

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 019 010**

51 Int. Cl.:

C02F 3/12 (2013.01)

C02F 3/30 (2013.01)

B01D 61/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.04.2018** **PCT/US2018/026371**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.10.2018** **WO18187639**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.04.2018** **E 18781612 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.03.2025** **EP 3606880**

54 Título: **Procedimiento de tratamiento de aguas residuales**

30 Prioridad:

06.04.2017 US 201762482328 P

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

20.05.2025

73 Titular/es:

EVOQUA WATER TECHNOLOGIES LLC (100.00%)
111 47th Street
Pittsburgh, PA 15201, US

72 Inventor/es:

ZACERKOWNY, OREST y
ERDOGAN, ARGUN OLCAYTO

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 3 019 010 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de tratamiento de aguas residuales

Solicitudes relacionadas

- 5 Esta solicitud reivindica la prioridad en virtud del artículo 35, párrafo 119(e) del Código de los Estados Unidos sobre la solicitud provisional de EE. UU. núm. 62/483,328, titulada "WASTEWATER TREATMENT SYSTEM AND METHOD", presentada el 6 de abril de 2017.

Estado de la técnica

- 10 Los aspectos y realizaciones de la presente invención están generalmente dirigidos a sistemas y procesos de tratamiento de aguas residuales. El documento US2016083268 divulga un sistema de tratamiento de aguas residuales que incluye un clarificador. El documento WO 2011/106621 divulga un procedimiento de tratamiento de aguas residuales, que implica un tratamiento biológico, un separador, un MBR y un circuito de reciclaje.

Compendio

- Según la presente invención, se proporciona un procedimiento de tratamiento de aguas residuales como se reivindica en las reivindicaciones.
- 15 Según algunos aspectos del sistema de tratamiento de aguas residuales, el depósito de contacto comprende además una segunda salida en comunicación fluida con la segunda entrada del biorreactor de membrana.
- Según algunos aspectos del sistema de tratamiento de aguas residuales, el biorreactor de membrana incluye una región de tratamiento anóxico aireado y una región de tratamiento aeróbico.
- 20 Según algunos aspectos del sistema de tratamiento de aguas residuales, la primera entrada del biorreactor de membrana está configurada para suministrar el efluente de la unidad de flotación por aire disuelto a la región de tratamiento aeróbico.
- Según algunos aspectos del sistema de tratamiento de aguas residuales, la segunda entrada del biorreactor de membrana está configurada para suministrar una porción del licor mixto desde el depósito de contacto a la región de tratamiento anóxico aireado.
- 25 Según algunos aspectos del sistema de tratamiento de aguas residuales, la región de tratamiento aeróbico está conectada de forma fluida a una salida de la región de tratamiento anóxico aireado.
- Según algunos aspectos del sistema de tratamiento de aguas residuales, la unidad de filtración por membrana está dispuesta en la región de tratamiento aeróbico.
- 30 Según algunos aspectos del sistema de tratamiento de aguas residuales, el sistema de tratamiento de aguas residuales incluye además un digestor anaeróbico que tiene una entrada en comunicación fluida con la segunda salida de la unidad de flotación por aire disuelto, una primera salida y una segunda salida, estando el digestor anaeróbico configurado para digerir de forma anaeróbica una primera porción de materia suspendida desde la unidad de flotación por aire disuelto para formar un biogás y un lodo tratado de forma anaeróbica.
- 35 Según algunos aspectos del sistema de tratamiento de aguas residuales, la segunda salida de la unidad de flotación por aire disuelto está en comunicación fluida con una tercera entrada del depósito de contacto, estando configurada la unidad de flotación por aire disuelto para suministrar una segunda porción de la materia suspendida a la tercera entrada del depósito de contacto.
- Según algunos aspectos del sistema de tratamiento de aguas residuales, el sistema de tratamiento de aguas residuales está configurado para funcionar mediante el uso de la energía generada a partir del biogás.
- 40 Según algunos aspectos del sistema de tratamiento de aguas residuales, el área superficial total de la pluralidad de membranas porosas para producir un flujo dado de filtrado se reduce en comparación con el área superficial total de una pluralidad de membranas porosas de una unidad de filtración por membrana en un sistema de tratamiento de aguas residuales sustancialmente parecido que no comprende el depósito de contacto y la unidad de flotación por aire disuelto.
- 45 Según algunos aspectos del sistema de tratamiento de aguas residuales, se reduce el volumen del biorreactor de membrana en comparación con un sistema de tratamiento de aguas residuales sustancialmente parecido que no comprende el depósito de contacto y la unidad de flotación por aire disuelto.
- Según algunos aspectos del sistema de tratamiento de aguas residuales, el biorreactor de membrana está configurado para tener un tiempo de retención de lodo de menos de 20 días.

Según algunos aspectos del sistema de tratamiento de aguas residuales, el biorreactor de membrana está configurado para tener un tiempo de retención de lodo de menos de 8 días.

Según algunos aspectos del sistema de tratamiento de aguas residuales, el biorreactor de membrana está configurado para tener un tiempo de retención de lodo de aproximadamente 5 días o menos.

- 5 En algunas realizaciones, el procedimiento incluye además dirigir una segunda porción del licor mixto al biorreactor de membrana y tratar biológicamente la segunda porción del licor mixto con el efluente de la unidad de flotación por aire disuelto para formar el licor mixto tratado biológicamente.

- 10 En algunas realizaciones, el biorreactor de membrana incluye una región de tratamiento anóxico aireado y una región de tratamiento aeróbico y el procedimiento comprende además dirigir el efluente desde la unidad de flotación por aire disuelto a la región de tratamiento aeróbico.

En algunas realizaciones, el procedimiento incluye además dirigir una porción del licor mixto desde el depósito de contacto a la región de tratamiento anóxico aireado.

- 15 En algunas realizaciones, el procedimiento incluye además tratar el efluente de la unidad de flotación por aire disuelto en la región de tratamiento aeróbico para formar un licor mixto aeróbico tratado biológicamente y dirigir el licor mixto aeróbico tratado biológicamente a la región de tratamiento anóxico aireado.

En algunas realizaciones, el procedimiento incluye además tratar el licor mixto aeróbico tratado biológicamente en la región de tratamiento anóxico aireado para formar el licor mixto tratado biológicamente.

En algunas realizaciones, el procedimiento incluye además tratar una primera porción de los biosólidos separados en un digestor anaeróbico para producir un biogás y un lodo tratado de forma anaeróbica.

- 20 En algunas realizaciones, el procedimiento incluye además reciclar una segunda porción de los biosólidos separados al depósito de contacto.

En algunas realizaciones, el procedimiento incluye además comprender la generación de energía a partir del biogás producido.

- 25 En algunas realizaciones, el procedimiento incluye además alimentar uno o más componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales con la energía generada. En algunas realizaciones, la energía generada es suficiente para que el sistema de tratamiento de aguas residuales funcione de forma energéticamente neutra.

- 30 En algunas realizaciones, el reciclaje de la primera porción del lodo activado al depósito de contacto da como resultado una cantidad suficiente para reducir el área superficial total de la pluralidad de membranas porosas para producir un flujo dado de filtrado en comparación con una superficie total de una pluralidad de membranas porosas de una unidad de filtración por membrana en un procedimiento de tratamiento de aguas residuales sustancialmente parecido que no comprende el reciclaje de la primera porción del lodo activado al depósito de contacto

En algunas realizaciones, el procedimiento incluye además reciclar una porción del efluente de la unidad de flotación por aire disuelto a la unidad de flotación por aire disuelto.

- 35 En algunas realizaciones, el efluente de la unidad de flotación por aire disuelto se trata biológicamente durante un tiempo de retención de menos de 20 días.

En algunas realizaciones, el efluente de la unidad de flotación por aire disuelto se trata biológicamente durante un tiempo de retención de menos de 8 días.

- 40 El procedimiento comprende configurar una unidad de flotación por aire disuelto en el sistema de tratamiento de aguas residuales en comunicación fluida entre un depósito de contacto y el biorreactor de membrana para eliminar sólidos de una salida de licor mixto desde el depósito de contacto antes de entrar en el biorreactor de membrana, y reciclar por lo menos una parte de un lodo activado procedente del biorreactor de membrana al depósito de contacto.

Según algunos aspectos, reciclar por lo menos una porción del lodo activado al depósito de contacto reduce la carga de sólidos en el biorreactor de membrana en comparación con el sistema de tratamiento de aguas residuales que funciona en ausencia del reciclaje de por lo menos una porción del lodo activado al depósito de contacto.

- 45 Según algunos aspectos, el procedimiento incluye además reciclar por lo menos una porción de los sólidos eliminados de la unidad de flotación por aire disuelto al depósito de contacto.

- 50 El procedimiento comprende conectar de forma fluida una salida de lodo activado del biorreactor de membrana a una entrada de un depósito de contacto, conectar de forma fluida una fuente de aguas residuales a la entrada del depósito de contacto, conectar de forma fluida una entrada de una unidad de flotación por aire disuelto a una salida de licor mixto del depósito de contacto y conectar de forma fluida una salida de efluente de la unidad de flotación por aire disuelto a una entrada del biorreactor de membrana.

Según algunos aspectos, el procedimiento incluye además conectar de forma fluida una salida de biosólidos separados de una unidad de flotación por aire disuelto a una entrada de un digestor anaeróbico.

A continuación, se analizan en detalle otros aspectos, realizaciones y ventajas de estos aspectos y realizaciones de ejemplo. Además, se ha de entender que tanto la información anterior como la siguiente descripción detallada son meramente ejemplos ilustrativos de diversos aspectos y realizaciones, y están destinados a proporcionar una visión general o marco para comprender la naturaleza y el carácter de los aspectos y realizaciones reivindicados. Las realizaciones divulgadas en la presente memoria pueden combinarse con otras realizaciones, y las referencias a "una realización", "un ejemplo", "algunas realizaciones", "algunos ejemplos", "una realización alternativa", "diversas realizaciones", "una realización", "por lo menos una realización", "esta y otras realizaciones", "determinadas realizaciones" o similares no son necesariamente excluyentes entre sí y pretenden indicar que un rasgo, estructura o característica particular descrita puede incluirse en por lo menos una realización. Las apariciones de dichos términos en la presente memoria no necesariamente se refieren todas a la misma realización.

Breve descripción de los dibujos

A continuación, se analizan diversos aspectos de por lo menos una realización en referencia a las figuras adjuntas, que no están destinadas a dibujarse a escala. Las figuras se incluyen para proporcionar una ilustración y una comprensión adicional de los diversos aspectos y realizaciones, y se incorporan y constituyen parte de esta memoria descriptiva, pero no pretenden ser una definición de los límites de ninguna realización en particular. Los dibujos, junto con el resto de la memoria descriptiva, sirven para explicar los principios y operaciones de los aspectos y realizaciones descritos y reivindicados. En las figuras, cada componente idéntico o casi idéntico que se ilustra en diversas figuras está representado por un número similar. Con el propósito de claridad, no todos los componentes pueden estar etiquetados en todas las figuras. En las figuras:

la FIG. 1 es un diagrama de flujo de bloques de un sistema de tratamiento de aguas residuales;

la FIG. 2 es un diagrama de flujo de bloques de un sistema de tratamiento de aguas residuales;

la FIG. 3 ilustra los datos de resultados MLSS de una prueba piloto de un sistema; y

la FIG. 4 ilustra los datos de resultados de permeabilidad y tasa de flujo de una prueba piloto de un sistema.

Descripción detallada

Las aguas residuales generadas por los municipios y la industria habitualmente se recogen y se envían a una planta de tratamiento para eliminar una variedad de contaminantes físicos, químicos y biológicos antes de descargarse en un cuerpo de agua receptor. Muchas instalaciones de tratamiento públicas y privadas emplean procedimientos de tratamiento tanto físicos como biológicos para lograr el nivel de tratamiento requerido. Los procedimientos físicos, tal como el cribado, la eliminación de arenilla y los procesos de sedimentación física, son eficaces para eliminar los sólidos más grandes y pesados de las aguas residuales. Sin embargo, los sólidos más ligeros y pequeños y otros contaminantes solubles en las aguas residuales resisten la eliminación mediante procedimientos físicos. Para estos contaminantes, se emplean habitualmente procedimientos de tratamiento biológico tales como sistemas de crecimiento suspendido (p. ej., lodo activado, biorreactores de membrana (MBR)) o sistemas de película fija (p. ej., filtros percoladores, biorreactores de lecho móvil (MBBR), conductores biológicos giratorios (RBC)).

La regulación de las descargas contaminantes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales se ha vuelto más rigurosa en los últimos años. En respuesta, muchos municipios han desplegado nuevos sistemas de tratamiento de aguas residuales o modernizado los sistemas existentes para reducir la descarga de contaminantes. Los contaminantes pueden ser de muchas formas, siendo las más comunes la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), el total de sólidos en suspensión (TSS), el amoníaco, el nitrógeno total, el nitrato, el nitrito y el fósforo.

