se somete a el paso (c) termina en la primera, segunda u tercera porción opcional. La tercera parte es el lodo residual, que es un subproducto del tratamiento de aguas residuales según la invención y, por lo tanto, se descarga del sistema. Se puede usar o procesar según se considere adecuado. Típicamente, se somete a un paso de tratamiento de lodo como se conoce en la técnica. La primera porción se puede combinar con el lodo sedimentado que se origina en el paso (d), de modo que una fracción de lodo combinado que contiene la tercera porción que se origina en el paso (c) y el lodo sedimentado que se origina en el paso (d), opcionalmente de qué lodo que se recicla a el paso (b) se elimina como se describe a continuación, puede someterse a un tratamiento de lodos. Convenientemente, la tercera porción se recoge como una porción separada y se descarga desde el separador de lodo a través de una salida separada equipada con una bomba adicional. En una realización, la tercera porción puede usarse en inoculación o iniciar otros procesos de tratamiento de aguas residuales.

60 En una realización preferida, se usa un reactor de flujo ascendente para la selección de lodos del paso (c). Los reactores de flujo ascendente son conocidos en la técnica y se puede usar cualquier tipo en el paso (c). En el reactor de flujo ascendente, las partículas de lodo se separan en función de la velocidad de sedimentación. Partículas de lodo que se depositan rápidamente para acumularse en el fondo del reactor de flujo ascendente. Como el lodo granular tiene excelentes propiedades de sedimentación, se acumula en el fondo del reactor de flujo ascendente, y desde allí se recicla al paso (a) del proceso de acuerdo con la invención. Cualquier lodo con propiedades de sedimentación

débiles, que ventajosamente no está contenido en el proceso en grandes cantidades, y que al menos no debe reciclarse al presente proceso, se recoge desde más arriba en el reactor de flujo ascendente. El reactor de flujo ascendente funciona preferiblemente con una velocidad de flujo ascendente de 1 - 25 m/h, más preferiblemente 2-15 m/h, lo más preferiblemente 3-8 m/h. Típicamente, una bomba como se conoce en la técnica, por ejemplo, una bomba de flujo axial, colocada cerca de la parte superior del reactor de flujo ascendente, se usa para efectuar dicho flujo ascendente. La primera porción se recoge de la mitad superior del reactor de flujo ascendente y la segunda porción del lodo se recoge de la parte inferior del reactor de flujo ascendente. En otras palabras, la salida para descargar la primera porción del reactor de flujo ascendente se encuentra al 50% de la altura total del reactor o superior y "desde la mitad superior" es sinónimo de "desde el 50% superior". Por lo tanto, la primera porción se recoge al 50 - 100% de la altura total del reactor de flujo ascendente, preferiblemente al 75 - 100% de la altura total, lo más preferiblemente en la parte superior del reactor. La tercera porción opcional también se recoge en la mitad superior del reactor de flujo ascendente. La salida para descargar la primera y opcionalmente la tercera porción también puede tomar la forma de un desbordamiento en la parte superior del reactor de flujo ascendente. Del mismo modo, la salida para descargar la segunda porción del reactor de flujo ascendente se encuentra al 25% de la altura total del reactor o por debajo y "desde el fondo" es sinónimo de "desde el 25% inferior", preferiblemente se recoge la segunda porción desde el 10% inferior del reactor de flujo ascendente, lo más preferiblemente, la salida para recoger la segunda porción se encuentra en el fondo del reactor de flujo ascendente. Usando un reactor de flujo ascendente, la segunda porción de lodo se recoge como una corriente concentrada de lodo en agua.

#### Paso (d): Separación

En el paso (d), la segunda parte de la mezcla de lodo y agua que se origina en el paso (b) se separa en lodo y agua tratada. Típicamente, la segunda parte es el resto de la mezcla que está presente al final del paso (b) después de que la primera parte se haya transferido al selector de lodo. La separación se basa típicamente en la sedimentación de las partículas de lodo y se realiza preferiblemente usando un tanque de sedimentación o un reactor de flujo ascendente. Por lo tanto, el paso (d) también puede denominarse paso de asentamiento. El agua que se somete al proceso de acuerdo con la invención y que se descarga del separador se denomina "agua tratada". En vista de la presencia de lodo granular dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales, la capacidad del reactor de flujo ascendente o del tanque de sedimentación puede reducirse significativamente, en comparación con las plantas de tratamiento de aguas residuales en las que se utilizan los flocúlos de lodo. Separar el lodo del agua es conocido en la técnica.

