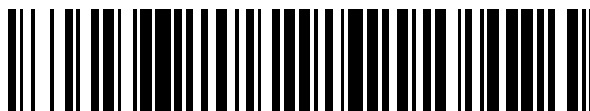


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 644 246**

51 Int. Cl.:

C02F 1/78 (2006.01)
C02F 3/12 (2006.01)
C02F 3/30 (2006.01)
C02F 3/26 (2006.01)
C02F 3/14 (2006.01)
C02F 1/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.11.2012 PCT/US2012/066548**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **06.06.2013 WO13081977**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.11.2012 E 12798540 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.08.2017 EP 2785651**

54 Título: **Método para ozonizar lodos en un sistema de tratamiento de aguas residuales**

30 Prioridad:

01.12.2011 US 201161565941 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.11.2017

73 Titular/es:

**PRAXAIR TECHNOLOGY, INC. (100.0%)
39 Old Ridgebury Road
Danbury, CT 06810, US**

72 Inventor/es:

**NOVAK, RICHARD, A. y
FABIYI, MALCOLM, E.**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 644 246 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

Método para ozonizar lodos en un sistema de tratamiento de aguas residuales

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a métodos para el tratamiento de aguas residuales y más particularmente, al tratamiento con ozono de lodos en un reactor de alta selectividad, por ejemplo, con el fin de mejorar o de otro modo controlar procesos de tratamiento de aguas residuales, que incluyen la digestión de lodos y los procedimientos de eliminación de nutrientes.

Antecedentes

10 Los métodos tradicionales de tratamiento de aguas residuales implican que las corrientes de aguas residuales entran en contacto con bacterias en un procedimiento de tipo aeróbico y/o anaeróbico en lo que se conoce como tratamiento de lodo activado. Estas bacterias consumen partes del material de sustrato o desechos presentes en las aguas residuales, que son típicamente compuestos orgánicos que contienen carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y derivados complejos de los mismos. Típicamente, una parte de los residuos se consume para aumentar el metabolismo de las células bacterianas o mantener el funcionamiento fisiológico de las células bacterianas. Además, una parte de los residuos se consume como parte del procedimiento de síntesis de nuevas células bacterianas. El proceso de tratamiento de lodo activado produce una cierta cantidad de lodos y sólidos asociados que deben ser retirados continuamente del depósito de tratamiento para mantener el equilibrio de lodo en estado estacionario que es crítico para el funcionamiento eficaz del sistema de tratamiento de lodo activado. También, es importante que al tratar las aguas residuales el operario mantenga las proporciones adecuadas de carbono, nitrógeno y fósforo (C/N/P) o niveles de nutrientes dentro del sistema de aguas residuales. Esto es particularmente preocupante cuando puede haber limitaciones de nutrientes reguladas tales como muchos sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales o en aplicaciones donde se requiere la eliminación biológica del fósforo.

25 Con el fin de mantener la capacidad de eliminación de residuos de la planta de tratamiento en estado estacionario u otro nivel deseado, es importante controlar la acumulación de nuevas células bacterianas dentro del proceso de tratamiento de lodo activado. Una acumulación excesiva de nuevas células bacterianas con respecto a lo que se requiere para el tratamiento de residuos en, o próximos al, estado estacionario da lugar a una desviación de las consideraciones óptimas de diseño tales como la relación alimentación a masa (A/M) o los sólidos suspendidos en licor mezclado (MLSS, por sus siglas en inglés) los cuales se requieren que estén dentro de ciertos intervalos óptimos para permitir el tratamiento orgánico eficaz y la eficiencia de la aireación. Por lo tanto, el exceso de biosólidos se debe de eliminar continuamente durante el proceso de tratamiento de lodo activado.

30 Los métodos existentes para hacer frente a la eliminación de lodos incluyen el transporte de los lodos a vertederos, la utilización de lodos para aplicaciones de tierras o agrícolas y la incineración de los lodos. La mayoría de las operaciones de eliminación de lodos requieren un tratamiento previo de los lodos; un procedimiento conocido en la técnica como manejo de sólidos. Los procedimientos de manejo de sólidos son a menudo operaciones costosas y que consumen mucho tiempo e implican típicamente una o más de las siguientes etapas: concentración del lodo en un espesante, usualmente requiriendo el uso de polímeros; digestión del lodo con el fin de estabilizar las bacterias y reducir aún más el volumen y el contenido de patógenos del lodo; deshidratación del lodo para alcanzar aproximadamente un 15-25% de contenido en sólidos, lo que implica hacer pasar el lodo a través de centrifugas u otros dispositivos de tipo separación sólido-líquido; almacenamiento de los lodos; y el transporte a sitios tales como vertederos, para ser usados en la tierra por los agricultores, u otro uso final.

35 Se estima que los costos asociados a los procedimientos de manejo y eliminación de sólidos pueden ser entre 20-60% de los costos operativos totales asociados al proceso general de tratamiento de aguas residuales. Debido al coste y tiempo asociados al manejo y eliminación de sólidos, es beneficioso minimizar la cantidad de lodo excedente producido en el proceso de tratamiento de aguas residuales.

40 En sistemas y métodos convencionales de tratamiento de lodo activado, se ha descrito el uso de ozono además del oxígeno para el tratamiento de lodos. Más particularmente, se ha descrito el tratamiento con ozono de lodos en combinación con agitadores mecánicos y/o bombas que proporcionan el mezclado mecánico. El contacto de lodo-ozono ocurre típicamente en un modo de reacción en depósito continuamente agitado (CSTR, por sus siglas en inglés), y la lisis que rompe la integridad de la pared celular se produce como consecuencia de la fuerte acción oxidante del ozono en las paredes celulares. La lisis da lugar a la liberación del contenido celular rico en sustrato de las células bacterianas. De esta manera, las células sólidas que de otro modo habrían sido descargadas como lodo en exceso se lisarán y, al hacerlo, se transformarán en sustrato que luego puede ser consumido por bacterias en el depósito de tratamiento.

55 Se conocen diferentes tipos de sistemas de reactores para el tratamiento de lodos por ozono, que incluyen un CSTR, un reactor de flujo pistón altamente selectivo y un sistema de reactor discontinuo. La principal diferencia entre los diferentes modos de reactor radica fundamentalmente en: (i) el lapso medio de tiempo que el lodo permanece dentro del espacio de reacción, también conocido como el tiempo de residencia; (ii) la interacción entre las «parcelas» que reaccionan, por ejemplo, un retromezclado significativo en los sistemas de reactores CSTR y

discontinuos, mientras que se produce un retromezclamiento muy limitado en el sistema reactor de flujo pistón; y (iii) el rendimiento o niveles de dosificación de ozono requeridos para eliminar un volumen de lodo.

Algunos trabajos de la técnica anterior relevantes están representados por los documentos de patente US 7 513 999, WO 01/17917, JP 2010 029 860 o EP 1 541 532.

5 Compendio de la invención

Los aspectos de la invención pueden caracterizarse en un sentido amplio por incluir métodos para tratar aguas residuales con ozono u otros agentes oxidantes para el procesamiento y/o reducción de lodos, el control de la formación de espuma y la acumulación de lodos en partes del sistema de tratamiento de aguas residuales, y/o la mejora u otro control de un procedimiento de digestión o manejo de nutrientes del sistema.

10 En particular, la presente invención es un método de tratamiento de aguas residuales según se define en la reivindicación 1. Opcionalmente, se puede proporcionar una parte del lodo ozonizado a una etapa de fermentación del sistema de tratamiento de aguas residuales, en la que se generan ácidos orgánicos volátiles. El ozono puede ser generado específicamente con el propósito de ozonizar lodos o puede ser reciclado de una sección diferente del sistema de tratamiento de aguas residuales.

15 Otros aspectos o características ventajosos del método anteriormente descrito de ozonizar lodos incluyen etapas adicionales de cizallamiento del lodo ozonizado usando un homogeneizador, ultrasonido u otros métodos de cizallamiento. Alternativamente, se puede desgasificar el lodo ozonizado para reducir el contenido de oxígeno en el lodo ozonizado antes de la descarga del lodo a una parte anaeróbica o anóxica del sistema de tratamiento, y reciclar los gases retirados del lodo ozonizado a una sección aeróbica del sistema de tratamiento de las aguas residuales.

20 En realizaciones del presente método, el reactor de tipo flujo pistón está configurado para recibir la corriente de lodo procedente de un depósito aeróbico.

Breve descripción de los dibujos

Los anteriores y otros aspectos, características y ventajas de la presente invención serán más evidentes a partir de la siguiente descripción más detallada de la misma, presentada junto con los siguientes dibujos, en los que:

25 La Figura 1 es una representación esquemática de un sistema de tratamiento de aguas residuales que incorpora un procedimiento de ozonización de lodos para proporcionar lodo ozonizado a una sección anóxica u otra sección anaeróbica del sistema de tratamiento de aguas residuales;

30 La Figura 2 es una representación esquemática de un sistema de tratamiento de aguas residuales en el que el gas enriquecido en ozono se introduce en múltiples puntos dentro de un reactor de alta selectividad y el lodo ozonizado se introduce sólo en una sección anóxica o en una anaeróbica del sistema de tratamiento de aguas residuales;

La Figura 3 es una representación esquemática de otro sistema de tratamiento de aguas residuales en el que el gas enriquecido en ozono se introduce en, o cerca de, una bomba unida al reactor y el lodo no ozonizado se devuelve al depósito de lodo activado;

35 La Figura 4 ilustra un sistema de tratamiento de aguas residuales en el que el lodo ozonizado se dirige desde el reactor de alta selectividad a un componente anaerobio y una línea de lodo de retorno activado (RAS, por sus siglas en inglés);

La Figura 5 ilustra otro sistema más de tratamiento de aguas residuales que incluye dos reactores de flujo pistón;

La Figura 6 ilustra otro sistema más de tratamiento de aguas residuales en el que se elimina el lodo de un componente anaerobio para el tratamiento con ozono y se devuelve al mismo;

40 La Figura 7 ilustra un sistema de tratamiento de aguas residuales en el que el lodo procedente de la corriente de lodo activado residual se ozoniza y se proporciona a un digestor;

La Figura 8 ilustra otro sistema de tratamiento de aguas residuales en el que el lodo procedente de un digestor es ozonizado y devuelto al digestor;

45 La Figura 9 ilustra otro sistema de tratamiento de aguas residuales en el que los sólidos residual se someten a un tratamiento de ozonización y se devuelven al digestor; y

La Figura 10 es un gráfico que representa la reducción de lodo en una planta de tratamiento de aguas residuales municipales cuando se utiliza el procedimiento de ozonización de lodos en un digestor de acuerdo con la presente invención durante los meses de verano en comparación con ninguna ozonización de lodos en el digestor.

Descripción detallada

El presente método de ozonización de lodos en un sistema de tratamiento de aguas residuales incluye recibir un afluente de aguas residuales en el sistema de tratamiento de aguas residuales. El afluente puede ser aguas residuales crudas, o aguas residuales que han sido preprocesadas de alguna manera, tal como por eliminación de metales, sólidos y otros desechos que no pueden ser fácilmente biodegradados. La generación de lodo es un subproducto normal del tratamiento de aguas residuales, y una parte de una corriente de lodo en el sistema de tratamiento de aguas residuales puede ser desviada a un reactor de tipo flujo pistón.

Tal como se describe con más detalle a continuación, la corriente de lodo, que puede comprender cualquier contenido de líquido y sólido adecuado incluye niveles muy bajos de sólidos, se puede extraer desde cualquier sitio o sitios en el sistema de tratamiento de aguas residuales, tal como desde un depósito anóxico u otro anaeróbico, desde un depósito anóxico u otro aeróbico, una etapa de deshidratación, un digestor o fermentador, y/o desde cualquier otro sitio o sitios adecuados. Dentro del alcance de la presente invención, la corriente de lodo que se desvía al reactor de flujo pistón se obtiene después de separar al menos un poco de líquido del lodo aguas abajo del depósito aeróbico. El gas ozono es introducido en el lodo por el reactor de tipo flujo pistón para producir o inducir la lisis de biosólidos en el lodo y crear un flujo de lodo ozonizado.

