SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
No. 12-003563- -00000-0000
Fecha: 2012-01-11 15:32:25 Dep. 2020 DIR.NUEVASCR
Tra. 11 PATENTEIYII Eve: 379 FASENACIONALII
Act. 411 PRESENTACION Folios: 329

Industria y Comercio

SUPERINTENDENCIA

DELEGATURA PROPIEDAD INDUSTRIAL

SOLICITUD

PATENTE DE INVENCIÓN
PCT

EXPEDIENTE No _____

TITULO SISTEMA DE REACTOR BIOLÓGICO DE MEMBRANA MEDIA SUSPENDIDA Y PROCESO QUE INCLUYE SISTEMA DE SUSPENSIÓN

CLASIFICACION INTERNACIONAL _____

SOLICITANTE 1. SAUDI ARABIAN OIL COMPANY
2. SIEMENS INDUSTRY INC.

DOMICILIO 1. Arabia Saudita
2. Estados Unidos de América

APODERADO JUANITA ACOSTA GOMEZ

BOGOTA D.C._____

PETITORIO

Industria y Comercio
SUPERINTENDENCIA

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
No. 12-003563- -00000-0000
Fecha: 2012-01-11 15:32:25 Dep. 2020 DIR.NUEVASCR
Tra. 11 PATENTEIYII Eve: 379 FASENACIONALII
Act. 411 PRESENTACION Folios: 329

FORMULARIO UNICO DE SOLICITUD DE PATENTE
PCT
ENTRADA EN FASE NACIONAL

① SOLICITUD DE:

[X] Patente de Invención [ ] Patente de Modelo de Utilidad

[ ] Capítulo I [X] Capítulo II

② SOLICITANTE

Nombre: **1. SAUDI ARABIAN OIL COMPANY**
2. SIEMENS INDUSTRY, INC

Dirección: 1. Box 5000 Dhahran, 31311 Arabia, Saudita
2. 3333 Old Milton Parkway Alpharetta, Georgia 30005 Estados Unidos de América.

Nacionalidad o Domicilio: 1. Arabia, Saudita
2.Estados Unidos de América

Lugar de Constitución: 1. Arabia, Saudita
2. Estados Unidos América

Teléfono: 3137800 Fax: 3122410

E-mail: general@cardenasycardenas.com

IDENTIFICACION

[ ] NIT [ ] NIT

[ ] Otro [X] Otro

Cuál

Número

③ REPRESENTANTE O APODERADO

Nombre: **JUANITA ACOSTA GOMEZ**

Dirección: Cra. 7 No. 71-52 Torre B Piso 9

Teléfono: 3137800 Fax: 3122410

E-Mail: general@cardenasycardenas.com

IDENTIFICACION

[X] CC [ ] NIT

[ ] Otro [ ] Otro

Cual

Número **52618636** TP 79.686
Usaquén C.S.J

④ INVENTOR(ES) (72)

Nombre: VER ANEXO

Dirección: VER ANEXO

Nacionalidad o Domicilio: VER ANEXO

⑤ PCT (86)

Solicitud Internacional No. PCT/US2010/038644 Fecha 15/JUN/2010

Publicación Internacional No. WO 2010/147964 A1 Fecha 23/DIC/2010

⑥ Título(54): **SISTEMA DE REACTOR BIOLOGICO DE MEMBRANA MEDIA SUSPENDIDA Y PROCESO QUE INCLUYE SISTEMA DE SUSPENSION**

⑦ Clasificación Internacional (51):

⑧ Prioridad

SI [X] NO [ ]

(33)País de Origen	(32)Fecha	(31)N° de Solicitud
US	15/JUN/2009	61/186,983
US	08/JUL/2009	61/224,000

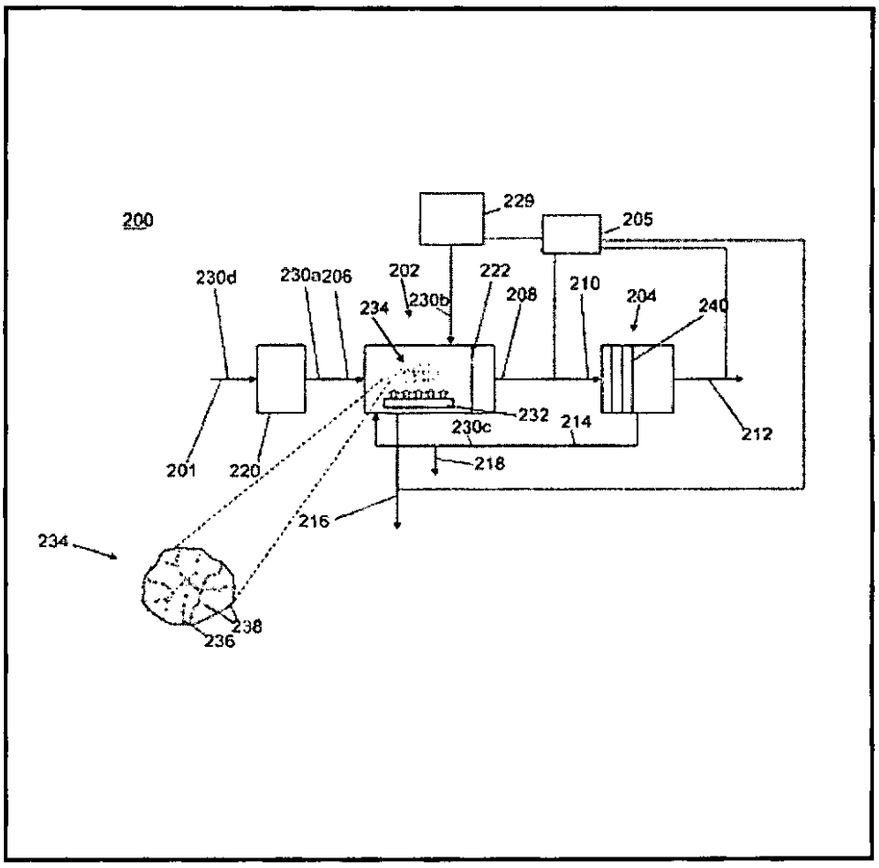
⑨ Comprobante de Pago No.: **12-001128** **Fecha** **Enero 04, 2012**

1

⑩ ANEXOS

- [x] Comprobante de pago de la tasa de presentación de la solicitud.
- [ ] Documento que acredita la existencia y representación legal cuando el solicitante sea persona jurídica.
- [ ] Poderes, si fuere el caso.
- [ ] Documento de cesión del inventor al solicitante o a su causante.
- [X] Traducción de la solicitud internacional al castellano (Resumen, descripción, reivindicaciones, dibujos)
- [X] Copia del examen preliminar internacional efectuado por la Autoridad Internacional de Examen Preliminar (IPEA)
- [ ] Traducción del examen preliminar internacional efectuado por la IPEA.
- [ ] De ser el caso, copia del contrato de acceso.
- [ ] De ser el caso, documento que acredite la licencia o autorización de uso de conocimientos tradicionales de las comunidades indígenas.
- [ ] De ser el caso, certificado de depósito del material biológico.
- [X] Arte final 12x12.
- [ ] De ser el caso, información sobre otras solicitudes de patente o títulos obtenidos en el extranjero por el mismo titular o su causante, relacionadas parcial o totalmente con la invención de esta solicitud.
- [X] De ser el caso, modificaciones efectuadas a la solicitud internacional.
- [x] Prioridades http://www.wipo.int/patentscope/search/en/detail.jsf;jsessionid=885AF1C4DAEAD0DCBA107FEC63AB0B07.wapp2?docId=WO2010147964&recNum=1&tab=PCTDocuments&maxRec=&office=&prevFilter=&sortOption=&queryString=
- [x] Recibo de pago de las reivindicaciones adicionales (10 Reivindicaciones) No. 12-001125

11 FIGURA CARACTERISTICA



12 Solicito la Concesión de la patente

NOMBRE: **JUANITA ACOSTA GOMEZ**

FIRMA:

C.C. 52618636 Usaquén TP. 79.686 C.S.J

2

④	Nombre:	1. WILLIAM G. CONNER 2. MOHAMMED,A AL-HAJRI 3. THOMAS, E. SCHULTZ 4. MICHAEL HOWDESHELL 5. CHAD, L. FELCH 6. MATTHEW PATTERSON 7. SAMUEL SHAFARIK 8. CURT COOLEY
INVENTOR(ES) (72)	Dirección:	1. P.O. Box 10260, Saudi Aramco, Dhahran, 31311 Arabia, Saudita 2. P.O. Box 1478, Saudi Aramco , Dhahran, 31311 Arabia, Saudita 3. W226 S4559 Weber Drive, Waukesha, WI 53189 Estados Unidos de América. 4. R12235 Happy Trails Lane, Ringle, WI 54474 Estados Unidos de América 5. 1862 Mike Lane, Mosinee, WI 54455 Estados Unidos de América 6. R20101 Hoot Owl Drive, Ringle, WI 54471 Estados Unidos de América 7. 2600 Bufflehead, Wausau, WI 54401 Estados Unidos de América 8. 5720 Hillcrest Drive, Wausau, WI 54401 Estados Unidos de América
	Nacionalidad o Domicilio:	1. Estadounidense 2. Saudí 3. Estadounidense 4. Estadounidense 5. Estadounidense 6. Estadounidense 7. Estadounidense 8. Estadounidense

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
NIT : 800.176.089-2
- / -

Industria y Comercio
SUPERINTENDENCIA

RECIBO DE CAJA

No. 12 - 001128

Bogotá D.C., Enero 04 de 2012 - 11:58:56

RECIBIDO DE : CARDENAS & CARDENAS ABOGADOS PI LTDA NI 830.083.491

*** Soporte del Pago ***

TIPO PAGO	BANCO	CUENTA	No. PAGO	FECHA PAGO	VR.PAGO
CONSIGNACION	BANCO DE BOGOTA	062754387	157718352	04/01/2012	10.992.200.00

*** Conceptos Pagados ***

CANT.	RENTISTICO	CONCEPTO	Vr.UNDITARIO	Vr.CONCEPTO
1	50005-01-01 SOLICITUDES	1 TRAMITES DE SOL. DE PATENTE DE INVENCION	590.000.00	590.000.00
				$590.000.00

SON: **QUINIENTOS NOVENTA MIL PESOS MONEDA CORRIEN

Responsable: _____

Recibo de Caja Aplicado al Expediente No. _____

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

No. 12-003563- -00000-0000

Fecha: 2012-01-11 15:32:25 Dep. 2020 DIR.NUEVASCR
Tra. 11 PATENTEIYII Eve: 379 FASENACIONALII
Act. 411 PRESENTACION Folios: 329

4

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
NIT : 800.176.089-2
- / -

Industria y Comercio
SUPERINTENDENCIA

RECIBO DE CAJA

No. 12 - 001125

Bogotá D.C., Enero 04 de 2012 - 11:58:56

RECIBIDO DE : CARDENAS & CARDENAS ABOGADOS PI LTDA NI 830.083.491

*** Soporte del Pago ***

TIPO PAGO	BANCO	CUENTA	No. PAGO	FECHA PAGO	VR.PAGO
CONSIGNACION	BANCO DE BOGOTA	062754387	157718352	04/01/2012	10.992.200.00

*** Conceptos Pagados ***

CANT.	RENTISTICO	CONCEPTO	Vr.UNDITARIO	Vr.CONCEPTO
1	50005-01-01 SOLICITUDES	1641 S.DISTINTIVO INSCRIPCION AFECTACION (CB.NOMBRE, DOMICIL	300.000.00	300.000.00
				$300.000.00

SON: **TRESCIENTOS MIL PESOS MONEDA CORRIENTE**

Responsable: _____
****

Recibo de Caja Aplicado al Expediente No. _____

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
No. 12-003563- -00000-0000
Fecha: 2012-01-11 15:32:25 Dep. 2020 DIR.NUEVASCR
Tra. 11 PATENTEIYII Eve: 379 FASENACIONALII
Act. 411 PRESENTACION Folios: 329

ABOGADOS

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
DIVISION DE NUEVAS CREACIONES
TARJETA ARCHIVO PROPIETARIOS

PATENTE DE INVENCION ____ PCT _X__ MODELO DE UTILIDAD ___ DISEÑO INDUSTRIAL ___

Industria y Comercio
SUPERINTENDENCIA

(21) N° de solicitud: (22) Fecha de solicitud:
(51) Clasificación Internacional :

(71)Solicitante(s) **1. SAUDI ARABIAN OIL COMPANY**
2. SIEMENS INDUSTRY, INC

(72) Inventor(es) WILLIAM G. CONNER, MOHAMMED,A AL-HAJRI, THOMAS, E. SCHULTZ, MICHAEL HOWDESHELL, CHAD, L. FELCH, MATTHEW PATTERSON, SAMUEL SHAFARIK, CURT COOLEY

(74) Apoderado: JUANITA ACOSTA GOMEZ

(30) Prioridad	(31) ***No. Prioridad***	32) ***Fecha***	(33) ***País***
	61/186,983	**15/06/2009**	**US**
	61/224,000	**08/07/2009**	**US**

(85) Fecha inicio fase nacional: 15/01/2012
(86) Datos relativos a la presentación de la solicitud PCT
Fecha de presentación de la solicitud: 15/06/2010
No. de solicitud PCT/US2010/038644

(54) Titulo **SISTEMA DE REACTOR BIOLOGICO DE MEMBRANA MEDIA SUSPENDIDA Y PROCESO QUE INCLUYE SISTEMA DE SUSPENSION**

6

Industria y Comercio
SUPERINTENDENCIA

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
DIVISION DE NUEVAS CREACIONES
TARJETA ARCHIVO TEMATICO

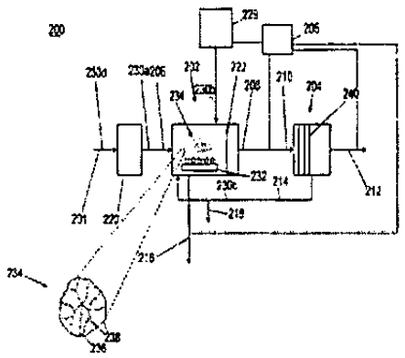
SUPERINTENDENCIA PATENTE DE INVENCION ___ PCT __X___ MODELO DE UTILIDAD ____ DISEÑO INDUSTRIAL

(21) N° de solicitud: (22) Fecha de solicitud:
(51) Clasificación Internacional :

(71)Solicitante(s) **1. SAUDI ARABIAN OIL COMPANY**
2. SIEMENS INDUSTRY, INC

(72) Inventor(es) WILLIAM G. CONNER, MOHAMMED,A AL-HAJRI, THOMAS, E. SCHULTZ, MICHAEL HOWDESHELL, CHAD, L. FELCH, MATTHEW PATTERSON, SAMUEL SHAFARIK, CURT COOLEY

(74) Apoderado: JUANITA ACOSTA GOMEZ



(30) Prioridad

(31) *No. Prioridad*	32) *Fecha*	(33) *País*
61/186,983	**15/06/2009**	**US**
61/224,000	**08/07/2009**	**US**

(85) Fecha límite inicio fase nacional: 15.01.2012
(86) Datos relativos a la presentación de la solic. PCT
Fecha de presentación de la solicitud: 15/06/2010
No. de solicitud PCT/US2010/038644

(87) Publicación internacional:
Fecha: ***23/12/2010***
No. Publicación WO 2010/147964 A1

(54) Titulo: **SISTEMA DE REACTOR BIOLOGICO DE MEMBRANA MEDIA SUSPENDIDA Y PROCESO QUE INCLUYE SISTEMA DE SUSPENSION**

(57) Resumen:
Se proporciona un sistema de tratamiento de agua residual que comprende un reactor biológico que tiene un subsistema de separación, un sistema de suspensión y un sistema de operación de membrana. El subsistema de separación se construye y configura para mantener el material adsorbente en el reactor biológico con un licor mezclado. El sistema de suspensión se coloca en el reactor biológico y se construye y configura para mantener el material adsorbente en suspensión con el licor mezclado. El sistema de operación de membrana se localiza corriente abajo del reactor biológico y se construye y configura para recibir el licor mezclado tratado del reactor biológico y descargar un permeado de membrana.