Los sistemas de tratamiento biológico, tales como los sistemas convencionales de lodo activado y los biorreactores de membrana, son un procedimiento para reducir los contaminantes en un afluente de aguas residuales. Los sistemas de tratamiento biológico están diseñados y operados para retener una cantidad adecuada de lodo activado (microorganismos) de modo que la carga contaminante contenida en el agua tratada por el sistema se reduzca adecuadamente. La cantidad de lodo activado producido está relacionada con el tiempo de retención de sólidos (SRT) del sistema. El SRT está asociado con el tiempo que los microorganismos pasan en el sistema, o el tiempo disponible para que los microorganismos se reproduzcan, y también puede denominarse tiempo medio de retención celular (MCRT) o edad del lodo. Cada microorganismo tiene un tiempo de regeneración característico que depende de muchos factores. Si el SRT es más largo que el tiempo de regeneración de un organismo particular, éste proliferará. De lo contrario, se eliminará del sistema. El SRT mínimo representa el valor por debajo del cual un grupo particular de microorganismos no puede crecer en un biorreactor de crecimiento suspendido. Por lo tanto, el SRT mínimo requerido para tratar diversos contaminantes en diversas condiciones depende de varios factores, incluida la concentración de afluentes limitante de la alimentación para los microorganismos de interés y los parámetros cinéticos que describen su crecimiento en esa alimentación. Los procedimientos convencionales para controlar el SRT incluyen ajustar la tasa de residuos de lodo en función de la relación entre alimento y microorganismos (F/M) o la concentración de sólidos

suspendidos en licor mixto (MLSS).

Los sistemas convencionales de lodo activado retienen el lodo activado mediante el uso de dispositivos de separación sólido/líquido, tales como clarificadores, y pueden mantener el SRT adecuado para tratar contaminantes siempre que el flujo de concentración del lodo activado y la capacidad de sedimentación del lodo activado que va a las cuencas de sedimentación o los clarificadores estén dentro de límites razonables establecidos por los parámetros de diseño. Estos parámetros de diseño a menudo dependen del área de las cuencas de sedimentación o los clarificadores y de las características del lodo activado. Los sistemas de biorreactores de membrana retienen el lodo activado mediante el uso de equipos de filtración de membrana y pueden funcionar satisfactoriamente en concentraciones de lodo activado significativamente más altas que las típicas de los sistemas de lodo activado convencionales.

Los biorreactores de membrana (MBR) combinan la tecnología de filtrado de membrana y los procesos de biodegradación de lodo activado para el tratamiento de aguas residuales y, por lo tanto, ofrecen un híbrido entre un sistema de tratamiento biológico convencional y una separación física líquido-sólido mediante filtración de membrana. Los sistemas MBR convencionales implementan el uso de membranas sumergidas o externas para filtrar una corriente de lodo activado de un biorreactor para producir un efluente de alta calidad. La inclusión de membranas en el sistema elimina la necesidad de clarificadores secundarios. Los sistemas MBR ofrecen varias ventajas sobre los procesos de lodo activado (ASP), entre ellas, un tamaño más pequeño, mayores tasas de carga volumétrica, tiempos de retención hidráulica (HRT) más cortos, mayores tasas de descomposición, una menor tasa de producción de lodo, efluentes de alta calidad y tiempos de arranque más cortos. Sin embargo, los sistemas MBR también tienen varias desventajas, entre ellas, mayor coste de energía, problemas de ensuciamiento en la membrana y un potencial alto coste por la sustitución periódica de la membrana.

En algunas realizaciones, los aparatos y procedimientos divulgados en la presente memoria proporcionan ventajas con respecto a, por ejemplo, el coste de capital y el coste operativo en comparación con los procesos de lodo activado convencionales o las aplicaciones MBR convencionales. En algunas realizaciones, se incluye un depósito de contacto utilizado en combinación con un sistema de flotación por aire disuelto en una corriente principal de aguas residuales que entra en un sistema de tratamiento de aguas residuales que tiene un biorreactor de membrana. La combinación del depósito de contacto y el dispositivo de flotación por aire disuelto ofrece un proceso de tratamiento primario mejorado biológicamente mediante el cual se elimina una cantidad significativa de la demanda biológica de oxígeno, por ejemplo, la demanda biológica de oxígeno en partículas, de las aguas residuales antes de que estas entren en la porción del biorreactor de membrana del sistema de tratamiento de aguas residuales. Esto da como resultado una reducción del volumen de un reactor biológico o de la biomasa que se envía al biorreactor de membrana para el tratamiento biológico en comparación con un sistema de tratamiento de aguas residuales con biorreactor de membrana convencional. La carga orgánica reducida permite que el sistema funcione con un tiempo de retención de lodo menor y con una concentración de MLSS más baja. La carga orgánica reducida (y los valores de TSS más bajos correspondientes) también dan como resultado una menor contaminación de la membrana, lo que permite que el biorreactor de membrana funcione con un tamaño más pequeño y que la unidad de filtración por membrana del biorreactor de membrana funcione con un área de superficie menor y una tasa de flujo mayor. Además, el sistema podría funcionar con una tasa de flujo más baja y con una concentración de MLSS más baja para reducir el requisito de energía o la limpieza química de las membranas. La reducción del ensuciamiento también prolonga la vida útil de las membranas. Estas ventajas reducen el coste de capital para el sistema global. Además, la utilización del depósito de contacto y del sistema de flotación por aire disuelto también reduce el requisito de aireación en la porción de tratamiento biológico del biorreactor de membrana para llevar a cabo la oxidación de la demanda biológica de oxígeno de las aguas residuales y reduce la cantidad o el volumen de productos químicos utilizados durante el ciclo de limpieza química (debido a la reducción del ensuciamiento), lo que reduce el coste operativo. También se reduce la cantidad de lodo residual generado en la porción del biorreactor de membrana del sistema de tratamiento, lo que reduce la cantidad de residuos que sería necesario eliminar o en cualquier caso tratar. El material eliminado de las aguas residuales en el depósito de contacto y en el sistema de flotación por aire disuelto se puede utilizar para producir energía, por ejemplo, en forma de biogás en un sistema de digestión anaeróbica en una fase posterior. Esto supone un aumento de la producción de biogás producido en comparación con un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante biorreactor de membrana convencional que no incluye el depósito de contacto ni el sistema de flotación por aire disuelto. El biogás se puede utilizar para proporcionar energía a uno o más componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales y puede proporcionar suficiente energía para que el sistema funcione de forma energéticamente neutra. El biogás también puede utilizarse para proporcionar energía comercializable a entidades o procesos externos.

Los aspectos y realizaciones de la presente invención están dirigidos a sistemas y procedimientos para tratar aguas residuales. Tal como se usa en la presente memoria, el término "aguas residuales" incluye, por ejemplo, aguas residuales municipales, aguas residuales industriales, aguas residuales agrícolas y cualquier otra forma de líquido a tratar que contenga contaminantes no deseados. Los aspectos y realizaciones de la presente invención pueden utilizarse para el tratamiento primario de aguas residuales, el tratamiento secundario de aguas residuales o ambos. Los aspectos y realizaciones de la presente invención pueden eliminar suficientes contaminantes de las aguas residuales para producir agua del producto que puede usarse, por ejemplo, para agua de riego, agua potable, agua de enfriamiento, agua de depósito de caldera o para otros fines.

Los aspectos y realizaciones de la presente invención están dirigidos a un sistema de tratamiento de aguas residuales

que comprende un biorreactor de membrana (MBR). Como se indica anteriormente, los sistemas MBR combinan el tratamiento biológico, con la participación de bacterias, con la separación por membrana para tratar las aguas residuales. El agua tratada se separa de las bacterias purificadoras (es decir, el lodo activado) mediante un proceso de filtración por membrana.

Los sistemas MBR utilizados en sistemas de tratamiento de aguas residuales típicamente están diseñados o dimensionados para suministrar una salida de permeado o efluente objetivo. En los sistemas de biorreactores de membrana sumergidos, el filtro de membrana se sumerge en un depósito abierto que contiene la corriente del lodo de las aguas residuales que se va a filtrar. La filtración se consigue haciendo pasar agua a través de las membranas al vacío. La presión transmembrana (PTM), o diferencial de presión a través de la membrana, hace que el agua penetre a través de las paredes de la membrana. El agua filtrada o permeada típicamente se transfiere a un depósito, tanque o corriente receptora situado en una fase posterior. Los sólidos suspendidos y otros materiales que no pasan a través de las paredes de la membrana pueden reciclarse o descargarse para un tratamiento posterior dependiendo del diseño del sistema MBR.

El ensuciamiento de la membrana es una desventaja de los sistemas MBR porque reduce significativamente el rendimiento y la vida útil de la membrana, lo que genera un aumento en el coste de mantenimiento y funcionamiento. El ensuciamiento de las membranas en los MBR se puede atribuir a partículas suspendidas (microorganismos y restos celulares), coloides, solutos y flóculos de lodo en el MLSS. Estos materiales se depositan sobre la superficie de la membrana y en sus poros, obstruyéndolos y provocando una disminución de la permeabilidad de la membrana. Los sistemas MBR también tienen un tiempo de retención de sólidos más largo (p. ej., más de 10 días) que los ASP, lo que da como resultado un valor de concentración de MLSS alto (p. ej., más de 10 g/L), lo que contribuye al ensuciamiento de la membrana y reduce la eficacia de aireación (debido a la mayor concentración de sólidos suspendidos en el licor mixto).

La limpieza de la superficie de las membranas sumergidas se logra por medio de la limpieza por arrastre de aire, al suministrar una corriente de aire o burbujas de gas debajo o cerca del fondo de los filtros de membrana. Las burbujas de aire o gas ascendentes recorren las superficies de la membrana para reducir el ensuciamiento y mantener la tasa de permeación deseada u objetivo. La intensidad y/o frecuencia del proceso de limpieza por arrastre de aire aplicado a la superficie de las membranas sumergidas puede depender de la tasa de ensuciamiento. Los altos valores de MLSS requieren una alta tasa de aireación para lograr una limpieza adecuada, y la energía requerida para proporcionar esta limpieza por arrastre de aire contribuye significativamente al consumo global de energía y al coste operativo del sistema MBR.

En referencia a la FIG. 1, se describe un sistema 100 de tratamiento de aguas residuales. Las aguas residuales de una fuente de aguas residuales 105 se dirigen a un depósito 110 de contacto a través de una entrada del depósito de contacto. En el depósito 110 de contacto, las aguas residuales se mezclan con lodo activado reciclado a través de un conducto 175 procedente de un proceso de biorreactor de membrana en una fase posterior descrito a continuación. Según algunas realizaciones, las aguas residuales pueden mezclarse en el depósito 110 de contacto con lodo activado que de otro modo se desaprovecharía o descargaría desde uno o más procesos biológicos en el sistema de tratamiento de aguas residuales. En algunas realizaciones, el depósito 110 de contacto se airea con aireadores mecánicos o una fuente de gas 153 de aireación para facilitar la mezcla de las aguas residuales y el lodo activado. Según diversos aspectos, las funciones de mezcla para transferir una cantidad deseada de oxígeno al depósito de contacto. El gas de aireación puede ser un gas que contenga oxígeno, por ejemplo, aire. Los materiales orgánicos suspendidos y disueltos, incluidos los sólidos disueltos, en las aguas residuales que incluyen materiales biológicos oxidables (denominados en la presente memoria demanda biológica de oxígeno o DBO) se absorben/se atrapan/almacenan en el lodo activado (p. ej., células) en el depósito de contacto, y forman un licor mixto. Una parte de la DBO también puede oxidarse en el depósito 110 de contacto. El tiempo de permanencia de las aguas residuales en el depósito 110 de contacto puede ser suficiente para que la mayor parte de la DBO se absorba por el lodo activado, pero no tanto como para que se produzca una cantidad significativa de oxidación de la DBO. En algunas realizaciones, por ejemplo, menos de aproximadamente el 30 % de la DBO que entra en el depósito 110 de contacto se oxida en el depósito de contacto. El tiempo de permanencia de las aguas residuales en el depósito de contacto es en algunas realizaciones de aproximadamente 30 minutos a aproximadamente una hora, en algunas realizaciones, de aproximadamente 45 minutos a aproximadamente una hora, y en algunas realizaciones, de aproximadamente 30 minutos a aproximadamente una hora. El tiempo de permanencia puede ajustarse dependiendo de factores tales como la DBO de las aguas residuales de afluentes. Unas aguas residuales con una DBO mayor pueden requerir un tratamiento más prolongado en el depósito 110 de contacto que unas aguas residuales con una DBO menor.

La concentración de sólidos suspendidos de licor mixto (MLSS) del licor mixto formado en el depósito de contacto depende de varias variables, incluidas las propiedades de las aguas residuales 105 de entrada sin procesar, así como también la aplicación, el funcionamiento y las características del sistema. Según una realización, la concentración de MLSS del licor mixto formado en el depósito de contacto es de aproximadamente 400 mg/L a aproximadamente 2500 mg/L.

Una primera porción del licor mixto formado en el depósito 110 de contacto se dirige a un sistema de flotación por aire disuelto (DAF) 120 a través del conducto 114. El sistema 120 DAF (en adelante denominado en la presente memoria "unidad DAF") puede incluir un recipiente, depósito u otra unidad de contención abierta o cerrada configurada para

realizar una operación de flotación por aire disuelto como se describe a continuación. La unidad 120 DAF puede funcionar como espesante y clarificador. La FIG. 1 ilustra una sola unidad 120 DAF, pero debe apreciarse que se pueden utilizar múltiples unidades DAF y están dentro del alcance de esta divulgación. Por ejemplo, según algunas realizaciones, se pueden utilizar dos o más unidades 120 DAF que funcionen en paralelo. La provisión de diversas unidades DAF puede permitir que el sistema siga funcionando si una o más de las unidades DAF se retiran de servicio para su limpieza o mantenimiento.