El lodo ozonizado se proporciona o suministra luego a cualquier componente adecuado dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales, tal como un depósito anóxico, una etapa de separación sólido/líquido, un digestor, un fermentador, un depósito aeróbico, etc. El lodo ozonizado también se puede mezclar con otro lodo no ozonizado, por ejemplo, introducido en una línea de lodo activado de retorno que contiene lodo no ozonizado, o se puede mezclar con otros materiales tales como polímeros, floculantes, ácidos o bases u otros reactivos, o se puede proporcionar a una etapa de tratamiento de aguas residuales sin mezclar con otros materiales. Dentro del alcance de la presente invención, el lodo ozonizado se proporciona a una sección anóxica o anaeróbica del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Ozonización de lodos para mejorar el procedimiento de desnitrificación

La Figura 1 muestra una ilustración esquemática de un sistema de tratamiento de aguas residuales 10 que incorpora un sistema de ozonización de lodos 12. Como se ve en la misma, el sistema de tratamiento de aguas residuales 10 incluye un conducto de admisión 14 adaptado para recibir un afluente de aguas residuales, diversos dispositivos de preprocesamiento, que incluye uno o más depósitos anóxicos o anaeróbicos 16, y un reactor aeróbico de tratamiento de aguas residuales (por ejemplo, un depósito de lodo activado) 20, que puede incluir un depósito de aireación, un biorreactor de membrana, y/u otro sistema destinado al uso de la vida microbiana usando procedimientos aerobios para efectuar la eliminación de residuos procedentes del agua. El sistema ilustrado también incluye uno o más clarificadores o módulos de filtración 22 aguas abajo del depósito de lodo activado 20 adaptados para separar al menos un poco de líquido de un flujo de lodo, un conducto de salida 24 para transportar el líquido efluente a una descarga 23, una línea de lodo activado residual (WAS, por sus siglas en inglés) 26 y una línea 28 de lodo activado de retorno (RAS) adaptadas para transportar y devolver la corriente de lodo tratado de vuelta al depósito anóxico o anaeróbico 16. Además, la línea RAS 28 puede proporcionar lodo tratado al depósito de lodo activado 20 o a otro reactor de alta selectividad.

También se muestra un digestor 25 y un dispositivo de deshidratación 27, que elimina el líquido del lodo en la línea de WAS 26 de modo que el lodo deshidratado resultante puede ser retirado del sistema, por ejemplo, en el área de retención 29. Aunque el sistema 10 se muestra que incluye diferentes componentes unidos de una manera particular, un sistema de aguas residuales 10 dispuesto para incorporar uno o más aspectos de la invención se puede disponer de otras maneras. Por ejemplo, el digestor 25, el dispositivo de deshidratación 27 y otros componentes tales como desgasificadores, fermentadores, etc., son opcionales y se pueden eliminar o colocar en dirección al flujo de otras maneras dentro del sistema de aguas residuales 10. También, se pueden incluir otros componentes, tales como escurridores, clarificadores o filtros para eliminar materiales no biodegradables o lentamente biodegradables de la corriente de agua residual entrante.

Algunos de los biosólidos o lodo incluidos como parte del lodo activado residual en el o los clarificadores 22 se proporcionan a la línea RAS 28. Como se ha indicado anteriormente, el flujo de lodo en la línea RAS 28 puede tener cualquier contenido de líquido y sólidos adecuado. Además, mientras que en esta realización el lodo proporcionado a la línea RAS 28 es procesado por el clarificador 22, la corriente desviada no necesita ser tratada o modificada de otro modo antes de entrar en la línea RAS 28. Una parte del lodo en la línea RAS 28 puede ser desviada de la línea RAS 28 al reactor de ozonización de lodo 30 para el procesamiento de ozonización. En esta realización, el sistema de tratamiento de aguas residuales 10 y el procedimiento implican el tratamiento de al menos parte del lodo en la línea RAS 28 mediante un reactor de tratamiento de alta selectividad para la ozonización de lodo, que es un reactor de flujo de tipo pistón 30, que funciona en paralelo a la línea RAS 28 o es una corriente secundaria de la línea RAS 28.

Como se ve en la Figura 1, la corriente de lodo desviada al reactor de ozonización de lodo 30 se hace pasar a través de una bomba 34 a un reactor de tipo flujo pistón. El reactor de tipo flujo pistón 30 incluye una longitud suficiente de la tubería 36 que junto con el caudal asegura un tiempo de residencia del lodo en el reactor de flujo pistón 30 que es

adecuado para asegurar la disolución eficaz del ozono y de la reacción del ozono con los biosólidos. Las realizaciones ilustradas incluyen también uno o más sistemas de inyección de gas 40 a través de los cuales se introduce un gas enriquecido en ozono en el reactor de flujo pistón 30. Los sistemas inyectoros de gas preferidos 40 comprenden una fuente de gas enriquecido en ozono y una o más dispositivos de tipo inyector o Venturi 42 para inyectar el gas enriquecido en ozono en el lodo. Se pueden utilizar otros componentes para introducir gas que contiene ozono en el lodo, incluidos los aspersores y/o difusores. En aquellas realizaciones en las que el contacto gas-líquido que contiene ozono inicial se produce en la línea RAS 28 o en/cerca del reactor de flujo pistón 30, el gas enriquecido en ozono se puede suministrar a un espacio superior por encima de la corriente líquida o se puede suministrar bajo presión a una región de mezclado prevista en una orientación prevista con respecto a la corriente líquida, por ejemplo, la región de impulsión de un dispositivo de contacto de gas y lodo mecánicamente agitado o dispositivos de inyección, tales como inyectoros, aspersores, y difusores que están orientados a un ángulo y una distancia previstos con respecto a la superficie del líquido.

Preferiblemente, la fuente de gas enriquecido en ozono es un generador de ozono 44 acoplado a una fuente o suministro de gas oxígeno (no mostrado). Alternativamente, la corriente de gas enriquecida en ozono 46 se puede suministrar a partir de sistemas de almacenamiento de ozono en el sitio especializados. En otras realizaciones, el ozono se puede obtener como ozono reciclado que se genera y/o se utiliza en otras partes del sistema de tratamiento de aguas residuales 10, tal como en el tratamiento terciario del agua tratada para su desinfección, eliminación de color y/o sabor u olor antes de la descarga o reutilización. Preferiblemente, la concentración deseada de ozono es mayor o igual a aproximadamente 4% a 16%. Pueden preferirse concentraciones superiores de ozono, ya que tales concentraciones superiores pueden ayudar a asegurar que la relación de gas a líquido en el reactor de flujo pistón se mantenga dentro de un intervalo óptimo.

El gas enriquecido en ozono se suministra preferentemente a la realización ilustrada a presiones nominales y típicamente a presiones inferiores a las presiones operativas dentro de la parte del reactor de flujo pistón 30 próxima a los dispositivos de inyección 42. De esta manera, el gas enriquecido en ozono es ingerido en y a través de los dispositivos de inyección 42 mediante una extracción al vacío generada por la caída de presión a través de los dispositivos de inyección 42. Sin embargo, un experto en la técnica apreciará realizaciones en las que el gas enriquecido en ozono se suministra a presiones superiores a la presión dentro del reactor de tipo flujo pistón 30 u otro recipiente de contacto gas-líquido.

El sistema inyector de gas 40 incluye también un medio o mecanismo de control adecuado que permite el control operativo de la velocidad de inyección, el tiempo y/o el volumen de gas enriquecido en ozono. El control de la velocidad de inyección de gas, el tiempo de inyección y el volumen de gas enriquecido en ozono pueden ser dirigidos para proporcionar un contacto eficiente gas-líquido y para producir una disolución óptima del ozono en la corriente líquida que fluye por el reactor de flujo pistón 30. Más particularmente, el control del sistema de inyección de gas se puede ajustar para que se sitúe dentro de un intervalo previsto de relación de flujo de gas a flujo de líquido, en el que el flujo de gas se determina a partir de la velocidad de inyección, el tiempo y el volumen de gas a través de los dispositivos de inyección 42 y el flujo de líquido representa el flujo de lodo a través del reactor de flujo pistón 30. Un intervalo preferido de relación de gas a líquido es inferior o igual a aproximadamente 1,0, aunque son posibles otras relaciones. Una relación de gas a líquido adecuada puede asegurar que el gas o el ozono estén adecuadamente dispersos en el líquido y/o que no exista un exceso de gas en la mezcla de fluidos. Por ejemplo, la relación de gas a líquido anteriormente descrita junto con otras características de flujo relacionadas pueden operar para conseguir el funcionamiento en regímenes de flujo de dos fases (gas/líquido) deseados para producir una buena disolución y reacción de ozono. En algunas realizaciones, se elige una relación gas/líquido para producir la disolución y la reacción del ozono mientras se minimiza la disolución del gas oxígeno.

Después de haber pasado a través del reactor de tipo flujo pistón 30, el lodo ya ozonizado se hace circular opcionalmente a través de una unidad de desgasificación (no mostrada) donde se elimina la corriente de gas sin disolver, principalmente no de ozono. La corriente ozonizada y desgasificada es devuelta a través de una línea de retorno 50 a la línea RAS 28 de la planta, la cual dirige la combinación de lodo ozonizado y de lodo no tratado con ozono en la línea RAS 28 a uno o varios depósitos anóxicos y/o anaeróbicos 16. Adicionalmente, el lodo ozonizado/no ozonizado combinado puede dirigirse, en parte, al depósito de lodo activado 20 (por ejemplo, uno o varios depósitos aeróbicos). Aunque se conoce el hecho de direccionar al menos una corriente de lodo parcialmente ozonizado a un depósito aeróbico, por ejemplo, a partir de la patente de EE.UU. n° 7.513.999, que introduce lodo ozonizado en un depósito anóxico o anaeróbico u otra etapa de procedimiento anaerobio, no se ha contemplado debido a la posibilidad de que los lodos oxigenados alteren o afecten adversamente los procedimientos anaerobios en un depósito anaeróbico 16. Es decir, el lodo ozonizado introducirá invariablemente cierta cantidad de ozono u otro oxidante en el lodo, lo que puede perturbar un delicado equilibrio de organismos en un depósito anaeróbico 16. Es por esta razón que el lodo ozonizado ha sido previamente recomendado para el retorno a una etapa aerobia de un proceso de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, de acuerdo con aspectos clave de la invención, el lodo ozonizado se puede introducir directamente, o después de una deshidratación opcional, filtración, fermentación u otro tratamiento del lodo ozonizado, en una sección anóxica u otra sección anaeróbica del sistema de tratamiento de aguas residuales sin interrupción significativa de los procedimientos anaerobios activados en el mismo. Además, el lodo ozonizado se usa para elevar significativamente los niveles de demanda química de oxígeno (COD, por sus siglas en inglés) en los depósitos anóxicos y/o anaeróbicos 16, mejorando así los procedimientos de desnitrificación en el sistema de tratamiento de aguas residuales, o aumentando la disponibilidad de ácidos orgánicos volátiles en

zonas anaerobias, aumentando así el crecimiento de organismos de acumulación de fosfato (PAO, por sus siglas en inglés) que son críticos para el procedimiento biológico de la eliminación del fósforo.

Los principios operativos detrás del sistema de tratamiento de ozonización de lodos descrito implican el contacto de los biosólidos y el ozono disuelto en un reactor de tipo flujo pistón, en el que el contacto primario y la reacción ocurren entre el oxidante (ozono disuelto) y los biosólidos presentes en el lodo. En la reacción entre el gas enriquecido en ozono y los biosólidos en el lodo dentro del reactor de flujo tapón, las paredes celulares de las células bacterianas se rompen o se debilitan como resultado de la oxidación química inducida por el ozono de las paredes celulares de las bacterias. Esta ruptura de las paredes celulares de las bacterias se conoce como lisis y conduce a la liberación del contenido celular de las células bacterianas. El contenido celular es generalmente una matriz líquida que está compuesta por proteínas, lípidos, polisacáridos y otros azúcares, ADN, ARN e iones orgánicos. Como resultado de la lisis, las células sólidas de los biosólidos, que de otro modo se habrían acumulado y descargado en el procedimiento de manejo de sólidos, se transformarán en componentes COD de sustrato y posteriormente serán consumidos por las bacterias en las depósitos anóxicos y/o anaeróbicos 16, el depósito de tratamiento de lodo activado 20, o el digestor 25 del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Se utiliza un reactor de tipo flujo pistón para conseguir una alta selectividad de la reacción de lisis proporcionando un estrecho intervalo de tiempo de contacto entre el exceso de células bacterianas o biosólidos y el ozono disuelto, de manera que el ozono se usa sólo, o predominantemente para, a un procedimiento de oxidación que da lugar a la lisis de células bacterianas (por ejemplo, una "reacción primaria"). Idealmente, la dosificación de ozono y el tiempo de contacto líquido-gas están limitados con el fin de no oxidar excesivamente el contenido celular (por ejemplo, que cause "reacciones secundarias"). Esto proporciona un uso eficiente del ozono, lo que da lugar a la reducción máxima del lodo a la dosis mínima de ozono. El tiempo de contacto oscila entre 10 y 60 segundos. Esto contrasta con otros sistemas de tratamiento de ozono, como en los depósitos agitados, que no proporcionan un control preciso del tiempo de contacto del ozono con el lodo.