En el paso de sedimentación (d), el lodo en la segunda parte de la mezcla de lodo y agua que se origina en el paso (b) se deja sedimentar. Tal paso de sedimentación, durante el cual el lodo se separa del agua tratada, es común para las plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, debido a la presencia de lodo granular, en lugar de flocúlos de lodo, los tanques de sedimentación en los que se realiza el paso (d) pueden ser mucho más pequeños (por ejemplo, aproximadamente un quinto en la misma entrada de aguas residuales) en comparación con los tanques de sedimentación convencionales necesarios para asentar flocúlos de lodo. La mezcla entrante de agua y lodo que se origina en el paso (b) reside durante un tiempo suficiente en el tanque de sedimentación o en el reactor de flujo ascendente para permitir el asentamiento del lodo. Una vez que el lodo se deposita esencialmente, el agua se elimina del lodo y se puede considerar limpia y descargada al medio ambiente, aunque para algunas aplicaciones y/o ubicaciones, se puede desear un tratamiento adicional, como la eliminación de metales. Si tiene lugar o no un tratamiento adicional es irrelevante para la presente invención.

Típicamente, la sedimentación del paso (d) ocurre en un tanque de sedimentación. Cualquier tipo de tanque de sedimentación conocido en la técnica puede usarse en el presente proceso. Los tanques de sedimentación suelen tener una forma cónica con una parte superior ancha y un fondo estrecho. Las partículas de lodo se acumulan en el fondo, del cual se recoge, preferiblemente usando una salida ubicada en el fondo del tanque de sedimentación. El agua tratada se descarga típicamente a través de una salida en la parte superior de la toma de sedimentación, preferiblemente usando un desbordamiento.

En caso de que se use un reactor de flujo ascendente en el paso (d), la sedimentación del lodo se acelera utilizando un flujo ascendente. Aquí, la segunda parte de la mezcla de lodo y agua que se origina en el paso (b) se somete a un reactor de flujo ascendente, en el que las partículas de lodo se depositan en el fondo mientras el agua agotada en el lodo emerge a la parte superior del reactor de flujo ascendente. Esta agua se descarga como agua tratada. El reactor de flujo ascendente funciona preferiblemente con una velocidad de flujo ascendente de 0,5-10 m/h, más preferiblemente 1-5 m/h. Dichas velocidades de flujo ascendente son de 2 a 10 veces mayores que las velocidades de flujo ascendente comúnmente empleadas en los pasos de solución de la técnica anterior, lo que mejora aún más la eficiencia del presente proceso. Dichas velocidades de flujo ascendente pueden emplearse en el proceso actual, ya que la gran mayoría del lodo es granular y se deposita rápidamente. Usando un tanque de sedimentación o un reactor de flujo ascendente operado con dicho flujo ascendente, todos los lodos, granulares o no, pueden depositarse, de modo que el agua tratada se clarifique de todos los lodos antes de que se descargue del sistema. Los tiempos de residencia típicos de la mezcla de lodo y agua en el reactor de flujo ascendente son 5 min - 2 h, preferiblemente 15 min - 1 h. Tales tiempos de residencia son mucho más cortos que para los procesos de la técnica anterior, en los que los tiempos de residencia de más de 2 h, típicamente de 4 a 10 h, son comunes. En vista de la naturaleza granular del lodo, estos cortos tiempos de residencia aún permiten la separación efectiva del lodo y el agua tratada.

El lodo que se separa es preferiblemente al menos parcialmente devuelto a la zona aeróbica del paso (b). El resto es

un subproducto del tratamiento de aguas residuales según la invención y, por lo tanto, se descarga del sistema. Se puede usar o procesar según se considere adecuado. Ventajosamente, el lodo descargado puede usarse para iniciar o mejorar la sedimentación en otro tratamiento de aguas residuales convencional o basado en gránulos. Típicamente, el lodo descargado se somete a un paso de tratamiento de lodo como se conoce en la técnica. Como el lodo obtenido por el proceso de acuerdo con la invención contiene componentes valiosos, estos pueden extraerse del lodo. La persona experta sabe cómo determinar la cantidad de lodo que debe devolverse al paso (b) para ejecutar el proceso de manera efectiva.