Según algunas realizaciones, la unidad 120 DAF puede incluir una entrada 157 de gas o puede estar acoplada de otro modo de forma fluida a una fuente de gas. Por ejemplo, se puede disolver aire u otro gas en el licor mixto a presión antes de entrar en la unidad 120 DAF. La presión puede liberarse a medida que el licor mixto entra en la unidad 120 DAF, lo que hace que el gas salga de la solución y cree burbujas en el licor mixto. En algunas realizaciones, en lugar de disolver gas en el licor mixto, se introduce un fluido, por ejemplo, agua que tiene un gas, por ejemplo aire, disuelto en su interior, en la unidad 120 DAF con el licor mixto. Al mezclar el licor mixto con el fluido que contiene gas, se producen burbujas. Las burbujas formadas en la unidad 120 DAF se adhieren a la materia suspendida en el licor mixto, haciendo que la materia suspendida flote hacia la superficie del líquido en la unidad 120 DAF, donde puede eliminarse, por ejemplo, mediante un skimmer.

En algunas realizaciones, el licor mixto se dosifica con un coagulante, por ejemplo, cloruro férrico o sulfato de aluminio antes o después de la introducción en la unidad 120 DAF. El coagulante facilita la floculación de la materia suspendida en el licor mixto.

En la unidad 120 DAF por lo menos una porción de los sólidos presentes en el licor mixto del afluente, incluidos los sólidos de las aguas residuales afluente y del lodo activado reciclado, se eliminan mediante un proceso de flotación por aire disuelto para producir un efluente que tiene una concentración menor de sólidos disueltos y/o suspendidos y/o la DBO que el licor mixto afluente desde el depósito 110 de contacto. Por lo menos una porción de cualquier aceite que pueda estar presente en el licor mixto también puede eliminarse en la unidad 120 DAF. En algunas realizaciones, se elimina entre aproximadamente el 50 % y aproximadamente el 80 % de los sólidos suspendidos en el licor mixto introducido en la unidad 120 DAF y se elimina entre aproximadamente el 45 % y aproximadamente el 60 % de la DBO. La eliminación de la DBO puede incluir el atrapamiento y la adsorción en el licor mixto y/o la oxidación de la DBO y la formación de productos de reacción tales como dióxido de carbono y agua. En otras realizaciones, se elimina hasta aproximadamente el 80 % de los sólidos suspendidos en la unidad 120 DAF y se elimina hasta aproximadamente el 60 % de la DBO.

La concentración de sólidos suspendidos en licor mixto (MLSS) del efluente DAF depende de varias variables, incluidas las propiedades de las aguas residuales 105 de entrada sin procesar, así como también la aplicación y los parámetros de funcionamiento del DAF, tales como la tasa de carga superficial, la tasa de carga de sólidos y la tasa de reciclaje presurizado. Según una realización, el efluente DAF presenta una concentración de sólidos suspendidos en licor mixto (MLSS) inferior a 1250 mg/L. En otra realización, el efluente DAF presenta una concentración de MLSS de entre aproximadamente 100 mg/L y aproximadamente 200 mg/L.

Los sólidos suspendidos eliminados en la unidad 120 DAF pueden enviarse fuera del sistema como sólidos de residuo a través de un conducto 125. Estos sólidos de residuo pueden eliminarse o, en algunas realizaciones, pueden tratarse en un proceso situado en una fase posterior, por ejemplo, un proceso de digestión aeróbica o anaeróbica como se describe más adelante para producir productos útiles, por ejemplo, biogás y/o agua del producto utilizable.

El efluente de la unidad 120 DAF se dirige a través del conducto 124 hacia un biorreactor 135 de membrana (MBR), que puede incluir un recipiente 130 de tratamiento biológico y una unidad 160 de filtración por membrana dispuesta dentro del recipiente 130 de tratamiento biológico. El recipiente 130 de tratamiento biológico puede incluir uno o más depósitos de tratamiento. Se pueden utilizar dispositivos aireadores y/o mezcladores mecánicos en uno o más depósitos para proporcionar oxígeno y mantener el fluido que está siendo tratado en suspensión. Los depósitos pueden utilizarse para proporcionar condiciones de tratamiento por separado. Como se analiza con más detalle a continuación, una zona o región del recipiente 130 de tratamiento biológico puede configurarse como una zona de aireación que tiene un déficit de oxígeno continuo y una segunda zona o región del recipiente 130 de tratamiento biológico puede configurarse como una zona de aireación que tiene un excedente de oxígeno continuo. En algunas realizaciones, la segunda zona que tiene un excedente de oxígeno continuo puede situarse en una fase posterior a la primera zona. Las dos zonas pueden estar ubicadas en el mismo depósito o en depósitos separados. La naturaleza y función del MBR pueden ser similares a las descritas en la patente de EE. UU. núm. 7,713,413.

Según algunas realizaciones, una segunda porción del licor mixto formado en el depósito de contacto se dirige al biorreactor 135 de membrana a través de un conducto 115. En algunas realizaciones, aproximadamente la mitad del licor mixto formado en el depósito 110 de contacto se dirige a la unidad 120 DAF y aproximadamente la mitad del licor mixto formado en el depósito 110 de contacto se dirige a través del conducto 115 al biorreactor 135 de membrana. En otras realizaciones, entre aproximadamente un tercio y dos tercios del licor mixto formado en el depósito 110 de contacto se dirige a la unidad 120 DAF y el resto del licor mixto formado en el depósito 110 de contacto se dirige a través del conducto 115 al biorreactor 130 de membrana. La cantidad de licor mixto dirigida a la unidad 120 DAF, en comparación con el biorreactor 135 de membrana, puede variar en función de factores tales como la concentración del licor mixto y su eficacia para atrapar DBO en el depósito 110 de contacto. El análisis en la presente memoria puede

referirse al tratamiento del efluente DAF en el MBR 135, pero debe apreciarse que el tratamiento en el MBR 135 también se aplica a cualquier licor mixto desde el depósito 110 de contacto que se dirige al MBR 135.

Por ejemplo, si se desea eliminar una mayor cantidad de sólidos, en lugar de una menor cantidad, en la unidad 120 DAF, una fracción mayor del licor mixto desde el depósito 110 de contacto se dirigirá a la unidad 120 DAF cuando el licor mixto tenga una concentración menor de sólidos, en lugar de una mayor. De forma similar, si se desea eliminar una cantidad mayor, en lugar de una menor, de DBO en la unidad 120 DAF, una fracción mayor del licor mixto desde el depósito 110 de contacto se dirigirá a la unidad 120 DAF cuando el licor mixto tenga una eficacia menor, en lugar de mayor, para atrapar DBO en el depósito 110 de contacto.

La combinación del depósito 110 de contacto biológico y la unidad 120 DAF ofrece un proceso de tratamiento primario biológicamente mejorado que aporta varias ventajas al MBR 135, incluida una carga orgánica reducida y valores de TSS reducidos. Un ejemplo de un sistema para proporcionar dicho proceso de tratamiento primario es el sistema de tratamiento CAPTIVATOR™ disponible en Evoqua Water Technologies LLC.

Según algunas realizaciones, por lo menos una porción del licor mixto formado en el depósito 110 de contacto se combina con el efluente de la unidad 120 DAF y se trata en el biorreactor 135 de membrana, como se analiza con más detalle a continuación. Los sistemas de biorreactores de membrana combinan el tratamiento biológico (es decir, un proceso biológico), en el que participan bacterias, con la separación por membrana (es decir, un proceso físico) para tratar las aguas residuales. El agua tratada se separa de las bacterias purificadoras, denominadas lodo activado, mediante un proceso de filtración por membrana. Los biorreactores de membrana típicamente emplean módulos de membrana de fibra hueca sumergidos incorporados en un reactor de flujo distribuido. Los módulos de membrana de la unidad 160 de filtración por membrana (también denominada en la presente memoria "sistema operativo de membrana (MOS)") se sumergen en el recipiente 130 de tratamiento biológico y el filtrado se recoge a través de la succión aplicada al lado de filtrado de las membranas. El MBR 135 puede retener especies indeseables tales como compuestos inorgánicos u orgánicos solubles en un primer lado del filtro de membrana, mientras se permite que la porción "tratada" pase a través del filtro de membrana. El MBR 135 está configurado para tratar biológicamente o descomponer de otro modo los componentes orgánicos de un efluente de la unidad 120 DAF y el licor mixto desde el depósito 110 de contacto para formar un licor mixto tratado biológicamente, que comprende lodo activado. El tratamiento biológico realizado en el MBR 135 puede incluir tratamiento anaeróbico, anóxico o aeróbico y puede estar dirigido a numerosos tipos de tratamiento que incluyen, por ejemplo, nitrificación-desnitrificación, eliminación de fósforo u otros nutrientes, eliminación de DBO, etc. Durante el funcionamiento, el licor mixto tratado biológicamente entra en contacto con las superficies externas de las membranas de la unidad 160 de filtración por membrana y se extrae agua tratada (filtrado) de los lúmenes de las membranas. Como se ha mencionado anteriormente, el uso del depósito 110 de contacto y la unidad 120 DAF en combinación con el MBR 135 reduce la carga orgánica en el MBR 135. Este beneficio se puede materializar en la capacidad de hacer funcionar la unidad 160 de filtración por membrana a una tasa de flujo mayor que un sistema MBR que no está equipado con el depósito de contacto y la unidad DAF. En algunos casos se puede conseguir un aumento de la tasa de flujo de hasta el 50 %. Según un ejemplo, cuando la concentración de MLSS de la unidad 160 de filtración por membrana es inferior a aproximadamente 4000 mg/L, entonces la tasa de flujo puede aumentar hasta aproximadamente un 50 % (en comparación con un MBR sin el depósito de contacto y el DAF).

Los módulos de membrana utilizados en la unidad 160 de filtración por membrana incluyen membranas porosas o semipermeables. Las membranas pueden colocarse a fin de que queden sumergidas durante el funcionamiento y pueden tener cualquier configuración adecuada para un propósito particular, tal como una lámina o un tubo hueco. La membrana puede estar formada por cualquier material (natural o sintético) adecuado para un proceso de filtración en particular.

Según algunas realizaciones, la membrana está formada por fibras huecas poliméricas, tales como las hechas de polímero de poli(fluoruro de vinilideno). Un ejemplo no limitativo de una membrana que se puede utilizar en la unidad 160 de filtración por membrana es la membrana de fibra hueca MEMCOR® B40N disponible en Evoqua Water Technologies LLC. Según determinadas realizaciones, las fibras de membrana tienen un tamaño de poro de entre aproximadamente 0,04 micras y 0,1 micras. En algunas realizaciones, las fibras de membrana tienen un tamaño de poro de 0,04 micras. En algunas realizaciones, el aire puede burbujear por medio de sopladores de membrana entre las fibras de la membrana para limpiar por arrastre de aire las fibras y eliminar sólidos de la superficie de la membrana.

Como se indica anteriormente, los módulos de membrana utilizados en la unidad 160 de filtración por membrana incluyen fibras huecas porosas o semipermeables. Las fibras pueden estar fijadas en cada extremo en un cabezal, y el cabezal inferior puede tener uno o más orificios (es decir, aberturas de aireación) formados en el mismo a través de los cuales puede introducirse un flujo de gas líquido. Los orificios pueden ser circulares, elípticos o en forma de ranura. Las fibras pueden estar selladas en el extremo superior o inferior y abiertas en su extremo superior o inferior para permitir la eliminación del filtrado, sin embargo, en algunas disposiciones, las fibras pueden estar abiertas en ambos extremos para permitir la eliminación del filtrado de uno o ambos extremos. Las fibras pueden estar dispuestas en conjuntos o haces cilíndricos, aunque también se pueden emplear otras configuraciones, por ejemplo, cuadradas, hexagonales, triangulares, irregulares y similares.

Se pueden colocar múltiples membranas en uno o más módulos de membrana dentro de la unidad 160 de filtración

por membrana. En algunas realizaciones, el módulo de membrana está suspendido verticalmente dentro del recipiente 130 de tratamiento biológico, y en realizaciones alternativas, el módulo puede estar suspendido horizontalmente o en cualquier otra posición deseada. Los módulos de membrana pueden tener cualquier forma y área de sección transversal adecuada para su uso en una aplicación deseada, por ejemplo, cuadrada, rectangular o cilíndrica. Por ejemplo, se pueden utilizar módulos de membrana tales como los descritos en la patente de EE.UU. núm. 6,872,305. Se pueden colocar múltiples módulos de membrana adyacentes entre sí o en posiciones predeterminadas dentro de la unidad 160 de filtración por membrana. Los módulos de membrana pueden colocarse en cualquier ángulo, incluidos vertical y horizontal, dentro de la unidad 160 de filtración por membrana. En una realización, se puede montar una pluralidad de módulos de membrana en un bastidor de soporte de módulos para facilitar el mantenimiento y/o la sustitución de la membrana.

Las membranas pueden limpiarse durante un proceso de limpieza mediante el uso de una o más técnicas. En algunas realizaciones, un proceso de retrolavado que utiliza filtrado y/o un gas limpia físicamente la superficie de la membrana. Se puede utilizar cloro gaseoso (u otros productos químicos adecuados) para fregar, desinfectar y mejorar la eficacia de la limpieza mediante una reacción química en la superficie de la membrana. El uso del ozono, además de los efectos similares mencionados para el cloro gaseoso, tiene características adicionales, tales como oxidar los precursores de subproductos de desinfección (DBP) y convertir la materia orgánica natural (NOM) no biodegradable en carbono orgánico disuelto biodegradable.

