



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 332 613**

51 Int. Cl.:
C02F 3/12 (2006.01)
C02F 1/78 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07843479 .2**
96 Fecha de presentación : **28.09.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **1976804**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **08.10.2008**

54 Título: **Ozonación de aguas residuales para la reducción de lodo o espuma y control de hinchamiento.**

30 Prioridad: **29.09.2006 US 848151 P**
02.11.2006 US 591894
24.07.2007 US 880694

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
09.02.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
09.02.2010

73 Titular/es: **PRAXAIR TECHNOLOGY, Inc.**
39 Old Ridgebury Road
Danbury, Connecticut 06810-5113, US

72 Inventor/es: **Fabiyi, Malcolm y**
Novak, Richard

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 332 613 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

Ozonación de aguas residuales para la reducción de lodo o espuma y control de hinchamiento.

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a métodos y sistemas para el tratamiento de aguas residuales y, de forma más particular, al tratamiento de lodos con ozono en un reactor de alta selectividad con el fin de reducir los lodos y controlar la espuma.

10 **Antecedentes**

Los métodos tradicionales de tratamiento de aguas residuales comprenden poner en contacto corrientes de aguas residuales con bacterias en un proceso de carácter aeróbico o anaeróbico, en lo que se conoce como tratamiento de lodos activados. Estas bacterias consumen partes del material de sustrato o residuos contenidos en las aguas residuales que, típicamente, son compuestos químicos que contienen carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y elementos similares. Típicamente, una parte de los residuos se consume para estimular el metabolismo de las células bacterianas o mantener el funcionamiento fisiológico de las células bacterianas. Adicionalmente, una porción de los residuos se consume también como parte del procedimiento de síntesis de nuevas células bacterianas. El procedimiento de tratamiento de lodos activados proporciona una cierta cantidad de lodos y sólidos asociados, que deben ser continuamente retirados del recipiente de tratamiento para conservar el equilibrio de lodos en estado dinámico que es fundamental para el funcionamiento eficaz del sistema de tratamiento de lodos activados.

Con el fin de mantener la capacidad de eliminación de residuos de la planta de tratamiento en estado dinámico, es importante controlar la generación de nuevas células bacterianas en el procedimiento de tratamiento de lodos activados. Una síntesis excesiva de nuevas células bacterianas, superior a la necesaria para el tratamiento de los residuos en estado dinámico o próximo a él da como resultado un exceso de formación de biosólidos, atribuible a la acumulación de estas células bacterianas de nueva síntesis, pero innecesarias. Este exceso de biosólidos se debe retirar de manera continua durante el procedimiento de tratamiento de lodos activados.

Los métodos existentes para gestionar la eliminación de lodos incluyen el transporte de los lodos a vertederos, utilización de los lodos para su aplicación como abono o fines agrícolas, e incineración de los lodos. La mayoría de las operaciones de eliminación de lodos requiere algún tratamiento previo del lodo; un procedimiento conocido en la técnica como tratamiento de sólidos. Los procedimientos de tratamiento de sólidos son a menudo operaciones costosas y que requieren mucho tiempo, y típicamente comprenden una o múltiples de las etapas siguientes: (a) concentración de los lodos en un espesador que, a menudo, requiere el uso de polímeros; (b) digestión de los lodos con el fin de estabilizar las bacterias y reducir adicionalmente el volumen y contenido de patógenos de los lodos; (c) extracción del agua de los lodos hasta alcanzar un contenido en sólidos de aprox. 15-25%, lo que implica hacer pasar los lodos a través de centrifugadoras u otros dispositivos para la separación de sólidos-líquidos; (d) almacenamiento de los lodos; y (d) transporte a vertederos, aplicaciones agrícolas en granjas, u otros usos finales.

Se estima que los costes asociados con los procedimientos de tratamiento y eliminación de sólidos pueden ser entre 20 y 60% de los costes operativos totales relacionados con el procedimiento total de tratamiento de las aguas residuales. Debido al coste y al tiempo necesario para el tratamiento y la eliminación de sólidos, es conveniente minimizar la cantidad de exceso de lodos generados en el procedimiento de tratamiento de aguas residuales.

En los sistemas y métodos convencionales de tratamiento de lodos activados, se necesita oxígeno tanto para la oxidación química del material de sustrato (es decir, desechos) como para la síntesis de nuevas células y procesos metabólicos de las células bacterianas. También se ha informado sobre el uso de ozono, además de oxígeno, para el tratamiento de los lodos. Más en particular, se ha informado sobre el tratamiento con ozono en combinación con agitadores mecánicos y/o una bomba, que contribuyen a la mezcla de las sustancias. El contacto de los lodos con el ozono tiene lugar típicamente en modo de reacción en un tanque con agitación continua (CSTR, siglas en inglés) y la lisis (destrucción de la integridad de la pared celular) se produce como consecuencia de la intensa acción oxidante del ozono sobre las paredes celulares. La lisis conduce a la liberación del contenido celular rico en sustrato de las células bacterianas. De esta forma, las células sólidas que, de lo contrario, se habrían eliminado como exceso de lodos, son sometidas a lisis de, al hacerlo, se transforman en sustrato que, entonces, puede ser consumido por las bacterias en el recipiente de tratamiento.

El contenido celular es una matriz líquida compuesta de proteínas, lípidos, polisacáridos y otros azúcares, ADN, ARN e iones orgánicos. Debido a la baja selectividad que se produce cuando se lleva a cabo el contacto de los lodos con el ozono en modo de reactor con agitación continua, con el uso anteriormente descrito de ozonización de lodos se consumen cantidades excesivas de ozono. Además, algunos empleos del ozono sobre los que se ha informado anteriormente requerían un pre-tratamiento especializado o la modificación de los lodos. Estos pre-tratamientos y modificaciones pueden incluir ajustar el pH de los lodos, elevar su temperatura, aumentar la presión del vaso de tratamiento con ozono, o hacer pasar los lodos a través de etapas de pre-digestión anaeróbica. De este modo, el uso anterior de ozono en el tratamiento de lodos implicaba una complejidad, materiales y equipos adicionales, y el correspondiente aumento de costes asociado con ellos.

Se conocen tres métodos principales para sistemas de reactores, a saber, el sistema de Reactor de Tanque con Agitación Continua (CSTR), el Reactor de Flujo Pistón (PFR), de mayor selectividad, y el Sistema de Reactor Discontinuo (BRS). Las principales diferencias entre los distintos modos de reactor radican fundamentalmente en: (i) la cantidad media de tiempo que permanece una molécula dentro del espacio del reactor, conocida también como tiempo de residencia; (ii) la interacción entre “lotes” de reacción, por ejemplo, existe una importante retro-mezcla en el CSTR, en tanto que el PFR se distingue por una retro-mezcla muy limitada, en caso de haberla; y (iii) el rendimiento obtenido.

Además de los desafíos asociados con la reducción de lodos, uno de los restantes retos formidables en muchas operaciones de tratamiento de aguas residuales es el control de espumación y aglutinación (“*bulking*”) en las aguas residuales. Los problemas de espumación y aglutinación se deben generalmente a la presencia de una abundancia de bacterias filamentosas tales como *Nocardia* y *Parvicella* en las aguas residuales. Estos organismos filamentosos tienden a prosperar en las aguas residuales cuando el nivel de oxígeno disuelto en las mismas es bajo, o se produce un déficit de nutrientes en las aguas residuales, que se distingue por una baja relación de alimentos a microorganismos.