El agua tratada que se descarga del separador en el paso (d) es el producto principal del proceso de acuerdo con la invención. El agua tratada se agota en materia orgánica (nutrientes orgánicos) en comparación con las aguas residuales entrantes. El agua tratada descargada de el paso (d) puede descargarse al medio ambiente, purificarse más o usarse según se considere adecuado.

#### Sistema

La invención se refiere además a un aparato o sistema diseñado específicamente para implementar el proceso de acuerdo con la invención. En el sistema según la invención, al menos cuatro, preferiblemente al menos cinco o incluso seis, unidades están en conexión fluida entre sí. Aquí, cada unidad puede ser una entidad separada o dos o más unidades pueden integrarse dentro de una sola unidad. Preferiblemente, las unidades (b) y (c) están integradas en una sola unidad y las unidades restantes son unidades separadas, que se pueden distinguir como tales en el sistema. El sistema para realizar el proceso de acuerdo con la invención también puede denominarse planta de tratamiento de aguas residuales o planta de tratamiento de aguas residuales o puede integrarse dentro de una planta de tratamiento de aguas residuales o planta de tratamiento de aguas residuales. El sistema según la invención se describe con referencia a la figura adjunta.

El sistema según la invención comprende:

(a) un tanque anaeróbico, que comprende una o más entradas para recibir aguas residuales y para recibir lodos de sedimentación rápida que se originan en la salida (c3) y una salida (a3) para descargar una mezcla de aguas residuales y lodos en el tanque (b);

(b) un tanque aeróbico, que comprende una entrada (b1) para recibir la mezcla de aguas residuales y lodo que se origina en la salida (a3), una salida (b2) para descargar una primera parte de una mezcla de agua y lodo al selector de lodo (c), una salida (b3) para descargar una segunda parte de la mezcla de agua y lodo al separador (d) y una entrada (b4) para recibir una mezcla de lodo de sedimentación lenta procedente de una salida (c2);

(c) un selector de lodo, que comprende una entrada (c1) para recibir la primera parte de la mezcla de agua y lodo que se origina en la salida (b2), una salida (c2) para descargar una primera porción de lodo de sedimentación lenta al tanque (b) y una salida (c3) para descargar una segunda porción de la velocidad de sedimentación rápida al tanque (a) y medios (c4) para seleccionar el lodo en función de la velocidad de sedimentación; y

(d) un separador para separar el lodo de una mezcla de lodo y agua, que comprende una entrada (d1) para recibir la segunda parte de la mezcla que se origina en una salida (b3), una primera salida (d2) para descargar agua tratada y una segunda salida (d3) para descargar lodo separado,

En el sistema de acuerdo con la invención, las diferentes unidades están interconectadas, es decir, la salida de una unidad está en conexión fluida con la entrada de otra unidad. Como tal, el flujo constante de fluidos, como las mezclas de lodo/agua, a través del sistema está habilitado. Así, la salida (a3) está en conexión fluida con la entrada (b1), la salida (b2) está en conexión fluida con la entrada (c1), la salida (b3) está en conexión fluida con la entrada (d1), la salida (c2) está en conexión de fluido con la entrada (b4), y la salida (c3) está en conexión de fluido con una entrada de la unidad (a), preferiblemente con la entrada (a2). La salida (d3) está preferiblemente en conexión fluida con la entrada (b5), como se describe a continuación. Aquí, las conexiones de fluido pueden tomar, por ejemplo, la forma de un conducto, o la salida de una unidad y la entrada de otra unidad juntas forman una abertura en la pared que separa las dos unidades. Preferiblemente, la salida (a3) y la entrada (b1) juntas forman una abertura en las unidades de separación de pared (a) y (b). Preferiblemente, la salida (b2) y la entrada (c1) juntas forman una abertura en las unidades de separación de pared (b) y (c). Preferiblemente, la salida (b3) y la entrada (d1) juntas forman una abertura en las unidades de separación de pared (b) y (d). Para una circulación eficiente de lodo granular en todo el sistema, se prefiere que las aberturas estén ubicadas en la parte inferior de la pared. En otras palabras, existe una abertura entre la parte inferior de las unidades y la pared que separa las unidades. Como tal, las barreras para que el lodo de sedimentación rápida circule a través del sistema se eliminan tanto como sea posible.