En algunas realizaciones, una cantidad de ozono usada para lisar células y otros materiales en el lodo presente en el reactor de flujo pistón 30 se puede controlar rigurosamente para reducir los niveles de oxígeno y/u ozono en el lodo introducido en uno o varios depósitos anaeróbicos 16. De este modo, se pueden lisar cantidades adecuadas de bacterias y otros materiales para elevar los niveles de COD hasta un nivel deseado manteniendo al mismo tiempo los niveles de oxidación en el lodo devuelto adecuadamente bajos para que tengan poco o ningún impacto en los procedimientos anaerobios en el recipiente 16. En una realización ilustrativa, se puede introducir ozono en el reactor 30 en la parte desviada de la corriente de lodo en el intervalo de aproximadamente 0,001 gramos de ozono por 1,0 gramos de sólidos suspendidos totales (TSS, por sus siglas en inglés) en la parte desviada de la corriente. Se pueden usar niveles más altos de ozono, tales como de hasta 0,03 gramos de ozono por cada 1,0 gramos de sólidos suspendidos totales TSS o potencialmente más. Esto puede aumentar la relación COD/N (u otra medida de la capacidad del lodo ozonizado para mejorar la desnitrificación en el proceso de tratamiento) a niveles de 4:1, 7:1, 10:1 o más. Como resultado, la relación COD/N del material en el depósito anaeróbico 16 se puede aumentar a niveles deseados (por ejemplo, para mejorar la desnitrificación) de aproximadamente 4:1 a 5:1, o más, lo que se ha descubierto que ayuda a la desnitrificación de las aguas residuales. Dentro del alcance del método de la invención el ozono se introduce en el intervalo de 0,1 a 40,0 gramos de ozono por día y por kg de lodo. El control de la cantidad de ozono introducido en el reactor 30 puede estar basado típicamente en niveles de nitrato, niveles totales de nitrógeno u otros parámetros detectados en una parte del sistema de tratamiento de aguas residuales, tal como en el efluente procedente del depósito de lodo activado 20. Por ejemplo, si los procedimientos de desnitrificación no están funcionando a un nivel suficientemente alto, una cantidad de ozono introducida en el reactor 30 se puede aumentar o ajustar de otro modo para aumentar los niveles de COD en el depósito anaeróbico 16. De manera similar, la magnitud del tratamiento de ozonización de lodo se puede ajustar en base a objetivos de niveles de fósforo de efluentes o contenido de fósforo en lodo residual, para variar el equilibrio de nutrientes de las plantas permitiendo por lo tanto el mantenimiento de una población sana de PAO. Un valor esperado de COD/P estaría en el intervalo de aproximadamente 10 - 25.

Alternativamente, el reactor de tipo flujo pistón se puede disponer para controlar una cantidad de ozono proporcionada a una corriente de resultante con un contenido de sólidos muy bajo, en cuyo caso la dosificación del ozono está en el intervalo de menos de 1 mg de ozono por mg de COD en la corriente de resultante. Estas corrientes de lodo tratado con ozono o de resultante se alimentan a continuación a un fermentador, donde la COD de las células lisadas o de la corriente de resultante ozonizado permite la generación de compuestos orgánicos volátiles que son útiles para potenciar el crecimiento de los organismos de acumulación de fósforo (PAO). En este caso, el control de una cantidad de ozono introducida en el lodo puede basarse en los niveles de ácido orgánico volátil detectados en una parte del sistema de tratamiento de aguas residuales.

El control de una cantidad de ozono introducida en el reactor 30 puede hacerse, por ejemplo, mediante ajustes de la concentración de ozono en el flujo de gas y/o ajustes en el caudal del gas enriquecido en ozono inyectado en el lodo. El control de la dosificación del ozono está dirigido para conseguir la actividad de lisis celular deseada. Al mantener niveles de oxidantes relativamente bajos en el lodo ozonizado, el lodo ozonizado puede tener poco o ningún impacto en los procedimientos anaerobios que se producen en el depósito anaerobio o en el fermentador en los que se introduce el lodo ozonizado.

Con referencia ahora a las figuras 7-9, después del reactor de ozono de tipo flujo pistón 30, hay una unidad de desgasificación opcional 90 que se utilizará para controlar las cantidades de gases oxidantes que se incorporan en la corriente ozonizada en la línea RAS. Los gases oxidantes 100 procedentes del procedimiento de desgasificación se pueden aplicar al depósito aeróbico 20. Alternativamente, el gas recuperado se puede ser introducir en otras áreas de la planta donde el oxígeno puede ser beneficioso, tal como en el afluente primario para controlar el olor, en el secundario para elevar los niveles de DO para la descarga o, posiblemente, para mezclar con biogás para mejorar la combustión del biogás y aumentar la potencia de salida asociada al biogás y reducir las emisiones o los depósitos de compuestos de siloxano no deseados. Al final de la línea RAS 28 o de la línea de retorno 50 puede haber un mecanismo expulsor opcional, eductor, o dispositivo inyector de salida (no mostrado) adaptado para devolver el lodo ozonizado a la superficie, a una profundidad suficiente, y/o en otras maneras deseadas al depósito anaeróbico 16 y/o al depósito de lodo activado 20. Por ejemplo, se puede introducir el lodo devuelto para ayudar a asegurar un buen mezclamiento del lodo ozonizado con el líquido en masa en el depósito anóxico y/o anaeróbico 16 y/o en el depósito de lodo activado 20.

Refinado o acondicionamiento del lodo mediante ozonización

Mientras que la ozonización del lodo se puede realizar para mejorar o controlar de otro modo los procedimientos de eliminación de nutrientes tales como procedimientos de desnitrificación y eliminación biológica de fósforo del sistema de tratamiento de aguas residuales como se ha descrito anteriormente, la ozonización del lodo también se puede realizar por otras razones adicionales, tales como reducción del lodo o acondicionamiento del lodo, tales como cambios en las características de floculación, velocidades de sedimentación, polímero extracelular, etc. Para los fines de reducción del lodo, el caudal volumétrico total a través del reactor de flujo pistón 30 puede estar comprendido entre aproximadamente 1 y aproximadamente 40 veces el caudal volumétrico equivalente del lodo activado residual (WAS). Este intervalo puede establecer, al menos en parte, la relación óptima de gas a líquido dentro del reactor de flujo pistón 30. Preferiblemente, la relación de gas a líquido es menor o igual a aproximadamente 1,0. El caudal volumétrico total del lodo es ajustable y se controla preferiblemente junto con la concentración de ozono y el flujo de gas enriquecido en ozono en el reactor de flujo pistón, para conseguir el nivel deseado de reducción del lodo al tiempo que se minimiza la dosificación de ozono requerida.

La Figura 2 muestra una realización alternativa de un proceso de tratamiento de aguas residuales. En esta realización, el gas enriquecido en ozono es inyectado o introducido de otro modo en múltiples sitios 42 en, o cerca, del reactor de flujo pistón 30. La inyección en múltiples puntos, en una configuración en serie o en paralelo, utilizando uno o más inyectores, dispositivos de tipo Venturi u otros componentes puede ser útil, por ejemplo, para ayudar a un control preciso de la introducción de ozono y/o para realizar de otro modo el contacto mejorado gas-líquido en el reactor de flujo pistón 30. La realización de la Figura 2, también muestra una disposición en la que el lodo ozonizado se desgasifica opcionalmente para la eliminación de gases oxidantes en una unidad de desgasificación 90 y después se procesa a través de un sistema de filtración opcional 95 para separar así el lisado del lodo ozonizado, y luego se transfiere a través de un conducto de retorno 50 a la línea RAS 28, que posteriormente alimenta al depósito anaeróbico 16 u otras secciones/componente(s) anaeróbicos del sistema (10). Por lo tanto, la línea RAS 28 no necesita introducir lodo, ya sea parcialmente ozonizado o no, en el depósito de lodo activado (20). Los gases oxidantes 100 procedentes del procedimiento de desgasificación se pueden aplicar al depósito aeróbico 20, u otros procedimientos en el proceso de tratamiento de aguas residuales 10.

La Figura 3 muestra otra realización de un sistema y proceso de tratamiento de aguas residuales en el que el conducto de retorno 50 procedente del reactor de alta selectividad 30 es devuelto directamente al depósito anaeróbico o anóxico 16 u otro componente anaerobio del sistema de tratamiento de aguas residuales. Por lo tanto, el lodo ozonizado que sale del reactor 30 no tiene que ser necesariamente mezclado con otro lodo de retorno que no ha sido ozonizado antes de ser introducido en el depósito anaeróbico 16 u otro componente anaerobio o sección del sistema de tratamiento de aguas residuales. La realización de la Figura 3 incluye también una línea RAS 28 que devuelve una parte del lodo al depósito de lodo activado 20, en este caso sin ozonización del lodo. En tales realizaciones, también es concebible inyectar agentes químicos distintos o además del ozono a la corriente de lodo en la línea RAS 28, tales como cloro, biocidas, polímeros, agentes de control de olores, o incluso otras mezclas de gases adecuadas para llevar a cabo el proceso de tratamiento deseado. Tales procedimientos adicionales o alternativos se pueden añadir también al procedimiento del reactor de flujo pistón 30. La corriente de lodo ozonizado puede ser opcionalmente desgasificada en una unidad de desgasificación (no mostrada) antes de transferirla a la sección anóxica o anaeróbica del sistema de tratamiento de aguas residuales. Otra etapa de procedimiento opcional para la extrusión posterior de los productos de lisis de las células ozonizadas también se puede realizar antes o después de la unidad de desgasificación. Tal procedimiento puede comprender elementos de filtración, sistemas de centrifugación o prensas.

La Figura 4 ilustra otra realización más de un sistema y proceso de tratamiento de aguas residuales en el que el reactor de tipo flujo pistón 30 incluye una bomba 34 y un sistema de inyección de gas enriquecido en ozono 40 adaptado para inyectar el gas enriquecido en ozono en, o cerca de, la bomba 34. La introducción del ozono en, o cerca de, la bomba puede ayudar en el mezclamiento del ozono con el lodo, por ejemplo, aprovechando la turbulencia en el flujo inducido por la bomba 34. La realización de la Figura 4 también muestra una disposición en la que el conducto de retorno 50 del reactor 30 está dispuesto con el fin de proporcionar lodo ozonizado tanto a la línea RAS 28 como directamente al depósito anaeróbico 16 u otra sección/componente anaeróbico del sistema de

tratamiento de aguas residuales. El flujo de lodo ozonizado en el conducto de retorno 50 se puede controlar, por ejemplo, mediante una o más válvulas, con el fin de controlar una cantidad de lodo proporcionado a cada destino final. Además, el flujo en el conducto de retorno 50 se puede controlar junto con la introducción de ozono al lodo para proporcionar un lodo con diferentes niveles de ozonización a la línea RAS 28 y al depósito anaeróbico 16 u otro componente anaeróbico. Por ejemplo, durante una primera fase de funcionamiento, los niveles de ozonización se pueden controlar rigurosamente para producir un nivel deseado de lisis manteniendo al mismo tiempo el contenido de ozono disuelto u otro gas oxidante relativamente bajo en el lodo. El lodo producido durante esta primera fase de funcionamiento se puede proporcionar exclusivamente, o al menos en parte, al depósito anaeróbico 16 u otro componente anaeróbico. En una segunda fase de funcionamiento, los niveles de ozonización se pueden aumentar para provocar tanto la lisis celular como el aumento del nivel de oxigenación del lodo. El lodo producido durante esta segunda fase de funcionamiento se puede proporcionar exclusivamente, o al menos en parte, a la línea RAS 28 para su suministro al depósito de lodo activado 20. Una disposición de este tipo puede ayudar a aumentar la reducción del lodo, manteniendo un nivel relativamente bajo de oxidación por el gas introducido en el depósito anaeróbico 16 u otro componente anaeróbico.