Los problemas de espumación se caracterizan a menudo por la presencia de una espuma de color bronceado claro que cubre hasta 25% de la superficie del recipiente de lodos activados y contribuye, frecuentemente, a problemas operativos dentro de las aguas residuales, incluidos olores indeseables, eliminación de sólidos y condiciones de trabajo generalmente peligrosas. Por su parte, la aglutinación se distingue por la presencia de organismos filamentosos que se extienden desde el flóculo, provocando de este modo una interferencia con las propiedades de asentamiento y compactación de los lodos. Esta acción tiene un impacto adverso sobre el rendimiento del clarificador y a menudo tiene como resultado una baja calidad del efluente.

El control de los problemas de aglutinación y espumación en las operaciones de tratamiento de aguas residuales requiere la eliminación o el control de los organismos filamentosos en las aguas residuales. De manera convencional, el control de organismos filamentosos en las aguas residuales se lleva a cabo por la adición de agentes oxidantes tales como cloro, peróxido y ozono al recipiente de lodos activados. Un medio alternativo para controlar los organismos filamentosos incluye incrementar la carga de nutrientes o mejorar el estado óxico de los lodos, o ambas acciones.

Resumen de la invención

La presente invención es un método para tratar aguas residuales, según se define en la reivindicación 1.

Breve descripción de los dibujos

Los aspectos, características y ventajas de la presente invención, tanto citados anteriormente como adicionales, resultarán más evidentes de la siguiente descripción más detallada de los mismos, que se presenta junto con los siguientes dibujos, en los que:

Fig. 1 es una representación esquemática de un sistema activado de tratamiento de aguas residuales que incorpora una realización de los presentes sistema y procedimiento;

Fig. 2 es un gráfico que muestra el rendimiento operativo de un procedimiento de tratamiento de un exceso de lodos, según las realizaciones descritas en este documento;

Fig. 3 es una representación esquemática de una realización alternativa de los presentes sistema y procedimiento, en la que se introduce gas enriquecido en ozono en múltiples localizaciones del reactor de alta selectividad;

Fig. 4 es una representación esquemática de otra realización alternativa del presente sistema, en la que la línea de descarga desde el reactor está acoplada con algún otro procedimiento de tratamiento posterior de lodos, corriente abajo del reactor;

Fig. 5 es una representación esquemática de todavía otra realización alternativa del presente sistema, en la que el sistema de inyección de gas enriquecido en ozono inyecta el gas enriquecido en ozono en o en las proximidades de la bomba asociada al reactor;

Fig. 6 es todavía otra realización de los presentes sistema y procedimiento, en la que los lodos se someten a un procesamiento previo al reactor de alta selectividad;

Fig. 7 es todavía otra realización alternativa del presente sistema, en la que el contacto de gas-líquido entre el gas enriquecido en ozono y la corriente líquida tiene lugar corriente arriba del reactor;

Fig. 8 es todavía otra realización del presente sistema, en la que la corriente líquida tratada es una corriente mixta de licor procedente del recipiente de lodos activados;

Fig. 9 es todavía otra realización del presente sistema, en la que la corriente tratada es una corriente RAS alternativa; y

Fig. 10 es un gráfico que muestra la presencia de bacterias filamentosas seleccionadas en un recipiente de tratamiento de lodos activados, en las semanas previas a la ozonización y las semanas durante la ozonización, según la presente invención.

Los números de referencia correspondientes indican componentes correspondientes en las diversas vistas de los dibujos.

Descripción detallada

En los sistemas y métodos convencionales de tratamiento de lodos activados, se necesita oxígeno tanto para la oxidación química del material de sustrato como para la síntesis de nuevas células y los procesos metabólicos de las células bacterianas. La necesidad de oxígeno para la oxidación química del material de sustrato en el procedimiento de tratamiento se denomina, a menudo, Demanda Química de Oxígeno (DQO), en tanto que el requisito de oxígeno para la eliminación del sustrato a través del consumo de sustrato para la síntesis de nuevas células y el mantenimiento de los procesos metabólicos de las células bacterianas se denomina Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).

La Fig. 1 muestra una ilustración esquemática de un sistema de tratamiento de lodos activados (10), que incorpora una realización del presente sistema de ozonización de lodos (12). Tal como se ve en la misma, el sistema típico de tratamiento de lodos activados (10) incluye un conducto de entrada (14) adaptado para recibir un flujo entrante de aguas residuales, diversos dispositivos de pre-procesamiento (16) y un reactor de tratamiento de aguas residuales (20), que puede ser un recipiente de aireación, un biorreactor de membrana u otro sistema cuya finalidad sea la de utilizar la vida microbiana para retirar los residuos del agua. El sistema ilustrado incluye, igualmente, uno o múltiples clarificadores o módulos de filtración (22), adaptados para separar el líquido depurado de los lodos acumulados, un conducto de salida (24) para transportar el flujo de salida o líquido depurado a una zona de descarga (23), una línea de lodos activados (26) y una línea de retorno de lodos activados (RAS) (28), adaptada para transportar y devolver la corriente tratada al recipiente de lodos activados (20) o a otro reactor de alta selectividad. También se muestra un digestor (25) y un dispositivo de eliminación de agua (27).

En la realización ilustrada, parte de los biosólidos o lodos se incluyen como parte de los lodos activados por residuos (WAS) y una porción de los biosólidos o lodos se transporta a lo largo de la línea RAS (28), desde los clarificadores (22) hasta el recipiente de lodos activados (20). A lo largo del camino, se desvía una cantidad predeterminada del líquido y de los biosólidos hacia el reactor de ozonización de lodos (30) para su ozonización. Sin embargo, no es necesario tratar o modificar la corriente divergente antes de su entrada en el reactor (30). Los presentes sistema (12) y procedimiento de tratamiento de aguas residuales comprenden el uso de un reactor de tratamiento de alta selectividad (30), diseñado para tratar eficazmente la corriente divergente. El reactor de tratamiento de alta selectividad es, preferentemente, un reactor de flujo pistón (30), que recibe una corriente desviada (32) que transcurre paralela a la línea RAS (28) o como una corriente lateral desde la línea RAS (28).

Reducción de Lodos

A los efectos de la reducción de lodos, el flujo de volumen total a través del reactor de flujo pistón (30) se encuentra preferentemente dentro de un intervalo desde aproximadamente 1 vez el caudal volumétrico equivalente de los lodos activados por residuos (WAS) hasta aproximadamente 40 veces el caudal volumétrico equivalente de los lodos activados por residuos (WAS). Este intervalo de entre aproximadamente 1 y 40 veces el caudal volumétrico equivalente de los lodos activados por residuos (WAS) establece, en parte, la relación óptima de gas a líquido en el interior del reactor de flujo pistón (30). Preferentemente, la relación de gas a líquido debería ser menor o igual a 1,0. El caudal volumétrico de lodos totales es ajustable y, preferentemente, se controla junto con el flujo de gas enriquecido en ozono y la concentración de ozono en el caudal de gas enriquecido en ozono dentro del reactor de flujo pistón, para alcanzar el nivel deseado de reducción de lodos o biosólidos mientras se minimiza la dosificación necesaria de ozono.