7

Industria y Comercio
SUPERINTENDENCIA

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
DIVISION DE NUEVAS CREACIONES
EXTRACTO PARA PUBLICACIÓN
SOLICITUD DE PATENTE DE INVENCIÓN PCT

(21) N° de solicitud:

22) Fecha de solicitud:

(30) Prioridad

(31) *No. Prioridad*	32) *Fecha*	(33) *País*
61/186,983	**15/06/2009**	**US**
61/224,000	**08/07/2009**	**US**

(51) Int Cl:

(71)Solicitante(s) **1. SAUDI ARABIAN OIL COMPANY**
2. SIEMENS INDUSTRY, INC

(72) Inventor(es) WILLIAM G. CONNER, MOHAMMED,A AL-HAJRI, THOMAS, E. SCHULTZ, MICHAEL HOWDESHELL, CHAD, L. FELCH, MATTHEW PATTERSON, SAMUEL SHAFARIK, CURT COOLEY

(74) Apoderado: **JUANITA ACOSTA GOMEZ**

(85) Fecha limite inicio fase nacional: *15.01.2012*

(86) Datos relativos a la presentación de la solicitud PCT
Fecha de presentación de la solicitud: *15/06/2010*
No. de solicitud **PCT/US2010/038644**

(87) Publicación internacional
Fecha: *23/12/2010*
N° publicación: **WO 2010/147964 A1**

(54) Titulo: **SISTEMA DE REACTOR BIOLOGICO DE MEMBRANA MEDIA SUSPENDIDA Y PROCESO QUE INCLUYE SISTEMA DE SUSPENSION**

Resumen:
Se proporciona un sistema de tratamiento de agua residual que comprende un reactor biológico que tiene un subsistema de separación, un sistema de suspensión y un sistema de operación de membrana. El subsistema de separación se construye y configura para mantener el material adsorbente en el reactor biológico con un licor mezclado. El sistema de suspensión se coloca en el reactor biológico y se construye y configura para mantener el material adsorbente en suspensión con el licor mezclado. El sistema de operación de membrana se localiza corriente abajo del reactor biológico y se construye y configura para recibir el licor mezclado tratado del reactor biológico y descargar un permeado de membrana.

SISTEMA DE REACTOR BIOLOGICO DE MEMBRANA MEDIA SUSPENDIDA Y PROCESO QUE INCLUYE SISTEMA DE SUSPENSION

SOLICITUDES RELACIONADAS

Esta solicitud reivindica el beneficio de la Solicitud de Patente Provisional de E.U.A. No. 61/224,000 presentada el 8 de julio de 2009, y la Solicitud de Patente Provisional de E.U.A. No. 61/186,983 presentada el 15 de junio de 2009, las descripciones de la cual se incorporan por ello para referencia en su totalidad.

CAMPO DE LA INVENCIÓN

Esta invención se refiere a sistemas y métodos de tratamiento de aguas residuales.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

El manejo efectivo de drenaje doméstico y aguas residuales industriales es un aspecto extremadamente importante de incrementar la calidad de vida y conservación del agua limpia. Los problemas asociados con descargar simplemente las aguas residuales en fuentes de agua tales como ríos, lagos y océanos, la práctica estándar hasta hace aproximadamente medio siglo, son evidentes los residuos biológicos y químicos que crean peligros a todas las formas de vida incluyendo la propagación de enfermedades infecciosas y exposición a químicos carcinogénicos. Por lo tanto, los procesos de tratamiento de aguas residuales han evolucionado en sistemas que varían desde las instalaciones de tratamiento de aguas residuales municipales ubicuas, donde se limpian las aguas residuales sanitarias de las poblaciones domésticas,

hasta procesos de tratamiento de aguas residuales industriales especializados, donde se deben tratar los contaminantes específicos en las aguas residuales de varias aplicaciones industriales.

Los compuestos orgánicos e inorgánicos biológicamente refractarios y biológicamente inhibidores están presentes en ciertas corrientes de aguas residuales industriales y sanitarias que se tratan. Se han hecho varios intentos para atender el tratamiento de estos compuestos biológicamente refractarios y biológicamente inhibidores. Ciertos tipos de tratamientos conocidos incluyen el uso de carbón activado pulverizado para adsorber y remover subsecuentemente los compuestos orgánicos biológicamente refractarios y biológicamente inhibidores.

No obstante, existe una necesidad para tratar el agua residual que contiene compuestos orgánicos e inorgánicos biológicamente refractarios y biológicamente inhibidores sin las desventajas asociadas con el uso de carbón activado pulverizado y otras tecnologías existentes.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

De acuerdo con una o más modalidades, la invención se refiere a un sistema y método para tratar aguas residuales.

De acuerdo con una o más modalidades, la invención se refiere a un sistema de tratamiento de aguas residuales que comprende un reactor biológico que tiene un subsistema de separación, un sistema de suspensión y un sistema que opera la membrana. El subsistema de separación se construye y configura para mantener el material adsorbente en el reactor

biológico con un licor mezclado. El sistema de suspensión se coloca en el reactor biológico y se construye y configura para mantener el material adsorbente en suspensión con el licor mezclado. El sistema que opera la membrana se localiza corriente abajo del reactor biológico y se construye y configura para recibir el licor mezclado tratado del reactor biológico y descargar un permeado de membrana.

De acuerdo con una o más modalidades, el sistema de suspensión comprende un sistema de suspensión de elevación de gas. El sistema de suspensión de elevación de gas puede incluir al menos un tubo de aspiración colocado en el reactor biológico y un conducto de gas que tiene una o más aberturas colocadas y dimensionadas para dirigir el gas a un extremo de entrada del tubo de aspiración. El sistema de suspensión de elevación de gas puede incluir alternativamente al menos un orificio de aspiración colocado en el reactor biológico y un conducto de gas que tiene una o más aperturas colocadas y dimensionadas para dirigir el gas a una porción inferior del orificio de aspiración.

De acuerdo con una o más modalidades, el sistema de suspensión comprende un sistema de suspensión a chorro.

De acuerdo con una o más modalidades, el subsistema de separación incluye un tamiz colocado en el exterior del reactor biológico.

De acuerdo con una o más modalidades, el subsistema de separación incluye una zona de ajuste localizada próxima a la salida del reactor biológico. La zona de ajuste puede incluir un primer desviador y un segundo desviador colocados y dimensionados para definir una zona de reposo en la cual el material adsorbente se separa del licor mezclado y se asienta

en el licor mezclado en una porción inferior del reactor biológico. Además, la zona de asentamiento puede incluir un tamiz o un vertedor colocado próximo a la salida del reactor biológico.

De acuerdo con una o más modalidades, la invención se refiere a un sistema de tratamiento de aguas residuales en el cual una fuente de aparato de introducción de material adsorbente está en comunicación con el reactor biológico. Además, se construye y ajusta un sensor para medir un parámetro del sistema. Además, un controlador está en comunicación electrónica con el sensor y se programa para instruir el desempeño de un acto con base en el parámetro medido del sistema. El parámetro medido puede ser la concentración de uno o más compuestos predeterminados. El acto puede incluir remover al menos una porción del material adsorbente del reactor biológico, y/o agregar material adsorbente al reactor biológico.

De acuerdo con una o más modalidades, la invención se refiere a un sistema de tratamiento de aguas residuales para tratar aguas residuales. El sistema incluye un reactor biológico con una entrada de agua residual, una salida de licor mezclado, y un subsistema de separación asociado con la salida de licor mezclado. El sistema también incluye un sistema de suspensión para material adsorbente colocado en el reactor biológico, y un sistema que opera la membrana localizado corriente abajo del reactor biológico que tiene una entrada en comunicación fluida con la salida de licor mezclado, y una salida de efluente tratado.

De acuerdo con una o más modalidades, la invención se refiere a un proceso para tratar aguas residuales. El

proceso incluye introducir licor mezclado en el reactor biológico; introducir material adsorbente en el reactor biológico con el licor mezclado; suspender el material adsorbente en el licor mezclado usando un gas, bajo condiciones de operación que promueven la adsorción de contaminantes del licor mezclado por el material adsorbente; y pasar un efluente que está sustancialmente libre de material adsorbente del reactor biológico a un sistema que opera la membrana mientras mantiene material adsorbente en el reactor biológico.

Todavía otros aspectos, modalidades, y ventajas de estos aspectos y modalidades ejemplares, se discuten en mayor detalle enseguida. Por otro lado, se entiende que tanto la información anteriormente mencionada como la siguiente descripción detallada son únicamente ejemplos ilustrativos de varios aspectos y modalidades, y se pretenden para proporcionar una visión general o marco para el entendimiento de la naturaleza y carácter de los aspectos y modalidades reivindicados. Los dibujos acompañantes se incluyen para proporcionar ilustración y un entendimiento adicional de los diversos aspectos y modalidades, y se incorporan en y constituyen una parte de esta especificación. Los dibujos, junto con el resto de la especificación, sirven para explicar los principios y operaciones de los aspectos y modalidades descritos y reivindicados.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La invención se describirá con detalle adicional posteriormente y con referencia a los dibujos anexos todos los cuales describen o se relacionan con el aparato, sistemas

y métodos de la presente invención. En las figuras que no se pretenden para dibujarse a escala, cada componente similar que se ilustra en varias figuras se representa por un número similar. En las figuras:

la FIGURA 1 es un diagrama esquemático de un sistema de reactor biológico de membrana que usa un reactor biológico que contiene una o más zonas con material adsorbente en suspensión;

la FIGURA 2 es un diagrama esquemático de una modalidad de un sistema para el tratamiento de aguas residuales que usa un material adsorbente en un reactor biológico corriente arriba de un sistema de operación de membrana;

la FIGURA 3 es un diagrama esquemático de una segunda modalidad de un sistema similar a aquel mostrado en la FIGURA 2 que incluye una zona de desnitrificación;

la FIGURA 4 es un diagrama esquemático de otra modalidad en la cual el material adsorbente se mantiene en suspensión en sólo una porción de un tanque del reactor biológico;

la FIGURA 5 es un diagrama esquemático de una modalidad adicional de un reactor biológico dividido en múltiples secciones que incluyen una zona anóxica;

la FIGURA 6 es un diagrama esquemático de una modalidad adicional que usa una serie de reactores biológicos en los cuales el material adsorbente se mantiene en suspensión en sólo uno de los reactores biológicos;

la FIGURA 7 y la FIGURA 8 son modalidades de los sistemas de reactor biológico que describen un sistema de suspensión a chorro para la suspensión de material adsorbente

en el licor mezclado;

las FIGURAS 9 y 10 son modalidades alternativas de los sistemas de reactor biológico que describen un sistema de suspensión a chorro para la suspensión de material adsorbente en el licor mezclado, en el cual el licor mezclado se toma de una fuente que ha tenido material adsorbente removido;

la FIGURA 11 es una modalidad alternativa que describe un sistema de suspensión a chorro para suspensión de material adsorbente en licor mezclado en el cual el material adsorbente no circula a través de la boquilla de chorro;

la FIGURA 12 es una modalidad adicional de un reactor biológico que describe un sistema de suspensión de elevación de gas para proporcionar circulación para mantener el material adsorbente en suspensión;

las FIGURAS 13A y 13B son modalidades adicionales que describen una zona de asentamiento;

la FIGURA 14 es un diagrama que representa la concentración de COD de alimentación (en miligramos por litro), y las concentraciones de COD de efluente sobrantes (como porcentajes del original), en varias etapas de aclimatación biológica en un sistema de reactor biológico de membrana;

la FIGURA 15 es una ilustración esquemática de una modalidad de una boquilla de chorro del tipo usado en un ejemplo que muestra el uso de un sistema de suspensión a chorro;

la FIGURA 16 es una ilustración esquemática de una configuración del sistema usada en otro ejemplo en este documento;

la FIGURA 17 es una gráfica que representa la

suspensión del material adsorbente bajo ciertas velocidades de la garganta de la boquilla y velocidades de flujo de líquido como se determina bajo varias condiciones de prueba usando la configuración del sistema de la FIGURA 16;

las FIGURAS 18 y 19 representan vistas superior y en sección de modalidades de los reactores biológicos empleados en la configuración del sistema de la FIGURA 16;

la FIGURA 20 es un diagrama que representa el desgaste como una función del tiempo de ejecución para varios tipos de material adsorbente en otro ejemplo en este documento que usan un sistema de suspensión de elevación de gas;

la FIGURA 21 representa vistas superior y en sección de una modalidad de un reactor biológico que usa un sistema de suspensión de elevación de gas;

la FIGURA 22 es una ilustración esquemática de patrones de flujo que usan el sistema de suspensión de elevación de gas de la FIGURA 21;

la FIGURA 23 representa vistas superior y en sección de una modalidad de un reactor biológico que usa otra configuración de sistemas de suspensión de elevación de gas; y

las FIGURAS 24 y 25 representan vistas superior, en sección, lateral y en sección de extremo de las modalidades de los reactores biológicos que usan varias configuraciones de los sistemas de suspensión de elevación de gas.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN

Como se usa en este documento, "compuestos biológicamente refractarios" se refiere a aquellos tipos de compuestos de demanda de oxígeno químico ("COD") (orgánicos e/o inorgánicos) en aguas residuales que son difíciles de descomponer biológicamente cuando se ponen en contacto con microorganismos. Los "compuestos biológicamente refractarios" pueden tener grados variantes de refractario, que varían de aquellos que son levemente refractarios a aquellos que son altamente refractarios.

"Compuestos biológicamente inhibidores" se refiere a aquellos compuestos (orgánicos e/o inorgánicos) en las aguas residuales que inhiben el proceso de descomposición biológica.

"Biológicamente inestable" se refiere a compuestos orgánicos sencillos, fáciles de digerir tales como residuos humanos y de animal, residuos alimenticios, e inorgánicos, tales como compuestos basados en amoníaco y fósforo.

"COD" o "Demanda de Oxígeno Químico", se refieren a una medición de la capacidad de agua para consumir oxígeno

durante la reacción química que resulta en la oxidación (descomposición) de la materia orgánica y la oxidación de químicos inorgánicos tales como amoníaco y nitrito. La medición de COD incluye compuestos biológicamente inestables, biológicamente inhibidores y biológicamente refractarios.

"Sólidos suspendidos en el licor mezclado o "MLSS", se refiere a microbios y otras sustancias, ambos disueltos y suspendidos, presentes en las aguas residuales que se tratan; "sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado" o "MLVSS," se refiere a microbios activos en los MLSS; y "licor mezclado" se refiere a la mezcla combinada de aguas residuales y MLSS.

"Adsorbente" o "materiales adsorbentes" como se usan en este documento significan uno o más de carbón activado granular, incluyendo carbón activado granular que ha sido tratado para proporcionar afinidad a especies químicas predeterminadas, metales u otros compuestos descubiertos que están presentes en las aguas residuales que se van a tratar; compuestos basados en hierro granulares, por ejemplo, compuestos de óxido de hierro; resina sintéticas; y compuestos de aluminosilicato granulares.