La Figura 5 ilustra otra realización más de un sistema y proceso de tratamiento de aguas residuales en el que el lodo para tratamiento en el reactor de flujo pistón 30 es pretratado a través de un espesante de lodo 80 u otro dispositivo para la concentración de sólidos. El espesante 80 puede ayudar a ajustar el lodo a un nivel de sólidos deseado, por ejemplo, para ayudar a asegurar el funcionamiento adecuado del reactor o reactores de flujo pistón 30 basados en ozono. Alternativamente, o adicionalmente, el espesante de lodo 80 se puede proporcionar para diluir opcionalmente el lodo, por ejemplo, con agua, o ser reemplazado por un componente dispuesto para que forme la dilución deseada, y producir una corriente líquida con una concentración de sólidos más baja que entre en el reactor o reactores de flujo pistón 30. En otras disposiciones, el lodo puede ser tratado usando otros procedimientos o componentes, tales como un digestor u otros medios para la estabilización del lodo o el manejo de sólidos antes de la desviación al reactor de flujo pistón. Hay todavía otras técnicas de pretratamiento o post-tratamiento de lodos compatibles con el sistema y procedimiento de ozonización de lodos que incluyen la adición de agentes solubilizantes al lodo, el cambio del pH, la aplicación de ondas ultrasónicas, la homogeneización y otros medios de mezclamiento o agitación. También, se podría incluir el uso de agentes químicos que faciliten la lisis de las células bacterianas o aumenten la capacidad de digestión del lodo.

Además, el sistema 10 de la Figura 5 incluye dos reactores de flujo pistón 30, es decir, uno para el lodo introducido en el depósito anaeróbico 16 u otro componente anaeróbico, y uno para el lodo introducido en el depósito de lodo activado 20. (Aunque se muestra que los reactores 30 funcionan de diferentes maneras, por ejemplo, una dispuesta para introducir ozono en los puntos 42 aguas abajo de la bomba 34 mientras que la otra está dispuesta para introducir ozono en, o cerca, de la bomba 34, los reactores 30 pueden estar dispuestos para funcionar de cualquier manera adecuada.) Esta disposición puede hacer más fácil el control del procedimiento de ozonización, incluidas las propiedades del lodo producido, ya que el lodo suministrado al depósito anaeróbico 16 u otro componente anaeróbico y al depósito de lodo activado 20 puede necesitar que sus propiedades sean diferentes, tales como niveles de oxidante, niveles de sólidos, caudales, contenido de agua, etc. Por ejemplo, el gas fuente utilizado junto con el sistema de generación de ozono 44 podría ser diferente para los diferentes reactores 30, y podría comprender aire, aire enriquecido con oxígeno, gas oxígeno puro o gas oxígeno casi puro. El uso de gas oxígeno casi puro o puro como gas fuente puede ser preferido para usar en el reactor 30 que proporciona lodo ozonizado al depósito de lodo activado 20 debido a que la actividad biológica en el depósito de lodo activado 20 implica un procedimiento aerobio. Además, el uso de gas fuente de oxígeno puro o casi puro y la inyección del gas enriquecido en ozono en, o cerca del, reactor de flujo pistón podrían ser controlados de tal manera que toda o una parte sustancial de la cantidad global necesaria de oxígeno para el tratamiento biológico en el procedimiento de lodo activado en el depósito de lodo activado 20 sea proporcionada por el sistema de ozonización de lodos. Por el contrario, el gas usado por el reactor 30 que proporciona lodo al depósito anaeróbico 16 puede ser diferente, por ejemplo, puede tener un contenido de oxígeno sustancialmente más bajo.

Aunque los dos reactores 30 se muestran recibiendo lodo desde un mismo punto sobre la línea RAS 28 aguas abajo del espesante de lodo 80 u otro componente, los reactores 30 pueden recibir lodo desde cualquier punto adecuado en el flujo del procedimiento. Por ejemplo, el lodo suministrado al depósito anaeróbico 16 u otro componente anaeróbico puede tener deseablemente un contenido de agua menor que el lodo proporcionado al depósito de lodo activado 20 (o viceversa), y por lo tanto el reactor 30 que proporciona lodo ozonizado al depósito anaeróbico 16 u otro componente anaeróbico puede recibir lodo aguas abajo del espesante de lodo 80, mientras que el reactor 30 que proporciona lodo al depósito de lodo activado 20 puede recibir lodo aguas arriba del espesante de lodo 80. La corriente de lodo ozonizado que se transfiere a la zona anóxica o anaeróbica puede ser opcionalmente desgasificada en la unidad de desgasificación. También se pueden llevar a cabo etapas de procedimiento opcionales para la extrusión ulterior de los productos de lisis de las células ozonizadas antes o después de la unidad de desgasificación. Tales procedimientos pueden incluir elementos de filtración, sistemas de centrifugación, prensas, etc.

La Figura 6 representa otra realización alternativa en la que el lodo es extraído a través de un conducto 39 desde el depósito anaeróbico 16 u otro componente anaeróbico, ozonizado por un reactor 30 e introducido de nuevo en el depósito anaeróbico 16 u otro componente anaeróbico a través del conducto de retorno 50. De nuevo, en esta realización, es concebible inyectar agentes químicos distintos del ozono, tales como cloro, agentes de ajuste del pH,

biocidas, agentes de control del olor, o incluso otras mezclas de gases tales como dióxido de carbono, nitrógeno, oxígeno, ozono y mezclas de los mismos, adecuados para llevar a cabo el proceso de tratamiento deseado de la corriente de lodo en el reactor de tratamiento de alta selectividad 30. Esta realización incluye también una línea RAS 28 que devuelve el lodo al depósito de lodo activado 20 sin tratamiento con ozono. De nuevo, la corriente de lodo 5 ozonizado puede ser opcionalmente desgasificada en la unidad de desgasificación y sometida adicionalmente a etapas de procedimiento adicionales para posterior extrusión de los productos de lisis de las células ozonizadas antes o después de la unidad de desgasificación. Como se ha indicado anteriormente, tales procedimientos pueden incluir elementos de filtración, sistemas de centrifugación, prensas, etc.

Aunque las representaciones esquemáticas de los sistemas de tratamiento de aguas residuales 10 en la presente memoria muestran el depósito anaeróbico 16 u otro componente anaeróbico como separados del depósito de lodo 10 activado 20, el depósito anaeróbico 16 u otro componente anaeróbico pueden ser una sección sustancialmente exenta de oxígeno en, o cerca de, la parte superior del depósito de lodo activado 20 u otro componente aeróbico. En otras operaciones de planta de aguas residuales, el depósito anaeróbico 16 u otro componente anaeróbico pueden incluir uno o más tanques o depósitos separados del depósito de lodo activado 20. Asimismo, debe entenderse que 15 los lodos ozonizados se pueden proporcionar a otros componentes anóxicos o anaeróbicos del sistema de tratamiento de aguas residuales, tales como algunos digestores o fermentadores, ya sea con fines de nitrificación y/o desnitrificación u otros.

La ozonización eficiente y rentable del lodo en las realizaciones descritas puede requerir la presencia de tres 20 condiciones del procedimiento en el uso del ozono predominantemente para la lisis o la ruptura de las células. Las tres condiciones del procedimiento incluyen: (i) lograr una alta selectividad para la reacción de lisis; (ii) limitar la exposición de las células lisadas al ozono adicional o en exceso dentro del reactor; y (iii) mantener un intervalo muy estrecho pero optimizado de distribuciones de tiempo de residencia para el lodo y las células bacterianas dentro del reactor. El limitar la exposición de las células lisadas al ozono adicional o en exceso es esencial ya que la exposición 25 al exceso de ozono podría dar lugar a la liberación completa del contenido celular en el reactor y a la subsiguiente oxidación química costosa del material liberado por el ozono adicional. Mediante el uso de un enfoque de reacción de flujo pistón, todas estas condiciones de procedimiento deseables se pueden realizar dentro del reactor o contactor.

El enfoque de reacción de flujo pistón se puede lograr diseñando el flujo de lodo-ozono para que se produzca con un 30 mínimo retromezclamiento, y para que el contacto con el ozono ocurra principalmente dentro de una configuración en su mayoría tubular. Específicamente, las realizaciones ilustradas pueden tener un tiempo de residencia previsto o controlado y el logro de una alta selectividad de la reacción de lisis. En las realizaciones descritas anteriormente, se utiliza una reacción de flujo pistón para conseguir una alta selectividad de la reacción de lisis contemplando un estrecho intervalo de tiempo de contacto entre las células y el ozono disuelto, es decir, una distribución estrecha del tiempo de residencia, de manera que el ozono se usa sólo para las reacciones que dan lugar a la lisis celular 35 "reacciones primarias", y de modo que la ozonización no continúe para no oxidar aún más el contenido celular "reacciones secundarias" ni oxidar los productos de las reacciones secundarias "reacciones terciarias". Esto puede contemplar el uso más eficiente del ozono, por ejemplo, dando lugar a niveles máximos de COD y/o reducción del lodo a la dosificación mínima de ozono.

Como se describe con respecto a las realizaciones ilustradas, se emplean uno o varios puntos de inyección de gas 40 para igualar la velocidad del ozono suministrado para la disolución a la velocidad de reacción de los biosólidos disolviéndose el ozono a lo largo de la longitud prevista del reactor de flujo pistón. Esto evita el suministro excesivo o insuficiente del ozono, lo que da lugar al uso eficiente del ozono para la lisis celular, y evita al mismo tiempo el uso de ozono para la oxidación del contenido celular. Los múltiples puntos de inyección también pueden proporcionar un control adicional de la relación gas/líquido dentro del reactor, para mantener las condiciones de flujo multifásico 45 dentro de los intervalos deseados para una transferencia y reacción de masa eficientes al tiempo que se alcanza la velocidad de aplicación de ozono deseada. Se pueden emplear una o más etapas de separación gas/líquido conjuntamente con uno o más puntos de inyección de gas para proporcionar un control adicional de las condiciones de flujo multifásico dentro del reactor.

Evidentemente, estos métodos básicos de refinado de lodos se pueden modificar de diversas maneras adecuadas, 50 tales como proporcionar partes del lodo ozonizado a destinos alternativos tales como a una etapa de fermentación del sistema de tratamiento de aguas residuales, un depósito de lodo activado u otro componente aeróbico (por ejemplo, digestor aeróbico) del sistema de tratamiento de aguas residuales, etc. La fermentación del lodo ozonizado se puede utilizar para proporcionar una fuente de ácidos grasos volátiles (VFA, por sus siglas en inglés), que puede no sólo ser parte de la COD en el lodo, sino que también ayuda a asegurar la eliminación biológica del fósforo. En 55 otras realizaciones, un sobrenadante puede ser retirado del lodo ozonizado antes de ser introducido en un depósito anóxico, y/o el lodo ozonizado puede ser tratado en un digestor o fermentador antes de ser introducido en un depósito anóxico.

En otra realización contemplada, la ozonización del lodo puede dirigirse para convertir materiales recalcitrantes en 60 materiales biodegradables en algún punto dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales. Los materiales recalcitrantes pueden incluir compuestos farmacéuticos y de cuidado personal, compuestos disruptores endocrinos, pesticidas, etc. Al convertir los materiales recalcitrantes en materiales biodegradables, los materiales biodegradables

resultantes son devueltos para ser procesados en los depósitos anaeróbicos, anóxicos, u óxicos del sistema de tratamiento de aguas residuales o, si fuese apropiado, en un digestor u otra línea de sólidos.

Procedimiento de ozonización del lodo para mejorar la digestión del lodo

5 La digestión del lodo en un sistema de tratamiento de aguas residuales que se utiliza para ayudar a lograr los siguientes objetivos: (i) reducir el volumen del lodo que debe ser desechado; (ii) producir biogás u otra energía utilizable a partir del lodo; (iii) reducir la cantidad de compuestos orgánicos volátiles en el lodo; y/o (iv) mejorar la posterior deshidratación del lodo residual.

10 El procedimiento de digestión es una de las más importantes prácticas de manejo de lodos utilizadas en las plantas de tratamiento de aguas residuales para lograr la estabilización de los lodos antes de su eliminación. De estas prácticas, la digestión aerobia es un procedimiento de estabilización ampliamente utilizado en plantas con flujos afluentes inferiores a aproximadamente 5 millones de GPD, mientras que la digestión anaerobia es un procedimiento de estabilización de lodos más ampliamente utilizado en plantas más grandes con flujos afluentes superiores a aproximadamente 5 millones de GPD.