Los ejemplos no limitantes de sistemas MBR que pueden utilizarse según una o más configuraciones descritas en la presente memoria incluyen, pero no se limitan a, el sistema de biorreactor de membrana MEMPULSE® y el sistema de aguas residuales empaquetado MBR XPRESS™ de Evoqua Water Technologies LLC.

Aunque no se muestra explícitamente en las figuras, el MBR 135 puede incluir tuberías y una o más bombas que pueden usarse para introducir alimentación en el recipiente 130 de tratamiento biológico, aplicar un vacío a los filtros de membrana de la unidad 160 de filtración por membrana y retirar el filtrado de por lo menos un extremo de las membranas de fibra a través de la salida 185. Se puede aplicar vacío a las fibras para retirar el filtrado mientras se suministran de forma intermitente, cíclica o continua burbujas de gas a través de aberturas de aireación (p. ej., orificios o ranuras en el cabezal de la membrana) hacia el interior del módulo de membrana de modo que, cuando se utiliza, las burbujas se muevan más allá de la superficie de las fibras de la membrana para desprender los materiales de ensuciamiento de las mismas. Las burbujas de gas pueden ser arrastradas o mezcladas con un flujo de líquido cuando pasan a través de las aberturas de aireación. Según algunas realizaciones, la aireación puede configurarse de modo que se puedan introducir aleatoriamente o generar de otro modo grandes burbujas de gas en la base del módulo. Las grandes burbujas o bolsas aumentan de tamaño a medida que avanzan por las fibras de la membrana y funcionan para impedir la acumulación de impurezas y sólidos al empujar los restos lejos de la superficie de la fibra de la membrana. Además, la aireación puede configurarse para crear o en cualquier caso generar un flujo de elevación de aire que arrastra el licor mixto hacia el fondo de cada módulo de membrana a través de un tubo de elevación de aire. Las burbujas de aire pueden mezclarse con el licor mixto y elevarse entre las fibras individuales de la membrana para crear un flujo cruzado que distribuye uniformemente el licor mixto y reduce la concentración de sólidos en la superficie de la membrana. La naturaleza y función de un dispositivo de aireación configurado para producir estos efectos de aireación pueden ser similares a los descritos en la patente de EE. UU. núm. 8,622,222.

Según algunas realizaciones, el sistema 100 de tratamiento de aguas residuales también puede incluir un filtro primario o de pretratamiento. El filtro primario se puede utilizar para filtrar las aguas residuales 105 de los afluentes que entran en el sistema antes del tratamiento en el depósito 110 de contacto. También se puede utilizar un filtro primario en el MBR 135 para filtrar el agua de alimentación antes de entrar en las regiones de tratamiento biológico del MBR 135. El filtro primario puede ser un filtro de tambor giratorio o un filtro de disco giratorio como es conocido en la técnica.

En referencia nuevamente a la FIG. 1, en el MBR 135, el efluente de la unidad 120 DAF y el licor mixto desde el depósito 110 de contacto se tratan biológicamente en el recipiente 130 de tratamiento biológico para formar licor mixto tratado biológicamente que se filtra a través de las membranas porosas de la unidad 160 de filtración por membrana para producir un filtrado que sale del MBR 135 a través de la salida 185 del filtrado.

En algunas realizaciones, el tratamiento biológico del efluente desde la unidad DAF (en cualquier caso denominado en la presente memoria, "efluente DAF") y el licor mixto desde el depósito 110 de contacto en el biorreactor 135 de membrana incluye la oxidación de la DBO en el efluente DAF y el licor mixto. Con este fin, se puede suministrar oxígeno al efluente DAF en el MBR 135 mediante aireación con un gas que contenga oxígeno 159, por ejemplo, aire. En algunas realizaciones, al MBR 135 se le suministra suficiente oxígeno para que se creen condiciones aeróbicas en el MBR 135. En otras realizaciones, la cantidad de oxígeno suministrada es insuficiente para satisfacer toda la demanda de oxígeno del efluente DAF, y el MBR 135, o por lo menos una porción del mismo, puede mantenerse en una condición anóxica o anaeróbica. La nitrificación y desnitrificación del efluente DAF pueden producirse en diferentes porciones del MBR aireado.

El tiempo de permanencia del efluente DAF en el MBR 135 puede ser suficiente para oxidar sustancialmente toda la DBO en el efluente DAF. Según algunas realizaciones, el tiempo de permanencia (es decir, el tiempo de retención de lodo) del efluente DAF en el MBR 135 puede ser inferior a 20 días. En otras realizaciones, el tiempo de retención de lodo en el MBR 135 es inferior a 8 días. Según otras realizaciones, el tiempo de retención de lodo en el MBR 135 es

de aproximadamente 5 días o menos. El tiempo de retención de lodo puede ser una función del nivel de DBO del agua entrante a tratar. Por ejemplo, el tiempo de retención de lodo puede incrementarse si las aguas residuales de afluentes que se van a tratar y/o el licor mixto tratado biológicamente contiene un nivel de DBO alto, o puede disminuirse si las aguas residuales de afluentes que se van a tratar y/o el licor mixto tratado biológicamente incluyen un nivel de DBO bajo.

- 5 El efluente DAF que se trata biológicamente en el MBR 135 forma un licor mixto tratado biológicamente que se filtra a través de la unidad 160 de filtración por membrana y se dirige a través de la salida 185 como filtrado. Según algunas realizaciones, el filtrado tiene un valor de DBO inferior a 5 mg/L y un valor de TSS inferior a 5 mg/L.

- 10 El lodo activado y separado del filtrado en el MBR 135 se puede reciclar nuevamente en una fase anterior hasta una entrada de aguas residuales del sistema, la fuente de aguas residuales y/o el depósito 110 de contacto a través de los conductos 165 y 175. En algunas realizaciones, el 100 % del lodo activado y separado en el MBR 135 se recicla en una fase anterior. Según algunas realizaciones, el 100 % del lodo reciclado puede dirigirse al depósito 110 de contacto (o entrada de aguas residuales) a través del conducto 175. En otras realizaciones, como se analiza más adelante, por lo menos una porción del lodo activado y separado en el MBR 135 puede dirigirse a una o más zonas o regiones del MBR 135.

- 15 En algunas realizaciones, el biorreactor 135 de membrana puede comprender un recipiente de estabilización por contacto. Una porción del filtrado se puede reciclar (el sistema de reciclaje no se muestra en la FIG. 1) para suministrar burbujas de gas a la unidad 120 DAF. Se puede disolver un gas en la porción reciclada del efluente, que luego se dirige nuevamente a la unidad 120 DAF y se mezcla con el licor mixto del afluente.

- 20 Según por lo menos una realización, el sistema 100 de tratamiento de aguas residuales puede incluir además una unidad 140 de tratamiento anaeróbico (también denominada en la presente memoria "digestor anaeróbico"). El digestor 140 anaeróbico se puede utilizar para tratar el licor mixto, que puede incluir sólidos suspendidos, lodo y/o corrientes de fluido, ricas en sólidos o pobres en sólidos, procedentes de una o más unidades de tratamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales.

- 25 El digestor 140 anaeróbico del sistema 100 de tratamiento de aguas residuales se alimenta con sólidos suspendidos eliminados del licor mixto en la unidad 120 DAF a través del conducto 125. Los sólidos suspendidos de la unidad 120 DAF se digieren de forma anaeróbica en el digestor 140 anaeróbico para producir biogás 142 y lodo 144 tratado de forma anaeróbica. Según por lo menos una realización, el biogás 142 generado por el proceso de digestión anaeróbica en el digestor 140 anaeróbico puede utilizarse para alimentar uno o más componentes del sistema 100 de tratamiento de aguas residuales. Por ejemplo, se puede recoger energía del biogás 142 para alimentar uno o más dispositivos mecánicos, tales como bombas, calentadores, motores, dispositivos de aireación, etc. utilizados en el funcionamiento del sistema 100 de tratamiento de aguas residuales. El biogás 142 puede proporcionar energía a través de la combustión o mediante su uso en, por ejemplo, una o más celdas de combustible. En algunas realizaciones, la energía generada es suficiente para que el sistema de tratamiento de aguas residuales funcione de forma energéticamente neutra. Tal como se usa en la presente memoria, el término "de forma energéticamente neutra" se refiere a la capacidad del sistema de tratamiento de aguas residuales de funcionar sin utilizar fuentes externas de energía.

- 40 Las condiciones utilizadas durante el proceso de digestión anaeróbica pueden depender de varios factores, incluido el tipo de bacterias utilizadas durante el proceso de digestión. Por ejemplo, el uso de bacterias mesófilas típicamente requiere temperaturas de funcionamiento de entre 20 °C y 45 °C, mientras que las bacterias termófilas típicamente requieren temperaturas de funcionamiento de entre 50 °C y 75 °C. En determinadas implementaciones, la temperatura de funcionamiento puede estar entre 25 °C y 35 °C para estimular la actividad mesófila en lugar de la termófila. Dependiendo de otros parámetros de funcionamiento, en algunas realizaciones el tiempo de retención en el digestor anaeróbico puede estar entre aproximadamente 15 y aproximadamente 30 días de tiempo de retención. En determinadas realizaciones, la digestión anaeróbica del licor mixto en el digestor anaeróbico puede dar como resultado una reducción en la demanda de oxígeno del licor mixto de aproximadamente el 50 %.

- 45 Aunque los ejemplos descritos en la presente memoria se analizan en el contexto de un proceso de digestión anaeróbica (es decir, ausencia de oxígeno gaseoso), debe apreciarse que los procesos de digestión aeróbica también están dentro del alcance de esta divulgación (es decir, presencia de oxígeno gaseoso).

- 50 Según una realización, una porción de los sólidos suspendidos eliminados del licor mixto en la unidad 120 DAF se recicla al depósito 110 de contacto a través de los conductos 125 y 122. El conducto 122 puede ramificarse del conducto 125 como se ilustra, o puede conectarse a una tercera salida de la unidad 120 DAF, en cuyo caso los sólidos suspendidos eliminados en la unidad 120 DAF se reciclan de vuelta al depósito 110 de contacto únicamente a través del conducto 122. La cantidad de sólidos suspendidos reciclados al depósito 110 de contacto puede depender de varios factores. La cantidad podrá ajustarse en base a la eficacia de la eliminación de sólidos en la unidad 120 DAF y/o la concentración de sólidos en la unidad 120 DAF. El reciclaje de sólidos suspendidos de la unidad 120 DAF al depósito 110 de contacto puede funcionar para mejorar tanto la eliminación de DBO como la biosorción en el licor mixto formado en el depósito 110 de contacto. La cantidad de sólidos reciclados desde la unidad 120 DAF al depósito 110 de contacto puede variar entre aproximadamente el 1% y aproximadamente el 100 % de la cantidad total de sólidos eliminados del licor mixto en la unidad 120 DAF. La cantidad de sólidos reciclados desde la unidad 120 DAF al depósito 110 de contacto puede ser la mayoría de la cantidad total de sólidos eliminados del licor mixto en la unidad

120 DAF, por ejemplo, mayor que aproximadamente el 50 %, entre aproximadamente el 50 % y aproximadamente el 95%, o entre aproximadamente el 60 % y aproximadamente el 80 % de la cantidad total de sólidos eliminados del licor mixto en la unidad 120 DAF.

Las unidades DAF se utilizan típicamente en sistemas de tratamiento de aguas residuales para eliminar sólidos de las aguas residuales, con lo cual se reduce la necesidad de tratamiento biológico de estos sólidos eliminados y se reducen los requisitos de energía del sistema de tratamiento de aguas residuales, por ejemplo, se reduce la cantidad de aire necesario que se debe suministrar a un recipiente de tratamiento biológico aireado para oxidar los sólidos eliminados. Por lo tanto, es contrario al funcionamiento convencional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales reintroducir los sólidos flotantes separados del licor mixto desde un depósito de contacto en una unidad DAF de vuelta al depósito de contacto. Típicamente, después de separar los sólidos del licor mixto de un depósito de contacto en una unidad DAF, reintroducir los sólidos separados en el licor mixto en el depósito de contacto y forzar a los sólidos a pasar nuevamente por el mismo proceso de separación en la unidad DAF reduce la eficacia del sistema. Dicho reciclaje de sólidos desde una unidad DAF a un depósito de contacto directamente situado en una fase anterior de la unidad DAF provocaría la necesidad de una mayor capacidad de depósito de contacto y una mayor capacidad de la unidad DAF.

Dicho tipo de reciclaje de sólidos desde una unidad DAF a un depósito de contacto directamente situado en una fase anterior de la unidad DAF también requeriría más flujo de aire a la unidad DAF para eliminar los sólidos reciclados del licor mixto además de cualquier sólido que estaría presente en ausencia del reciclaje de sólidos. Se ha descubierto, sin embargo, que se pueden lograr beneficios con la reintroducción, contraria a la intuición, de los sólidos eliminados en la unidad DAF nuevamente en el depósito de contacto de un sistema de tratamiento de aguas residuales desde el cual se suministra el licor mixto a la unidad DAF.