"Sustancialmente libre" o "sustancialmente prevenido" en el contexto de describir la presencia de material adsorbente en el efluente que pasa de una sección de un sistema a otra, por ejemplo, de un reactor biológico que contiene material adsorbente suspendido a un sistema de operación de membrana, se refiere a limitar la cantidad de material adsorbente que pasa al sistema de operación de membrana a una cantidad que no afecta adversamente la eficacia de requisito del proceso de filtración de membrana

en este documento. Por ejemplo, en ciertas modalidades, "sustancialmente libre" o "sustancialmente prevenido" se refiere a retener por lo menos aproximadamente 80% en volumen de la cantidad predeterminada de material adsorbente que se usa en un sistema proporcionado dentro del reactor biológico o una o más zonas de reacción biológica, en modalidades adicionales, por lo menos aproximadamente 90% en volumen y todavía en modalidades adicionales por lo menos aproximadamente 95% en volumen, y aún todavía en modalidades adicionales al menos 99% en volumen. Sin embargo, se apreciará por una persona de experiencia ordinaria en el campo basado en las enseñanzas en este documento que estos porcentajes son simplemente ilustrativos, y pueden variar dependiendo de factores que incluyen pero no se limitan al tipo de membrana(s) usada(s) y su resistencia a la abrasión, la calidad del efluente requerido, la cantidad predeterminada de material adsorbente que se usa en un sistema proporcionado y otros factores.

Esta invención se dirige a los sistemas y métodos de tratamiento de aguas residuales. "Agua residual" como se usa en este documento, define cualquier agua que se trata tal como agua superficial, agua subterránea y una corriente de aguas residuales de fuentes industriales, agrícolas y municipales, que tienen contaminantes de material biodegradable, compuestos inorgánicos, orgánicos inestables capaces de ser descompuestos por bacterias, compuestos biológicamente refractarios, y/o compuestos biológicamente inhibidores, que fluyen en este sistema de tratamiento de aguas residuales.

El agua residual de las fuentes industriales y

municipales contiene típicamente sólidos biológicos, y materiales inertes y orgánicos, que incluyen compuestos orgánicos biológicamente inhibidores y refractarios. Ejemplos de compuestos orgánicos biológicamente inhibidores y refractarios pueden incluir químicos orgánicos sintéticos, tales como químicos de tratamiento de polielectrolito. Otros compuestos orgánicos biológicamente inhibidores y refractarios incluyen bifenilos policlorados, hidrocarburos aromáticos policíclicos, dibenzo-p-dioxina policlorada y dibenzofuranos policlorados. Los compuestos de deterioro endocrinos también son una clase de compuestos orgánicos biológicamente inhibidores y refractarios que pueden afectar los sistemas hormonales en los organismos y se encuentran en el medio ambiente. Los ejemplos de compuestos de deterioro endocrinos incluyen: alquilfenólicos, tal como nonilfenol usado para remover el aceite así como también hormonas naturales y esteroides sintéticos encontrados en los anticonceptivos, tal como 17-b-estradiol, estrona, testosterona, etinil-estradiol.

Otros ejemplos de aguas residuales que se tratan incluyen: aguas residuales de alta resistencia; aguas residuales de baja resistencia; y lixiviado de vertederos. Las aguas también se pueden tratar para remover virus. Otros ejemplos de contaminantes en las aguas residuales incluyen: bifenilos policlorados (PCBs); dioxinas; furanos; compuestos aromáticos polinucleares (PNAs); productos farmacéuticos, petróleo; productos petroquímicos; subproductos petroquímicos; celulosa; fósforo; compuestos de fósforo y derivados; y químicos agrícolas tales como aquellos derivados de o usados para producir fertilizantes, pesticidas y

herbicidas.

Las aguas residuales de fuentes industriales y municipales también pueden contener restos de compuestos constituyentes que se originan durante el proceso de tratamiento del agua y son subsecuentemente difíciles de remover. Los ejemplos de restos constituyentes introducidos durante el proceso de tratamiento del agua incluyen nitrosaminas, tal como N-nitrosodimetilamina (NDMA) que se puede liberar de resinas catiónicas y aniónicas patentadas.

En general, las instalaciones de tratamiento de aguas residuales usan múltiples etapas de tratamiento para limpiar el agua de modo que se puede liberar con seguridad en cuerpos de agua tales como lagos, ríos y corrientes. Actualmente, muchas plantas de tratamiento de drenaje sanitario incluyen una fase de tratamiento preliminar en la cual es usan medios mecánicos para remover grandes objetos (por ejemplo, cribas de barras), y un canal de arena o arenilla donde la arena, arenilla y piedras se asientan. Algunos sistemas de tratamiento también incluyen una etapa primaria donde ciertas grasas y aceites flotan a la superficie para la remoción, y los sólidos más pesados se asientan en el fondo, y son tratados subsecuentemente en un digestor aeróbico o anaeróbico para digerir la biomasa y reducir los niveles de sólidos biológicos.

Después del tratamiento preliminar y/o primario, el agua residual luego se envía a una fase de tratamiento de lodo activado biológico secundario. El tratamiento biológico del agua residual se practica ampliamente. El agua residual se trata comúnmente con lodo activado residual, en el cual los sólidos biológicos son afectados por las bacterias dentro

de un tanque de tratamiento. Los procesos de lodo activado implican el tratamiento biológico aeróbico en un tanque de aireación, seguido típicamente por un tanque clarificador/de asentamiento. El lodo asentado se recicla de nuevo al tanque de aireación a fin de mantener una concentración de sólidos suspendidos en el licor mezclado adecuado para digerir los contaminantes. Algunas alternativas disponibles para la eliminación de biosólidos de exceso, por ejemplo, lodo, incluyen pero no se limitan a incineración, eliminación en un vertedero o uso como fertilizante si no hay componentes tóxicos.

En el tanque de aireación, un gas que contiene oxígeno tal como aire u oxígeno puro se agrega al licor mezclado. El oxígeno del aire se usa típicamente por las bacterias para oxidar biológicamente los compuestos orgánicos que ya sea se disuelven o se llevan en suspensión dentro de la alimentación de aguas residuales. La oxidación biológica es típicamente el método de oxidación de costo más bajo disponible para remover los contaminantes orgánicos y algunos compuestos inorgánicos, tales como compuestos de amoníaco y fósforo, del agua residual y es el sistema de tratamiento más ampliamente usado para el agua residual contaminada con compuestos orgánicos biológicamente tratables. Las aguas residuales que contienen compuestos completamente resistentes a la biodescomposición, compuestos biológicamente inhibidores, y/o compuestos biológicamente refractarios pueden no tratarse adecuadamente por un sistema de tratamiento de aguas residuales biológico sencillo convencional. Estos compuestos sólo pueden actuar sobre la bacteria sólo durante un tiempo de retención hidráulica

dentro de un tanque de tratamiento. Debido a que el tiempo de retención hidráulica es generalmente insuficiente para la oxidación biológica de compuestos biológicamente inhibidores suficientes y/o compuestos biológicamente refractarios, es posible que algunos de estos compuestos recalcitrantes, no se puedan tratar o destruir y pueden pasar a través de un proceso de tratamiento no cambiado o sólo parcialmente tratado antes de descargarse en ya sea un efluente o lodo residual de exceso.

El efluente del licor mezclado del tanque de aireación entra típicamente a un tanque clarificador/de asentamiento donde el lodo, que incluye sólidos suspendidos en el licor mezclado concentrado, asentado por gravedad. La biomasa de exceso se desperdicia, es decir, se descarga, a la eliminación fuera del sitio. Sin embargo, con base en las aguas residuales y las necesidades económicas, algunos sistemas de oxidación biológica usan un método de tratamiento diferente para remover los sólidos del efluente de aguas residuales. El tanque clarificador/de asentamiento se puede reemplazar con un sistema operativo de membrana, u otra operación unitaria tal como un dispositivo de disolución/de flotación de aire inducido se puede usar. El efluente líquido del tanque clarificador/de asentamiento, el dispositivo de sistema operativo o de flotación de aire disuelto ya sea se descarga o proporciona tratamiento adicional antes de la descarga. Los sólidos que se remueven del licor mezclado se regresan al tanque de aireación como el lodo activado de retorno para el tratamiento adicional y a fin de retener una concentración adecuada de bacterias en el sistema. Alguna porción de este lodo activado de retorno se remueve

periódicamente de esta línea de reciclado a fin de controlar la concentración de bacterias en el licor mezclado.

Una ventaja reciente en la tecnología de planta de tratamiento de aguas residuales biológica industrial convencional incluye la adición de partículas de carbón activado pulverizado al licor mezclado. En los procesos de tratamiento biológico que usan carbón activado pulverizado, los orgánicos se pueden adsorber sobre el carbón activado y permanecer dentro del tanque de tratamiento por un tiempo de retención hidráulica que es similar al tiempo de residencia del lodo y por lo tanto se someten tanto a los tratamientos adsorbentes como biológicos que dan por resultado la remoción mejorada de ciertos compuestos biológicamente inhibidores o refractarios. En estos procesos, ciertos compuestos orgánicos e inorgánicos se adsorben físicamente a la superficie de las partículas de carbón activado pulverizado.

El carbón activado pulverizado se ha usado en plantas de tratamiento biológico convencionales debido a su capacidad de absorber compuestos biológicamente inhibidores y biológicamente refractarios, proporcionando en consecuencia un efluente con bajas concentraciones de estos contaminantes. La inclusión del carbón activado pulverizado en el licor mezclado proporciona una variedad de beneficios operacionales. El carbón proporciona las ventajas de un sistema de tratamiento biológico con medios suspendidos que incluyen remoción incrementada de contaminantes y condiciones incrementadas de tolerancia a alteradas. Adicionalmente, el carbón permite que los compuestos biológicamente inhibidores y biológicamente refractarios absorban sobre la superficie del carbón y se expandan a la biología durante un periodo de

tiempo significativamente más prolongado que en un sistema de tratamiento biológico convencional, proporcionando en consecuencia beneficios similares a aquellos que un sistema de película fija. El carbón también permite la evolución de cepas específicas de bacterias que son más capaces de digerir los materiales orgánicos biológicamente inhibidores. El hecho de que el carbón se recicla continuamente de nuevo al tanque de aireación con el lodo activado de retorno, es decir el tiempo de residencia del lodo, se refiere a que las bacterias pueden funcionar en la digestión de los compuestos orgánicos biológicamente inhibidores adsorbidos sobre la superficie del carbón durante un período de tiempo más prolongado que el tiempo de detención hidráulica del sistema de tratamiento biológico. Este proceso también da por resultado la regeneración biológica del carbón y permite que el carbón remueva significativamente más compuestos biológicamente inhibidores y biológicamente refractarios en el que podría en un sistema de filtros de carbón de lecho empacado simple que también requeriría reemplazo frecuento o regeneración física costosa del carbón una vez que la capacidad de adsorción del carbón se agota. El carbón en el licor mezclado también puede adsorber ciertos compuestos y proporcionar por lo tanto un efluente que está libre o tiene una concentración sustancialmente reducida de compuestos inorgánicos que no son tratables por oxidación biológica convencional o de otra manera son completamente resistentes a la bio-descomposición. Un ejemplo de un sistema de carbón activado en polvo conocido se ofrece por Siemens Water Technologies bajo la marca comercial "PACT®".

Sin embargo, debido a que tanto el crecimiento

biológico como la absorción de los componentes orgánicos e inorgánicos ocurren en el carbón activado en forma de polvo, es requerido el desperdicio de los sólidos de exceso. Además, el carbón activado pulverizado se carga del proceso de tratamiento con la remoción de biosólidos y por lo tanto, se debe reemplazar continuamente.

Cada vez más, el agua residual sanitaria está siendo tratada usando tecnología de reactor biológico de membrana, que ofrece calidad de efluente mejorada, un tamaño físico más pequeño (se pueden tratar más aguas residuales por área unitaria), tolerancia incrementada a alteraciones, capacidad mejorada de procesar aguas residuales difíciles de tratar y una variedad de otras ventajas operaciones. Por ejemplo, las aguas residuales que contienen altos sólidos disueltos totales pueden experimentar problemas de asentamiento en un tanque clarificador/de asentamiento convencional y requiere significativamente más dispositivos de separación de sólidos difíciles de operar tal como un dispositivo de flotación de aire disuelto o algún otro sistema de remoción de sólidos. Sin embargo, mientras que los reactores biológicos de membrana eliminan los problemas de asentamiento experimentados con los sistemas de tanque clarificador/de asentamiento, frecuentemente presentan problemas de ensuciamiento de la membrana y espumación que no ocurre en los sistemas convencionales que usan clarificadores. El ensuciamiento de la membrana puede ser el resultado de los compuestos poliméricos extracelulares que resultan de la descomposición de las formas de vida biológicas en los sólidos suspendidos en el licor mezclado, la acumulación de materiales orgánicos tales como aceites, o

por la incrustación por materiales inorgánicos.

Además, a la fecha, los reactores biológicos de membrana no se han usado comercialmente con la adición de carbón activado pulverizado. Ha habido algún uso del carbón activado pulverizado en los sistemas de tratamiento de agua superficial que usan membranas para la filtración. Sin embargo, se ha reportado que estos sistemas de tratamiento de agua superficial que usan membranas y carbón activado pulverizado tienen problemas con el carbón que erosiona las membranas y el carbón tapa y/o ensucia permanentemente las membranas.

El agua residual industrial que se debe tratar antes de la descarga o reutilización incluye frecuentemente aguas residuales aceitosas, que pueden contener hidrocarburos emulsionados. Las aguas residuales aceitosas pueden prevenir de una variedad de industrias que incluyen industrias de acero y aluminio, industrias de procesamiento químico, industrias automotrices, industrias de lavandería e industrias de producción de aceite crudo y de refinación de petróleo. Como se plantea anteriormente, una cierta cantidad de aceites no emulsionados y otros hidrocarburos se pueden remover en procesos de tratamiento primarios, donde los aceites flotantes se remueven de la parte superior. Sin embargo, los procesos de aguas residuales secundarios biológicos se emplean generalmente para remover los aceites sobrantes del agua residual, típicamente los aceites disueltos y emulsionados, aunque algún aceite libre puede existir. Los hidrocarburos típicos que permanecen después del tratamiento primario pueden incluir lubricantes, fluidos de corte, alquitranes, grasa, aceites crudos, aceites de diesel,

gasolina, queroseno, combustible para aviones y los similares. Estos hidrocarburos se deben remover típicamente antes de la descarga del agua en el medio ambiente o la reutilización del agua en el proceso industrial. Además de las regulaciones gubernamentales y las preocupaciones ecológicas, la remoción eficiente de los hidrocarburos sobrantes también tiene beneficios, ya que el agua residual adecuadamente tratada se puede usar en muchos procesos industriales si eliminar costos de tratamiento de aguas sin procesar y reducir las preocupaciones reguladoras de descarga.

Otros tipos de aguas residuales que se deben tratar incluyen agua de proceso contaminada de otros procesos industriales tales como manufactura de productos farmacéuticos, diversos artículos, productos agrícolas (por ejemplo, fertilizantes, pesticidas, herbicidas), y procesamiento papel, así como también agua residual médica.

El desarrollo comercial de los reactores biológicos de membrana en el tratamiento de agua residual aceitosa/industrial ha sido muy lento de desarrollar, principalmente debido a problemas de mantenimiento asociados con el ensuciamiento de aceite y químicos de las membranas. La prueba del agua residual industrial/aceitosa tratada en un reactor biológico de membrana que tiene carbón activado pulverizado agregado al licor mezclado indicó las mismas ventajas de tratamiento como se observa en los sistemas de tratamiento de agua residual biológico convencional que incluye carbón activado pulverizado. También se observó que las ventajas de usar un reactor biológico de membrana también se pueden lograr. Sin embargo, una comparación simultánea de

los reactores biológicos de membrana con y sin la adición de carbón activado pulverizado demostró que el reactor biológico de membrana con carbón activado pulverizado proporcionó ventajas de tratamiento comparadas a los reactores biológicos de membrana sin carbón activado. Adicionalmente, el reactor biológico de membrana sin la adición de carbón fue muy difícil de operar debido a los orgánicos disueltos y los compuestos poliméricos extracelulares que ensucian las membranas. La prueba demostró adicionalmente que mientras que la adición del carbón activado pulverizado proporcionó un sistema de tratamiento de aguas residuales biológico muy viable, el carbón tuvo el efecto nocivo de una cantidad significativa de abrasión y ensuciamiento no reversible de las membranas. Esta abrasión y ensuciamiento no reversible fueron suficientemente significativos para dar por resultado este sistema que es muy costoso de operar, debido a la expectación de vida significativamente disminuida de las membranas y la frecuencia de limpieza de las membranas.