La unidad (a) es un tanque o recipiente anaeróbico como se conoce en la técnica, en donde se contacta el agua residual y el lodo. Unidad (a) que comprende una o más entradas para recibir aguas residuales y para recibir lodo desde la salida (c3) de la unidad (c). La una o más entradas pueden ser, por ejemplo, dos entradas, una para recibir las aguas residuales entrantes y otra para recibir el lodo, o una entrada para recibir una mezcla de las aguas residuales entrantes y el lodo. En una realización, el agua residual entrante, que puede originarse en una instalación de pretratamiento, y el lodo que se origina en la salida (c3) de la unidad (c) se mezclan aguas arriba de la unidad (a), típicamente en un selector, y la unidad (a) comprende una entrada para recibir la mezcla de aguas residuales y lodos

del selector. En otra realización, más preferida, la unidad (a) comprende una entrada (a1) para recibir aguas residuales, que puede originarse en una instalación de pretratamiento, y una entrada (a2) para recibir lodo desde la salida (c3) de la unidad (c). En la unidad (a), se contactan las aguas residuales y el lodo granular para efectuar la absorción de nutrientes orgánicos presentes en las aguas residuales en las partículas de lodo, permitiendo así el crecimiento del lodo. La salida (a3) de la unidad (a) es para descargar la mezcla de aguas residuales y lodo granular a la unidad (b). La salida (a3) junto con la entrada (b1) típicamente toman la forma de una abertura en la pared, preferiblemente en la parte inferior de la misma, separando los tanques (a) y (b).

La unidad (b) es un tanque o recipiente aeróbico como se conoce en la técnica, en el que la mezcla de aguas residuales y lodo granular que se origina en la unidad (a) se recibe a través de la entrada (b1). La salida (a3) está en una conexión fluida con la entrada (b1), preferiblemente en forma de una abertura en la parte inferior de la pared que separa ambas unidades. La unidad (b) comprende además una salida (b2) para descargar una primera parte de una mezcla de agua/lodo a un reactor de flujo ascendente (c) y una salida (b3) para descargar una segunda parte de una mezcla de agua/lodo a una unidad (d), en donde la segunda parte es típicamente el resto de la mezcla de agua/lodo. La salida (b2) junto con la entrada (c1) típicamente toman la forma de una abertura en la pared, preferiblemente en la parte inferior del mismo, separando el tanque (b) y el reactor de flujo ascendente (c). La salida (b3) junto con la entrada (d1) típicamente toman la forma de una abertura en la pared, preferiblemente en la parte inferior de la misma, separando el tanque (b) y el separador (d). La unidad (b) comprende además una entrada (b4) para recibir la tercera porción del lodo que se origina en la salida (c2) de la unidad (c), y preferiblemente una entrada adicional (b5) para recibir al menos parte del lodo separado que se origina en unidad (d). En la unidad (b), las aguas residuales y el lodo granular se contactan (adicionalmente) para efectuar la nitrificación y la desnitrificación. Al ser un tanque aeróbico, la unidad (b) comprende además medios conocidos en la técnica para introducir oxígeno, típicamente aire, en el tanque.