Como se ve en la Fig. 1, la corriente divergente de lodos (32) se hace pasar a través de una bomba (34) hacia un reactor de ozonización de lodos que se muestra como el reactor de flujo pistón (30). El reactor de flujo pistón (30) incluye un tubo de longitud suficiente (36) que, junto con la velocidad de flujo, garantiza un tiempo de residencia de los lodos en el reactor de flujo pistón (30), adecuado para asegurar la disolución efectiva del ozono y la reacción de éste con los biosólidos. Las realizaciones ilustradas incluyen también uno o múltiples sistemas de inyección de gas (40), a través de los cuales se introduce un gas enriquecido en ozono en el interior del reactor de flujo pistón (30). Los sistemas inyector de gas preferidos (40) comprenden una fuente de gas enriquecido en ozono y una o múltiples toberas o dispositivos de tipo venturi (42) para inyectar el gas enriquecido en ozono en los lodos. Preferentemente, la fuente de gas enriquecido en ozono es un generador de ozono (44), acoplado con una fuente o suministro de oxígeno gaseoso (no se muestra). De forma alternativa, la corriente de gas enriquecido en ozono (46) se puede suministrar a partir de sistemas especializados de almacenamiento de ozono *in situ*. Preferentemente, la concentración deseada de ozono es

mayor que o igual a 6%. Son preferibles concentraciones más elevadas de ozono, puesto que esas concentraciones más altas ayudan a garantizar que la relación de gas a líquido en la zona de contacto con los lodos se conserva dentro de un intervalo opcional.

5 En la realización ilustrada, el gas enriquecido en ozono se suministra, preferentemente, a presiones nominales y, típicamente, a presiones menores que las presiones operativas en las zonas del reactor de flujo pistón (30) próximas a los dispositivos de inyección (42). De este modo, el gas enriquecido en ozono se hace pasar a través de los dispositivos de inyección (42) por un vacío generado por el descenso de presión a través de los citados dispositivos de inyección (42). Sin embargo, el experto en la técnica podrá apreciar realizaciones en las que el gas enriquecido en ozono se
10 suministra a presiones mayores que la presión en el interior del reactor de flujo pistón (30) u otros entornos de contacto entre el gas y el líquido.

El sistema inyector de gas (40) incluye también un medio o mecanismo apropiado de control (no se muestra) que permite el control operativo de la velocidad de inyección, regulación y volumen del gas enriquecido en ozono. El
15 control de la velocidad de inyección del gas, la regulación de la inyección y el volumen de gas enriquecido en ozono están orientados a ofrecer un contacto eficaz de gas-líquido y fomentar la disolución óptima del ozono en la corriente de líquido que fluye a través del reactor de flujo pistón (30). De manera más particular, el control del sistema de inyección de gas se ajusta para que, preferentemente, se encuentre dentro del intervalo prescrito de la relación de flujo de gas a flujo de líquido, en donde el flujo de gas se establece a partir de la velocidad de flujo, regulación y volumen
20 de gas a través de los dispositivos inyectores (42), y el flujo de líquido representa el flujo de lodos a través del reactor de flujo pistón (30). El intervalo preferido de las relaciones de gas a líquido es menor o igual a aproximadamente 1,0. Esta relación de gas a líquido garantiza que no haya un exceso de gas en la mezcla de fluidos. Se minimizan así la retro-mezcla y la agitación. Más importante aún, la relación anteriormente descrita de gas a líquido, junto con otras características relacionadas con el flujo, actúa minimizando el exceso de retro-mezcla y agitación, así como evitando
25 la estratificación de los correspondientes flujos.

Después de atravesar el reactor de flujo pistón (30), los lodos ozonizados retornan a la línea RAS de la planta (28) a través de una línea de retorno (50). De manera alternativa, los lodos ozonizados o la corriente de líquidos que abandona el reactor de flujo pistón (30) se pueden hacer regresar al recipiente de lodos activados (20) en una línea
30 separada del resto del flujo de RAS, o se puede hacer volver a una porción diferente de la planta de tratamiento de aguas residuales. Por lo general, si el flujo RAS principal se envía a un recipiente anóxico o anaeróbico, puede ser preferible, entonces, que los lodos ozonizados (que ahora están también altamente oxigenados) sean conducidos a un recipiente óxido o aeróbico. De lo contrario, el contenido en oxígeno de los lodos ozonizados podría interferir en las condiciones necesarias para las etapas anóxicas o anaeróbicas.

35 Al final de la línea RAS (28) o de la línea de retorno (50) está dispuesto de forma opcional un mecanismo eyector, un educador o una tobera de salida (no se muestra), que está adaptado para devolver los lodos ozonizados a la superficie o a una profundidad suficiente en el recipiente de lodos activados (20) y para garantizar un correcto mezclado de los lodos ozonizados con el líquido a granel en el recipiente de lodos activados (20). El mecanismo eyector o el dispositivo de tobera de salida (no se muestra) sirve también para estimular la recuperación de oxígeno en el procedimiento descrito anteriormente.

Los principios operativos detrás del sistema descrito de tratamiento por ozonización de lodos comprenden el contacto de los biosólidos y del ozono disuelto en un reactor de flujo pistón, en donde tienen lugar el contacto y la
45 reacción primarios del oxidante (ozono disuelto) y los biosólidos. El presente procedimiento requiere que se produzca el contacto efectivo entre gas y líquido entre la corriente líquida de lodos o el licor mezclado, y un gas enriquecido en ozono, para estimular la disolución eficaz de ozono en la corriente de líquido. El contacto efectivo de gas y líquido se consigue con reactores de flujo pistón adecuadamente diseñados y con técnicas de inyección de gas enriquecido en ozono.

50 En la reacción entre el gas enriquecido en ozono y los biosólidos en el reactor de flujo pistón, las paredes celulares de las células bacterianas se destruyen o debilitan como resultado de la oxidación química de las paredes celulares de las bacterias, inducida por el ozono. Esta destrucción de las paredes celulares bacterianas se conoce como lisis y da lugar a la liberación del contenido celular de las células bacterianas. Por lo general, el contenido celular es una
55 matriz líquida formada 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 lo contrario, se habrían acumulado y descartado en el procedimiento del tratamiento de sólidos, se transforman en componentes de sustrato (DQO) y, subsiguientemente, son consumidos por las bacterias en el recipiente de tratamiento de lodos activados.

60 Para alcanzar una alta selectividad de la reacción de lisis se utiliza un reactor de flujo pistón, proporcionando un intervalo estrecho de tiempo de contacto entre el exceso de células bacterianas o biosólidos y el ozono disuelto, de manera que el ozono se usa exclusiva o predominantemente para procesos de oxidación que dan lugar a la lisis de células bacterianas ("reacción primaria"). De modo ideal, la dosificación de ozono y el tiempo de contacto entre líquido y gas se encuentran limitados, de manera que no se produzca una oxidación adicional del contenido celular ("reacción secundaria"). Se logra, de este modo, el uso más eficiente del ozono, que da lugar a una reducción máxima de lodos
65 con la dosificación mínima de ozono. El tiempo de contacto preferido se encuentra en el intervalo de aproximadamente 10 a 60 segundos.

La dosificación de ozono suministrada a los lodos se puede controlar, igualmente, mediante ajustes de la concentración de ozono en el flujo de gas, o ajustes de la velocidad de flujo del gas enriquecido en ozono que se inyecta en los lodos, o ambos procedimientos simultáneamente. El control de dosificación de ozono tiene como objetivo lograr la actividad de lisis celular deseada con un empleo mínimo de ozono.