Por ejemplo, al reciclar los sólidos eliminados por la unidad 120 DAF al depósito 110 de contacto, la cantidad total de sólidos en suspensión (TSS) en el depósito 110 de contacto se puede aumentar en comparación con los procedimientos que no incluyen un reciclaje de sólidos de la unidad 120 DAF al depósito 110 de contacto. El aumento del nivel de TSS en el depósito 110 de contacto puede permitir que se adsorba la BOD soluble adicional en el depósito 110 de contacto en comparación con un depósito 110 de contacto que tiene un nivel de TSS más bajo. En algunas implementaciones, un nivel deseable de TSS en el depósito 110 de contacto puede estar entre aproximadamente 400 mg/L y aproximadamente 3.500 mg/L. En otras implementaciones, el nivel de TSS en el depósito 110 de contacto puede estar entre aproximadamente 1.200 mg/L y aproximadamente 3.500 mg/L.

La eliminación de la DBO soluble adicional en el depósito 110 de contacto debido al mayor nivel de TSS en el depósito 110 de contacto, resultante del reciclaje de sólidos desde la unidad 120 DAF al depósito 110 de contacto, permite la eliminación de esta DBO adicional como sólidos en la unidad 120 DAF. La DBO adicional eliminada como sólidos en la unidad 120 DAF se puede dirigir a un digestor anaeróbico (por ejemplo, el digestor 140 anaeróbico que se ilustra en las FIGS. 1 y 2) en lugar de una unidad de tratamiento biológico aireado (por ejemplo, el MBR 135), con lo cual se reduce la necesidad de aireación para alimentar el MBR 135 y aumenta la cantidad de biogás que se podría producir en el digestor anaeróbico.

Cuando se suministra con sólidos reciclados de la unidad 120 DAF, el depósito 110 de contacto puede tener un tiempo de retención hidráulica (HRT) de entre aproximadamente 30 minutos y aproximadamente una hora y un tiempo de retención de sólidos (SRT) de entre aproximadamente 0,5 días y aproximadamente un día para adsorber eficazmente la DBO soluble. En otras realizaciones, el SRT en el depósito 110 de contacto puede estar entre aproximadamente 0,5 y aproximadamente 1,0 días. Por ejemplo, según una realización, cuando el depósito 110 de contacto incluye TSS en un intervalo de entre aproximadamente 400 mg/L y aproximadamente 2.500 mg/L, el SRT en el depósito 110 de contacto puede estar entre aproximadamente 0,5 y aproximadamente un día. Según otra realización, cuando el depósito 110 de contacto incluye TSS en un intervalo de entre aproximadamente 1500 mg/L y aproximadamente 2500 mg/L, el SRT en el depósito 110 de contacto puede estar entre aproximadamente 0,5 y aproximadamente un día.

El reciclaje de los sólidos eliminados en la unidad 120 DAF al depósito 110 de contacto permite que el depósito 110 de contacto funcione como un sistema de lodo activado de alto rendimiento, mientras que la unidad 120 DAF funciona como un separador de sólidos y líquidos. El reciclaje de los sólidos eliminados en la unidad 120 DAF al depósito 110 de contacto proporciona bacterias vivas capaces de oxidar la DBO y aumenta la eficacia de absorción frente a los sistemas donde los sólidos eliminados de la unidad 120 DAF no se reciclan al depósito de contacto. En sistemas y procedimientos donde los sólidos eliminados en la unidad 120 DAF no se reciclan al depósito 110 de contacto, la oxidación de aproximadamente el 2% a aproximadamente el 3% de la DBO en las aguas residuales que entran en el depósito 110 de contacto puede oxidarse en el depósito 110 de contacto y la unidad 120 DAF. Por el contrario, para los sistemas y procedimientos en los que los sólidos eliminados en la unidad 120 DAF se reciclan al depósito 110 de contacto, la oxidación de aproximadamente el 5% a aproximadamente el 10 % de la DBO en el afluente de aguas residuales que entra en el depósito 110 de contacto puede oxidarse en el depósito 110 de contacto y la unidad 120 DAF. De esta manera, el reciclaje de los sólidos eliminados en la unidad 120 DAF al depósito 110 de contacto puede reducir la cantidad de DBO que necesita tratarse en las operaciones de unidades situadas en una fase posterior, por ejemplo, en el MBR 135 analizado en la presente memoria, lo que reduce los requisitos de energía para las operaciones de unidades situadas en una fase posterior. El SRT del depósito 110 de contacto se puede ajustar para optimizar la eliminación de DBO de fracciones de DBO en partículas, coloidales y solubles.

En algunas realizaciones, una porción del efluente DAF se recicla a una entrada de la unidad 120 DAF a través del conducto 155. Como se describe anteriormente, el mecanismo básico de separación del proceso de separación sólido-líquido que tiene lugar en la unidad 120 DAF se logra por medio de aire disuelto en una corriente de líquido a presión. A la entrada de la unidad 120 DAF se elimina la presión (es decir, se libera el aire a presión atmosférica) a través, por ejemplo, de una válvula reductora de presión, para permitir que el aire disuelto forme burbujas de aire de tamaño micrométrico. A medida que estas burbujas se mueven hacia la superficie superior del depósito en la unidad 120 DAF, se unen o en cualquier caso se adhieren a las partículas sólidas suspendidas en las aguas residuales y las mueven a la superficie superior. El efluente DAF tiene una concentración de TSS más baja y se puede utilizar para crear una corriente de reciclaje presurizada para la unidad 120 DAF. El aire por medio de una fuente de aire comprimido se disuelve en una porción del efluente DAF a presión en un depósito de presurización de la unidad 120 DAF, que satura el efluente DAF con aire. Esta corriente presurizada puede luego utilizarse como mecanismo de separación en la unidad 120 DAF.

El uso de unidades DAF como se describe anteriormente en un sistema de tratamiento de aguas residuales proporciona varias ventajas sobre los sistemas de tratamiento de aguas residuales con biorreactores de membrana similares que funcionan sin unidades DAF. Puesto que las unidades DAF eliminan una porción significativa de sólidos suspendidos procedentes de aguas residuales de afluentes sin necesidad de la oxidación de estos sólidos, puede reducirse el tamaño de otros componentes del sistema, tales como la unidad de filtración por membrana y/o el recipiente de tratamiento biológico, lo que resulta en un menor coste del capital para el sistema. Dado que entra una menor cantidad de DBO en el biorreactor de membrana, en algunos casos el tamaño (volumen) del biorreactor de membrana puede reducirse en una porción que es lineal con la reducción en la cantidad de DBO que entra en el biorreactor de membrana. Además, la DBO reducida permite que el MBR funcione a una tasa de flujo más alta, lo que reduce el área superficial total requerida de las membranas. En algunos casos, también hay un menor requisito de oxígeno en el biorreactor de membrana, lo que permite que los requisitos de capacidad y potencia de un sistema de aireación en el biorreactor de membrana también se reduzcan, en algunas realizaciones en aproximadamente el 30 %. En otras realizaciones, la DBO reducida puede permitir que el MBR funcione a una tasa de flujo más baja (y un MLSS más bajo), lo que reduce el coste de energía y la limpieza química de las membranas.

En la realización que se ilustra en la FIG. 1, y en las realizaciones adicionales descritas a continuación, debe entenderse que los diversos conductos ilustrados pueden estar provistos, por ejemplo, de bombas, válvulas, sensores y sistemas de control según sea necesario para controlar el flujo de fluidos a través de ellos. Estos elementos de control no se ilustran en las figuras en aras de la sencillez.

En otra realización, indicada generalmente con el número 200 en la FIG. 2, el MBR 135 incluye una región 134 aeróbica (también denominada en la presente memoria "región de tratamiento aeróbico" o "zona aeróbica") y una región 132 anóxica aireada (también denominada en la presente memoria "región de tratamiento anóxico aireado" o "zona anóxica aireada"). La región 134 aeróbica está en comunicación fluida situada en una fase posterior a la región 132 anóxica aireada y recibe licor mixto anóxico tratado biológicamente desde la región 132 anóxica aireada. En algunas realizaciones, la región 134 aeróbica está conectada de forma fluida a una salida de la región 132 anóxica aireada. La región 134 aeróbica está configurada de modo que se suministra suficiente oxígeno a través del oxígeno 159 suministrado por un gas que contiene oxígeno, tal como el aire, para satisfacer la demanda de oxígeno del efluente DAF (y cualquier licor mixto desde el depósito 110 de contacto) (o licor mixto anóxico tratado biológicamente) y la región aeróbica puede mantenerse en una condición aeróbica. Por el contrario, la región 132 anóxica aireada está configurada de modo que la cantidad de oxígeno suministrado es insuficiente para satisfacer la demanda de oxígeno del efluente DAF, y la región anóxica aireada puede mantenerse en una condición anóxica o anaeróbica. Aunque no se muestra explícitamente en la FIG. 2, la región 132 anóxica aireada también puede suministrarse con gas que contenga oxígeno, tal como aire.

El MBR 135 de ejemplo que se muestra en la FIG. 2 incluye la región 132 anóxica aireada y la región 134 aeróbica, pero se ha de entender que otras realizaciones pueden utilizar un MBR con otros tipos y otras combinaciones de tipos de zonas o regiones de tratamiento. Por ejemplo, por lo menos una zona o región del MBR puede configurarse como una zona anaeróbica (es decir, ausencia de cualquier aceptor de electrones común tal como nitrato, sulfato u oxígeno), anóxica (es decir, ausencia de oxígeno) y/o aireada (aeróbica).

En algunas realizaciones, los organismos heterotróficos oxidan la DBO y los organismos autótrofos oxidan el amoníaco en la región 132 anóxica aireada. Como la cantidad de oxígeno suministrado es menor que la demanda y hay nitratos procedentes de la oxidación del amoníaco, los organismos heterótrofos oxidarán la DBO mediante el uso de nitratos como aceptor de electrones y convirtiendo los nitratos en gas nitrógeno. El tiempo de permanencia hidráulica en la región 132 anóxica aireada puede ser de aproximadamente 2 a aproximadamente 12 horas.

En determinadas realizaciones, el licor mixto anóxico tratado biológicamente de la región 132 anóxica aireada fluye hacia la región 134 aeróbica, donde hay un excedente de oxígeno continuo. Según algunas realizaciones, la mayor parte de la DBO y el amoníaco en las aguas residuales (efluente DAF y licor mixto del depósito de contacto) se ha oxidado en el momento en que las aguas residuales llegan a la región 134 aeróbica, por lo que se pueden mantener una concentración del oxígeno disuelto de 1 mg/L o más en la zona aeróbica. La oxidación de DBO y amoníaco se produce en la zona 134 aeróbica. Según algunas realizaciones, el tiempo de permanencia hidráulica en la zona 134 aeróbica puede ser de aproximadamente 2 a aproximadamente 12 horas. Según realizaciones alternativas, el licor

mixto aeróbico tratado biológicamente de la región 134 aeróbica fluye hacia la región 132 anóxica aireada.

La nitrificación y/o desnitrificación del efluente DAF en el MBR 135 puede producirse en diferentes porciones del MBR 135. Por ejemplo, la región 132 anóxica aireada del MBR 135 puede configurarse para estimular la nitrificación, la desnitrificación o, en algunos casos, procesos simultáneos de nitrificación y desnitrificación. En algunas realizaciones, y como se analiza más adelante, se puede suministrar lodo activado (es decir, una fuente de carbono) a la región 132 anóxica aireada para ayudar en los procesos de desnitrificación. En determinadas realizaciones, la región 134 aeróbica puede estar configurada para estimular por lo menos uno de los procesos de nitrificación y desnitrificación. Según algunas realizaciones, la región 134 aeróbica está configurada para estimular procesos de nitrificación.

Según algunas realizaciones, el MBR 135 puede incluir además una segunda zona o región anóxica situada en una fase posterior a la región 134 aeróbica. Esta zona anóxica adicional puede utilizarse en algunos casos para eliminar nitratos adicionales de las aguas residuales.

En algunas realizaciones, la región 134 aeróbica puede formarse en un mismo recipiente o depósito que la región 132 anóxica aireada y separarse de ella por una partición 195, como se indica en la FIG. 2. En otras realizaciones, la región 134 aeróbica puede estar físicamente separada de la región 132 anóxica aireada. Por ejemplo, la región 134 aeróbica y la región 132 anóxica aireada pueden ocupar recipientes o depósitos distintos o de otro modo pueden estar separadas de entre sí. En otras realizaciones, el depósito 110 de contacto puede combinarse con la región 132 anóxica aireada en el mismo depósito. Según algunas realizaciones, la unidad 160 de filtración por membrana está dispuesta en la región 134 aeróbica, como se muestra en la FIG. 2. En realizaciones alternativas, la unidad 160 de filtración por membrana puede estar dispuesta en la región 132 anóxica aireada.

En el sistema de la FIG. 2, el efluente de la unidad 120 DAF se dirige a la región 134 aeróbica sin pasar primero por la región 132 anóxica aireada. En otras realizaciones, el efluente de la unidad 120 DAF puede introducirse en la región 132 anóxica aireada y luego dirigirse a la región 134 aeróbica.

Según algunas realizaciones, por lo menos una porción del lodo activado y separado en el MBR 135 puede reciclarse y dirigirse de nuevo a una o más zonas o regiones, tales como la región 132 anóxica aireada y/o la región 134 aeróbica del MBR 135 a través del conducto 145. En determinadas realizaciones, una porción del lodo activado y separado en el MBR 135 puede dirigirse o introducirse de otro modo en la región 132 anóxica aireada del MBR 135. En otras realizaciones, una porción del lodo activado puede dirigirse o introducirse de otro modo en la región 134 aeróbica del MBR. En determinadas realizaciones, el lodo reciclado puede dirigirse a cualquier región del MBR configurada como una región anaeróbica, anóxica o aireada.