La unidad (c) es un selector de lodo, como un clarificador de láminas o un reactor de flujo ascendente. La unidad (c) debe integrarse en la unidad (b) o puede ubicarse aguas abajo de la misma, preferiblemente está integrada en el tanque aeróbico de la unidad (b). La unidad (c) comprende una entrada (c1) para recibir la primera parte de la mezcla de agua/lodo de la unidad (b). La unidad (c) contiene además medios (c4) para seleccionar lodo en base a la velocidad de sedimentación, en donde la primera parte de la mezcla de agua/lodo se somete a selección de lodo. La unidad (c) contiene al menos dos salidas, una primera salida (c2) para descargar una primera porción del lodo y una segunda salida (c3) para descargar una segunda porción del lodo. La salida (c2) está en conexión fluida con la entrada (b4). La salida (c3) está en conexión fluida con la entrada (a2). La conexión entre la salida (c3) y la entrada (a2) está equipada preferiblemente con una bomba, que es capaz de bombear la segunda porción de lodo al tanque anaeróbico de la unidad (a). Preferiblemente, se usa una bomba que emplea una corriente ascendente de aire o líquido, tal como una bomba de transporte aéreo, o una bomba de tornillo, de modo que se elimine tanto como sea posible la tensión mecánica del lodo de sedimentación rápida. La unidad (c) comprende preferiblemente una tercera salida (c5) para descargar una tercera porción del lodo. La salida (c5) es para descargar lodo residual del sistema de acuerdo con la invención, y puede estar en conexión fluida con una instalación de tratamiento de lodo. La conexión de fluido que se origina en la salida (c5) se puede unir con la conexión de fluido desde la salida (d3), en donde las corrientes que se originan en ambas salidas se combinan en una sola corriente que puede estar en conexión de fluido con una instalación de tratamiento de lodos.

En una realización preferida, la unidad (c) es un reactor de flujo ascendente. En el reactor de flujo ascendente, la entrada (c1) se encuentra preferiblemente en o cerca del fondo del reactor (c), más preferiblemente en el 25% inferior de la altura total del reactor. En una realización, el reactor de flujo ascendente (c) puede comprender una bomba, típicamente una bomba de flujo axial, ubicada cerca de la parte superior, tal como al 75% de la altura total del reactor o superior, preferiblemente al menos el 90% de la altura total del reactor. Si se usa una bomba de este tipo, es preferiblemente capaz de operar el reactor de flujo ascendente con una velocidad de flujo ascendente de 1 a 25 m/h, más preferiblemente de 2 a 15 m/h, lo más preferiblemente de 3 a 8 m/h. En cualquier caso, se prefiere que la velocidad de flujo ascendente se pueda variar dentro de los intervalos anteriores, preferiblemente para evitar mantas de lodo. La salida (c2) se encuentra en la mitad superior del reactor de flujo ascendente y la salida (c3) en el 25% inferior del reactor. Por lo tanto, la salida (c2) para descargar una primera porción del lodo a la unidad (b) se encuentra al 50% de la altura total del reactor o superior, preferiblemente al 75 - 100% de la altura total, lo más preferiblemente en la parte superior del reactor. La salida (c3) para descargar una segunda porción del lodo a la (s) unidad (es) está ubicada al 25% de la altura total del reactor o por debajo, preferiblemente a 0 - 10% de la altura total, lo más preferiblemente en el fondo del reactor. La salida (c5) para descargar una tercera porción del lodo, cuando está presente, se encuentra en la mitad superior del reactor de flujo ascendente, preferiblemente al 75 - 100% de la altura total, lo más preferiblemente en la parte superior del reactor. La salida (c4) puede estar equipada con una bomba adicional o puede tomar la forma de un desbordamiento.

La unidad (d) es un separador para separar el lodo del agua tratada. El separador es preferiblemente un tanque de sedimentación o un reactor de flujo ascendente, más preferiblemente un reactor de flujo ascendente. Se puede usar cualquier tanque de sedimentación o cualquier reactor de flujo ascendente como se conoce en la técnica. Los tanques de sedimentación típicos tienen una forma cónica con un fondo estrecho y una parte superior ancha. Cuando se usa un reactor de flujo ascendente, es preferiblemente capaz de operar con una velocidad de flujo ascendente de 0,5-10 m/h, más preferiblemente 1-5 m/h. La unidad (d) comprende una entrada (d1) para recibir la segunda parte de la mezcla de agua/lodo de la unidad (b). La entrada (d1) generalmente se encuentra cerca del fondo del separador. La salida (b3) está en conexión fluida con la entrada (d1). La unidad (d) comprende además una primera salida (d2) para