Con respecto a la Fig. 2, se ilustra un gráfico que muestra el rendimiento operativo de un procedimiento de lodos activados con ozonización de los lodos en el reactor de flujo pistón, de acuerdo con las realizaciones descritas, en comparación con un procedimiento de reducción de lodos según la técnica anterior, que comprende un procedimiento de tratamiento de lodos activados con ozonización que se aplica en un modo de reacción agitada continua a una porción del RAS que, a continuación, se devuelve directamente al recipiente de lodos activados. En ambos ejemplos se utiliza la misma velocidad de flujo de ozono. Tal como se ve, el perfil menos inclinado de la curva (60) asociada con el presente procedimiento de ozonización indica que el proceso de lisis tiene lugar a mayor velocidad, junto con una mayor reducción o eliminación de sólidos por unidad de ozono aplicado. Tal como representa la curva (60), dentro de los primeros 40 minutos se eliminan aproximadamente 1600 mg/l de sólidos con el empleo del presente procedimiento de ozonización, en comparación con una eliminación de aproximadamente 400 mg/l alcanzada con el uso del procedimiento convencional de ozonización, como se muestra en la curva (62), aplicando la misma dosificación de ozono en ambos casos.

La Tabla 1 muestra otra comparación de la producción de biosólidos en una instalación de tratamiento de aguas residuales, utilizando el procedimiento de ozonización descrito anteriormente, con la producción de biosólidos en la misma instalación de tratamiento de aguas residuales, pero sin utilizar el presente procedimiento de ozonización de lodos y los procedimientos asociados.

Así mismo, la Tabla 2 muestra una comparación del rendimiento de reducción de lodos del sistema y procedimiento de ozonización de lodos descrito en este documento, con otros diversos ejemplos de ozonización de lodos. Como se ve, el Factor de Eliminación (es decir, kg de Lodos Totales eliminados por kg de Ozono utilizado) del sistema de ozonización de lodos descrito en esta memoria es muy superior al Factor de Eliminación aparente de sistemas descritos en la bibliografía de la técnica anterior.

TABLA 1
Reducción de Biosólidos

	Sin Sistema de Ozonización	Con Sistema de Ozonización
DQO eliminada (por día)	10.000 kg	10.000 kg
Ozono consumido (por día)	0 kg	70 kg
Velocidad de producción de Biosólidos (SS)	35 kg SS/kg DQO	21 kg SS/kg DQO
Biosólidos (SS) producidos	3.500 kg	2.100 kg
Dosificación de Ozono (kg de ozono/kg SS reducidos)	0	0,5
% de Biosólidos reducidos	0%	40%
Relación – kg Biosólidos Reducidos/kg Ozono	0	20

TABLA 2

Comparaciones de Sistemas de Reducción de Lodos

Referencia bibliográfica	Dosificación de Ozono (kg ozono/kg lodos tratados)	Consumo de ozono (kg ozono por kg de lodos reducidos)	Factor de Eliminación (kg de lodos reducidos por kg de ozono)
Yasui et al. (1996) <i>Wat. Sci. Tech.</i> (3-4) pág. 395-404	0,05	0,165	6,06
Sakai et al. (1997) <i>Wat. Sci. Tech.</i> 36-(11) pág. 163-170	NR	0,133	7,52
Sakai et al. (1997) <i>Wat. Sci. Tech.</i> 36-(11) pág. 163-170	NR	0,148	6,76
Sakai et al. (1997) <i>Wat. Sci. Tech.</i> 36-(11) pág. 163-170	0,034	0,178	5,62
Kobayashi et al. (2001) <i>Proceedings of the 15th Ozone World Conference, Londres</i>	NR	0,250	4,00
Sievers et al. (2003) <i>Proc. of the 3rd Conf for Water and Wastewater Treatment, Goslar</i>	0,05	0,395	2,53
Presente Sistema de Ozonización de Lodos	0,03-0,01	0,050	20,00

Las Figs. 3-9 ilustran realizaciones alternativas del presente procedimiento de tratamiento de lodos. En particular, la Fig. 3 ilustra una realización del procedimiento de tratamiento de lodos en la que el gas enriquecido en ozono se inyecta o se introduce de alguna otra forma en múltiples localizaciones en o próximas al reactor de flujo pistón (30). La inyección de puntos múltiples puede ser beneficiosa para controlar o detectar de manera más precisa el contacto de gas-líquido que debe tener lugar en el reactor de flujo pistón (30).

La Fig. 4 ilustra también otra realización de los presentes sistema y procedimiento de tratamiento de aguas residuales, en la que el conducto de retorno (50) desde el reactor de alta selectividad (30) no determina en retorno directamente al reactor de tanque de agitación continua o al recipiente de lodos activados (20), sino a otro procedimiento, corriente abajo del reactor de flujo pistón (30) tal como un digestor, una unidad de estabilización de lodos, o un recipiente de tratamiento secundario (70). En esta realización, es factible inyectar agentes químicos diferentes del ozono tales como cloro, biocidas, polímeros, agentes de control de olores o, incluso, otras mezclas gaseosas adecuadas para llevar a cabo el procedimiento de tratamiento deseado en el reactor de tratamiento de alta selectividad.

La Fig. 5 ilustra una realización de los presentes sistema y procedimiento de tratamiento de lodos en la que el reactor de 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 en las proximidades de la bomba (34).

La Fig. 6 ilustra todavía otra realización del sistema de ozonización de lodos (12), en la que los lodos que van a ser tratados en el reactor de flujo pistón (30) se someten a un pretratamiento a través de un espesante de lodos u otro dispositivo para la concentración de sólidos (80). Alternativamente, los lodos que van a ser desviados al reactor de flujo pistón (30) se pueden diluir con agua (no se muestra) para dar una corriente líquida que entra en el reactor de flujo pistón (30) con una menor concentración de sólidos.

Todavía otra técnica de pre-procesamiento o pretratamiento que se puede emplear con las realizaciones descritas según la invención comprende hacer pasar los lodos a través de un digestor u otro medio para la estabilización de lodos o tratamiento de sólidos antes de su desvío al reactor de flujo pistón. Técnicas adicionales de pretratamiento de lodos compatibles con los presentes sistema y procedimiento de ozonización de lodos incluirían la adición de agentes solubilizadores a los lodos, aplicación de ondas ultrasónicas, homogeneización, y otros medios de mezcla o agitación.

Así mismo, se podrían utilizar agentes químicos que faciliten la lisis de las células bacterianas o potencien la capacidad de digestión de los lodos.

La Fig. 7 ilustra una realización del presente sistema y método de ozonización de lodos (12), en la que el contacto inicial de gas-líquido entre el gas enriquecido en ozono y la corriente de líquido tiene lugar corriente arriba del reactor de flujo pistón (30) y/o en la línea RAS (28). En la realización ilustrada, se dispone un dispositivo de contacto (82) de gas-lodos tales como rociadores, difusores, dispositivos de venturi o toberas mezcladoras de alta velocidad, corriente arriba del reactor de flujo pistón (30). El dispositivo de contacto gas-lodos (82) descarga la mezcla en el reactor de flujo pistón (30), en donde se llevan a cabo la lisis de células bacterianas y otras reacciones.

En las realizaciones de los presentes sistema y procedimiento de ozonización de lodos en las que el contacto inicial de gas-líquido se produce en la línea RAS (28) o corriente arriba del reactor de flujo pistón (30), el gas enriquecido en ozono se puede suministrar al espacio superior, situado por encima de la corriente de líquido, o se puede suministrar bajo presión a una zona predeterminada y con una orientación preestablecida en relación con la corriente de líquido (por ejemplo, la región de propulsión de un dispositivo de contacto, agitado mecánicamente, para el gas-lodos o dispositivos inyectores tales como toberas, rociadores y difusores, que están orientados en un ángulo y distancia predeterminados con respecto a la superficie del líquido).