15 La digestión anaerobia es una serie de procedimientos en los que los microorganismos descomponen el material biodegradable en ausencia de oxígeno. El procedimiento de digestión anaerobia funciona en ausencia de oxígeno para transformar una cantidad de material orgánico del lodo residual en un biogás que consiste en metano, dióxido de carbono y trazas de otros gases al tiempo que se reduce la cantidad total de sólidos suspendidos y, en particular, la destrucción de sólidos volátiles. El uso del biogás generado a partir del sistema de tratamiento de aguas residuales como una forma de energía renovable ayuda a reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

20 La digestión aerobia es el procedimiento de oxidación y descomposición de la parte orgánica del lodo activado residual por los microorganismos en presencia de oxígeno. En los digestores aerobios, los microorganismos o microbios aerobios se alimentan de materiales orgánicos presentes en el lodo residual para estabilizarlos, y reducir el total de sólidos suspendidos.

25 Para mejorar la reducción de sólidos volátiles en suspensión (VSS, por sus siglas en inglés) en este procedimiento de digestión, se puede usar una técnica de ozonización de lodos utilizando el reactor de ozono de tipo flujo pistón, descrito anteriormente. Se ha descubierto que la ozonización de lodos es un medio eficaz de lisar células para facilitar la ruptura de la célula bacteriana y aumentar la destrucción de VSS en digestores. En particular, se aplica la ozonización de lodos del lodo activado residual aguas arriba del digestor (por ejemplo, digestor aerobio, digestor anaerobio, ATAD, etc.) para controlar ventajosamente el tamaño de partícula de lodo y el comportamiento hidráulico global del lodo, para reducir la formación de espuma y/o mejorar de otro modo el rendimiento del digestor. Además, la ozonización de lodos como parte, o aguas arriba, de un procedimiento de digestión aerobia, aumenta la destrucción de VSS, mientras que la ozonización de lodos como parte, o aguas arriba, de un procedimiento de digestión anaerobia aumenta tanto la destrucción de VSS como el rendimiento de biogás.

35 Aunque no se busca protección para los sistemas y los procedimientos de tratamiento de aguas residuales mostrados en las figuras 7 a 9, la Figura 7 muestra un sistema y procedimiento de tratamiento de aguas residuales que incorpora el procedimiento de ozonización de lodos junto con la digestión de lodos residuales. Como se ve en la misma, el sistema de tratamiento de aguas residuales 10 incluye un conducto de admisión 14 adaptado para recibir un afluente de aguas residuales, un reactor aerobio de tratamiento de aguas residuales (por ejemplo, un depósito de lodo activado) 20, y uno o más clarificadores 22 aguas abajo del depósito de lodo activado 20 adaptado para separar por lo menos algo de líquido de un flujo de lodo, un conducto de salida 24 para transportar el líquido efluente a una descarga 23, una línea de lodo activado residual (WAS) 26 y una línea de retorno de lodo activado (RAS) 28 adaptada para transportar y devolver la corriente de lodo de nuevo al depósito de lodo activado 20. También se muestra un digestor 25 configurado para recibir una porción del WAS. El aspecto de la ozonización del lodo de la realización ilustrada comprende un reactor ozonizante de tipo flujo pistón 30, una bomba 34 y un sistema de inyección de gas enriquecido en ozono 40 adaptado para inyectar el gas enriquecido en ozono generado a partir de un generador de ozono 44. El reactor de tipo flujo pistón 30 está configurado o dispuesto para recibir una parte del WAS. El sistema inyector de gas 40 preferido incluye uno o más inyectores o dispositivos de tipo Venturi 42 para inyectar el gas enriquecido en ozono en el lodo. La introducción de gas ozono cerca de la bomba 34 puede ayudar en el mezclamiento de gas-líquido aprovechando la turbulencia en el flujo inducida por la bomba 34. La realización ilustrada incluye también un conducto de retorno 50 acoplado al reactor de tipo flujo pistón 30 y dispuesto para enviar el lodo ozonizado de nuevo al digestor. Opcionalmente, el sistema de ozono descrito incluye un depósito de retención del WAS delante de la bomba 34 que es capaz de retener una cantidad suficiente de lodo residual desde donde es extraído posteriormente por la bomba 34. La cantidad de lodo retenida en el depósito de retención será suficiente para permitir que se mantenga una relación de gas a líquido menor o igual a 1 en el sistema de reactor de ozono de tipo flujo pistón.

La Figura 8 también muestra un sistema de tratamiento de aguas residuales que incorpora un procedimiento de ozonización del lodo junto con la digestión del lodo residual. Como se ve en la misma, el sistema de tratamiento de aguas residuales 10 incluye un conducto de admisión 14 adaptado para recibir un afluente de aguas residuales; un depósito de lodo activado 20; un clarificador 22 adaptado para separar al menos algo de líquido de un flujo de lodo;

un conducto de salida 24 para transportar el líquido efluente a una descarga de una línea de lodo activado residual (WAS) 26; y una línea de retorno de lodo activado (RAS) 28 adaptada para transportar y devolver la corriente de lodo al depósito de lodo activado 20. También se muestra en la Figura 8 un digester 25 configurado para recibir el WAS. El aspecto de ozonización de lodo de la realización ilustrada comprende un reactor ozonizante de tipo flujo pistón 30, una bomba 34 y un sistema de inyección de gas enriquecido en ozono 40 adaptado para inyectar el gas enriquecido en ozono generado a partir de un generador de ozono 44. El reactor de tipo flujo pistón 30 está configurado o dispuesto para recibir una corriente de lodo procedente del digester 25 y reciclar el lodo ozonizado de nuevo al digester 25 a través del conducto de retorno 50. El sistema inyector de gas 40 preferido incluye uno o más inyectores o dispositivos de tipo Venturi 42 para inyectar el gas enriquecido en ozono en el lodo. La energía proporcionada por el bucle lateral (entrada de lodo 55, bomba 34, a través del separador 90 y línea de retorno 50) al digester 25 puede compensar la energía de mezclado normalmente requerida en el digester 25 para proporcionar un funcionamiento eficaz del digester.

La Figura 9 muestra otro sistema más de tratamiento de aguas residuales que incorpora un procedimiento de ozonización de lodo en conjunción con la digestión de lodo residual. De modo similar al sistema de la Figura 8, el sistema de tratamiento de aguas residuales 10 de la Figura 9 incluye un conducto de admisión 14 adaptado para recibir un afluente de aguas residuales; un depósito de lodo activado 20; un clarificador 22 adaptado para separar al menos algo de líquido de un flujo de lodo; un conducto de salida 24 para transportar el líquido efluente a una descarga de una línea de lodo activado residual (WAS) 26; y una línea de lodo activado de retorno (RAS) 28 adaptada para transportar y devolver la corriente de lodo al depósito de lodo activado 20. El digester 25 también está dispuesto o configurado para recibir el WAS. El reactor ozonizante de tipo flujo pistón 30 está configurado para recibir una corriente de lodo residual que sale del digester 25 y recicla el lodo ozonizado de vuelta al digester 25 a través del conducto de retorno 50. La corriente 52 puede ser una corriente residual final procedente del procedimiento de digestión, o puede ser una corriente intermedia entre etapas de digestión. Por ejemplo, la corriente 52 puede pasar desde una primera etapa de digestión a una segunda etapa de digestión. En el caso en el que se emplea más de una etapa de digestión, la corriente de lodo ozonizado 50 puede ser devuelta a una o más etapas del procedimiento de digestión. Opcionalmente, cuando hay varias etapas de digestión, la corriente de lodo a ozonizar se puede tomar de la etapa final y devolver a esa etapa o a cualquiera de las etapas anteriores. Además, el lodo ozonizado de una etapa, se puede dividir entre etapas cuando se devuelve al procedimiento de digestión. Adicionalmente, el lodo ozonizado se puede extraer de cualquiera, una combinación de, o de todas las etapas en un sistema de digestión de múltiples etapas.

Con referencia de nuevo a los sistemas ilustrados en la Figura 7, la Figura 8 y la Figura 9, se muestra una unidad de desgasificación opcional 90. En aplicaciones en las que el digester 25 es un digester anaerobio, el lodo ozonizado se desgasifica preferiblemente para la eliminación de gases oxidantes en una unidad de desgasificación 90 y luego se devuelve como lodo lisado a través de un conducto de retorno 50 al digester 25. Los gases oxidantes 100 procedentes del procedimiento de desgasificación se pueden reciclar opcionalmente al depósito aeróbico 20 u otros procedimientos en el sistema de tratamiento de aguas residuales que se benefician de la inyección de oxígeno, tal como el afluente primario para el control del olor o el efluente secundario para mantener los niveles de oxígeno disuelto deseados para la descarga.

Por el contrario, en aplicaciones en las que el digester 25 es un digester aerobio, el lodo ozonizado se devuelve preferiblemente de manera directa a través del conducto de retorno 50 al digester 25 en el que los gases oxidantes en el lodo ozonizado ayudan en el procedimiento de digestión aerobia con el fin de minimizar el coste energético o de oxígeno asociados al funcionamiento del digester aerobio.

Aunque no se muestra, las realizaciones descritas también incluyen preferiblemente una o más válvulas de control automatizadas utilizadas para controlar los flujos por todo el sistema. El control del procedimiento de ozonización para digestores es también un aspecto clave de las realizaciones descritas en la presente invención. Específicamente, las realizaciones descritas anteriormente incluirían un sistema de control basado en un microprocesador y sistemas de monitorización asociados. El control de la ozonización se debe configurar para producir niveles eficientes y eficaces de dosificación de ozono; optimizar la mezcla gas/líquido; optimizar el rendimiento del digester; y optimizar ventajosamente el rendimiento del biogás y la calidad del biogás. El control del sistema se efectúa típicamente supervisando los parámetros operativos clave del sistema de tratamiento de aguas residuales y ajustando la inyección de ozono; las velocidades de la bomba, el funcionamiento de la unidad de desgasificación, las válvulas de control de flujo, el tiempo de retención del lodo en respuesta a los mismos.

Ejemplo (no parte de la invención reivindicada)

Los beneficios de emplear la ozonización de lodos para mejorar el procedimiento de digestión se demostraron en una planta de tratamiento de aguas residuales municipales. La planta trata hasta una población equivalente (PE) de 30.000 personas de aguas residuales afluentes en dos trenes paralelos. Un tren trata un tercio del flujo (10.000 PE) mientras que el otro maneja dos tercios (20.000 PE) de la capacidad de afluente. La estabilización del lodo en la planta de tratamiento de aguas residuales municipales se realiza mediante un digester aerobio con una capacidad de unos 900 m³. Se alimenta al digester aproximadamente 100 m³ de lodo activado residual (WAS) con un contenido de TSS de aproximadamente 7.000 mg/L cada día. La planta de tratamiento de aguas residuales municipales tiene un compresor de 155 kW que proporciona los requerimientos de aireación del depósito de lodo activado y secciones

del digestor aerobio secundarios combinados de la planta. La aireación proporcionada a la planta mediante un sistema difusor de burbujas finas Airflow al digestor aerobio se controla para mantener el nivel de oxígeno disuelto en aproximadamente 1 ppm.

5 Se llevó a cabo un ensayo piloto de un sistema de ozonización de lodos para probar la viabilidad del ozono para la reducción de lodos. Los ensayos piloto compararon el rendimiento del digestor utilizando el actual procedimiento de ozonización de lodos aplicado a la línea de 20.000 PE con el rendimiento del digestor sin el procedimiento de ozonización de lodos. El lodo extraído del digestor aerobio en la línea de 20.000 PE se hizo circular por un sistema de ozonización de lodos de flujo de tipo pistón. El reactor de tipo pistón instalado incluía una bomba que podía manejar hasta 70 m³/h de flujo. Las dosificaciones de ozono aplicadas oscilaron desde aproximadamente 0,06 kg/h hasta aproximadamente 0,67 kg/h. El gas de ozono se introdujo en el reactor de tipo flujo pistón usando un dispositivo de tipo Venturi.

15 Los resultados ilustrados en la Figura 10, muestran que cuando se utiliza la ozonización de lodos en un reactor de tipo flujo pistón conjuntamente con el proceso de tratamiento de digestión en la planta de tratamiento de aguas residuales municipales, se logra una reducción de sólidos de hasta aproximadamente 77% en comparación con el funcionamiento de la planta de referencia sin ozonización de lodos en el digestor. Para los propósitos de este ejemplo, el rendimiento de la planta se caracteriza en toneladas de lodo producidas en la planta de tratamiento de aguas residuales municipales en cada uno de los meses mostrados. El rendimiento de la planta de referencia representa un promedio de las toneladas de lodo producidas durante ese mes indicado en los dos años previos en la misma instalación de tratamiento de aguas residuales sin ozonización de lodos y operación tradicional de digestores. Específicamente, la planta de aguas residuales municipales produjo un promedio de reducción del 27% en toneladas de lodo producidas durante el mes de junio cuando se usó ozonización de lodos en el digestor en comparación con lodos no ozonizados. Del mismo modo, la planta de aguas residuales municipales produjo un promedio de reducción de 69% y 77% en toneladas de lodo producidas durante el mes de julio y agosto, respectivamente, cuando se usó la ozonización de lodos junto con el digestor en comparación con la producción de lodos sin ozonización.