5 descargar agua tratada, que típicamente es un desbordamiento, y una segunda salida (d3) para descargar lodo sedimentado. La segunda salida (d3) está ubicada típicamente cerca del fondo o incluso en el fondo del separador, y preferiblemente está en conexión fluida con la entrada (b5) de la unidad (b). Como tal, al menos parte del lodo sedimentado se devuelve convenientemente al tanque aeróbico de la unidad (b). La conexión de fluido que se origina en la salida (d3) puede comprender medios para descargar parte del lodo sedimentado del sistema como lodo residual, que puede combinarse con la conexión de fluido que se origina en la salida (c5) y que puede estar en conexión de fluido con un lodo instalación de tratamiento.

En una realización preferida, el sistema según la invención comprende:

10 (a) un tanque anaeróbico, que incluye una entrada (a1) para recibir aguas residuales, una entrada (a2) para recibir lodo de sedimentación rápida desde la salida (c3) de la unidad (c) y una salida (a3) para descargar una mezcla de aguas residuales y lodo;

15 (b) un tanque aeróbico, que comprende una entrada (b1) para recibir la mezcla de aguas residuales y lodo que se origina en la salida (a3), una salida (b2) para descargar una primera parte de una mezcla de agua y lodo al selector de lodo (c), una salida (b3) para descargar una segunda parte de la mezcla de agua y lodo al separador (d), una entrada (b4) para recibir una mezcla de agua y lodo desde una salida (c2) y una entrada (b5) para recibir lodo de la salida (d3);

20 (c) un reactor de flujo ascendente capaz de operar con una velocidad de flujo ascendente de 1 - 25 m/h, que incluye una entrada (c1) para recibir la primera parte de la mezcla de agua y lodo que se origina en la salida (b2), una salida (c2), ubicado en la mitad superior del reactor de flujo ascendente, para descargar una primera porción de lodo de sedimentación lenta al tanque (b), una salida (c3), ubicada en o cerca del fondo del reactor de flujo ascendente para descargar una segunda porción de flujo rápido sedimentación de lodo al tanque (a) y una salida (c5), ubicada en la mitad superior del reactor de flujo ascendente, para descargar una tercera porción de lodo de sedimentación lenta al tanque (b); y

25 (d) un reactor de flujo ascendente para separar el lodo del agua tratada, capaz de operar con una velocidad de flujo ascendente de 0,5 - 10 m/h, que comprende una entrada (d1) para recibir la segunda parte de la mezcla de agua y lodo de la salida (b3), una primera salida (d2) para descargar agua tratada y una segunda salida (d3) para descargar lodos separados,

30 donde la salida (a3) está en conexión fluida con la entrada (b1), la salida (b2) está en conexión fluida con la entrada (c1), la salida (b3) está en conexión fluida con la entrada (d1), la salida (c2) está en fluido conexión con la entrada (b4), la salida (c3) está en conexión de fluido con la entrada (a2) y la salida (d3) está en conexión de fluido con la entrada (b5).