Los sistemas y métodos de la presente invención vencen los efectos perjudiciales de usar carbón activado en polvo, aunque se proporciona las mismas ventajas y adicionales.

Con referencia a la FIGURA 1, se representa esquemáticamente un sistema de tratamiento de aguas residuales 100 que incluye un sistema de reactor biológico 102 corriente arriba de un sistema de operación de membrana 104. En ciertas modalidades, el sistema de reacción biológico 102 incluye un solo recipiente de reactor biológico. En modalidades adicionales, el sistema de reactor biológico 102 incluye una pluralidad de recipientes de reactor biológico,

un recipiente de reactor biológico dividido en secciones separadas, o una pluralidad de recipientes de reactor biológico algunos o todos de los cuales se pueden dividir en secciones separadas. Los recipientes de reactor individual o las secciones segregadas se refieren generalmente en este documento como zonas de reacción biológicas. Durante las operaciones de tratamiento de aguas residuales de acuerdo con la presente invención, el material adsorbente junto con los microorganismos se mantiene en suspensión en todas las zonas de reacción biológica o un subconjunto del número total de zonas de reacción biológica. El sistema de operación de membranas 104 se mantiene sustancialmente libre de material adsorbente que usa uno o más de los subsistemas de separación descritos en este documento. Una corriente de aguas residuales de flujo entrante 106 se puede introducir desde un sistema de tratamiento primario, un sistema de criba preliminar, o como un flujo directo de aguas residuales previamente no tratadas. En modalidades adicionales, la corriente de aguas residuales de flujo entrante 106 puede ser agua residual previamente tratada, por ejemplo, un efluente de uno o más reactores biológicos corriente arriba, que incluyen pero no se limitan a reactores biológicos aeróbicos, reactores biológicos anóxicos, reactores de flujo continuo, reactores de lote de secuenciación, o cualquier variedad de otros tipos de sistema de tratamiento biológico capaces de degradar biológicamente el compuesto orgánico y en ciertas modalidades algunos compuestos inorgánicos.

Los reactores biológicos y/o ciertas zonas del reactor biológico pueden ser varios tipos de reactores biológicos, que incluyen pero no se limitan a reactores

biológicos aeróbicos, reactores biológicos anóxicos, reactores de flujo continuo, reactores de lote de secuenciación, filtros de escurrido, o cualquier variedad de otros tipos de sistemas de tratamiento biológico capaces de degradar biológicamente el compuesto orgánico y en ciertas modalidades algunos compuestos inorgánicos.

Además los reactores biológicos y/o ciertas zonas de reactor biológico usadas en la presente pueden ser de cualquier tamaño o forma adecuados para suspender el material adsorbente en conjunción con el sistema de suspensión. Por ejemplo, el recipiente puede tener un área de sección transversal de cualquier forma, tal como circular, elíptica, cuadrada, rectangular o cualquier forma irregular. En algunas modalidades el recipiente se puede construir o modificar a fin de promover la suspensión adecuada del material adsorbente.

La FIGURA 2 representa esquemáticamente el flujo de proceso de un sistema de tratamiento de aguas residuales 200 para producir un efluente tratado que tiene concentraciones reducidas de compuestos orgánicos e inorgánicos biológicamente inestables, biológicamente refractarios, y/o biológicamente inhibidores que son totalmente resistentes a la descomposición biológica. El sistema 200 incluye generalmente un reactor biológico 202 y un sistema de operación de membrana 204. El reactor biológico 202 incluye una entrada 206 para recibir agua residual y una salida 208 para descargar el efluente que se ha tratado biológicamente, que incluye sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado y/o licor mezclado, al sistema de operación de membrana 204.

El reactor biológico 202 incluye una masa distribuida de material adsorbente 234 porosa 236 y una cantidad efectiva de uno o más microorganismos 238, que ambos se adhieren al material adsorbente y que flotan libren y se separan del material adsorbente en el licor mezclado, para actuar sobre compuestos biológicamente inestables y ciertos compuestos biológicamente refractarios y/o biológicamente inhibidores en el licor mezclado. Los sitios de adsorción del material adsorbente, que incluyen la superficie exterior de los gránulos o partículas absorbentes, y la superficies de pared de los poros 236, sirven inicialmente como sitios de absorción para los compuestos biológicamente inestables, biológicamente refractarios, biológicamente inhibidores y/u orgánicos e inorgánicos que son totalmente resistentes a la descomposición biológica. Además, los microorganismos 238 se pueden adsorber en los sitios de adsorción en el material adsorbente. Esto permite que los niveles de digestión más altos de ciertos compuestos biológicamente refractarios y/o biológicamente inhibidores requerir tiempos de retención hidráulica proporcionalmente más prolongados y tiempos de retención de lodo, debido al hecho de que ciertos compuestos biológicamente refractarios y/o biológicamente inhibidores se retengan por periodos prolongados de tiempo sobre el material adsorbente, los cuales se aíslan o se retienen en los reactores biológicos.

Generalmente, los compuestos biológicamente inestables y ciertos compuestos inorgánicos se digerirán relativamente de manera rápida y predominantemente por los micro-organismos que no se adhieren al material adsorbente, es decir, los microorganismos que flotan libres en el licor

mezclado. Ciertos componentes incluyen orgánicos e inorgánicos que son compuestos totalmente resistentes a la descomposición biológica y muy biológicamente refractarios y biológicamente inhibidores permanecerán adsorbidos en el material adsorbente o se pueden adsorber y/o absorber por el material biológico que flota libre en el(los) reactor(es). Finalmente, estos compuestos no digeribles se concentraran en el material adsorbente al punto donde el reemplazo del material adsorbente se requerirá para mantener el efluente en un nivel de capacidad adsorbente aceptable. Conforme el material adsorbente permanece en el sistema de acuerdo con la presente invención, los micro-organismos crecerán y se mantendrán en el material adsorbente, generalmente por un tiempo suficiente para descomponer por lo menos ciertos compuestos biológicamente refractarios y/o biológicamente inhibidores en el agua residual de flujo entrante particular, que ha sido concentrada sobre el material adsorbente. Además, mientras que no se desee ser limitado por la teoría, se cree que los micro-organismos pueden evolucionar eventualmente en cepas maduras con una climatización específica necesaria para descomponer los compuestos útiles de tratar en el agua residual de flujo entrante particular. Sobre el tiempo adicional, por ejemplo, varios días a varias semanas, en las cuales el material adsorbente que tiene ciertos compuestos biológicamente refractarios, y/o biológicamente inhibidores se mantenga en el sistema, los micro-organismos que tienen un alto grado de especificidad se vuelven segundas, terceras, y generaciones más altas, incrementando en consecuencia su eficacia a biodegradar por lo menos ciertos de los compuestos biológicamente refractarios y/o biológicamente inhibidores

específicos que están presentes en el agua residual de flujo entrante particular conforme el sistema se aclimata. Esto se representa por el cambio de etapa en el COD residual representado en la FIGURA 14, que muestra una gráfica de la concentración de alimentación (en miligramos por litros) de los compuestos biológicamente refractarios y biológicamente inhibidores, y las concentraciones de efluentes sobrantes (como porcentajes del original), en varias etapas de la aclimatación de un sistema de reactor biológico de membrana con material adsorbente agregado, es decir, la etapa A que es antes de agregar material adsorbente, etapa B que es durante el periodo de aclimatación, y etapa C que es después de la aclimatación.

Varias aguas residuales de flujo entrante pueden ser deficientes en ciertos nutrientes benéficos para la biología que ocurre en el reactor biológico 202. Además, ciertas aguas residuales de flujo entrante pueden tener niveles de pH que son excesivamente ácidos o caústicas. Por consiguiente, como será evidente para una persona que tiene experiencia ordinaria en el campo, el fósforo, nitrógeno, y materiales de ajuste de pH o químicos se pueden agregar para mantener las relaciones de nutrientes óptimas y niveles de pH para la vida biológica y actividad asociada, que incluyen oxidación biológica en el reactor 202.

El efluente del reactor biológico 202 se introduce por la vía de un subsistema de separación 222 a una entrada 210 del sistema de operación de membrana 204. Este licor mezclado transferido, que se ha tratado en el reactor biológico 202, está sustancialmente libre de material adsorbente. En el sistema de operación de membrana 204, el

agua residual pasa a través de una o más membranas de micro filtración o ultrafiltración, eliminando o minimizando en consecuencia la necesidad de clarificación y/o filtración terciaria. El material permeado de membrana, es decir, el líquido que pasa a través de las membranas 240, se descarga del sistema de operación de membrana 204, por la vía de una salida 212. El material retenido de membrana, es decir, los sólidos del efluente del reactor biológico 202, que incluye lodo activado, se regresa al reactor biológico 202 por la vía de una línea de lodo activado de retorno 214.

El material adsorbente agotado del reactor biológico 202, por ejemplo, carbón activado granular que ya no es efectivo en adsorber contaminantes tales como ciertos compuestos que resisten completamente la biodescomposición, compuestos biológicamente refractarios y compuestos biológicamente inhibidores, se pueden remover por la vía de un orificio de descarga de residuos de licor mezclado 216 del reactor biológico 202. Una salida de residuos 218 también se puede conectar al tubo de retorno 214 para desviar algo de todo el lodo activado de retorno para la eliminación, por ejemplo, para controlar la concentración del licor mezclado y/o cultivo. El lodo se descarga del aparato con el lodo activado residual cuando se incrementa al punto donde la concentración de sólidos en el licor mezclado es tan alta que interrumpe la operación del sistema del reactor biológico de membrana particular. Además, el orificio de descarga residual del licor mezclado 216 se puede usar para remover una porción del material adsorbente, removiendo en consecuencia alguna porción de los compuestos biológicamente refractarios, compuestos biológicamente inhibidores, y/o compuestos

orgánicos e inorgánicos que son totalmente resistentes a la descomposición biológica, antes que de la línea de lodo activado de retorno con el lodo activado residual, que da por resultado una concentración más baja de estos compuestos biológicamente refractarios, compuestos biológicamente inhibidores, y/o compuestos orgánicos e inorgánicos que son totalmente resistentes a la descomposición biológica en la descarga y una biomasa más estable en el reactor biológico de membrana. Se puede agregar una cantidad equivalente de material adsorbente reciente o regenerado.

Se puede proporcionar un sistema de cribas y/o separación preliminar 220 corriente arriba de la entrada 206 del reactor biológico 202. Este sistema de cribas y/o separación preliminar puede incluir un sistema de flotación de aire disuelto, una criba gruesa o una combinación de estos y/u otros dispositivos de tratamiento preliminares para separar la materia suspendida del tipo conocido en el campo. Opcionalmente, el sistema de cribas y/o separación preliminar 220 se puede eliminar, u otros tipos de dispositivo de tratamiento preliminares se pueden incluir, dependiendo del agua residual particular que se trata.

A fin de evitar que por lo menos una mayoría del material adsorbente 234 entre al sistema de operación de membrana 204 y cause abrasión y/o ensuciamiento indeseable de las membranas 240, se proporciona el subsistema de separación 222. Como se muestra, en la FIGURA 2, el subsistema de separación 222 está localizado próximo a la salida del reactor biológico 202. Sin embargo, en ciertas modalidades, el subsistema de separación 222 se puede posicionar en un recipiente separado corriente abajo del reactor biológico

202. En cualquier caso, el subsistema de separación 222 incluye el aparato y/o estructuras adecuados para evitar el contacto entre por lo menos una mayoría del material adsorbente 234 y las membranas 240 en el sistema de operación de membrana 204. El subsistema de separación 222 puede contener uno o más de un aparato de cribas, una zona de asentamiento y/u otro aparato de separación adecuado.

Tipos adecuados de cribas o aparatos de cribas para el uso en ciertas modalidades de la presente invención incluyen cribas alambre de cuña, placas con aberturas de metal o plástico, o telas tejidas, en configuraciones cilíndricas o planas y arregladas en varios ángulos que incluyen verticalmente orientadas, horizontalmente orientadas, o en cualquier ángulo entre las mismas. En modalidades adicionales, se puede emplear un aparato de cribas activo tal como una criba de tambor giratorio, una criba de vibración u otro aparato de cribas móvil. En general, para los sistemas en los cuales el subsistema de separación 222 es un aparato de cribas, el tamaño de malla es más pequeño que el límite de fondo del tamaño de gránulo o partícula efectivo del material adsorbente que está siendo usado.

Otros tipos de subsistemas de separación también se pueden usar en el subsistema de separación, como alternativas a, en combinación con, un aparato de cribas. Por ejemplo, como se describe además posteriormente, se puede proporcionar una zona de asentamiento, en la cual el material adsorbente se asienta por gravedad.

En modalidades alternativas, en conjunción con las modalidades previamente descritas, los subsistemas de

separación pueden incluir un sistema de centrífuga (por ejemplo, hidrociclón, centrífuga, o los similares), una cámara de arenilla aireada, un sistema de flotación (tal como flotación de gas inducido o gas disuelto), u otro aparato conocido.

Opcionalmente, o en combinación con el subsistema de separación 222 próximo a la salida del reactor biológico 202, se puede proporcionar un subsistema de separación entre el reactor biológico 202 y el sistema de operación de membrana 204 (no mostrado). Este subsistema de separación alternativo o adicional puede ser el mismo como o diferente como el subsistema de separación 222, en tipo y/o dimensión. Por ejemplo, en ciertas modalidades, una zona de asentamiento, un clarificador, un separador de hidrociclón, una centrífuga, o una combinación de estos se pueden proporcionar como una operación unitaria distinta entre el reactor biológico 202 y el sistema de operación de membrana 204.

Observar que el subsistema de separación 222 es altamente efectivo para evitar el paso del material adsorbente y su dimensión original al sistema de operación de membrana. En ciertas modalidades preferidas, el subsistema de separación 222 evita que sustancialmente todo el material adsorbente 234 pase al sistema de operación de membrana 204. Sin embargo, durante la operación del sistema 200, varios casos de desgaste del material adsorbente, que incluye colisiones de intergránulos, separación, circulación, o colisiones de gránulos dentro del equipo estacionario o móvil, pueden causar que se creen partículas que son muy pequeñas para ser retenidas efectivamente con el subsistema

de separación 222. A fin de minimizar el daño a las membranas y la pérdida del material adsorbente el desperdiciar, ciertas modalidades incluyen un subsistema de separación 222 que es capaz de evitar el paso de sustancialmente de todo el material adsorbente 234 dentro de aproximadamente 70 a aproximadamente 80 por ciento de su dimensión original. El porcentaje de reducción aceptable en la dimensión original se puede determinar por una persona que tiene experiencia ordinaria en el campo, por ejemplo, con base en una evaluación económica. Si la reducción en la dimensión da por resultado un incremento en las partículas que pasan a través del sistema de cribas, las membranas experimentaran una abrasión incrementada. De esta manera, se puede usar un análisis de beneficio de costos para determinar lo que es un porcentaje de reducción aceptable del material adsorbente con base en el costo de la abrasión y el reemplazo eventual de las membranas como es comparado a los costos asociados con el material adsorbente que minimiza la descomposición, y los costos de manejo y operacionales asociados con un subsistema de separación capaz de evitar el paso de partículas mucho más pequeñas que los gránulos o partículas del material adsorbente originales. Además, en ciertas modalidades, algún grado de colisiones de inter-gránulos, o colisiones de gránulos dentro del equipo estacionario o móvil, es deseable para quitar la biomasa de exceso de las superficies exteriores del material adsorbente.