25 Más sorprendentemente, los valores específicos de la utilización de ozono obtenidos durante los ensayos piloto representados en la Figura 10 eran de aproximadamente 0,01 a 0,03 kg de O₃/kg de TSS eliminados o retirados. Como se observa en la Tabla 2, a continuación, este valor específico de utilización de ozono del sistema de ozonización de lodos en reactor de flujo pistón cuando se aplica o se acopla a un RAS o a un digestor es de aproximadamente un orden de magnitud menor que los sistemas de ozonización de lodos basados en CSTR de la técnica anterior. También se observaron mejoras significativas en las características de sedimentación y deshidratación de lodos cuando se aplicó la ozonización de lodos residuales usando el sistema de reactor de tipo flujo pistón como un pretratamiento a digestores.

Referencia	Uso de ozono kg de O ₃ /kg de SS reducidos	Modo de reactor
Yasui <i>et al.</i> (1966)	0,165	CSTR
Sakai <i>et al.</i> (1997)	0,133 – 0,176	CSTR
Kobayashi <i>et al.</i> (2001)	0,250	CSTR
Sievers <i>et al.</i> (2004)	0,395	CSTR
PFR en RAS	0,05	PFR
PFR en digestor	0,01 – 0,03	PFR
Estudio de minimización de lodos (WERF 2004)*	0,2 – 0,4	CSTR

Tabla 1

35 *Ozonización de lodos para el control de espuma y la acumulación de lodos*

Los problemas de formación de espuma y acumulación de lodos en las operaciones de tratamiento de aguas residuales son generalmente causados por la presencia de una abundancia de bacterias filamentosas tales como Nocardia y Parvicella en las aguas residuales. El presente procedimiento de ozonización de lodos en un reactor de tipo flujo pistón u otro reactor de alta selectividad se puede adaptar para reducir las poblaciones de bacterias filamentosas que, a su vez, dan lugar a una reducción o eliminación de espuma y una reducción del lodo acumulado en el depósito aeróbico, en los digestores, o en las secciones anóxicas/anaeróbicas del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Con el fin de controlar la formación de espuma y la acumulación de lodos, la introducción de ozono en una corriente desviada dentro del reactor de tipo flujo pistón u otro reactor de alta selectividad es preferiblemente un procedimiento rigurosamente controlado. En particular, el ozono utilizado durante dicho procedimiento de ozonización para el control de la espuma y la acumulación de lodos se mantiene preferiblemente dentro del intervalo de aproximadamente 0,04 a aproximadamente 5,0 g de ozono por día por kg de lodo en el depósito aeróbico, y más preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 1,5 g de ozono por día por kg de lodo en el depósito aeróbico. Mediante el uso de tales dosificaciones optimizadas y pequeñas de ozono, la reacción de ozono dentro del reactor de tipo flujo pistón u otro reactor de alta selectividad se concentra en los organismos filamentosos con un impacto mínimo sobre otras poblaciones microbianas. Las dosificaciones excesivas de ozono afectarán a los organismos no filamentosos además de los organismos filamentosos. También se pueden emplear dosificaciones más altas de ozono, dependiendo del grado de lisis celular general deseado además del control del filamento.

Dosificación del ozono

En la utilización de las realizaciones descritas en la presente memoria descriptiva del procedimiento de ozonización de lodos descrito, es deseable controlar parámetros seleccionados, ya sea mediante el diseño del sistema o en el funcionamiento del sistema. Preferiblemente, la velocidad de suministro del ozono para la disolución se correlaciona con la velocidad de reacción de los biosólidos disolviéndose el ozono a lo largo de la longitud del reactor de flujo pistón. Esta correlación del suministro de ozono con la velocidad de reacción de los biosólidos dentro del reactor de flujo pistón evita el sobreabastecimiento o suministro insuficiente de ozono y por lo tanto produce el uso eficiente del ozono para la lisis celular evitando al mismo tiempo el uso de gas ozono para las reacciones secundarias. Preferiblemente, variando el volumen del lodo que se desvía y procesa a través del reactor de tipo flujo pistón, controlando rigurosamente la distribución del tiempo de residencia del lodo dentro del reactor de tipo flujo pistón, o variando la dosificación de ozono, es posible controlar con precisión la ozonización del lodo.

Alternativamente, los reactores de alta selectividad o de tipo flujo pistón se pueden diseñar y operar de una manera en la que se requieren varias pasadas a través del reactor para conseguir los resultados de ozonización deseados. El funcionamiento del sistema con varias pasadas del lodo a través del reactor también puede permitir el funcionamiento bajo un límite superior deseado de relación de gas a líquido, para mantener las características de flujo multifásico deseadas en el reactor para una transferencia y reacción de masa eficientes.

Cuando el objetivo de la ozonización de lodos es optimizar la reducción del lodo y el lodo ozonizado es devuelto al depósito de aireación, la dosificación de ozono en el reactor de flujo pistón está preferiblemente dentro del intervalo de aproximadamente 0,04 g a aproximadamente 40,0 g de ozono por día por kg de lodo, y más preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 1,0 g a aproximadamente 20,0 g de ozono por día por kg de lodo para asegurar la ozonización tanto de los organismos filamentosos como de los organismos no filamentosos, y aún más preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 2,0 g a aproximadamente 6,0 g de ozono por día y por kg de lodo. La distribución del tiempo de residencia preferida en el reactor de tipo flujo pistón para tal aplicación oscila entre aproximadamente 10 segundos y aproximadamente 60 segundos.

Cuando el objetivo de la ozonización de lodos es mejorar el equilibrio de nutrientes en el proceso de tratamiento de aguas residuales, tal como proporcionar una fuente adicional de carbono fácilmente degradable para el procedimiento de desnitrificación en una sección anóxica, aeróbica o anaeróbica del sistema de tratamiento de aguas residuales - cuya aplicación constituye el método de la presente invención - la dosificación de ozono está preferiblemente dentro del intervalo que se necesita para mantener la relación de COD a nitrógeno y/o de COD a niveles de fósforo dentro de los intervalos apropiados (por ejemplo, relación de COD a nitrógeno de al menos 4:1). La dosificación de ozono en el reactor de flujo pistón está en particular en el intervalo de aproximadamente 0,1 g a aproximadamente 40,0 g de ozono por día por kg de lodo y más preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 0,3 g a aproximadamente 20,0 g de ozono por día por kg de lodo para asegurar la proporción de COD a nitrógeno apropiada y/o de COD a niveles de fósforo. La distribución del tiempo de residencia en el reactor de tipo flujo pistón en esta aplicación oscila entre aproximadamente 10 segundos y aproximadamente 60 segundos. Sin embargo, debe entenderse que se deben emplear tiempos de residencia más bajos en aplicaciones o configuraciones en las que se debe evitar aumentar la solubilidad en oxígeno de la corriente tratada, por ejemplo, cuando se alimenta la corriente tratada con ozono a un depósito anóxico o anaeróbico.

Cuando la finalidad de la ozonización del lodo es mejorar el procedimiento de digestión en un digestor anaerobio o aerobio, la dosificación de ozono del lodo tratado está preferiblemente dentro del intervalo de aproximadamente 0,04 g a 30 g de ozono por kg de sólidos totales en suspensión en la corriente tratada y más preferiblemente dentro del intervalo de aproximadamente 0,01 g a 10 g de ozono por kg de sólidos totales en suspensión en la corriente tratada. La distribución del tiempo de residencia preferida en el reactor de tipo flujo pistón en esta aplicación oscila entre aproximadamente 10 segundos y aproximadamente 60 segundos.

Los métodos y sistemas anteriormente identificados para el tratamiento de lodos utilizando ozono se pueden utilizar solos o en combinación con otras técnicas de reducción de lodos u otras técnicas de procesamiento. Además de la reducción de lodos, otras ventajas y objetivos de las actuales técnicas de ozonización de lodos incluyen el acondicionamiento de lodos, el manejo de los niveles de nutrientes (C/N/P), la alteración de la floculación del lodo

para una mejor operación de sedimentación o digestor, la lisis celular para una mejor digestión, así como la conversión de material no biodegradable en un material biodegradable.

5 Además, cada una de las etapas específicas implicadas en el procedimiento preferido, descrito en la presente memoria, y cada uno de los componentes en los sistemas preferidos, se modifican o adaptan fácilmente para satisfacer los requisitos peculiares de diseño y funcionamiento de un sistema de tratamiento particular. Por ejemplo, el lodo a ozonizar en los presentes métodos y sistemas puede ser lodo activado de retorno, lodo activado de desecho, extracción de sólidos residuales o cualquier combinación de sólidos primarios y secundarios.

10 Aunque la invención descrita en la presente memoria ha sido descrita por medio de realizaciones específicas y procedimientos asociados con la misma, las personas expertas en la técnica pueden realizar numerosas modificaciones y variaciones sin apartarse del alcance de la invención como se expone en las reivindicaciones o sacrificar todas sus ventajas materiales.

REIVINDICACIONES

1. Un método de tratamiento de aguas residuales que comprende las etapas de:
 recibir un afluente de aguas residuales en un sistema de tratamiento de aguas residuales (10), teniendo el sistema de aguas residuales al menos una sección anóxica o anaeróbica (16) y al menos una sección aeróbica (20);
- 5 procesar las aguas residuales en al menos una sección anóxica o anaeróbica (16) y posteriormente en la al menos una sección aeróbica (20) para producir lodo que contiene biosólidos;
 separar al menos un poco de líquido del lodo que contiene biosólidos aguas abajo de la sección aeróbica (20);
 desviar una parte del lodo que contiene biosólidos después de separar al menos un poco de líquido del lodo a un reactor de tipo flujo pistón (36);
- 10 introducir ozono en el lodo que contiene biosólidos en el reactor de tipo flujo pistón para producir la lisis de los biosólidos en el lodo dentro del reactor de tipo flujo pistón (36), donde dicho ozono se introduce en un intervalo de 0,1 a 40,0 gramos de ozono por día por kg de lodo, y en el que el tiempo de contacto entre los biosólidos y el ozono dentro del reactor de tipo flujo pistón está comprendido entre 10 y 60 segundos; y
- 15 proporcionar el lodo ozonizado a la al menos una sección anóxica o anaeróbica del sistema de tratamiento de aguas residuales.
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además la etapa de cizallamiento del lodo ozonizado.
3. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la al menos una sección anóxica o anaeróbica (16) del sistema de tratamiento de aguas residuales (10) comprende un depósito anóxico, un depósito anaeróbico, un
 20 digestor anaeróbico, o una etapa de separación sólido/líquido.
4. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además proporcionar una parte del lodo ozonizado a una etapa de fermentación del sistema de tratamiento de aguas residuales (10), en el que se generan ácidos orgánicos volátiles en la etapa de fermentación.
5. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además las etapas de:
- 25 desgasificar el lodo ozonizado para reducir el contenido de oxígeno en el lodo ozonizado hasta un nivel previsto; y
 reciclar los gases retirados del lodo ozonizado a una sección aeróbica (20) u otras secciones dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales (10).
6. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la cantidad de ozono introducida en el lodo en el reactor de tipo flujo pistón (36) se determina en base a: (i) los niveles de nitrato o niveles totales de nitrógeno detectados en
 30 una sección del sistema de tratamiento de aguas residuales (10); o (ii) los niveles de fósforo en un efluente o en el lodo activado residual.
7. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además la etapa de tratar el lodo ozonizado en un digestor (25) o en un fermentador antes de la etapa de suministrar el lodo ozonizado a la parte anóxica (16) del sistema de tratamiento de aguas residuales (10).
- 35 8. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además las etapas de:
 retirar un sobrenadante usando separación sólido/líquido de la corriente de lodo ozonizado en la que dicho lodo ozonizado es particularmente rico en demanda química de oxígeno soluble;
 opcionalmente recuperar el fósforo del sobrenadante; y
- 40 proporcionar el sobrenadante a la sección anóxica o anaeróbica de dicho sistema de tratamiento de aguas residuales.
9. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la etapa de introducción de ozono comprende además reciclar ozono desde al menos una sección del sistema de tratamiento de aguas residuales e introducir el ozono reciclado en el lodo en el reactor de tipo flujo pistón.