La Fig. 8 muestra otra realización alternativa, en la que la corriente de líquido tratada no es un sub-flujo de clarificador ni está desviada del RAS, sino más bien es un flujo de "licores mixtos" extraído a través del conducto 39 desde el recipiente aireado 29. También en esta realización es factible inyectar agentes químicos diferentes del ozono tales como cloro, agentes para ajustar el pH, biocidas, agentes de control de olores o, incluso, otras mezclas de gases tales como dióxido de carbono, nitrógeno, oxígeno, ozono y mezclas de los mismos, apropiadas para llevar a cabo el procedimiento de tratamiento a la corriente de lodos en el reactor de tratamiento de alta selectividad.

Para sistemas de tratamiento de lodos activados que utilizan una configuración de biorreactor de membrana, la disposición alternativa sería, probablemente, similar a la ilustrada en la Fig. 8, pero no implicaría el uso de un clarificador y, en su lugar, se utilizaría una unidad de membrana polímera o cerámica (no se muestra) en el interior del recipiente de aireación. La corriente de líquido desviada sería un licor mixto que se dirige al reactor de flujo pistón u otro reactor de tratamiento de alta selectividad.

La Fig. 9 muestra todavía otra realización alternativa, en la que la corriente de líquido tratada no se desvía del RAS (28) principal, sino más bien es una corriente paralela independiente, que se denomina RAS alternativo (32). Esta realización es útil en plantas de tratamiento de aguas residuales que alimentan el RAS principal (28) desde el clarificador (22) hacia un recipiente anóxico (19), en lugar de directamente al recipiente de lodos activados (20). Dada la creciente demanda para que las plantas de tratamiento de aguas residuales satisfagan ciertos requisitos de denitrificación, la corriente del RAS principal (28) se desvía a menudo hacia o a través de un recipiente anóxico (19). En algunas operaciones, el recipiente anóxico (19) es sencillamente una sección exenta de oxígeno en o cerca del recipiente principal de aireación (20). En otras operaciones de plantas de aguas residuales, el recipiente anóxico (19) es un tanque o recipiente separado del recipiente principal de lodos activados (20). En cualquiera de las dos situaciones, los presentes sistema y procedimiento de ozonización de lodos frustrarían el objetivo de la denitrificación en un recipiente anóxico. Por lo tanto, se incorpora una línea RAS separada (32), designada como línea RAS alternativa, al reactor de flujo pistón (30) y al sistema de inyección de ozono (40), y se acopla directamente con la porción aireada del recipiente de lodos activados (20). El flujo en la línea RAS principal (28), por lo general, es mayor que en la línea RAS alternativa (32). Las descripciones y conexiones de los restantes componentes del sistema de tratamiento (12), incluidos artículos tales como el clarificador (22), la línea WAS (26), los inyectores de ozono (42), el generador de ozono (44), la bomba (34), línea de flujo de entrada (14) y línea de flujo de salida (24), son similares a los descritos en referencia a las realizaciones anteriormente mencionadas y no se repetirán en este punto.

La ozonización eficiente y coste-eficaz de los lodos en las realizaciones descritas anteriormente requiere la presencia de tres condiciones del procedimiento: (i) uso del ozono, predominantemente para la lisis o desintegración de las células, es decir, alcanzar una alta selectividad para la reacción de lisis; (ii) exposición limitada de las células total o parcialmente lisadas al ozono adicional en el interior del reactor, ya que podría dar lugar a la liberación completa del contenido celular en el reactor y la consecuente y costosa oxidación química de los sustratos liberados por el ozono adicional, en lugar de la opción, mucho más económica, de la bio-oxidación de los sustratos liberados por las células bacterianas en el recipiente de lodos activados; y (iii) alcanzar un intervalo muy estrecho de distribuciones del tiempo de residencia para las células bacterianas dentro del reactor.

Todas estas condiciones procedimentales deseables se pueden lograr en el interior del reactor o dispositivo de contacto mediante el uso del método de la reacción de flujo pistón. El método de reacción de flujo pistón se obtiene estableciendo que el flujo de lodos-ozono tenga lugar con una retro-mezcla mínima, y que el contacto se produzca principalmente en el interior de una configuración fundamentalmente tubular. De manera específica, las realizaciones ilustradas presentan un tiempo de residencia prescrito o controlado, y la reacción de lisis se alcanza con una alta selectividad. En las realizaciones anteriormente descritas, se emplea una reacción de flujo pistón para lograr una alta selectividad de las reacciones de lisis, al proporcionar un intervalo estrecho de tiempo de contacto entre las células y el ozono disuelto (es decir, distribución estrecha del tiempo de residencia), de manera que el ozono se utiliza únicamente para reacciones que conducen a la lisis celular ("reacciones primarias"), y de modo que la ozonización no prosiga hasta el punto de oxidar el contenido celular ("reacciones secundarias"), ni oxidar los productos de las reacciones

secundarias (“reacciones terciarias”). De esta forma, se logra un uso más eficiente del ozono, que conduce a una reducción máxima de los lodos con una dosificación mínima de ozono.

Como se ha descrito en relación con las realizaciones ilustradas, se emplean uno o múltiples puntos de inyección para igualar la velocidad del ozono suministrado para disolución con la velocidad de reacción de los biosólidos con el ozono disuelto a lo largo de la longitud establecida del reactor de flujo pistón. De este modo, se evita un suministro excesivo o deficitario de ozono y se estimula un uso eficiente del ozono para la lisis celular, mientras se elude su uso para la oxidación del contenido celular.

Como se ha indicado anteriormente, es posible la aplicación de agentes químicos o gases diferentes de ozono en el reactor de alta selectividad, ya sea directamente al RAS o a una corriente secundaria de lodos activados. Otros agentes químicos tales como cloro, agentes de ajuste del pH, biocidas, agentes de control de olores o, incluso, otras mezclas de gases tales como dióxido de carbono, nitrógeno, oxígeno, ozono y sus mezclas pueden resultar apropiados para llevar a cabo el procedimiento de tratamiento deseado del flujo de lodos en el reactor de tratamiento de alta selectividad.

Control de Espumación y Aglutinación

Tal como se ha indicado anteriormente, los problemas de espumación y aglutinación en las operaciones de tratamiento de aguas residuales están causados, por lo general, por la presencia de abundantes bacterias filamentosas tales como *Nocardia* y *Parvicella* en las aguas residuales. El presente procedimiento de ozonización de lodos en un reactor de alta selectividad se puede confeccionar para reducir las poblaciones de bacterias filamentosas que, a su vez, conducen a una reducción o eliminación de la espuma en el recipiente de lodos activados y a una reducción de la aglutinación.

Como se muestra en la Fig. 10, la presencia de bacterias filamentosas, concretamente las cepas bacterianas *Nocardia* y *Parvicella*, se controló durante varias semanas antes del tratamiento de ozonización descrito más arriba. Al cabo de varias semanas, se había producido una eliminación sustancial de las bacterias *Nocardia*, mientras que las bacterias *Microthrix parvicella* se habían reducido de forma significativa. Las grandes áreas de superficie de las bacterias filamentosas se traducen en una elevada vulnerabilidad frente a la reacción con ozono, con escaso o nulo impacto sobre otros organismos de la biomasa tales como ciliados, heterótrofos, etc. Esta reducción de *Nocardia*, *Parvicella* y otras bacterias filamentosas, y la correspondiente reducción de espumación y aglutinación, fueron claramente visibles en las primeras semanas de tratamiento de ozonización en el reactor de alta selectividad.