El efluente de licor mezclado cribado o separado del reactor biológico 202 se puede bombear o hacer fluir por gravedad (dependiendo del diseño del sistema particular) en el sistema de operación de membrana 204. En un sistema que

usa un subsistema de separación externo (no mostrado), el aparato se configura preferiblemente de tal manera que el material adsorbente separado del licor mezclado que pasa a través de un subsistema de cribas finas o separador externo cae por gravedad de regreso en el reactor biológico 202.

El material adsorbente tal como carbón activado granular, por ejemplo, humedecido adecuadamente para formar una suspensión de material adsorbente, se puede agregar al agua residual en varios puntos en el sistema 200, por ejemplo, de una fuente 229 de material adsorbente. Como se muestra en la FIGURA 2, el material adsorbente se puede introducir en una o más ubicaciones 230a, 230b, 230c y/o 230d. Por ejemplo, el material adsorbente se puede agregar a la corriente de alimentación corriente abajo del sistema de cribas preliminar 220 (por ejemplo, ubicación 230a). Opcionalmente, o en combinación, el material adsorbente se puede agregar directamente al reactor biológico 202 (es decir, ubicación 230b). En ciertas modalidades, el material adsorbente se puede introducir por la vía de la línea de lodo activado de retorno 214 (por ejemplo, ubicación 230c). En modalidades adicionales, puede ser deseable agregar el material adsorbente corriente arriba en sistema de cribas preliminar 220 (por ejemplo, ubicación 230d), donde el sistema de cribas preliminar 220 está diseñado específicamente para esta aplicación al incluir la criba que permite que el material adsorbente pase a través y dentro del reactor biológico 202. El licor mezclado pasa a través del subsistema de separación 222 y el material adsorbente se evita sustancialmente que pase en el sistema de operación de membrana 204 con los sólidos suspendidos en el licor

mezclado.

Ya que el material adsorbente permanece en el sistema y se expone a los constituyentes de aguas residuales que incluyen compuestos biológicamente refractarios, biológicamente inhibidores y/o compuestos orgánicos e inorgánicos que son totalmente resistentes a la descomposición biológica, algo o todo del material adsorbente será inefectivo para tratar los constituyentes, es decir, la capacidad de adsorción disminuye. Esto dará por resultado una concentración más alta de estos constituyentes que entran al sistema de operación de membrana 204, donde pasan a través de las membranas, y se descargan con el efluente de membrana 212. Además, el material adsorbente puede llegar hacer inefectivo debido al recubrimiento con bacterias, polisacáridos y/o sustancias poliméricas extracelulares. Esta capa de recubrimiento puede alcanzar niveles donde bloquea los sitios de poro y evita en consecuencia el acceso para los compuestos biológicamente refractarios, biológicamente inhibidores y/u orgánicos e inorgánicos que son totalmente resistentes a la descomposición biológica, y evita consecuentemente la adsorción e inhibe la biodegradación. En ciertas modalidades de la presente invención, este recubrimiento se puede remover mediante una acción de esfuerzo cortante producida por uno o más mecanismos en el sistema, tal como colisiones entre los gránulos de material adsorbente suspendidos en el licor mezclado o fuerzas cortantes asociadas con la suspensión y/o movimiento del material adsorbente.

Cuando el material adsorbente ha perdido todo o una porción de su eficacia para reducir la concentración de

efluente de los compuestos biológicamente refractarios, biológicamente inhibidores y/u orgánicos e inorgánicos que son totalmente resistentes a la descomposición biológica, se puede desperdiciar una porción del material adsorbente por la vía del orificio de desperdicio 216, por ejemplo, al descargar una porción del licor mezclado que contiene material adsorbente dispersado en el mismo.

Se puede introducir el material adsorbente reciente o regenerado adicional en el sistema, como se describe anteriormente, por medio del aparato de introducción de material adsorbente 229 y/o en una o más ubicaciones de adición adecuadas. Las concentraciones de compuesto COD de aguas residuales de entrada y de aguas residuales de efluente y/o concentraciones de compuestos inorgánicos, se puede supervisar para determinar cuando el material adsorbente y su masa acompañante en el sistema han experimentado efectividad reducida. Una gráfica entre la diferencia entre el COD de entrada y efluente dividido por la concentración de COD de entrada mostrará la pérdida gradual de la eficacia del material adsorbente en el licor mezclado. El mismo tipo de gráfica se puede usar para supervisar la capacidad de remoción inorgánica del sistema. La cantidad de COD removido de la corriente de alimentación puede proporcionar una indicación de la cantidad relativa de compuestos orgánicos biológicamente refractarios y/o biológicamente inhibidores que están siendo removidos de la alimentación de aguas residuales. Conforme los operadores del sistema desarrollan experiencia con el tratamiento de un agua residual particular, serán capaces de determinar cuando esta relación indica un punto en el cual existe una necesidad de remover

una porción del material adsorbente en el reactor biológico y reemplazarlo con material adsorbente reciente. La eficiencia requerida del sistema se recuperará para los compuestos que son biológicamente refractarios, biológicamente inhibidores, y/o para resistir completamente la bio-descomposición, por ejemplo, para producir un efluente que está en complicidad con los requerimientos reguladores. El muestreo y el análisis del efluente para las concentraciones de compuestos orgánicos e inorgánicos específicos también se pueden usar para determinar cuando la eficacia del material adsorbente y su biomasa acompañante en el licor mezclado se han reducido y se debe iniciar el reemplazo parcial.

El operador de un sistema de reactor biológico de membrana 200 de acuerdo con la invención puede comenzar a reemplazar algo del material adsorbente cuando las concentraciones de efluente de los compuestos orgánicos e inorgánicos específicos comiencen a acercarse a las concentraciones de descargas permitidas de la instalación para estos compuestos. Las concentraciones de descargas permitidas se limitan típicamente por el permiso de la instalación, por ejemplo, como se determina por el programa de permiso y El Sistema de Eliminación de Descarga de Contaminantes Nacional (NPDES) que es regulado por La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, u otro cuerpo regulador similar en un estado o nación particular. Ya que los operadores obtienen experiencia al operar este sistema con su agua residual particular, serán capaces de anticipar cuando comenzará el reemplazo del material adsorbente. Cuando el operador determina que la eficacia del material adsorbente y su biomasa acompañante está aproximándose a una incapacidad

de lograr la concentración de efluente requerida de los contaminantes, el desperdicio normal de la biomasa de exceso que se realiza al desperdiciar el lodo activado del retorno de la línea 218 puede cesar y la biomasa de exceso y el material adsorbente acompañante se desperdicia del reactor biológico 202 por la vía del orificio de desperdicio 216. La cantidad del material desperdiciado se determina por lo que es requerido para mantener los sólidos suspendidos en licor mezclado dentro del intervalo de operación óptimo para el sistema del reactor biológico de membrana particular. Después del reemplazo de una porción del material adsorbente, el efluente se supervisa por el operador para determinar si la eficiencia de remoción del contaminante requerido ha sido restaurada. El reemplazo adicional se puede hacer como sea necesario con base en la experiencia de operación.

En algunas modalidades, el sistema y/o el aparato individual del sistema pueden incluir un controlador para supervisar y ajustar el sistema como sea deseado. Un controlador puede dirigir cualquiera de los parámetros dentro del sistema dependiendo de las condiciones de operación deseadas, las cuales, por ejemplo, ser basadas en las regulaciones gubernamentales con respecto a las corrientes de efluente. El controlador puede ajustar o regular las válvulas, alimentadores o bombas asociados con cada flujo potencial con base en una o más señales generadas por los sensores o cronómetros posicionados dentro del sistema o aparato individual. El controlador también puede ajustar o regular las válvulas, alimentadores o bombas asociados con cada flujo potencial con base en una o más señales generadas por sensores o cronómetros, que indican una tendencia

especifica, por ejemplo una tendencia hacia arriba o hacia abajo en una característica o propiedad del sistema durante un período de tiempo predeterminado. Por ejemplo, un sensor en una corriente de efluente puede generar una señal que indica que la concentración de contaminantes tales como compuestos biológicamente refractarios, compuestos biológicamente inhibidores, y/o compuestos completamente resistentes a la bio-descomposición ha alcanzado un valor o tendencia predeterminada, o indica que el nivel COD, accionando en consecuencia el controlador para realizar algún acto corriente arriba de, corriente debajo de, o en el sensor. Este acto puede incluir cualquiera de uno o más para remover el material adsorbente del reactor biológico, agregar nuevo material adsorbente o regenerado al reactor biológico, agregar un tipo diferente de material adsorbente, ajustar el flujo de las aguas residuales en la entrada de alimentación o la entrada a otro aparato dentro del sistema, pre-direccional el flujo de la entrada de alimentación o la entrada a otro aparato dentro del sistema a un tanque de almacenamiento, ajustar el flujo de aire dentro del reactor biológico, ajustar el tiempo de resistencia dentro del reactor biológico u otro aparato, y ajustar la temperatura y/o pH dentro del reactor biológico u otro aparato se pueden usar uno o más sensores en o con uno o más aparatos o corrientes del sistema que proporciona una indicación o característica del estado o condición de cualquiera o más procesos que se realizan en el sistema.

El sistema o controlador de una o más modalidades de la invención proporcionan una unidad versátil que tiene múltiples modos de operación, que puede responder a múltiples

entradas para incrementar la eficiencia del sistema de tratamientos de aguas residuales de la presente invención. El controlador se puede incrementar usando uno o más sistemas de computadora que pueden ser, por ejemplo, una computadora de propósito general. Alternativamente, el sistema de computadora puede incluir hardware especialmente programado, de propósito especial, por ejemplo, un circuito aplicado de aplicación especifica (ASIC) o controladores propuestos para los sistemas de tratamiento de aguas.

El sistema de computadora puede incluir uno o más procesadores conectados típicamente a uno o más dispositivos de memoria, los cuales pueden comprender, por ejemplo, cualquiera o más de una memoria de unidad de disco duro, un dispositivo de memoria flash, un dispositivo de memoria RAM, u otro dispositivo para almacenar datos. La memoria se usa típicamente para almacenar programas y datos durante la operación del sistema. Por ejemplo, la memoria se puede usar para almacenar datos históricos que se relacionan con los parámetros durante un período de tiempo, así como también datos de operación. Software, que incluye código de programación que implementa modalidades de la invención, se puede almacenar en un medio de grabación no volátil legible y/o grabable por computadora, y luego copiado típicamente en la memoria en donde luego se puede ejecutar por uno o más procesadores. Este código de programación se puede escribir en cualquiera de una pluralidad de lenguajes de programación o combinaciones de los mismos.

Los componentes del sistema de computadoras se pueden acoplar por uno o más mecanismos de interconexión, que pueden incluir una o más barras colectoras, por ejemplo,

entre los componentes que se integran dentro de un mismo dispositivo, y/o una red, por ejemplo entre componentes que residen en los dispositivos discretos separados. El mecanismos de interconexión habilita típicamente las comunicaciones, por ejemplo, datos, instrucciones, hacer intercambiados entre los componentes del sistema.

El sistema de computadora también puede incluir uno o más dispositivos de entrada, por ejemplo, un teclado, ratón, puntero de bola, micrófono, pantalla táctil, y otros dispositivos de interfaz de hombre-máquina así como también uno o más dispositivos de salida, por ejemplo, un dispositivo de impresión, pantalla de visualización o bocina. Además, el sistema de computadora puede contener una o más interfaces que pueden conectar el sistema de computadora a una red de comunicación, además o como una alternativa a la red que se puede formar mediante uno o más de los componentes del sistema.

De acuerdo con una o más modalidades de la invención, en uno o más dispositivos de entrada pueden incluir sensores para medir cualquiera de uno más de los parámetros del sistema y/o componentes del mismo. Alternativamente, uno o más de los sensores, bombas, u otros componentes del sistema, que incluyen válvulas dosificadoras o alimentadores volumétricos, se pueden conectar a una red de comunicación que se acopla operativamente al sistema de computadora. Cualquiera de uno o más de lo anterior se pueden acoplar a otro sistema de computadora o componente para comunicarse con el sistema de computadora sobre una o más redes de comunicación. Esta configuración permite que cualquier sensor o dispositivo generador de señal se localice

a una distancia significativa del sistema de computadora y/o permita que cualquier sensor se localice en una distancia significativa de cualquier subsistema y/o el controlador, mientras que aún proporciona datos entre los mismos. Estos mecanismos de comunicación se pueden afectar al usar cualquier técnica adecuada que incluye pero no se limita a aquellos que usan protocolos inalámbricos.

Aunque el sistema de computadora se describe a manera de ejemplo como un tipo de sistema de computadora en el cual varios aspectos de la invención se pueden aplicar, se debe apreciar que la invención no se limita para ser implementada en el software, o en el sistema de computadora como se muestra ejemplarmente. De hecho, antes de que se implemente en, por ejemplo, un sistema de computadora de propósito general, el controlador, o componente o sus secciones de los mismos, se puede implementar alternativamente con como un sistema especializado o como un controlador lógico programable especializado (PLC) o un sistema de control distribuido. Además, se debe apreciar que uno o más características o aspectos de la invención se pueden implementar en el software, hardware o firmware, o cualquier combinación de los mismos. Por ejemplo, uno o más segmentos de un algoritmo ejecutable por un controlador se pueden realizar en computadoras separadas, las cuales a su vez, pueden estar en comunicación a través de una o más redes.

En algunas modalidades, uno o más sensores se pueden incluir en ubicaciones por todo el sistema 200, las cuales están en comunicación con un operador manual o un sistema de control automatizado para implementar una

modificación de proceso adecuada que en un sistema de reactor biológico de membrana controlado lógico programable. En una modalidad, el sistema 200 incluye un controlador 205 que puede ser cualquier sistema de computadora programado o dedicado apropiado, PLC, o sistema de control distribuido. La concentración de ciertos compuestos orgánicos y/o inorgánicos se puede medir en el efluente del sistema de operación de membrana 212 o el efluente de la salida 208 del reactor biológico 202, como se indica por las conexiones de línea ponteada entre el controlador 205 y tanto la línea efluente 212 y la línea efluente intermedia entre la salida 208 y la entrada 210. En otra modalidad, la concentración de los compuestos orgánicos volátiles u otra propiedad o característica del sistema se puede medir en una o más de las entradas 201, 206 o 210. Los sensores conocidos por aquellas personas de experiencia ordinaria en el campo del aparato de control de proceso pueden incluir aquellos basados en la fluorescencia inducida por láser o cualquier otro sensor adecuado para la supervisión en tiempo real in situ de la concentración de los compuestos orgánicos e inorgánicos en el efluente u otra propiedad o característica del sistema. Los sensores que se pueden usar incluyen los sensores sumergibles para el uso en la medición de aceite en agua que usa fluorescencia UV para detección, tal como sensores enviroFlu-HC disponibles de TriOS Optical Sensor (Oldenburg, Alemania). Los sensores pueden comprender lentes que se recubren o de otra manera se tratan para evitar o limitar la cantidad de ensuciamiento o película que ocurre sobre los lentes. Cuando uno o más sensores en el sistema generan una señal que la concentración de uno o más compuestos orgánicos y/o

inorgánicos se excede una concentración predeterminada, el sistema de control puede implementar una acción de respuesta tal como una acción de retroalimentación adecuada o acción de alimentación hacia delante, incluyendo pero no limitado a remover el material adsorbente por medio del puerto de descarga de residuo 216 (como se indica por las conexiones de línea ponteada entre el controlador 205 y el puerto de descarga de residuo 216); agregar material adsorbente nuevo o regenerado por medio del aparato de introducción de material adsorbente 229 o en una de las otras locaciones (como se indica por las conexiones de línea ponteada entre el controlador 205 y el aparato de introducción de material adsorbente 229); agregar un tipo diferente de material adsorbente; o modificar el tiempo de retención hidráulica; o modificar las características biológicas tal como alimentación de carbón simple para microorganismos o agregar fósforo, nitrógeno y/o químicos de ajuste de pH; y/u otras modificaciones como se describe anteriormente o que serán evidentes para aquellas personas de experiencia ordinaria en el campo.