**REIVINDICACIONES**

1. Un proceso para el tratamiento de aguas residuales, que incluye:
  - (a) poner en contacto las aguas residuales con lodo de sedimentación rápida que se origina en el paso (c) en una zona anaeróbica, para obtener una mezcla de aguas residuales y lodo;
  - 5 (b) someter la mezcla que se origina en el paso (a) y el lodo de sedimentación lenta que se origina en el paso (c) a una zona aeróbica para obtener una mezcla de agua y lodo;
  - (c) someter a una primera parte de la mezcla que se origina en el paso (b) a un paso de selección de lodo, en donde el lodo se selecciona en base a la velocidad de sedimentación y se recoge una primera porción que contiene lodo de sedimentación lenta y una segunda porción que contiene lodo de sedimentación rápida, en donde la velocidad de sedimentación promedio del lodo de sedimentación rápida es superior a 1 m/h, mientras que la velocidad de sedimentación promedio del lodo de sedimentación lenta es como máximo 1 m/h, y en donde la primera porción vuelve al paso (b) y la segunda porción vuelve al paso (a); y
  - 10 (d) separar el lodo de una segunda parte de la mezcla que se origina en el paso (b), para obtener aguas residuales tratadas.
- 15 2. Proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la selección de lodo de el paso (c) se realiza en un reactor de flujo ascendente, que se opera preferiblemente con un flujo ascendente en el intervalo de 1 - 25 m/h; y/o en donde el paso (c) opera con una velocidad de alimentación en constante aumento de la primera parte de la mezcla del paso (b).
3. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que se opera continuamente.
- 20 4. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que en el paso (c) se recoge una tercera porción que contiene lodo de sedimentación lenta, que se descarga como lodo residual.
5. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la transferencia sin barreras se transfiere desde el paso (a) a (b), desde el paso (b) a (c) y desde el paso (b) a (d).
- 25 6. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos parte del lodo que se origina en el paso (d) se devuelve a el paso (b).
7. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la tercera porción del lodo que se origina en el paso (c) y/o al menos parte del lodo que se origina en el paso (d) se somete a un tratamiento de lodo.
8. Sistema para llevar a cabo el proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 7, que incluye:
  - 30 (a) un tanque anaeróbico, que comprende una o más entradas para recibir aguas residuales y para recibir lodos de sedimentación rápida que se originan en la salida (c3) y una salida (a3) para descargar una mezcla de aguas residuales y lodos en el tanque (b);
  - (b) un tanque aeróbico, que incluye una entrada (b1) para recibir la mezcla de aguas residuales y lodo que se origina en la salida (a3), una salida (b2) para descargar una primera parte de una mezcla de agua y lodo al selector de lodo (c), una salida (b3) para descargar una segunda parte de la mezcla de agua y lodo al separador (d) y una entrada (b4) para recibir una mezcla de lodo de sedimentación lenta procedente de una salida (c2);
  - 35 (c) un selector de lodo, que comprende una entrada (c1) para recibir la primera parte de la mezcla de agua y lodo que se origina en la salida (b2), una salida (c2) para descargar una primera porción de lodo de sedimentación lenta al tanque (b) y una salida (c3) para descargar una segunda porción de lodo de sedimentación rápida al tanque (a) y medios (c4) para seleccionar lodo en función de la velocidad de sedimentación, en donde la velocidad de sedimentación promedio del lodo de sedimentación rápida es superior a 1 m/h mientras que la velocidad media de sedimentación del lodo de sedimentación lenta es como máximo 1 m/h; y
  - 40 (d) un separador para separar el lodo de una mezcla de lodo y agua, que comprende una entrada (d1) para recibir la segunda parte de la mezcla que se origina en una salida (b3), una primera salida (d2) para descargar agua tratada y una segunda salida (d3) para descargar lodo separado,
  - 45 donde la salida (a3) está en conexión fluida con la entrada (b1), la salida (b2) está en conexión fluida con la entrada (c1), la salida (b3) está en conexión fluida con la entrada (d1), la salida (c2) está en fluido la conexión con la entrada (b4) y la salida (c3) está en conexión fluida con una entrada de la unidad (a).
9. Sistema de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la unidad (a) comprende dos entradas, la primera entrada (a1) para recibir aguas residuales y la segunda entrada (a2) para recibir lodo de sedimentación rápida que se origina en la salida (c3), y en donde la salida (c3) está en conexión fluida con la entrada (a2).
- 50

## ES 2 750 078 T3

10. Sistema de acuerdo con la reivindicación 8 o 9, en el que el selector de lodo (c) está integrado en el tanque aeróbico (b).
11. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de 8 a 10, en el que el selector de lodo (c) es un reactor de flujo ascendente capaz de funcionar con una velocidad de flujo ascendente de 1 - 25 m/h.
- 5 12. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de 8 a 11, en el que la conexión de fluido entre la salida (c3) y la entrada (a2) está equipada con una bomba que emplea una corriente de aire ascendente o una bomba de tornillo.
13. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de 8 a 12, en el que el separador (d) es un reactor de flujo ascendente capaz de funcionar con una velocidad de flujo ascendente de 0,5-10 m/h.
- 10 14. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de 8 a 13, en el que la salida (a3) junto con la entrada (b1) toman la forma de una abertura en la parte inferior de una pared que separa los tanques (a) y (b).