Con el fin de regular la espumación y la aglutinación, la introducción de ozono en una corriente desviada dentro del reactor de alta selectividad es, preferentemente, un procedimiento estrechamente controlado. En particular, el ozono utilizado durante dicho procedimiento de ozonización se mantiene, preferentemente, dentro del intervalo de aproximadamente 0,04 hasta aproximadamente 5,0 g de ozono por día y kg de lodos en el recipiente de lodos activados y, más preferentemente, dentro del intervalo de aproximadamente 0,1 hasta 1,5 g de ozono por día y kg de lodos en el recipiente de lodos activados. Mediante el uso de estas dosificaciones optimizadas y reducidas de ozono, el presente método garantiza que la reacción del ozono en el interior del reactor de alta selectividad se concentra en los organismos filamentosos, con un impacto mínimo sobre otras poblaciones microbianas. Dosificaciones excesivas de ozono afectarán a los organismos no filamentosos además de a los filamentosos. Por el contrario, cuando el propósito de la ozonización es maximizar la reducción de lodos, la dosificación de ozono se encuentra, preferentemente, dentro del intervalo de aproximadamente 0,04 g hasta aproximadamente 20,0 g de ozono por día y kg de lodos en el recipiente o reactor de tratamiento de las aguas residuales y, más preferentemente, dentro del intervalo de aproximadamente 1,0 g hasta 10,0 g de ozono por día y kg de lodos, con el fin de asegurar la ozonización de los organismos tanto filamentosos como no filamentosos y, de forma todavía más preferible, dentro del intervalo de aproximadamente 2,0 g hasta aproximadamente 6,0 g de ozono por día y kg de lodos.

Los presentes sistema y método de ozonización sirven también para disolver cualquier gas oxígeno que acompañe al ozono en los lodos que se devuelven al recipiente de tratamiento de lodos activados. Como se ha indicado anteriormente, los organismos filamentosos tienden a proliferar en aguas residuales con niveles bajos de oxígeno disuelto, dado que estos organismos con grandes áreas de superficie muestran, con respecto a otras células bacterianas, la ventaja inherente de captar el limitado oxígeno presente en las aguas residuales. De esta forma, además del control de bacterias filamentosas a través del procedimiento de lisis celular, el presente sistema de ozonización facilita la mejoría de las condiciones óxicas globales en los lodos, que minimizan la proliferación de organismos filamentosos frente a otras bacterias, debido a los bajos niveles de oxígeno disuelto en los lodos.

Con el uso de las realizaciones del presente procedimiento de tratamiento de lodos descritas en este documento, resulta deseable controlar parámetros seleccionados, ya sea a través del diseño del sistema o del funcionamiento del mismo. Preferentemente, la velocidad de ozono suministrado para su disolución está correlacionada con la velocidad de reacción de los biosólidos o los organismos filamentosos con el ozono en el reactor de flujo pistón. Esta correlación del suministro de ozono con la velocidad de reacción de los biosólidos o de organismos filamentosos dentro del reactor de flujo pistón evita un exceso o déficit de suministro de ozono y, de este modo, potencia el uso eficiente de ozono para la lisis celular, mientras se impide el uso del gas ozono para reacciones secundarias.

ES 2 332 613 T3

El reactor de flujo pistón con inyección de ozono ha sido diseñado y funciona de manera que un solo pase de los lodos a través del reactor de flujo pistón logra: (i) una lisis prácticamente completa y sustancialmente uniforme de las células bacterianas en exceso, o (ii) células bacterianas filamentosas, o (iii) una combinación de las mismas. Preferentemente, con la variación del volumen de lodos que se desvía y se procesa a través del reactor de flujo pistón, y con el estrecho control de la distribución del tiempo de residencia o la variación de la dosificación de ozono, resulta posible controlar la cantidad de lodos, así como la cantidad de espuma que se reduce. De manera alternativa, el reactor de alta selectividad se puede diseñar y hacer funcionar de forma que sean precisos varios pases a través del reactor para alcanzar la eliminación deseada de lodos y/o espuma.

Los valores típicos de la relación de Alimentos a Microorganismos (F/M, en sus siglas en inglés), es decir, la relación de los gramos de material de sustrato que entran en el recipiente de lodos activados a diario, comparada con la cantidad en gramos de células bacterianas en el recipiente de lodos activados, se encuentran dentro de un intervalo de aproximadamente 0,04 a 2,0 gramos de material de sustrato por día/gramos de células bacterianas, dependiendo del tipo de procedimiento de lodos activados que se utilice. De manera similar, el rendimiento de células bacterianas recién sintetizadas tras el consumo bacteriano de material de sustrato es de aproximadamente 0,2 a 0,6 kg de biosólidos por kg de material de sustrato consumido. De este modo, con el uso del presente procedimiento de ozonización y, por consiguiente, reducción de lodos, sería posible establecer o determinar empíricamente la cantidad de lodos que se debe desviar al reactor de flujo pistón, el tiempo de residencia y la cantidad de ozono que se debe inyectar en el reactor, necesarios para reducir entre aproximadamente 0,2 y 0,6 veces la masa promedio de lodos (en kg) de nuevo material de sustrato introducido en el recipiente de lodos activados al día. Desde un punto de vista económico, se puede calcular el ahorro de costes de la eliminación del tratamiento de sólidos asociado con el volumen de biosólidos frente a los costes del ozono consumido en el procedimiento.

Los métodos y sistemas anteriormente identificados para el tratamiento de lodos usando ozono se pueden emplear solos o en combinación con otras técnicas de reducción de lodos. Adicionalmente, cada una de las etapas específicas que intervienen en el procedimiento preferido, descrito en esta memoria, y cada uno de los componentes de los sistemas preferidos se modifican o adaptan fácilmente para satisfacer el diseño particular y los requisitos de funcionamiento del sistema de tratamiento de lodos activados en el que se utiliza, así como al entorno previsto de funcionamiento para determinados procedimientos de tratamiento de lodos activados.

Por ejemplo, el gas fuente utilizado junto con el sistema generador de ozono podría comprender aire, aire enriquecido con oxígeno, gas oxígeno puro, o gas oxígeno prácticamente puro. Sin embargo, puesto que el núcleo del procedimiento de tratamiento de lodos tiene también un requisito básico de oxígeno, se prefiere el uso de gas oxígeno prácticamente puro o puro como gas fuente. Además, el uso de gas fuente de oxígeno prácticamente puro o puro y la inyección de gas enriquecido en ozono en o en las proximidades del reactor de flujo pistón se podría controlar de manera que la totalidad o una fracción sustancial del requisito global de oxígeno para el tratamiento biológico en el procedimiento de lodos activados en el recipiente de lodos activados sea suministrada por el sistema de ozonización de lodos.

A partir de lo anteriormente expuesto, se debe considerar que la presente invención proporciona, por lo tanto, un método para el tratamiento de lodos que utiliza gas enriquecido en ozono, así como un método para el tratamiento de lodos que utiliza gas enriquecido en ozono, así como, también, un método para el control de la espumación o aglutinación en las operaciones de tratamiento de aguas residuales. Mientras que la invención divulgada en este documento ha sido descrita por medio de realizaciones y procedimientos específicos asociados con la misma, los expertos en la técnica pueden llevar a cabo múltiples modificaciones y variaciones, sin apartarse del alcance de la invención, tal como se expone en las reivindicaciones, ni sacrificar ninguna de sus ventajas materiales.