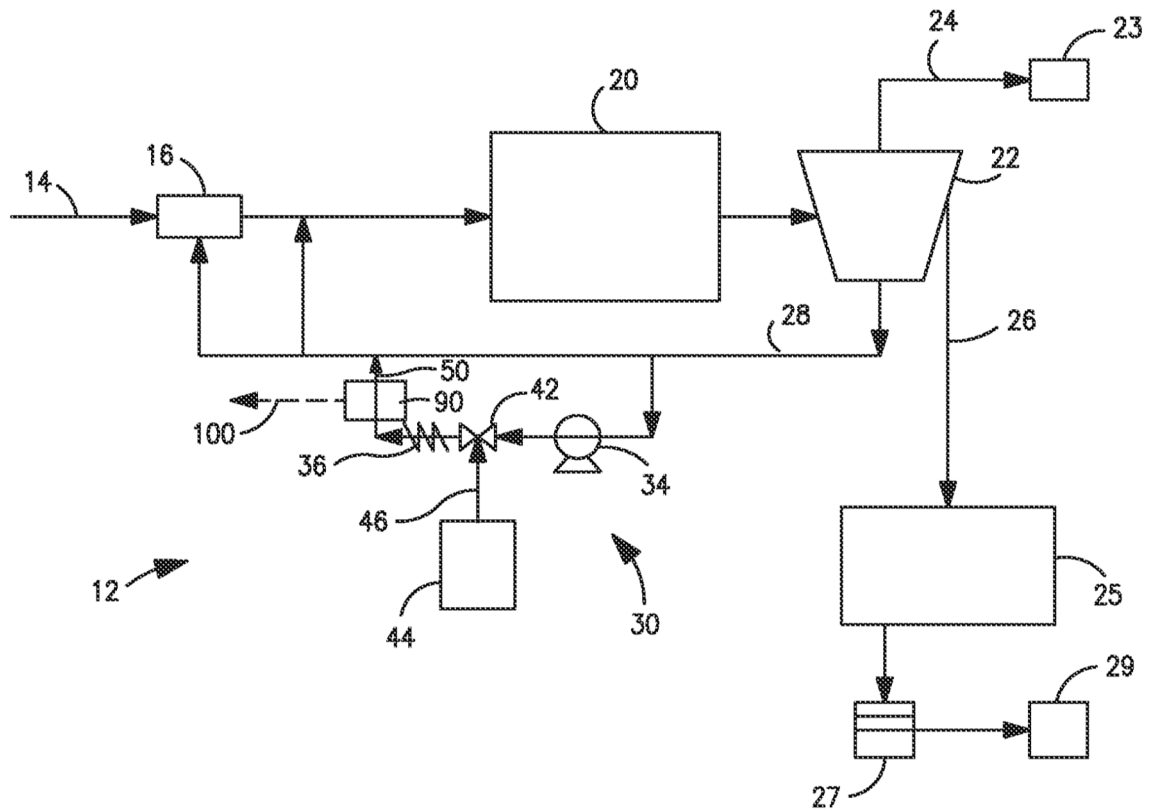


FIG. 1

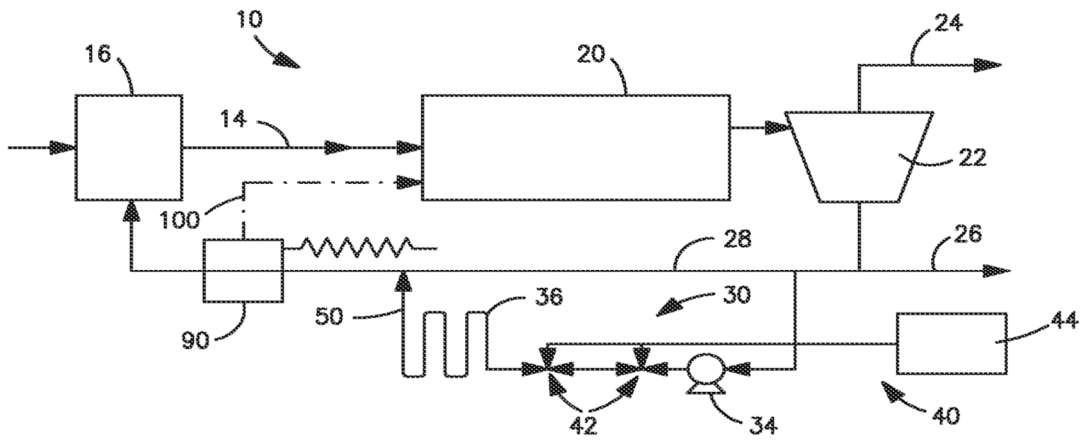


FIG. 2

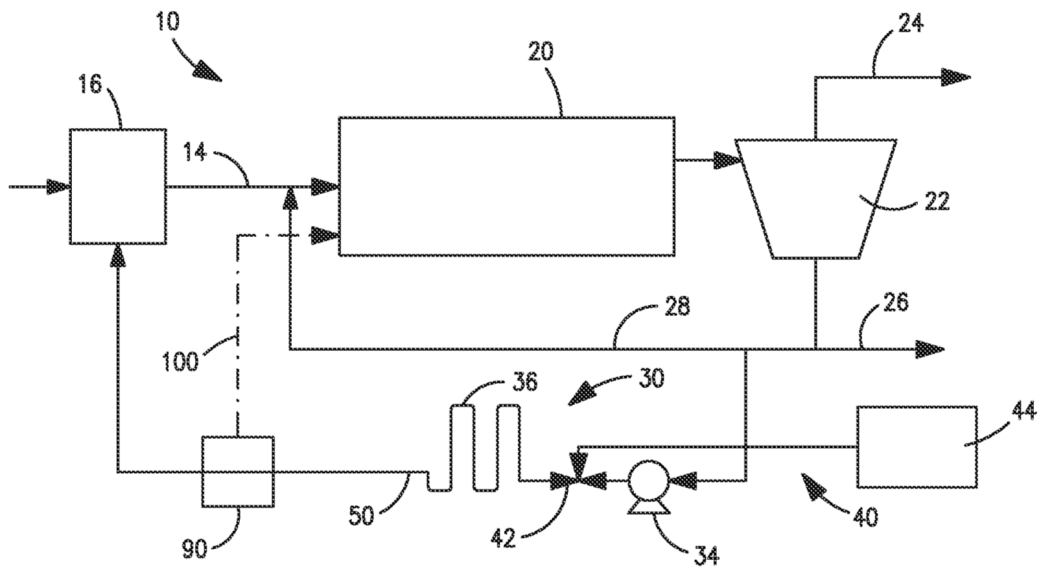


FIG. 3

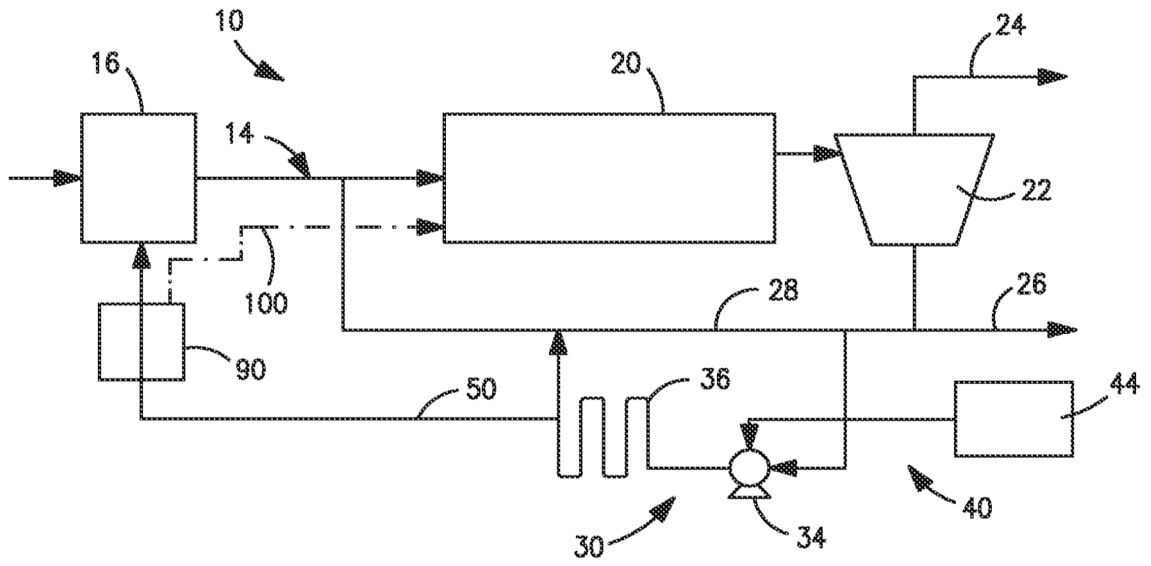


FIG. 4

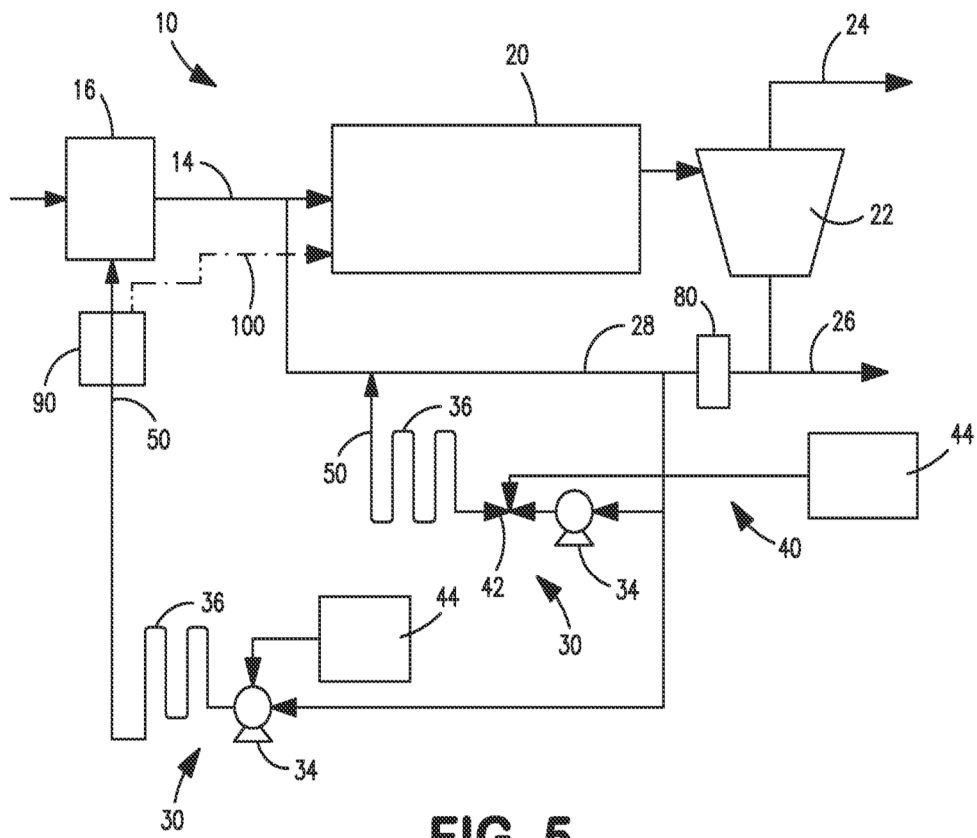