Según algunas realizaciones, entre aproximadamente el 10 % y aproximadamente el 20 % del lodo reciclado se dirige al depósito 110 de contacto a través del conducto 175 y entre aproximadamente el 80 % y el 90 % del lodo reciclado se dirige al MBR 135 a través del conducto 145. Según otras realizaciones, entre aproximadamente el 10 % y aproximadamente el 90 % del lodo reciclado puede dirigirse al depósito 110 de contacto, y el resto al MBR 135. La cantidad de lodo reciclado dirigido al depósito 110 de contacto a través del conducto 175 se puede establecer en un extremo superior de este intervalo cuando las aguas residuales entrantes tienen un alto nivel de DBO y/o cuando el lodo reciclado es menos, en lugar de más, eficaz para atrapar la DBO en el depósito 110 de contacto.

La cantidad de lodo reciclado dirigido al depósito 110 de contacto a través del conducto 175 se puede establecer en un extremo inferior de este intervalo cuando las aguas residuales entrantes tienen un nivel bajo de DBO y/o cuando el lodo reciclado, es más, en lugar de menos, eficaz para atrapar DBO en el depósito 110 de contacto. La cantidad de lodo activado que se recicla al depósito 110 de contacto y/o el MBR 135 también se puede ajustar en base a una fracción del licor mixto desde el depósito 110 de contacto que se dirige a la unidad 120 DAF y la cantidad de lodo activado que se elimina en las unidades 120 DAF. La cantidad de lodo activado que se recicla al depósito 110 de contacto y/o el MBR 135 puede ser una cantidad igual o mayor que la cantidad requerida para mantener una población deseada de bacterias en el MBR 135 para realizar el tratamiento biológico del efluente DAF dentro de un período de tiempo deseado y/o para proteger contra el agotamiento de la población bacteriana en el caso de interrupciones temporales en el funcionamiento del sistema de tratamiento. Por ejemplo, la cantidad de lodo activado que se recicla al depósito 110 de contacto o el MBR 135 se puede establecer de modo que haya suficientes bacterias que contengan sólidos en el MBR 135 para dar como resultado un tiempo de retención de sólidos (SRT) de menos de 8 días, aproximadamente 5 días o menos de 5 días en el MBR 135. De forma similar, una cantidad o fracción del licor mixto dirigido a la unidad 120 DAF se puede ajustar en base a la cantidad de lodo activado reciclado del MBR 135, la eficacia de eliminación de sólidos en la unidad 120 DAF y/o la concentración de uno o más tipos de bacterias en el MBR 135 para, por ejemplo, establecer o mantener una población deseada de bacterias en el MBR 135.

Los sistemas y componentes de las realizaciones de la invención pueden proporcionar ventajas de coste en relación con otros sistemas de tratamiento de aguas residuales mediante el uso de procesos de tratamiento biológico en combinación con digestión anaeróbica. Los sistemas y procesos de tratamiento de aguas residuales de las realizaciones de la presente invención pueden reducir la producción de lodo mediante el uso de diversas operaciones de unidades que incluyen procesos biológicos aeróbicos y anaeróbicos, así como también el uso de corrientes de reciclaje (p. ej., recirculación de bacterias aeróbicas al depósito de contacto desde el MBR y/o la unidad DAF). Los procesos de tratamiento de aguas residuales también superan algunas de las dificultades técnicas asociadas con el

uso de algunos procesos de tratamiento de aguas residuales anaeróbicas, por ejemplo, al concentrar o fortalecer el lodo introducido en el digestor anaeróbico. Además, el coste asociado con el uso de una unidad de estabilización aeróbica convencional típicamente se reduce porque típicamente se requerirá menos aireación en los procesos aeróbicos debido al uso del digestor anaeróbico y a diversas corrientes de reciclaje. Los diversos procesos también pueden generar biogás tal como el metano como producto del proceso de digestión anaeróbica, el cual puede utilizarse como fuente de energía.

En determinadas realizaciones, una gran porción de la demanda química de oxígeno (DQO) y la DBO presentes en las aguas residuales de afluentes que se van a tratar puede reducirse mediante el uso del digestor anaeróbico. Esto puede reducir los requisitos de aireación y oxígeno y, por tanto, el coste de funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales, y aumentar la cantidad de metano producido que puede usarse como fuente de energía. Además, debido a que la digestión anaeróbica se puede utilizar para reducir la DQO y la DBO en el lodo, el rendimiento del lodo también puede reducirse. La reducción de la DQO y/o la DBO en la unidad de tratamiento anaeróbico también puede proporcionar una reducción en el tamaño del depósito de estabilización u otra unidad de tratamiento aeróbico en el sistema de tratamiento de aguas residuales en comparación con los sistemas que no utilizan el digestor anaeróbico.

Otras realizaciones pueden incluir cualquier combinación de características de los sistemas descritos anteriormente. Por ejemplo, en algunas realizaciones, una porción del lodo activado del MBR 135 se dirige a una entrada de la unidad 120 DAF. Según algunas realizaciones, un espesante, que puede comprender, por ejemplo, un espesante por gravedad, también se puede utilizar en el sistema para separar una corriente de aguas residuales de afluentes en un efluente pobre en sólidos y un efluente rico en sólidos. Por ejemplo, una salida rica en sólidos de un espesante puede dirigirse a una entrada del digestor anaeróbico, y la salida pobre en sólidos del espesante puede dirigirse a una entrada del depósito de contacto. Los ejemplos no limitantes de fluidos que pueden introducirse en el espesante pueden incluir una corriente de fluido rica en sólidos procedente de un clarificador primario situado en una fase anterior del digestor anaeróbico y/o lodo activado u otro retenido rico en sólidos del MBR. En algunas realizaciones, se puede utilizar un clarificador primario y situarlo en una fase anterior del depósito de contacto. El clarificador primario puede configurarse para separar las aguas residuales, tales como la fuente de aguas residuales 105 y/o una o más corrientes recicladas en el sistema, en una corriente de fluido rica en sólidos y una corriente de fluido pobre en sólidos. Además, cualquiera de las realizaciones anteriores puede incluir múltiplos de cualquiera de las unidades de tratamiento y/o conductos ilustrados.

Ejemplos

Ejemplo profético 1

En este ejemplo profético, se ha configurado un sistema de tratamiento de agua de forma similar a la que se ilustra en la FIG. 1 con el recipiente 130 de tratamiento biológico del MBR 135 que comprende un solo depósito.

Suposiciones de alimentación:

El sistema se alimentó con aguas residuales a una tasa de 9.148,08 litros por hora (58.000 galones/día (gpd)), 6,309 litros por hora (40 galones por minuto (gpm)). Se supuso que las aguas residuales eran aguas residuales municipales de alta concentración, con una DBO total (tBOD) de 330 mg/L (160 lb/día) de la cual el 59% (196 mg/L, 94 lb/día) era en partículas (pDBO) y el 41% (135 mg/L, 66 lb/día) era DBO soluble (sDBO). También se supuso que las aguas residuales incluían 380 mg/L (185 lb/día) de total de sólidos en suspensión (TSS), de los cuales 2.608.153 miligramos por hora (138 lb/día) (286 mg/L VSS) se supuso que eran material sólido suspendido volátil.

Suposiciones de HDT:

Se supuso que el tiempo de detención hidráulica (HDT) en el depósito 110 de contacto era de 60 minutos y que el tiempo de detención hidráulica (HDT) en el recipiente 130 de tratamiento biológico del MBR 135 era de 198 minutos.

Caudal a través del depósito de contacto:

El lodo activado residual producido (eWAS), incluida la pérdida a través de la unidad 120 DAF y el MBR 135 (aproximadamente 963.882 miligramos por hora (51 lb/día)), se recicló al depósito 110 de contacto de forma continua a una tasa de 2725,5 litros por hora (0,5 gpm) por medio de los conductos 165 y 175. Al proporcionar un mínimo de 0,03 gramos/gramos (lb/lb) de la relación entre aire y sólidos en la unidad 120 DAF se puede reciclar el 30 % del efluente DAF a una tasa de 2.725,5 litros por hora (12 gpm) a 32 kilopascales (45 PSI) por medio del conducto 155.

A partir de pruebas de laboratorio y a escala piloto, así como también de una prueba realizada en una aplicación a tamaño natural en el condado de Pima, Arizona, se descubrió que el uso del depósito de contacto en combinación con la unidad DAF resultó en aproximadamente el 30 % de la sDBO y se eliminó aproximadamente el 55 % de la DBO total procedente de aguas residuales de afluentes.

Así, se supuso que en el depósito de contacto 396,89 gramos por hora (21 lb/día) de sDBO se convirtieron en SS y 37,79 gramos por hora (2 lb/día) de sDBO se oxidaron. El total de sólidos que pasaron a través del depósito de contacto fueron, por tanto, 661,48 gramos por hora (35 lb/día) de lodo reciclado + 3798 gramos por hora (201 lb/día) de sólidos suspendidos procedentes de aguas residuales de afluentes + 396,89 gramos por hora (21 lb/día) de sDBO convertida

ES 3 019 010 T3

en sólidos suspendidos (SS) - 907,185 gramos (2 lb) de pDBO oxidada = 4819 gramos por hora (255 lb/día). Los sólidos suspendidos del licor mixto (MLSS) que salieron del depósito de contacto fueron, por tanto, (4819 gramos por hora (255 lb/día)/9244,29 litros por hora (58.610 gpd)) = 522 mg/L.

5 La tBOD que salió del depósito de contacto fue de 3.023 gramos por hora (160 lb/día) de entrada - 37,799 gramos por hora (2 lb/día) oxidados = 2.986 gramos por hora (158 lb/día). La sDBO que salió del depósito de contacto fue de 1228 gramos por hora (65 lb/día) de entrada - 396 gramos por hora (21 lb/día) convertidos a SS - 37,799 gramos por hora (2 lb/día) oxidada = 793 gramos por hora (42 lb/día). La pDBO que salió del depósito de contacto fue de 1.795 gramos por hora (95 lb/día) de afluente + 396 gramos por hora (21 lb/día) convertidos procedentes de sDBO = 2.192 gramos por hora (116 lb/día). Este licor mixto se dirigió a la unidad 120 DAF a través del conducto 114.

10 Afluente de DBO al recipiente de tratamiento biológico:

El afluente de tBOD a la unidad DAF fue de 2,986 kilogramos por hora (158 lb/día) después de la oxidación de 37,8 gramos por hora (2 lb/día) en el depósito de contacto. El afluente de sDBO a la unidad DAF fue de 794 gramos por hora (42 lb/día) y el pDBO fue de 2192 gramos por hora (116 lb/día) de salida desde el depósito de contacto con un caudal de 9,24 kilogramos por hora (58.610 gpd). Suponiendo que se haya eliminado el 75% de la pDBO en las unidades DAF, la tBOD que fluye desde la unidad DAF al recipiente 130 de tratamiento biológico del MBR 135 es (0,25* 2,19 kilogramos por hora (116 lb/día) de pDBO) + 794 gramos por hora (42 lb/día) de sDBO = 1341 gramos por hora (71 lb/día) de tBOD.

Sólidos en el recipiente de tratamiento biológico del MBR

20 El recipiente 130 de tratamiento biológico se dimensionó para un SRT de 10-11 días para admitir una carga de DBO de 1341 gramos por hora (71 lb/día) con una concentración de MLSS de 7.300-8.000 mg/L. El volumen del recipiente de tratamiento biológico fue de 30 kilolitros (1.059 ft³ (7.925 galones)). Este volumen resultó en un HDT en el recipiente de tratamiento biológico de 30 kilolitros ((7,925 gal/58.6100 gpd))(24 h/día) = 3,24 horas. El contenido total de sólidos en el depósito de tratamiento biológico se estableció en 227/249 kilogramos (500/550 lb), para un MLSS total de 7.300-8.000 mg/L. Suponiendo un rendimiento del lodo del 65% de la DBO, da como resultado una cantidad de lodo residual producido en el depósito de tratamiento biológico de (0,65) 1,34 kilogramos por hora (71 lb/día) (tDBO) = 869 gramos por hora (46 lb/día) de lodo residual. La edad del lodo residual, por tanto, sería (500 lb de total de sólidos)/(869 gramos por hora (46 lb/día) de lodo residual) = 10,8 días.

30 En otro ejemplo, el recipiente 130 de tratamiento biológico se dimensionó para 10-11 días de SRT para admitir una carga de DBO de 1,34 kilogramos por hora (71 lb/día) con una concentración de MLSS de 3.650-4.000 mg/L. El volumen del recipiente de tratamiento biológico fue de 60 kilolitros (2.118 ft³ (15.850 gal)). Este volumen resultó en un HDT en el recipiente de tratamiento biológico de 60 kilolitros ((15.850 gal)/9.244 litros por hora (58.6100 gpd) (24 h/día)) = 6,49 horas. El contenido total de sólidos en el depósito de tratamiento biológico se fijó en 227/249 kilogramos (500/550 lb), para un MLSS total de 3.650-4.000 mg/L. Suponiendo un rendimiento del lodo del 65% de la DBO, da como resultado una cantidad de lodo residual producido en el depósito de tratamiento biológico de (0,65) (1.342 gramos por hora (71 lb/día) tDBO) = 869 gramos por hora (46 lb/día) de lodo residual. La edad del lodo residual, por tanto, sería (227 kilogramos (500 lb) de total de sólidos)/(869 gramos por hora (46 lb/día) de lodo residual) = 10,8 días.