Notar que aunque el controlador 205 y el aparato de introducción de material adsorbente 229 se muestran sólo con respecto a la FIG. 2, se pretende que estas características y las diversas capacidades de retroalimentación y alimentación por adelantado pueden incorporarse en cualquiera de los sistemas descritos en el documento actual. Además, el controlador 205 puede conectarse electrónicamente a otros componentes tales como una bomba de alimentación de agua residual y el sistema de suspensión 232.

Después de que el licor mezclado se aérea y se

trata por el material adsorbente en el reactor biológico 202, el licor mezclado procesado pasa a través del subsistema e separación 222, y se transfiere al sistema de operación de membrana 204 sustancialmente libre de material adsorbente. El subsistema de separación 222 se evita que el material adsorbente pase en el sistema de operación de membrana 204. Al mantener el material adsorbente en el reactor biológico 202, o de otra manera corriente arriba del sistema de operación de membrana 204, el método y sistema de la presente invención minimiza o elimina la probabilidad de ensuciamiento y/o abrasión de las membranas del tanque del sistema de operación de membrana por el material adsorbente.

El sistema de operación de membrana 204 contiene membranas de filtración 240 para filtrar la biomasa y cualquier otro de los sólidos en el licor mezclado en el tanque de sistema de operación de membrana 204 del efluente del bioreactor 212. Estas membranas 240, que pueden estar en la forma de membranas de fibras huecas u otras configuraciones adecuadas, como se sabe por aquellas personas de experiencia ordinaria en el campo, son típicamente muy costosas y es altamente deseable protegerlas del daño al fin de maximizar su vida útil. En el método y sistema de la presente invención, la vida de las membranas en el tanque del sistema de operación se prolonga, puesto que el subsistema de separación 222 reduce sustancialmente o elimina la entrada del material adsorbente tal como carbón activado granular, y/o cualquiera de otros gránulos y partículas solidas, en el sistema de operación de membrana 204.

La salida 212 transporta el efluente filtrado del tanque del sistema de operación de membrana 204. La línea de

lodo activado de retorno 214 se transporta una corriente de lodo activado de retorno desde el tanque de operación del sistema de membrana 204 hasta el reactor biológico 202 para el uso adicional en el procesamiento de la corriente de alimentación de aguas residuales. El lodo de exceso se desperdicia del sistema usando la línea de desperdicio 218 como en un sistema de reactor biológico de membrana convencional.

En los sistemas en el que el reactor biológico 202 es un reactor aeróbico tal como un tanque de aeración y los microorganismos son microorganismos aeróbicos, se puede usar un aparato de difusión de aire o sistema de mezclado mecánico para el mantener el material adsorbente en suspensión. Como se describe con detalle adicional posteriormente, varias modalidades adicionales de la presente invención incluyen un aparato o sistema de suspensión alternativo o complementario 232 para mantener el material adsorbente en suspensión.

El mantenimiento de los gránulos relativamente grandes de material adsorbente en suspensión requiere típicamente más energía considerable que un sistema de la técnica previa que no usa el material adsorbente, o que emplea carbón activado pulverizado. No obstante, las ventajas de no usar gránulos de material adsorbente de acuerdo con la presente invención, que incluye velocidad incrementad y grado de remoción de contaminantes, minimiza u obvia en consecuencia la necesidad por el tratamiento corriente abajo adicional, sobrepasa cualquier incremento en el consumo de energía para operar el sistema.

El sistema suspensión 232 en ciertas modalidades de la presente invención, usa uno o más de mezclado a chorro,

mezclado mecánico, aeración a chorro, aeración de burbujas gruesas, y otros tipos de suspensión mecánica o de aire para mantener el material adsorbente 234 en suspensión mientras que minimiza el desgaste del material adsorbente 234.

En ciertas modalidades, después de un período de tiempo inicial en el cual el material adsorbente 234 está dentro del reactor biológico 202 y puede ocurrir algún rompimiento de gránulos, por ejemplo, algunas de las superficies rugosas y/o sobresalientes del material adsorbente 234 se rompen y se vuelven polvos, materiales finos, agujas u otros materiales en partículas más pequeños, el material adsorbente 234 mantenido en suspensión por el sistema de suspensión a chorro 232 se estabiliza, y ante lo cual ocurre poco o nada de rompimiento o degradación adicional en el tamaño.

En modalidades adicionales de la presente invención, antes de la introducción del material adsorbente en el sistema el material se puede pre-acondicionar al remover porciones fáciles de romper del material adsorbente, minimizando en consecuencia la creación de partículas finas y otras partículas más pequeñas indeseables que son difíciles de separar y pueden desgastar las membranas. El pre-acondicionamiento puede ocurrir con o sin la pre-humectación, por ejemplo, en un aparato de acondicionamiento adecuado tal como un vibrador de partículas húmedas o secas.

La concentración del material adsorbente en el licor mezclado se determina generalmente con base en los parámetros del sistema específicos y las aguas residuales para tratar la combinación particular de los compuestos orgánicos o inorgánicos biológicamente refractarios y/o

biológicamente inhibidores para cumplir los requerimientos de descarga de una instalación. La prueba a indicado que la operación de un reactor biológico de membrana con una concentración de sólidos suspendidos en el licor mezclado industrial típico (en un intervalo normal para la configuración del reactor biológico de membrana particular empleado) y una concentración de material adsorbente, tal como carbón activado granular, de aproximadamente 20% (de la concentración de sólidos suspendidos en el licor mezclado total) fue adecuada para remover los compuestos orgánicos biológicamente refractarios y/o biológicamente inhibidores presentes en la alimentación de aguas residuales sin crear problemas de ensuciamiento sobre el sistema de cribas usado. Se pueden agregar concentraciones más altas del material adsorbente para proporcionar un margen adicional de seguridad contra las alteraciones del proceso que podrían causar concentraciones de efluentes más altas que las normales de compuestos biológicamente refractarios, compuestos biológicamente inhibidores, y/o compuestos orgánicos e inorgánicos totalmente resistentes a la descomposición biológica. Observar que este material adsorbente adicional dará por resultado requerimientos de cribado y/o asentamiento incrementado. La concentración más baja de material adsorbente que se puede usar y aún logra la calidad de efluente requerida se puede determinar empíricamente, con base en un margen deseado de seguridad contra las alteraciones de proceso que se basan en la experiencia o de otra manera consideran apropiados para el sistema y proceso particular.

La presente invención que usa material adsorbente

corriente arriba de un tanque de operación de membrana para adsorber materiales orgánicos e inorgánicos (biológicamente refractarios, biológicamente inhibidores o de otra manera) así como también para proporcionar un reactor biológico de membrana con medios suspendidos es aplicable para una variedad de diferentes configuraciones. Además, también se pueden usar varios dispositivos de separación para mantener el material adsorbente en el reactor biológico. Se apreciará por una persona de experiencia ordinaria en el campo que diferentes sistemas tendrán diferentes beneficios económicos con base en las características individuales de las aguas residuales y la región donde la instalación se va a instalar.

Los factores que se controlan para producir condiciones de tratamiento optimas que incluyen el tipo de material adsorbente, que incluye su tamaño, forma, dureza, gravedad especifica, velocidad de asentamiento, flujo de aire requerido u otras necesidades de suspensión para la suspensión de gránulos en el licor mezclado, es decir, para mantener el carbón activado granular como un medio suspendido, el espaciamiento de criba de barra o el tamaño de orificio y la configuración del agujero, la concentración del material adsorbente en el licor mezclado, la concentración de los sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado, la concentración total de sólidos suspendidos en el licor mezclado, la relación de la velocidad de flujo del lodo activado de retorno dividido por la velocidad de flujo de licor mezclado que entra al tanque del sistema de operación de membrana, el tiempo de retención hidráulica y el tiempo de retención del lodo. Esta optimización proporciona adsorción de alguna porción de los compuestos biológicamente

refractarios, facilidad para degradad los compuestos de demanda de oxígeno biológicos (BODs), compuestos biológicamente inhibidores, compuestos orgánicos o inorgánicos totalmente resistentes a la descomposición biológica, y sustancias poliméricas extracelular por el material adsorbente tal como carbón activado granular suspendido en el licor mezclado.

Otro beneficio del aparato de la presente invención es proporcionar sitios a los cuales los microorganismos en los sólidos suspendidos en el licor mezclado pueden adherirse. Este aspecto del proceso produce una corriente de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado que es más estable y resistente en su respuesta a las condiciones de alteración y permite la biodegradación mejorada de los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales como es comparado a un reactor biológico de membrana mejorado con carbón activado no granular operado con tiempo de retención hidráulicas similares y tiempos de retención de lodo. Una fuente de microorganismos dentro de los espacios de poro, o sobre la superficie, del material adsorbente sirve como una fuente de bacterias de semillas en el evento de una alteración del proceso de corriente arriba que resulta en la pérdida de alguno de los microorganismos viables que flotan libre en el licor mezclado. En el evento de un choque químico térmico o tóxico para el sistema, el cual toma en los sistemas convencionales, germinaría ciertas bacterias, algunos de los microorganismos dentro de los espacios de poro o sobre la superficie pueden sobrevivir, de esta manera solo una fracción del tiempo de recuperación es necesario como es comparado para los sistemas convenciones en el material

adsorbente. Por ejemplo, en el sistema donde las bacterias son mesofílicas, el material adsorbente puede permitir que algunas bacterias dentro de los sitios del poro sobrevivan en el evento del choque térmico debido a la temperatura incrementada. Del mismo modo, en los sistemas en donde las bacterias son termofílicas, el material adsorbente permite que algunas bacterias dentro de los sitios del poro sobrevivan en el evento del choque térmico debido a la temperatura disminuida. En ambas de estas circunstancias, el tiempo requerido para que los cultivos se vuelvan a aclimatar se puede reducir grandemente. Además, en el evento de un choque del sistema que termina todo o una porción de la población de microorganismos, la presencia del material adsorbente permite la operación continuada, en la cual contaminantes inestables, refractarios e inhibidores se pueden adsorber mientras que se ajusta a la población de microorganismos.

Los diversos beneficios dan por resultado una aclimatación más rápida del licor mezclado a la alimentación de aguas residuales, reducen el ensuciamiento de las membranas, una tolerancia mejorada a las variaciones en las concentraciones de alimentación y la velocidad de flujo, producen un lodo que puede eliminar el agua más rápidamente con una naturaleza menos aceitosa que es más fácil de manejar, y un efluente que tiene una concentración más baja de impurezas orgánicas e inorgánicas que se pueden obtener de un aparato de reactor biológico de membrana convencional.

El uso de un material adsorbente tal como carbón activado granular en lugar del carbón activado pulverizado elimina el ensuciamiento y/o abrasión de las membranas que se

han identificado como un problema en las pruebas de los reactores biológicos de membrana con carbón activado pulverizado.

Aunque el uso de carbón activado granular en lugar del carbón activado pulverizado no usa carbón como eficientemente sobre una base en peso, el sistema y método de la presente invención evita sustancialmente que el carbón activado granular entre al sistema de operación de membrana minimizando o eliminando en consecuencia la probabilidad de abrasión y ensuciamiento de las membranas. El impacto de la eficiencia de adsorción reducida como resultado de usar carbón activado granular en lugar de carbón activado pulverizado sin embargo, no impacta significativamente la eficacia del aparato del reactor biológico de membrana mejorado con carbón activado total.

La prueba ha indicado que el mecanismo principal de remoción de ciertos compuestos orgánicos biológicamente inhibidores y/o biológicamente refractarios se relaciona con un incremento en el tiempo de residencia que los compuestos biológicamente refractarios y biológicamente inhibidores se exponen a los microorganismos en el aparato mejorado con carbón activado pulverizado. Los microorganismos en los sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado adsorbidos sobre el material adsorbente tal como carbón activado granular tienen un período más prolongado de tiempo para digerir ciertos compuestos biológicamente refractarios y biológicamente inhibidores. El tiempo de residencia incrementado para la biodegradación ha sido mostrado que es un factor principal en reducir la concentración de ciertos compuestos biológicamente refractarios y biológicamente

inhibidores en el efluente del reactor biológico de membrana, y la eficiencia de adsorción más alta del carbón activado pulverizado no es requerida para lograr los resultados deseados.

El carbón activado granular en un reactor biológico de membrana asistido con carbón desempeña también o mejor que un reactor biológico de membrana mejorado con carbón activado pulverizado al aumentar la remoción de compuestos biológicamente refractarios, compuestos biológicamente inhibidores, compuestos que son totalmente resistentes a la descomposición biológica, y compuestos poliméricos extracelulares. También, debido a que su tamaño más grande, se puede filtrar efectivamente o de otra manera separar del licor mezclado que entra al(los) tanque(s) del sistema de operación de membrana. La abrasión que ocurre al usar el carbón activado pulverizado se puede eliminar o reducir significativamente al emplear carbón activado granular de acuerdo con la presente invención.

Aunque el uso de las partículas de carbón activado pulverizado en un reactor biológico de membrana ha demostrado alguna de las mismas ventajas descritas anteriormente para el sistema de carbón activado granular, la abrasión de la membrana observada de las partículas del carbón activado pulverizado en el(los) tanque(s) del sistema de operación de membrana es inaceptable puesto que la vida útil de la membrana se puede reducir a un nivel inaceptable, por ejemplo, significativamente menor que una garantía de membrana típica. Puesto que el costo de la membrana representa una porción significativa del costo total del sistema del reactor biológico de membrana, una extensión de

su vida útil es un factor importante en el costo de operación del sistema de operación de membrana.

La FIGURA 3 muestra una modalidad alternativa de un sistema de reactor biológico de membrana 300 que usa una operación de desnitrificación biológica. Otros sistemas de tratamiento biológico o químico especializados requeridos por un agua residual de flujo entrante específica también se puede incorporar en el sistema de la presente invención mostrado generalmente con respecto a la FIGURA 2, como será evidente para una persona que tiene experiencia ordinaria en el campo. La modalidad de la FIGURA 3 es similar a la modalidad de la FIGURA 2, con la adición de una zona anóxica (baja concentración de oxígeno) 331. En las modalidades en este documento que usan una zona anóxica o recipiente, una fuente de carbón orgánico simple, tal como metanol o el contenido de demanda de oxígeno bioquímico del agua residual misma, proporciona el consumo por los organismos biológicos. El agua residual 306 se introduce en la zona anóxica 331, que está en comunicación fluida con el reactor biológico 302 que contiene material adsorbente 334. La zona anóxica 331 puede incluir un mezclador y/o un dispositivo de aeración (no mostrado). En modalidades en este documento en las cuales se usa un dispositivo de aeración, la concentración de oxígeno disuelto se controla para mantener las condiciones anóxicas. El efluente del reactor biológico 302 se introduce por la vía de un subsistema de separación 322 a una entrada 310 del sistema de operación de membrana 304. El sistema de operación de membrana 304, el agua residual pasa a través de una o más membranas de micro filtración o ultrafiltración, eliminando o minimizando en consecuencia la necesidad para la

clarificación y/o filtración terciaria. El material permeado de la membrana, es decir, el líquido que pasa a través de las membranas 340, se descarga del sistema de operación 304 por la vía de una salida 312. El material retenido de la membrana, es decir, los sólidos del efluente del reactor biológico 302, que incluyen lodo activado, se regresa a la zona anóxica 331 por la vía de una línea de lodo activado de retorno 314. El material adsorbente agotado del reactor biológico 302 se puede remover por la vía de un orificio de descarga de desperdicio de licor mezclado 316 del reactor biológico 302. Una salida de desperdicio 318 también se puede conectar al tubo de retorno 314 para desviar algo o todo del lodo activado de retorno para la eliminación, por ejemplo, para controlar la concentración del licor mezclado y/o el cultivo. El orificio de descarga de desperdicio del licor mezclado 316 también se puede usar para remover una porción del material adsorbente. Se puede agregar una cantidad equivalente de material adsorbente reciente o regenerado.