REIVINDICACIONES

1. Un método para tratar aguas residuales en una planta de tratamiento de aguas residuales, que comprende las etapas de:

recibir una corriente de entrada de aguas residuales en un recipiente o reactor de tratamiento de aguas residuales;

oxidar los biosólidos en el interior del recipiente o reactor de tratamiento de aguas residuales;

descargar una corriente del recipiente o reactor de tratamiento de aguas residuales;

desviar una porción de la corriente descargada del recipiente o reactor de tratamiento de aguas residuales a un reactor de tipo flujo pistón;

introducir ozono en el reactor de tipo flujo pistón, induciendo con el ozono la lisis de biosólidos o bacterias filamentosas en el interior del reactor de tipo flujo pistón; y

hacer retornar la corriente desviada al recipiente o reactor de tratamiento de aguas residuales;

en donde el ozono se introduce en la corriente desviada en un intervalo de 0,1 hasta 10,0 g de ozono por día y kg de lodos en el recipiente o reactor de tratamiento de aguas residuales, con el objetivo de reducir los lodos o reducir la espuma, y en donde el tiempo de contacto del ozono con la corriente desviada en el reactor de flujo pistón se encuentra dentro de un intervalo entre 10 y 60 segundos.

2. El método según la reivindicación 1, en el que el ozono se introduce en la corriente desviada en un intervalo de 1,0 a 10,0 g de ozono por día y kg de lodos en el recipiente o reactor de tratamiento de aguas residuales para inducir, con el ozono, la lisis de biosólidos en el reactor de tipo flujo pistón, con el fin de reducir los lodos.

3. El método según la reivindicación 1, en el que el ozono se introduce en la corriente desviada en un intervalo de 0,1 a 1,5 g de ozono por día y kg de lodos en el recipiente o reactor de tratamiento de aguas residuales, para inducir, con el ozono, la lisis de bacterias filamentosas en el interior del reactor de tipo flujo pistón, con el fin de reducir la espuma.