Requisitos de oxígeno del recipiente de tratamiento biológico:

40 Se supuso que se necesitaban 445 gramos (0,98 lb) de oxígeno para oxidar 454 gramos (una libra) de DBO y 2 kilogramos (4,6 lb) de oxígeno para oxidar 445 gramos (una libra) de amoníaco. Por tanto, el requisito de oxígeno del recipiente de tratamiento biológico fue de 445 gramos de oxígeno por 545 gramos de DBO (0,98 lb O₂/lb DBO)) (32 kilogramos (71 lb) tDBO/día) + (2 kilogramos (4,6 lb) O₂/545 gramos (lb) de amoníaco) (378 gramos por hora (20 lb/día) de amoníaco) = 3.061 gramos por hora (162 lb/día) de O₂ (1.360 gramos (3 lb) O₂/h). Usando un FCF (factor de corrección de campo, un factor de corrección para compensar la capacidad reducida de absorción de oxígeno del lodo mixto en el depósito de tratamiento biológico a diferencia del agua limpia) de 0,5, esto da como resultado una tasa específica de utilización de oxígeno (SOUR) de 2,7 kilogramos (6 lb) de O₂/h. Suponiendo que se suministre aire difuso al recipiente de tratamiento biológico desde un sistema de aireación sumergido a 13 pies y una capacidad de transferencia de oxígeno (OTE) del 9 %, el recipiente de tratamiento biológico requeriría un flujo de (3,1 kilogramos (6,75 lb) de O₂/h)(1/0,09)(1/60 hora/min)(1/1,429 l/g O₂)(453,6 g/lb)(0,035 ft³/l) = 390 litros (13,8 ft³)/min (scfm), o si se airea con aire con aproximadamente el 20 % de O₂, 1.982 litros/minuto (70 scfm).

50 Sistema MOS:

Con una concentración de MLSS de flujo sostenido de 3.650 a 4.000 mg/L, es posible un flujo de membrana de flujo sostenido de 1.081 litros por metro cuadrado (22,1 gfd) a 20 grados C. Esto crea un requisito de 6,1 módulos de membrana para un tratamiento eficaz (basado en un sistema de membrana que utiliza módulos (o subunidad de membrana pequeña SMSU) con 40 metros cuadrados (430,6 ft²) de área de membrana por módulo).

55 Los módulos de membrana están dispuestos en "bastidores" (grandes subunidades de membrana LMSU) de cuatro a dieciséis módulos. En este ejemplo, el requisito total de aire de limpieza es de 14,4 ACFM, con un flujo de aire "pico" de 21 ACFM.

Con el sistema configurado para funcionar a un MLSS más bajo, la carga de masa de sólidos en la membrana se reduce, con lo cual aumenta el flujo crítico de la membrana hasta en el 50 % (si el aumento en el flujo no se captura y se incorpora como un área de membrana reducida). Otro ejemplo permite la posibilidad de reducir el aire de limpieza en el 30 %, lo que reduce el aire requerido en promedio desde 24 ACFM (véase el MBR de ejemplo de control en el ejemplo profético 2 a continuación) a 17 ACFM.

El sistema de membrana requiere un flujo de recirculación del licor mixto en el depósito de membrana de 0,5 a 2 veces el flujo de entrada (0,5Q - 2Q).

Los intervalos típicos de limpieza de membrana para la limpieza de recuperación (RC) serían de 180 a 360 días.

Residuos sólidos:

Los residuos sólidos en la unidad DAF: 3,6 kilogramos por hora (191 lb/día) (suponiendo una eficacia del 100 %).

Con la incorporación del depósito de contacto + DAF al sistema de tratamiento en el ejemplo anterior, la cantidad de tBOD a tratar en el recipiente de tratamiento biológico se redujo de 3 kilogramos por hora (160 lb/día) a 1,342 kilogramos por hora (71 lb/día), una reducción del 55%. Esto permitió reducir la cantidad requerida de membrana (es decir, el área de superficie) para la separación de líquidos en el MBR o reducir la tasa de flujo de filtrado a través de las membranas, así como también reducir la cantidad de productos químicos utilizados para limpiar las membranas (en comparación con un sistema MBR que no incluye el depósito de contacto + el proceso de pretratamiento DAF). Esto se traduce en un ahorro de costes en términos de costes de capital, por un tamaño reducido del recipiente de tratamiento biológico y una cantidad reducida de superficie de membrana y aireación requerida de un sistema de aireación, así como también un ahorro de costes en términos de costes de funcionamiento, al reducir la cantidad de productos químicos de limpieza y aireación necesarios para hacer funcionar el sistema.

Ejemplo profético 2

Este ejemplo se incluye para proporcionar una fuente de comparación con el ejemplo provisto anteriormente con un sistema de tratamiento de aguas residuales que incluye un MBR, pero no incluye el depósito de contacto o la unidad DAF como se describe en la presente memoria.

El sistema operativo de membrana (MOS) del MBR se dimensionó en base a un flujo de filtrado (permeado) sostenido de 9,1 kilolitros por hora (58.000 galones/día (gpd)), 151 litros por minuto (40 galones por minuto (gpm)). Para un flujo sostenido, se desea un flujo de membrana de 735 litros por metro cuadrado por día (14,7 gfd (galones por pie cuadrado de membrana por día)) a 20 grados C con una concentración de MLSS de 7.300-8.000 mg/L. Esto crea un requisito de 366,7 metros cuadrados (3.946,6 ft²) del área de la membrana para un tratamiento eficaz. El sistema de membrana utiliza módulos (o subunidad de membrana pequeña SMSU) con 40 metros cuadrados (430,6 ft²) de área de membrana por módulo, por lo que el sistema requeriría un mínimo de 9,2 módulos de membrana para un tratamiento eficaz.

Los módulos de membrana están dispuestos en "bastidores" de cuatro a dieciséis módulos. En esta aplicación se utilizarían dos bastidores de cinco módulos cada uno para conseguir el área de membrana mínima. Cada módulo requiere 2,4 ACFM de aire en el punto de descarga, por lo que el requisito total de aire para el sistema sería de 24 ACFM, con un flujo de aire "pico" de 35 ACFM.

El sistema de membrana requiere un flujo de recirculación del licor mixto en el depósito de membrana de 3,5 a 4 veces el flujo de entrada (3,5Q - 4Q). Teniendo en cuenta que 1Q del filtrado sale del depósito a través de las membranas, las bombas de recirculación que devuelven el licor mixto al biorreactor deben tener un tamaño de por lo menos 161 gpm.

Los intervalos típicos de limpieza de la membrana son cada 3 a 7 días para la limpieza de mantenimiento (MC) y cada 90 a 180 días para la limpieza de recuperación (RC).

Ejemplo 3

Se realizó una prueba en planta piloto mediante el uso de un depósito de contacto, una unidad DAF y un MBR configurados de forma sustancialmente parecida al sistema de la FIG. 1 y mediante el uso de las aguas residuales de afluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales municipal existente. La FIG. 3 ilustra la concentración de MLSS de entrada para la unidad de filtración por membrana durante un período aproximado de 27 días. Como se muestra en la FIG. 3, la concentración de MLSS estuvo entre 3.000 mg/L y 4.000 mg/L, con un promedio aproximado de 3.500 mg/L, que es inferior al que haría funcionar un MBR en ausencia del depósito de contacto y la unidad DAF. La FIG. 4 ilustra los datos de permeabilidad de la membrana y tasa de flujo a partir de las pruebas realizadas durante un período aproximado de 70 días. Dependiendo de la prueba realizada, la tasa de flujo fue menor que aproximadamente 75 LMH (litros/m²/hora) y mayor que aproximadamente 30 LMH. En todos los casos, la tasa de flujo fue mayor que la de un MBR operado en ausencia del depósito de contacto y la unidad DAF. En este caso, con una concentración de MLSS por debajo de 4.000 mg/L, la tasa de flujo aumentó hasta el 50 % en comparación con un MBR operado sin el depósito de contacto y la unidad DAF.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de tratamiento de aguas residuales en un sistema (100) de tratamiento de aguas residuales, comprendiendo el procedimiento:
 - introducir las aguas residuales en un depósito (110) de contacto que incluye un lodo activado;
- 5 mezclar las aguas residuales con el lodo activado en el depósito (110) de contacto para formar un licor mixto;
 - dirigir una primera porción del licor mixto a una unidad (120) de flotación por aire disuelto, en el que la unidad (120) de flotación por aire disuelto está en comunicación fluida entre el depósito (110) de contacto y un biorreactor (135) de membrana para eliminar sólidos de la salida del licor mixto desde el depósito (110) de contacto antes de entrar al biorreactor (135) de membrana;
- 10 separar el licor mixto en la unidad (120) de flotación por aire disuelto para formar un efluente de la unidad de flotación por aire disuelto y biosólidos separados;
 - dirigir el efluente de la unidad de flotación por aire disuelto al biorreactor (135) de membrana;
 - tratar biológicamente el efluente de la unidad de flotación por aire disuelto en el biorreactor (135) de membrana para formar un licor mixto tratado biológicamente;
- 15 filtrar el licor mixto tratado biológicamente en el biorreactor (135) de membrana para formar un filtrado y un lodo activado; y
 - reciclar una primera porción del lodo activado procedente del biorreactor (135) de membrana al depósito (110) de contacto.
- 20 2. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además dirigir una segunda porción del licor mixto al biorreactor (135) de membrana y tratar biológicamente la segunda porción del licor mixto junto con el efluente de la unidad de flotación por aire disuelto para formar el licor mixto tratado biológicamente.
- 25 3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el biorreactor (135) de membrana incluye una región de tratamiento anóxico aireado y una región de tratamiento aeróbico, y el procedimiento comprende dirigir el efluente desde la unidad (120) de flotación por aire disuelto a la región de tratamiento aeróbico.
- 25 4. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además tratar el efluente de la unidad de flotación por aire disuelto (110) en la región de tratamiento aeróbico para formar un licor mixto aeróbico tratado biológicamente y dirigir el licor mixto aeróbico tratado biológicamente a la región de tratamiento anóxico aireado.
- 30 5. El procedimiento de la reivindicación 4, que comprende además tratar el licor mixto aeróbico tratado biológicamente en la región de tratamiento anóxico aireado para formar el licor mixto tratado biológicamente.
- 30 6. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además tratar una primera porción de los biosólidos separados en un digestor (140) anaeróbico para producir un biogás (142) y un lodo (144) tratado de forma anaeróbica.
- 35 7. El procedimiento de la reivindicación 6, que comprende además reciclar una segunda porción de los biosólidos separados al depósito (110) de contacto.
- 35 8. El procedimiento de la reivindicación 6, que comprende además generar energía a partir del biogás (142) producido.
- 35 9. El procedimiento de la reivindicación 8, que comprende además alimentar uno o más componentes del sistema (100) de tratamiento de aguas residuales con la energía generada.
- 40 10. El procedimiento de la reivindicación 9, en el que la energía generada es suficiente para que el sistema (100) de tratamiento de aguas residuales funcione de forma energéticamente neutra.
- 40 11. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el efluente de la unidad de flotación por aire disuelto se trata biológicamente durante un tiempo de retención de menos de 20 días.
- 40 12. El procedimiento de la reivindicación 11, en el que el efluente de la unidad de flotación por aire disuelto se trata biológicamente durante un tiempo de retención de menos de 8 días.