Como en el sistema descrito en la FIGURA 2, existen múltiples ubicaciones en las cuales el material adsorbente 334 se puede agregar al sistema. En una modalidad preferida, el material adsorbente se agrega en una ubicación 330b que previene el paso en la zona anóxica 331.

La Figura 4 es una representación esquemática de un sistema de tratamiento de aguas 400 que es una modalidad de un sistema 100 mostrado en la FIGURA 1. En el sistema 400, un reactor biológico 402 se divide o se separa en múltiples secciones 402 a y 402b, por ejemplo, usando una pared deflectora 403. Un sistema de operación de membrana 404 está posicionado corriente abajo del reactor biológico 402.

El flujo hidráulico entre las zonas 402a y 402b se diseña para proporcionar un flujo en la dirección de corriente abajo. Esto se puede lograr mediante las configuraciones y/o aparatos que incluyen, pero no se limitan a un vertedero de desbordamiento, orificios sumergidos, y/o varios arreglos de tabearía de distribución, para el propósito de mantener la separación positivas entre las zonas 402a y 402b y para mantener el material adsorbente 343 únicamente en la zona 402b. Estas diversas configuraciones también se pueden diseñar para controlar la velocidad de flujo entre las zonas 402 a y 402b. No se ilustran configuraciones específicas adicionales ya que estas serán conocidas por una persona de experiencia ordinaria en el campo.

Durante la operación, una corriente de aguas residuales de flujo entrante 406 se introduce en el reactor biológico 402, y en particular a la primera zona 402a del reactor biológico 402. Como se plantea anteriormente, será evidente para una persona que tiene experiencia ordinaria en el campo, que el fósforo, nitrógeno, y materiales de ajuste de pH o químicos se pueden agregar para mantener las relaciones de nutriente óptimas y niveles de pH para la vida biológica de actividad asociada, que incluye oxidación biológica, en la primera zona 402a. Los microorganismos en la primera zona 402a son capaces de descomponer por lo menos una porción del contenido biológicamente inestable de los sólidos suspendidos en el licor mezclado. Los compuestos biológicamente inestables, es decir, carbón sencillo, en los sólidos suspendidos en el mezclado sirven como una fuente de alimento para los microorganismos. El agua residual se puede

tratar en la zona 402a para remover sustancialmente todo el contenido biológicamente inestable de los sólidos suspendidos en el licor mezclado, o, en ciertas modalidades una porción del contenido biológicamente inestable de los sólidos suspendidos en el licor mezclado se pueden retener para el paso en la zona de reacción biológica 402b. En las modalidades en las que el contenido biológicamente inestable de los sólidos suspendidos en el licor mezclado se reduce en la zona 402a a un nivel que es insuficiente para soportar eficientemente microorganismos corriente abajo, uno o más controles se implementan para mantener una concentración efectiva de una fuente alimenticia de microorganismos, particularmente en la zona de reacción biológica corriente abajo 402b. El control puede ser, por ejemplo, basado en el tiempo de residencia del agua residual en la zona corriente arriba 402a, que pasa una estela de agua residual de flujo entrante no tratada directamente a la zona 402b, que controla el lodo activado de retorno, que introduce metanol u otra fuente alimenticia de carbono simple para los microorganismos, o proporciona aireación intermitente en la zona 402a, u otros métodos que promueven una biomasa sana en la zona 402b.

El material adsorbente 434 se mantiene en suspensión en la zona de reacción biológica 402b usando un aparato de suspensión 432, que puede incluir uno o más de los sistemas de suspensión descritos en este documento, por ejemplo, como se muestra en las FIGURAS 7, 8, 9, 10, 11 o 12, en los ejemplos en el documento actual, o cualquier aparato convencional adecuado para hacer circular el aire, líquido o una combinación de aire y líquido. Estos aparatos

convencionales incluyen, pero no se limitan a, burbujeadores de difusión de aire, paletas, mezcladores, aireadores se superficie, bombas de circulación de líquido, y otros que son conocidos por una persona de experiencia ordinaria en el campo. Se debe apreciar que, mientras que en ciertas modalidades es deseable usar un aparato de suspensión 432 que tiene un consumo de energía relativamente bajo para mantener el material adsorbente 434 en suspensión, tales como aquellos descritos en conjunción con las FIGURAS 7, 8, 9, 10, 11, o 12, o en el Ejemplo 3, Ejemplo 4, o Ejemplo 5, otras modalidades que usan un aparato menos eficiente también son adecuadas, ya que el volumen total de la zona 402b con la cual el material adsorbente 434 debería mantenerse en suspensión es sólo una porción del volumen total del reactor biológico 402.

Un sistema de cribas/separación 422 está posicionado en la sección 402b para evitar sustancialmente el paso del material adsorbente 434 al sistema de operación de membrana 404. En ciertas modalidades, el material adsorbente se agrega únicamente en la ubicación 430b, es decir, que corresponde a la zona 402b.

Observar que mientras el sistema 400 se muestra con una zona de reactor biológico sustancialmente sin material adsorbente, y una zona que contiene material adsorbente 434, se apreciará por una persona de experiencia ordinaria en el campo que un poco o un número mayor de zonas de cada tipo se pueden emplear. La concentración de material adsorbente 434 en la sección 402b puede ser la misma concentración como es empleada, por ejemplo, en el sistema de la FIGURA 1, o una concentración más alta o más baja se puede usar dependiendo

del agua residual que se trata.

Además, las zonas del reactor biológico se pueden formar en varias configuraciones. Por ejemplo, en un tanque del reactor biológico prismático, una pared de partición se puede proporcionar a través de la anchura del tanque para dividirlo en zonas. En un tanque cilíndrico, por ejemplo, una pared de partición se puede proporcionar como una cuerda, o paredes plurales, por ejemplo, como radios, se pueden proporcionar para formar dos o más sectores.

Al tener el material adsorbente solo en la zona o zonas de reacción biológicas finales, los compuestos biológicamente inestables se pueden tratar en la sección corriente arriba sin el material adsorbente y por consiguiente sin la necesidad de suspender el material adsorbente en el licor mezclado de las zonas sin material adsorbente del sistema 400. Esto también permite el desarrollo de una colonia de microorganismos que pueden biodegradar por lo menos ciertos compuestos biológicamente refractarios y/o biológicamente inhibidores que no se pueden descomponer biológicamente por los microorganismos tradicionales que existirían en las secciones corriente arriba de este sistema. También se apreciará por una persona de experiencia ordinaria en el campo que un sistema similar al sistema 400 se puede proporcionar de acuerdo con la presente invención que usa tanques separados antes que secciones divididas de un reactor biológico, como se muestra esquemáticamente en la FIGURA 6, o una combinación de secciones divididas de un reactor biológico y recipientes separados.

Todavía con referencia a la FIGURA 4, el efluente

de la zona de reacción biológica 402b se introduce por la vía del sistema de cribas/separación 422 a una entrada 410 del sistema de operación de membrana 404. En el sistema de operación de membrana 404, el agua residual pasa a través de una o más membrana de microfiltración o ultrafiltración 440, y el material permeado de la membrana se descarga con la vía de una salida 412 mientras que el material retenido de la membrana, que incluye el lodo activado, se regresa a la zona de reacción biológica 402a por la vía de una línea de lodo activado de retorno 414.

El material adsorbente agotado de la de la zona de reacción biológica 402b se puede remover periódicamente por la vía de un orificio de descarga de desperdicio de licor mezclado 416. Una salida de desperdicio 418 también se puede conectar a la línea del lodo activado de retorno 414 para desviar algo o todo del lodo activado de retorno para eliminación, por ejemplo, para controlar la concentración del licor mezclado y/o cultivo. El puerto de descarga de residuo de licor mezclado 416 también puede usarse para remover una porción del material adsorbente. Puede agregarse una cantidad equivalente de material adsorbente fresco o regenerado.

La FIGURA 5 muestra un sistema 500 que opera en una manera similar al sistema 400, con un reactor biológico 502 que se divide en múltiples zonas 502a y 502b, e incluye una etapa de desnitrificación biológica que se integra con el reactor biológico 502. En esta modalidad, el material adsorbente 535 es agregado, por ejemplo, una ubicación 530b, y se mantiene en suspensión en la zona 502b y no se introduce en la zona anóxica 531 o zona 502a.

El efluente de la zona de reacción biológica 502b

se introduce por medio del sistema de cribado/separación 522 a una entrada 510 del sistema de operación de membrana 504. En el sistema de operación de membrana 504, el agua residual pasa a través de una o más membranas de microfiltración o ultrafiltración 540, y el material permeado de la membrana se descarga por la vía de una salida 512 mientras que el material retenido de la membrana, que incluye el lodo activado, se regresa a la zona anóxica 531 por la vía de una línea de lodo activado de retorno 514.

El material adsorbente agotado de la de la zona de reacción biológica 502b se puede remover periódicamente por la vía de un puerto de descarga de desperdicio de licor mezclado 516. Una salida de desperdicio 518 también se puede conectar a la línea del lodo activado de retorno 514 para desviar algo o todo del lodo activado de retorno para eliminación, por ejemplo, para controlar la concentración del licor mezclado y/o cultivo. El puerto de descarga de residuo de licor mezclado 516 también puede usarse para remover una porción del material adsorbente. Puede agregarse una cantidad equivalente de material adsorbente fresco o regenerado.

Bajo ciertas condiciones operacionales, puede ser necesario inducir una fuente de carbón orgánico simple, tal como metanol a la zona anóxica, para ayudar con el proceso de desnitrificación. Alternativamente, el contenido de demanda de oxígeno biológico del agua residual sin procesar puede proporcionar típicamente la fuente alimenticia necesaria para el consumo por los organismos biológicos.

En modalidades adicionales, se puede proporcionar una zona anóxica corriente abajo (no mostrada) de la zona 502b, o entre las zonas 502a y 502b. En cualquiera caso, será

probablemente necesario agregar una fuente alimenticia para el consumo por los organismos biológicos en la zona anóxica para ayudar con el proceso de desnitrificación.

También se apreciará por una persona de experiencia ordinaria en el campo que un sistema similar al sistema 500 se puede proporcionar de acuerdo con la presente invención que usa reactores biológicos separados antes que secciones divididas de un reactor biológico, como se muestra esquemáticamente a en la FIGURA 6, o una combinación de secciones divididas de un reactor biológico y reactores separados.

La FIGURA 6 es una descripción esquemática de otra modalidad de un sistema de tratamiento de aguas 600. En el sistema 600, se proporciona una serie de reactores biológicos, que incluyen un primer reactor biológico 602a que está sustancialmente libre de material adsorbente, y un segundo reactor biológico 602b que contiene una suspensión de material adsorbente 634 que puede agregarse, por ejemplo, una o ambas de las ubicaciones 630a y 630b. Un sistema de operación de membrana 604 está posicionado corriente abajo del reactor biológico 602a y 602b. El segundo reactor biológico 602b incluye un sistema de cribas/separación 622 que está posicionado en la sección 602b para evitar sustancialmente el paso de material adsorbente al sistema de operación de membrana 604.

El flujo hidráulico entre los reactores 602a y 602b se diseña para proporcionar un flujo en la dirección corriente abajo para mantener el material adsorbente solo en la zona 602b, es decir, para evitar el flujo posterior del material adsorbente del reactor 602b al reactor 602a, y se

puede diseñar para controlar la velocidad de flujo entre las zonas 602a y 602b.

Durante la operación, una corriente de aguas residuales de flujo entrante 606 se introduce en el reactor biológico 602a. Los microorganismos en el primer reactor biológico 602a son capaces de descomponer por lo menos una porción de los compuestos biológicamente inestable contenidos en los sólidos suspendidos en el licor mezclado. Los compuestos orgánicos simples en los sólidos suspendidos en el licor mezclado sirven como una fuente alimenticia para los microorganismos. El agua residual parcialmente tratada se hace pasar por la vía del conducto 607 al reactor biológico 602b. El agua residual parcialmente tratada del reactor biológico 602a también se puede alimentar por gravedad al reactor biológico 602b, o se hace pasar por otros medios conocidos por aquellas personas que tienen experiencia ordinaria en el campo.

El agua residual se puede tratar en el primer reactor biológico 602a para remover sustancialmente todos los compuestos biológicamente inestables de los sólidos suspendidos en el licor mezclado, o, en ciertas modalidades, una porción de los compuestos biológicamente inestables contenido en los sólidos suspendidos en el licor mezclado se pueden retener para el paso en el segundo reactor biológico 602b. En las modalidades en las cuales los compuestos biológicamente inestables contenidos en los sólidos suspendidos en el licor mezclado se reducen en el primer reactor biológico 602a a un niel que es insuficiente para soportar eficientemente los microorganismos corriente abajo, uno o más controles se implementan para mantener una

concentración efectiva de una fuente alimenticia de microorganismos, particularmente en el reactor biológico corriente abajo 602b. Este control puede estar, por ejemplo, basado en el tiempo de residencia del agua residual en el reactor biológico corriente arriba 602a, que pasa una estela de agua residual de flujo entrante no tratado directamente al reactor biológico 602b, que controla el lodo activado de retorno, que introduce metanol u otra fuente alimenticia del carbón simple para los microorganismos, u otra acción de retroalimentación o alimentación hacia adelante adecuada.

El material adsorbente 634 se mantiene en suspensión en el reactor biológico 602b usando un aparato de suspensión 632, que pueden incluir uno o más de los sistemas de suspensión descritos en este documento, por ejemplo, como se muestran en las FIGURAS 7, 8, 9, 10, 11 o 12, en los ejemplos en el documento actual, o cualquier aparato convencional adecuado para hacer circular aire, líquido o una combinación de aire o líquido. Estos aparatos convencionales incluyen, pero no se limitan a, burbujeadores de difusión de aire, paletas, mezcladores, aireadores de superficie, bombas de circulación de líquidos, y otros que son conocidos por una persona de experiencia ordinaria en el campo. Se debe apreciar que, mientras que en ciertas modalidades es deseable usar un aparato de suspensión 632 que tiene un consumo de energía relativamente bajo para mantener el material adsorbente en suspensión, tales como aquellos descritos en conjunción con las FIGURAS 7, 8, 9, 10, 11 o 12, o en Ejemplo 3, Ejemplo 4, o Ejemplo 5, también son adecuadas otras modalidades que usan un aparato menos eficiente, ya que el volumen total de la zona 602b es solo una porción del volumen

combinado total de los reactores biológicos 602a y 602b.

El sistema de cribas/separación 622 está posicionado en el reactor biológico 602b para evitar sustancialmente el paso de material adsorbente 634 al sistema de operación de membrana 604. En ciertos casos, el material adsorbente 634 se agrega únicamente al reactor biológico 602b, por ejemplo, en la ubicación 630a asociada con el conducto 607, o directamente en el reactor biológico 602b (ubicación 630b). En ciertas modalidades preferidas, el material adsorbente se pre-humedece, por ejemplo, para formar una suspensión, antes de la introducción en el reactor biológico 602b.