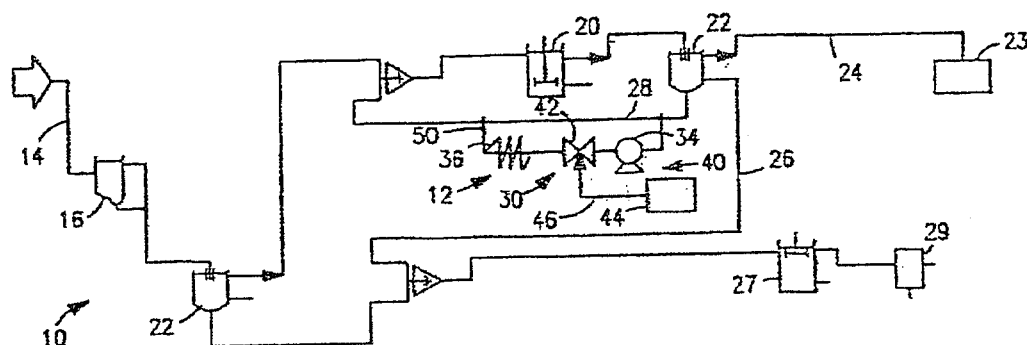


FIG. 1

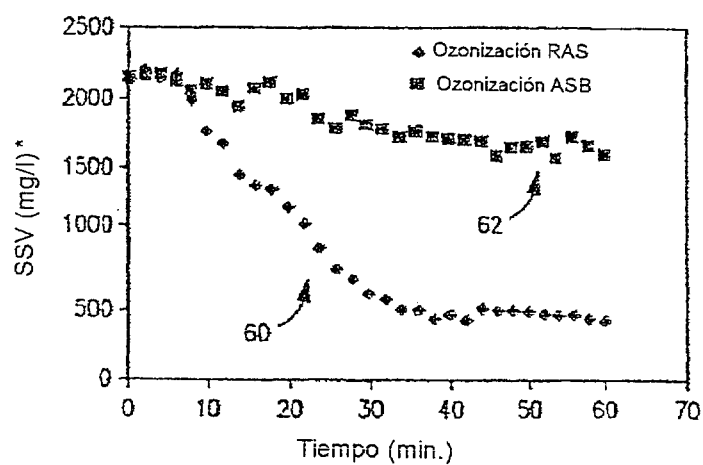


FIG. 2

*SSV = sólidos suspendidos volátiles

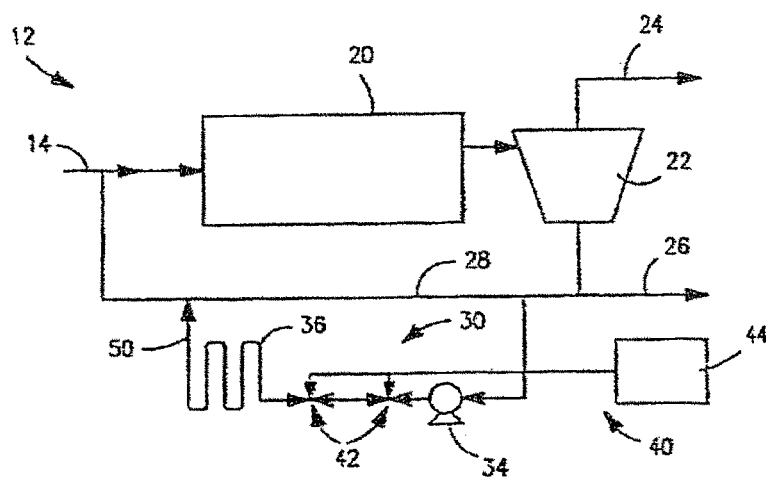


FIG. 3

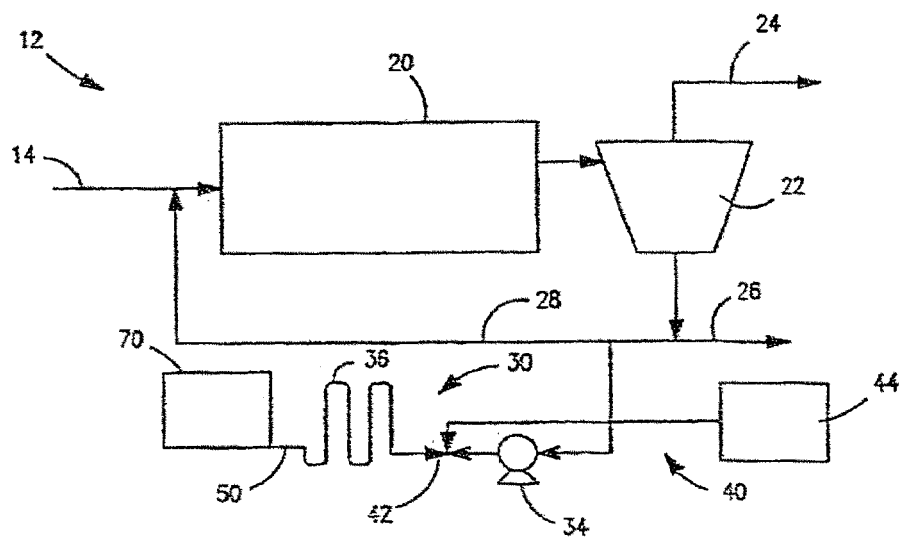


FIG. 4

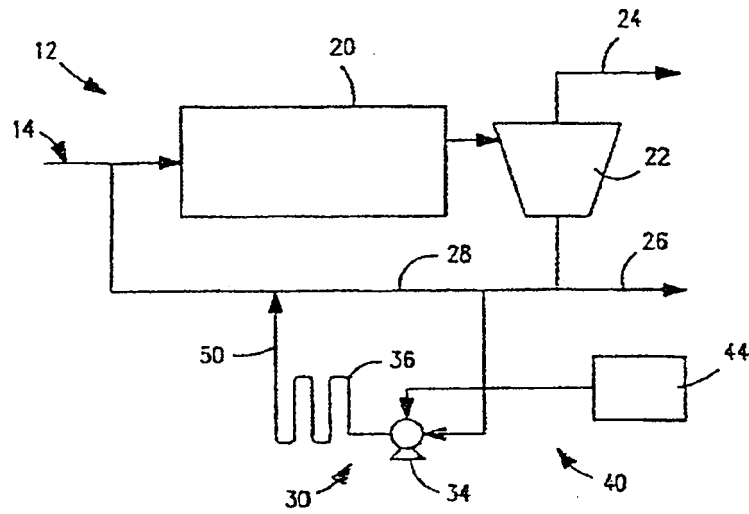


FIG. 5

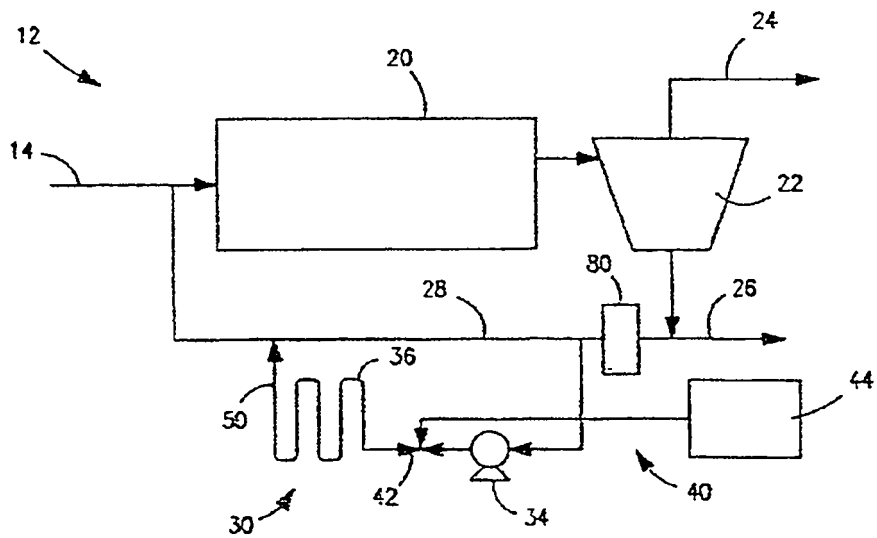


FIG. 6

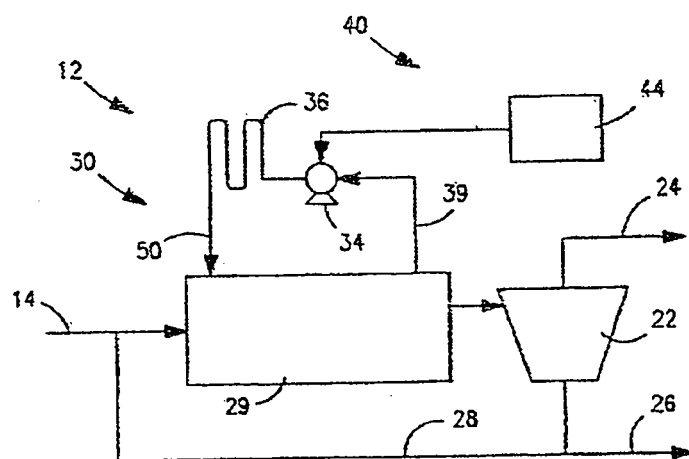


FIG. 8

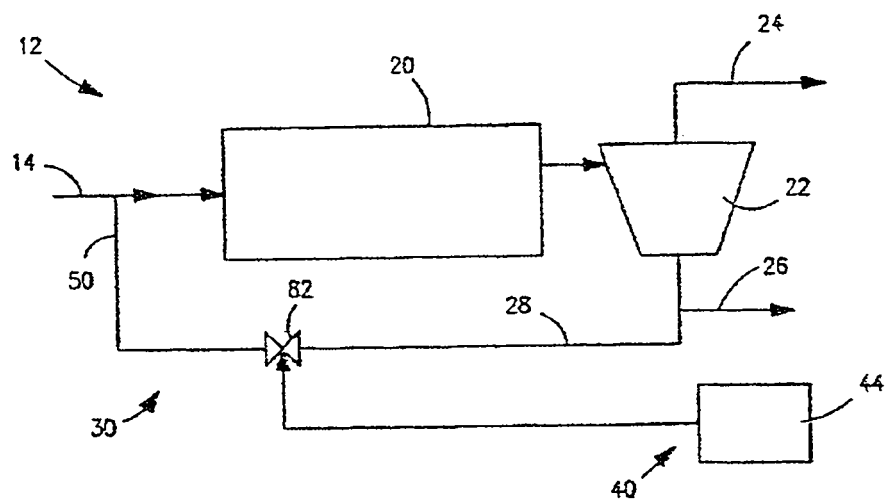


FIG. 7

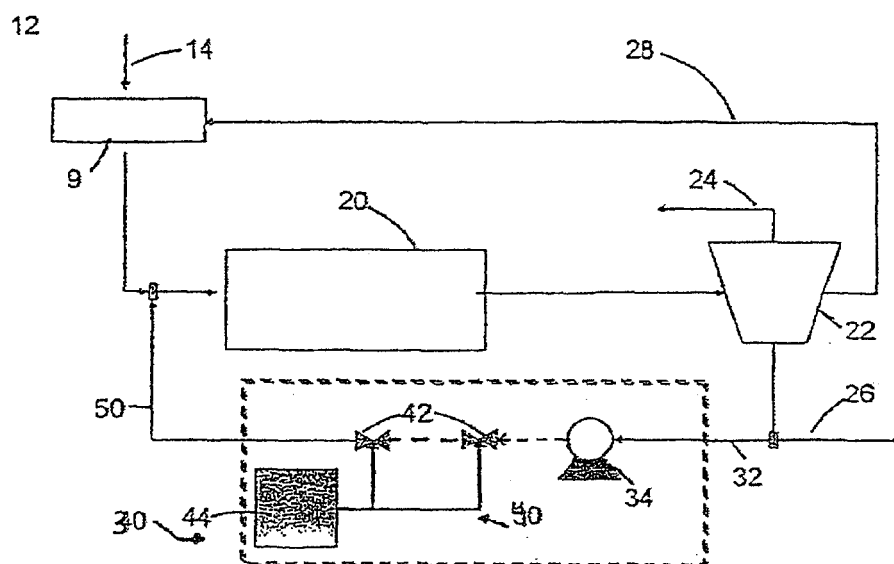


FIG. 9

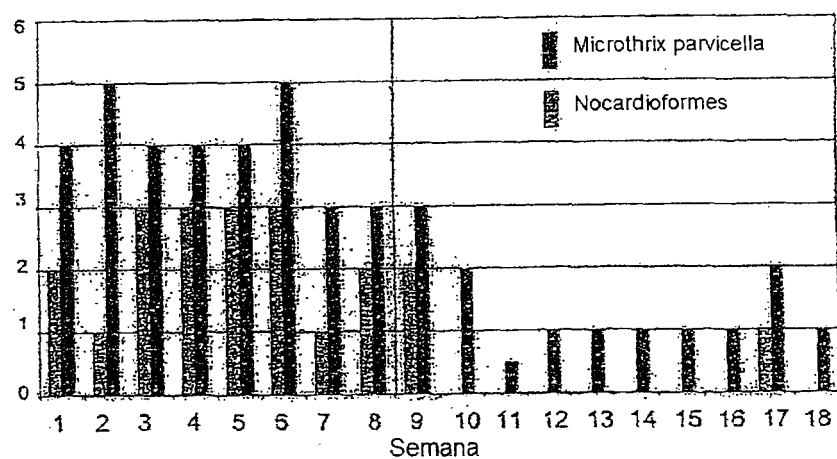


FIG. 10