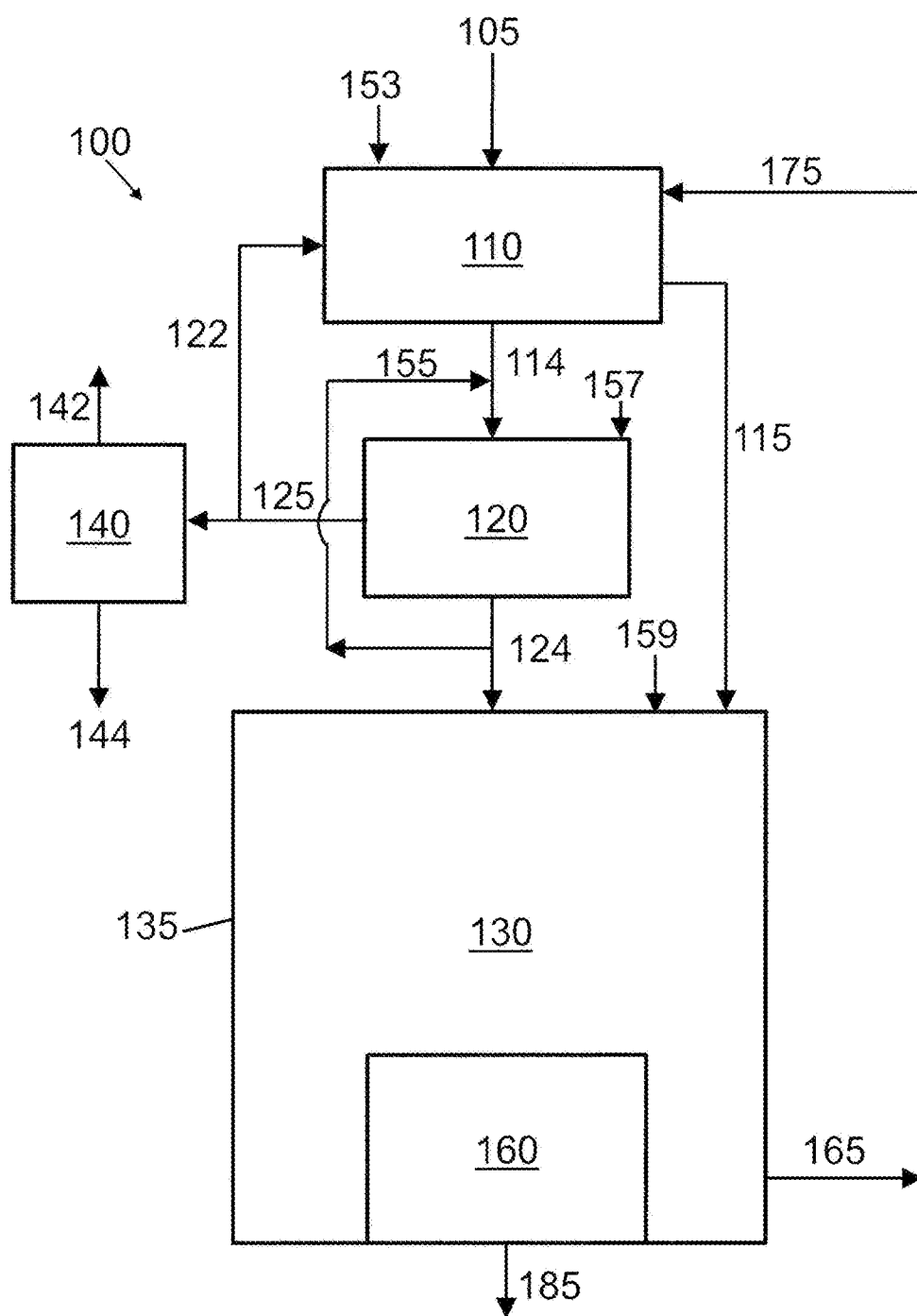


FIG. 1

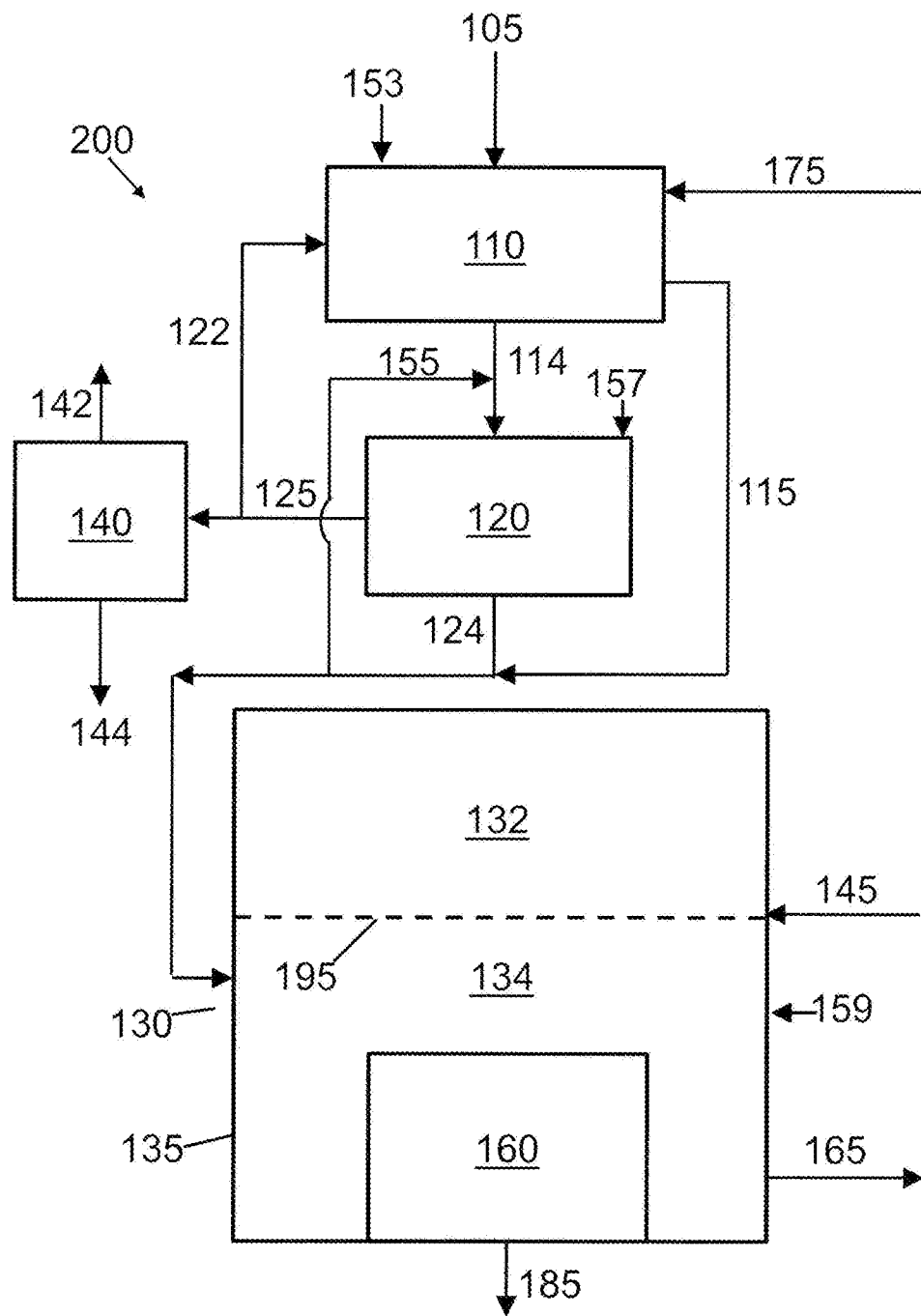


FIG. 2

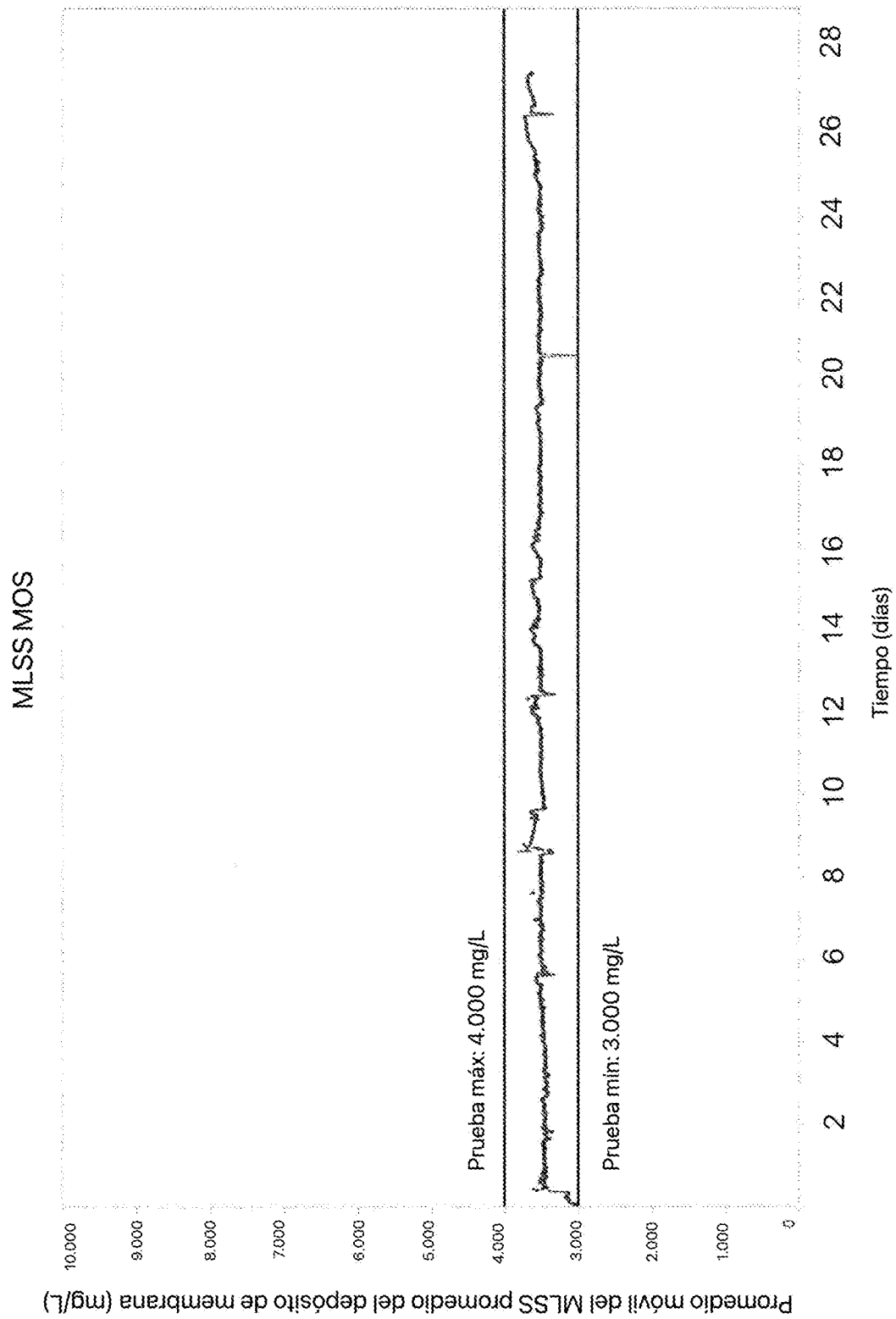


FIG. 3

Permeabilidad y flujo

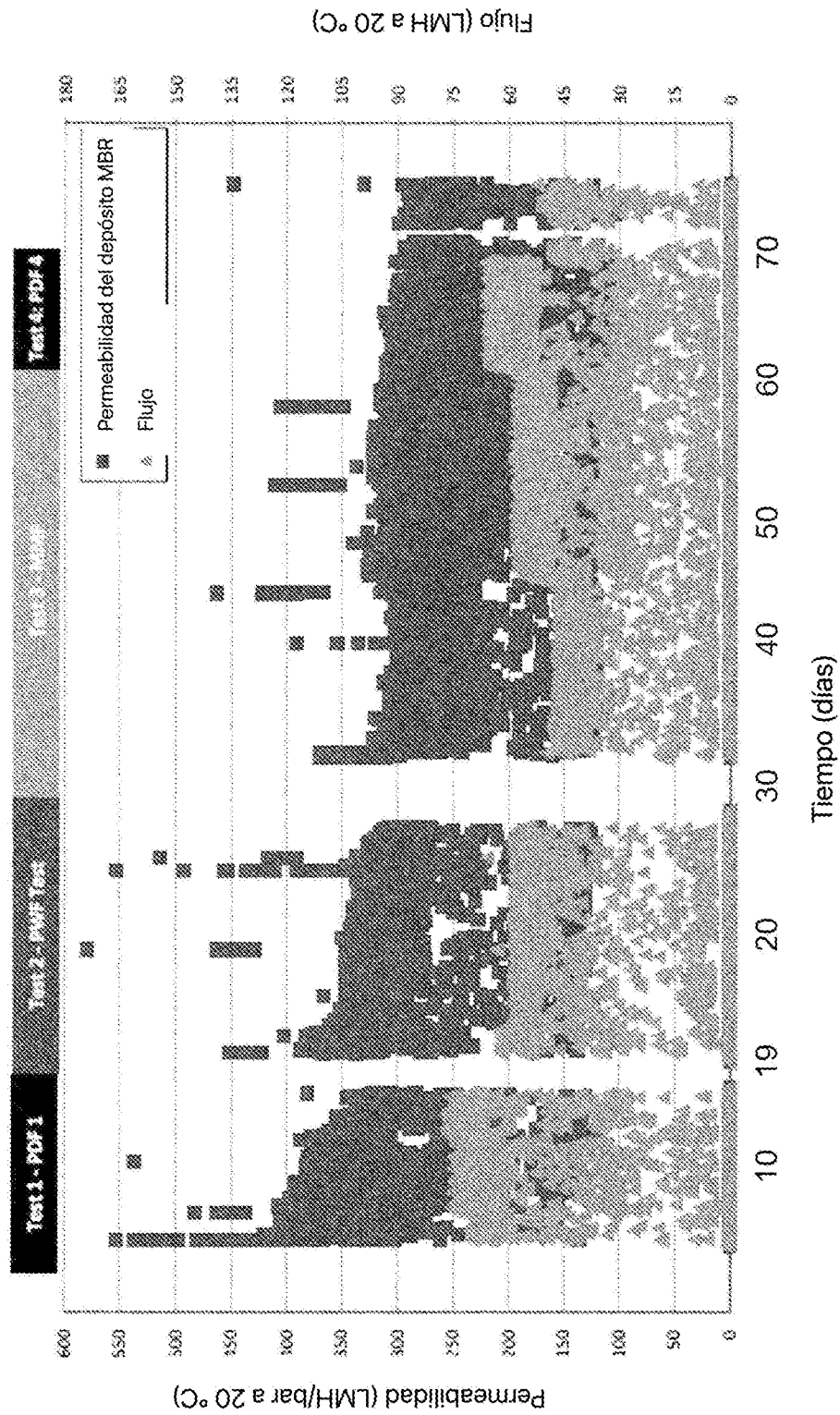


FIG. 4