FIG. 5

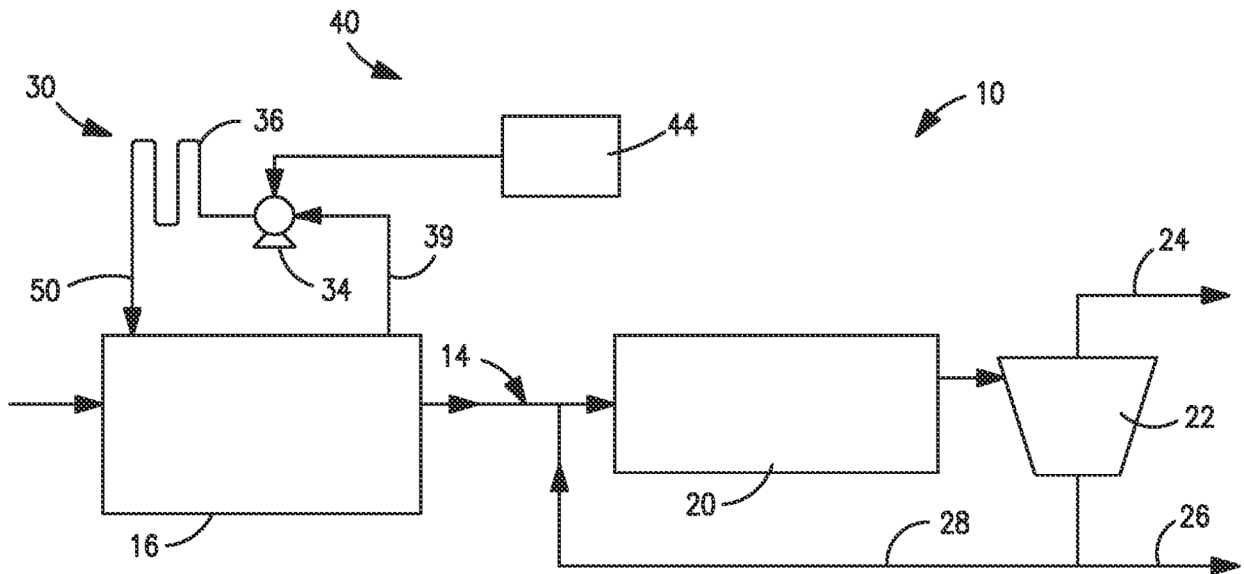


FIG. 6

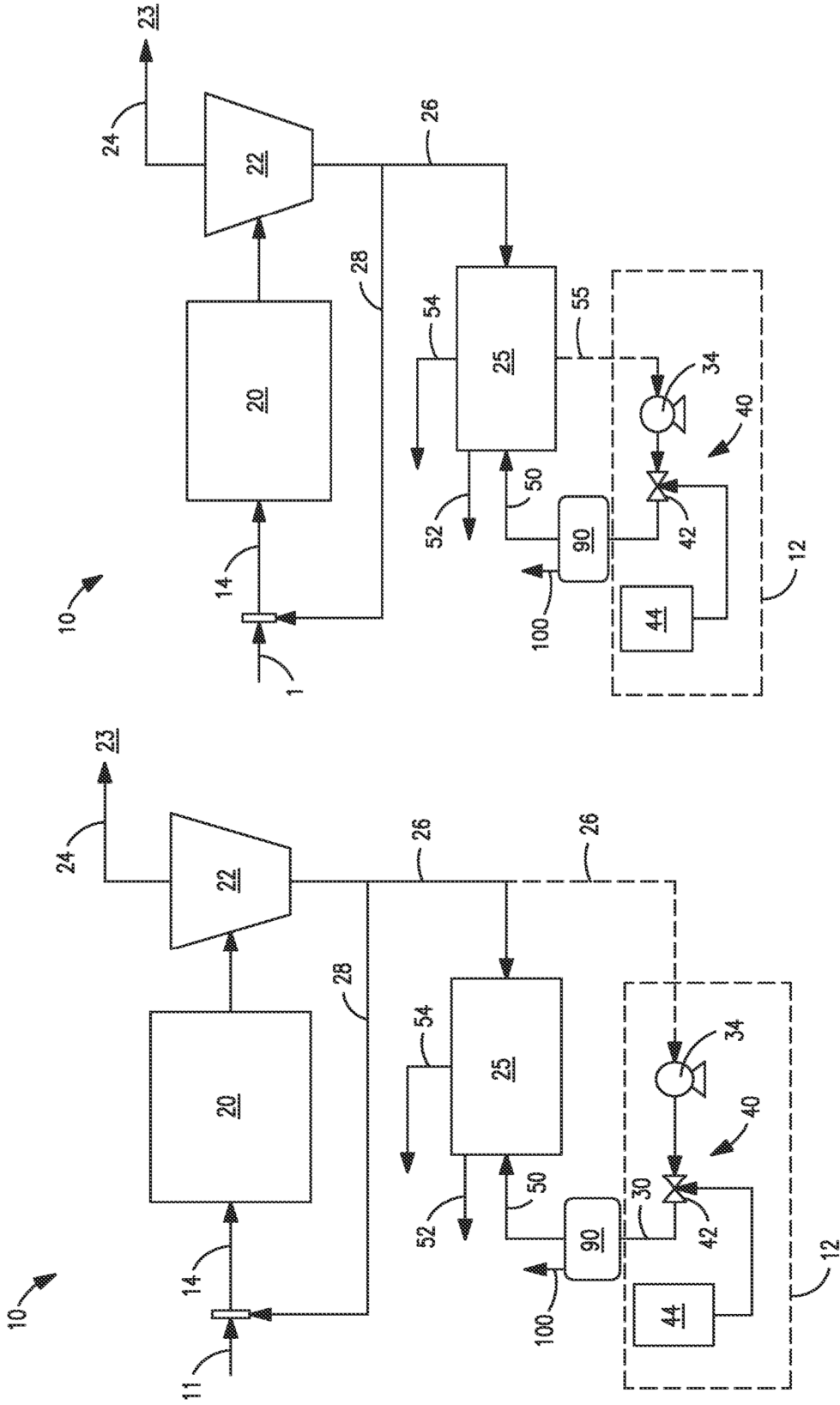


FIG. 8

FIG. 7

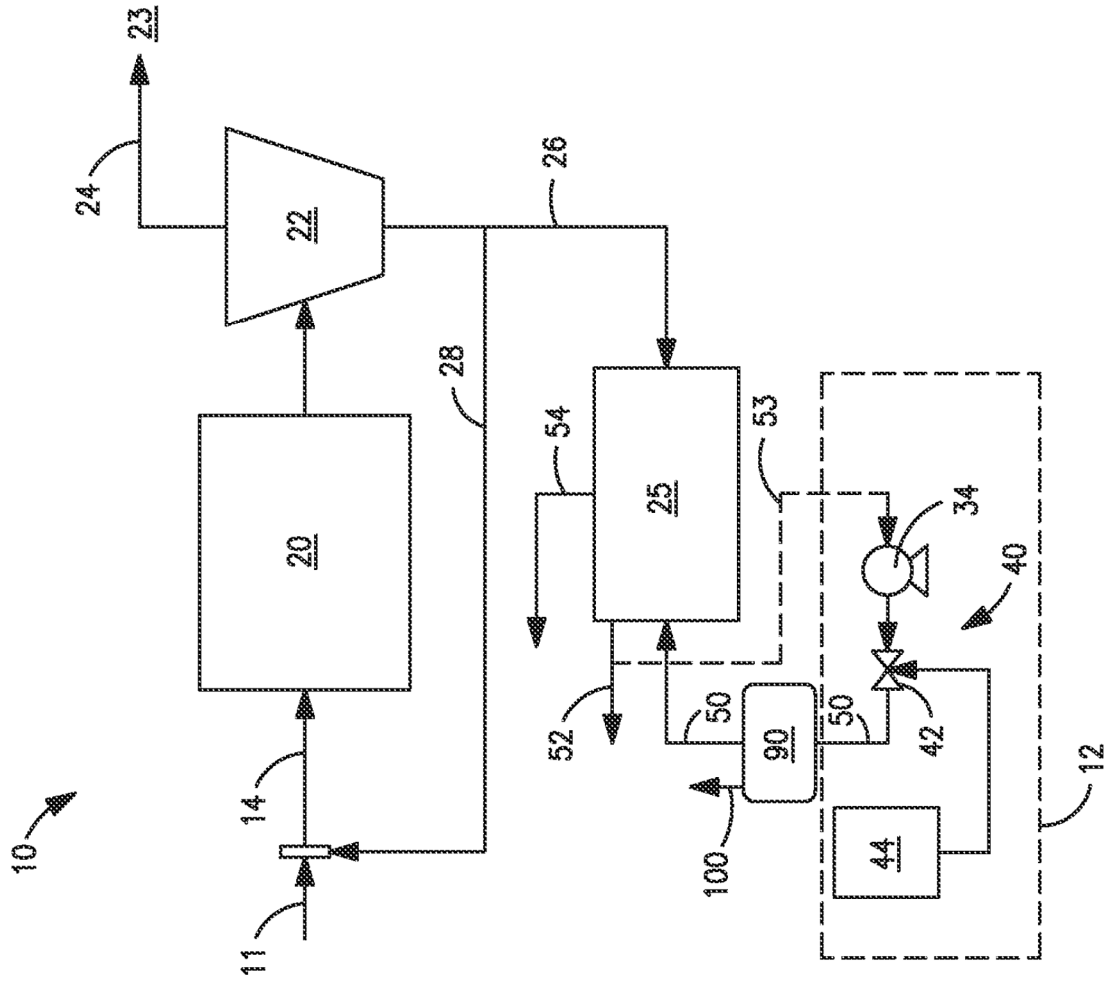


FIG. 9

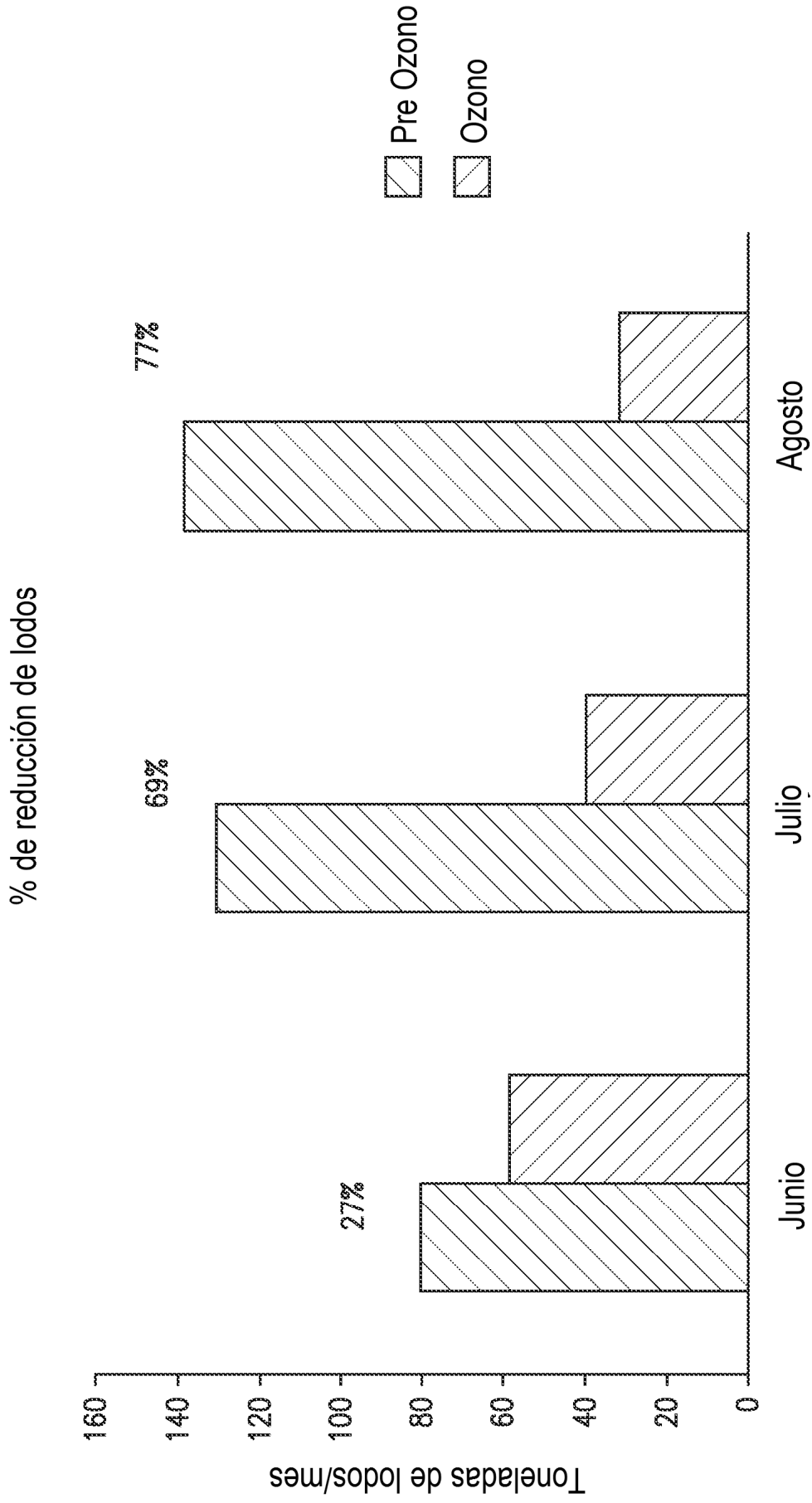


FIG. 10