Observar que mientras el sistema 600 se muestra con un reactor biológico sustancialmente sin material adsorbente, y un reactor biológico que contiene material adsorbente 634, se apreciará por una persona de experiencia ordinaria en el campo que poco o un número mayor de reactores biológicos, o secciones de reactores biológicos, de cada tipo se pueden emplear. La concentración de material adsorbente en el reactor biológico 602b puede ser la misma concentración como la empleada, por ejemplo, en el sistema de la FIGURA 1, o una concentración más alta se puede usar, dependiendo de factores que incluyen pero no se limitan a las características del agua residual parcialmente tratada que se trata en el reactor biológico 602b.

Al tener el material adsorbente únicamente en el reactor biológico final, se pueden tratar compuestos biológicamente inestables en el reactor biológico corriente arriba sin material adsorbente. Esto permite el desarrollo de una colonia de microorganismos que pueden biodegradar los

organismos biológicamente refractarios que no se pueden oxida biológicamente por los microorganismos tradicionales que existirían en las secciones corriente arriba de este sistema. También se apreciará por una persona de experiencia ordinaria en el campo que un sistema similar al sistema 600 se puede proporcionar de acuerdo con la presente invención que usa secciones divididas de un reactor biológico antes que reactores biológicos separados, como se muestra esquemáticamente en la FIGURA 4, o una combinación de secciones divididas de un reactor biológico y reactores separados.

Todavía con referencia a la FIGURA 6, el efluente del reactor biológico 602b se introduce por la vía del sistema de cribas/separación 622 a una entrada 610 del sistema de operación de membrana 604. En el sistema de operación de membrana 604, el agua residual pasa a través de una o más membranas de microfiltración o ultrafiltración 640, y el material permeado de la membrana se descarga por la vía de una salida 612 mientras que el material retenido de la membrana, que incluye lodo activado, se regresa al reactor biológico 602a por la vía de una línea de lodo activado de retorno 614.

El material adsorbente agotado del reactor biológico 602b se puede remover periódicamente por la vía de un orificio de descarga de desperdicio de licor mezclado 616. Una salida de desperdicio 618 también se puede conectar al tubo de retorno 614 para desviar algo o todo el lodo activado de retorno para la eliminación, por ejemplo, para controlar la concentración de licor mezclado y/o cultivo.

Refiriéndose generalmente a las FIGURAS 7, 8, 9, 10

y 11, se muestran varias modalidades alternativas que incluyen un sistema de suspensión a chorro en el cual el licor mezclado (que incluye MLSS que tiene MLVSS) y material adsorbente dispersado en el mismo se hace circular a través de una boquilla de chorro. Esta circulación proporciona un mezclado íntimo del material adsorbente y el licor mezclado, y también proporciona turbulencia que minimiza el material adsorbente en suspensión en el reactor biológico. La turbulencia puede ser turbulencia localizada, por ejemplo, próxima al orificio de la boquilla, que causa un movimiento de remolino y enrollamiento del fluido que sale de la boquilla de chorro. En las FIGs. 7, 8 y 11, los elementos en negro sólido representan material adsorbente, y los elementos de líneas irregulares representan micro-organismos o biomasa.

La FIGURA 7 representa esquemáticamente un aparato de suspensión 732 dentro de un reactor biológico 702 (una porción de la cual se muestra en la figura para claridad de exposición). El aparato de suspensión 732 comprende una boquilla de chorro 744 conectada fluidamente a una bomba 748 y a una fuente 760 de gas. El gas puede ser un gas que contiene oxígeno en el caso de un reactor biológico aeróbico 702, o un gas libre de oxígeno o sustancialmente libre de oxígeno en el caso de un reactor biológico anaeróbico 702.

La configuración mostrada en la FIGURA 7, y en ciertas modalidades adicionales descritas en conjunción con las FIGURAS 8, 9 y 10, se puede emplear usando, por ejemplo, el sistema Vari Cant® que es comercialmente disponible de Siemens Water Technologies of Rothschild, Wisconsin, E. U. A.. Otros sistemas de aireación a chorro también se pueden desplegar para uno o más de los sistemas mostrados con

respecto a las FIGURAS. 8, 9 y 10. Por ejemplo, varios sistemas incluyen, pero no se limitan a, sistemas de aireación a chorro que están comercialmente disponibles de Fluidyne Corporation of Cedar Falls, Iowa, E. U. A.; KLa Systems de Assonet, Massachusetts, E. U. A.; y Mixing Systems Inc. de Dayton, Ohio, E. U. A.

Observar que mientras los sistemas descritos en este documento con respecto a las FIGURAS 7, 8, 9, 10 y 11 representan generalmente una bomba fuera del tanque del reactor biológico, una persona que tienen experiencia ordinaria en el campo apreciará que una o más bombas también se pueden posicionar dentro del(los) tanque(s). En modalidades adicionales, una o más bombas se pueden posicionar dentro o fuera de un tanque de cabeza para mantener la succión positiva.

Además, mientras que los sistemas descritos en este documento con respecto a las FIGURAS 7, 8, 9, 10 y 11 muestran generalmente, para propósitos de ilustración, la boquilla de chorro completa posicionada en el tanque del reactor biológico, en ciertas modalidades, una porción de la(s) boquilla(s) de chorro se puede posicionar fuera del tanque del reactor biológico, con por lo menos su(s) orificio(s) de salida localizado(s) en el tanque del reactor biológico.

La boquilla de chorro 744 la entrada del líquido 746 y el orificio de salida 764, y el aparato de bomba 748 la entrada 752 y la salida 754, están dimensionados y configurados para permitir el paso del material adsorbente y MLSS, que incluye MLVSS. Por consiguiente, una mezcla de licor mezclado, que incluye MLSS y MLVSS, y material

adsorbente se extraen de una salida 750 del reactor biológico 702 en una entrada 752 del aparato de bomba 748 a través de una línea 751. La mezcla se bombea fuera del aparato de bomba 748 por la vía de una salida 754, a través de una línea 755 y se dirige a una entrada de líquido 746 integral con o de otra manera en comunicación fluida con la boquilla de chorro 744.

Simultáneamente, el gas 760 se dirige a través de la línea 761 a una entrada de gas 758 integral con o de otra manera en comunicación fluida con la boquilla de chorro 744 y se dirige a una cámara de mezclado 766, donde se expande e imparte energía motriz a la corriente mezclada del licor mezclado y el material adsorbente dispersado en la dirección del orificio de salida de la boquilla 764. El gas expandido, el licor mezclado y el material adsorbente dispersado pasan a través de una garganta 768 que tiene un área transversal decreciente en una dirección del flujo de fluido, en la cual la velocidad se incrementa, y sale del orificio de salida 764. El sistema combinado de gas, líquido, y partículas sólidas entra con fuerza al reactor biológico 702, y los gránulos sólidos de material adsorbente permanecen en suspensión bajo operación continua debido a la turbulencia de líquido en el reactor biológico 702.

Con referencia ahora a la FIGURA 8, se muestra otra modalidad de un reactor biológico que incluye un sistema de suspensión a chorro. En particular, un reactor biológico 802 incluye un sistema de suspensión a chorro 832 que incluye una boquilla de chorro 844 que tiene por lo menos un orificio de salida 864 localizado en el reactor biológico 802 para hacer circular el licor mezclado que tiene el material adsorbente dispersado en el mismo. La boquilla de chorro 844 está

fluidamente conectada a una bomba 848 para hacer circular el licor mezclado que tiene el material adsorbente dispersado en el mismo para crear una turbulencia que mantiene el material adsorbente en suspensión. Cualquier mezclador a chorro, rociador u otro dispositivo capaz de dirigir y descargar el licor mezclado que tiene el material adsorbente dispersado en el mismo sin requerir una entrada de gas se puede usar como la boquilla de chorro 844 como se apreciará por una persona que tiene experiencia ordinaria en el campo.

En los reactores biológicos aeróbicos 802, también se proporciona una fuente de gas que contiene oxígeno (no mostrada), tal como un aparato de difusión de aire convencional.

La entrada del líquido 846 y el orificio de salida 864 de la boquilla de chorro 844, y la entrada 852 y la salida 854 del aparato de bomba 848, están dimensionados y configurados para permitir el paso del material adsorbente y los sólidos suspendidos en el licor mezclado, que incluyen sólidos volátiles suspendidos en el licor mezclado. Por consiguiente, una mezcla de licor mezclado, que incluye MLSS y MLVSS, y material adsorbente se retiran de una salida 850 del reactor biológico 802 en la entrada 852 del aparato de bomba 848 a través de una línea 851. La mezcla se bombea fuera del aparato de bomba 848 por la vía de la salida 854, a través de una línea 855 y se dirige a una entrada de líquido 846 integral con o de otra manera comunicación fluida con la boquilla de chorro 844. La boquilla de chorro 844 incluye una porción de garganta 868 que tiene un área transversal decreciente en una dirección de flujo de fluido para incrementar la velocidad del licor mezclado y el material

adsorbente que sale de un orificio de salida 864.

Con referencia general a las FIGURAS 9, 10 y 11, es muestran modalidades alternativas que incluyen un sistema de suspensión a chorro en el cual el licor mezclado y/o el lodo activado de retorno se hacen circular a través de una boquilla de chorro sin el material adsorbente. Esta circulación proporciona mezclado íntimo de material adsorbente y el licor mezclado en la salida de la boquilla de chorro, y también proporciona turbulencia que mantiene el material adsorbente en suspensión dentro del reactor biológico. La turbulencia puede ser turbulencia localizada, por ejemplo, próxima al orificio de la boquilla, que causa un movimiento circular y enrollamiento del fluido que sale de la boquilla de chorro.

La FIGURA 9 representa esquemáticamente un sistema de tratamiento de aguas residuales 900 que incluye un aparato de suspensión 932 dentro de un reactor biológico 902 y corriente arriba de un sistema de operación de membrana 904. El aparato de suspensión 932 comprende una boquilla de chorro 944 conectada fluidamente a una bomba 948 y a una fuente 960 de gas comprimido. El sistema 900 incluye un sistema de cribas/separación 922 que evita el paso de por lo menos una mayoría del material adsorbente, por ejemplo, en la salida 908 del reactor biológico 902.

En ciertas modalidades, el licor mezclado se retira del efluente del reactor biológico 902 en una entrada 952 el aparato de bomba 948 a través de los conductos 972, 970, en donde el conducto 972 está entre la salida 908 del reactor biológico 902 y la salida 910 del sistema de operación de membrana 904. En modalidades adicionales, el lodo activado de

retorno se retira de un conducto 914 del sistema de operación de membrana 904 en la línea 970 en la entrada 952 del aparato de bomba 948. En modalidades adicionales, una corriente combinada de efluente del reactor biológico 902 y el lodo activado de retorno del sistema de operación de membrana 904 se usa como el líquido que proporciona la circulación a la bomba. El líquido del efluente y/o el lodo activado de retorno se bombean fuera del aparato de bomba 948 a través de una línea 955 y se dirigen a una entrada líquida integral o de otra manera en comunicación fluida con la boquilla de chorro 944. En conjunción, el gas comprimido 960 se dirige a través de la línea 961 a una entrada de gas integral con o de otra manera en comunicación fluida con la boquilla de chorro 944 y se dirige a una cámara de mezclado 966, donde se expande e imparte energía motriz al licor mezclado en la dirección del orificio de salida de la boquilla 964. El gas expandido y el licor mezclado pasan a través de una garganta 968 que tiene un área transversal decreciente en una dirección del flujo de fluido, en el cual la velocidad se incrementa, y fuera del orificio de salida 964. La corriente combinada de gas y líquido entra con fuerza al reactor biológico 902, y los gránulos sólidos del material adsorbente permanecen en suspensión bajo operaciones continuas debido a la turbulencia en el reactor biológico 902.

La FIGURA 10, representa esquemáticamente otra modalidad de un sistema de tratamiento de aguas residuales, en el cual el sistema de tratamiento de aguas residuales 1000 incluye un aparato de suspensión 1032 dentro de un reactor biológico 1002 y corriente arriba de un sistema de operación de membrana 1004. El sistema 1000 incluye un sistema de

cribas/separación 1022 que evita el paso de por lo menos una mayoría del material adsorbente, por ejemplo, en la salida 1008 del reactor biológico 1002. El aparato de suspensión incluye una boquilla de chorro 1044 conectada fluidamente a una bomba 1048 para hacer circular el licor mezclado para crear turbulencia que mantiene el material adsorbente en suspensión. En los reactores biológicos aeróbicos 1002, también se proporciona una fuente de gas que contiene oxígeno (no mostrado), tal como un aparato de difusión de aire convencional o cualquier variedad de otros dispositivos que pueden transferir oxígeno en el licor mezclado como sería evidente para una persona de experiencia ordinaria en el campo.

El flujo del líquido en el sistema 1000 es similar a aquel del sistema 900 mostrado y descrito con respecto a la FIGURA 9 anterior. Por consiguiente, en ciertas modalidades, el licor mezclado se retira del efluente del reactor biológico 1002 en una entradas 1052 del aparato de bomba 1048 a través de los conductos 1072, 1070, en donde el conducto 1072 está entre la salida 1008 del reactor biológico 1002 y la entrada 1010 del sistema de operación de membrana 1004. En modalidades adicionales, el lodo activado de retorno se retira de un conducto 1014 del sistema de operación de membrana 1004 en la línea 1070 en la entrada 1052 del aparato de bomba 1048. En modalidades adicionales, una corriente combinada de efluente del reactor biológico 1002 y el lodo activado de retorno del sistema de operación de membrana 1004 se usa como el líquido que proporciona circulación a la bomba.

El líquido del efluente y/o el lodo activado de

retorno se bombea fuera del aparato de bomba 1048 a través de una línea 1055 y se dirige a una entrada líquida integral con o de otra manera en comunicación fluida con la boquilla de chorro 1044. El licor mezclado pasa a través de una garganta 1068 que tiene un área transversal decreciente en una dirección del flujo de fluido, en el cual la velocidad se incrementa, y fuera del orificio de salida 1064. La corriente de líquido entra con fuerza al reactor biológico 1002, y los gránulos sólidos del material adsorbente permanecen en suspensión bajo operación continua debido a la turbulencia en el reactor biológico 1002.

En ciertas modalidades de los sistemas 900 y 1000, puede ser necesario diseñar los hidráulicos del sistema de modo que la velocidad de flujo a través de la bomba sea igual a, o mayor que la velocidad de flujo total a través del sistema, es decir, representado por la velocidad de flujo del flujo entrante 906, 1006 y el efluente 912, 1012.

La FIGURA 11 representa esquemáticamente un aparato de suspensión 1132 dentro de un reactor biológico 1102 (una porción de la cual se muestra una figura para claridad de exposición). El aparato de suspensión 1132 comprende una boquilla de chorro 1144 conectada fluidamente a una bomba 1148 y a una fuente 1160 de gas. El gas puede ser un gas que contiene oxígeno en el caso de un reactor biológico aeróbico 1102, o un gas libre de oxígeno o sustancialmente libre de oxígeno en el caso de un reactor biológico anaeróbico 1102.

Una salida 1150 del reactor biológico 1102 incluye un aparato de cribas 1170 que evita el paso de por lo menos una mayoría del material adsorbente. Una boquilla de rocío 1172 u otro aparato adecuado se proporciona para remover la

acumulación del aparato de cribas 1170. La boquilla de rocío 1172 puede dirigir gas y/o líquido para limpiar el aparto de cribas. En ciertas modalidades (no mostradas), la boquilla de rocío 1172 se puede conectar a una bomba y/o a la fuente 1160 del gas comprimido, para proporcionar fluido presurizado para limpiar el aparato de cribas 1170. En modalidades adicionales, la boquilla de rocío 1172 se puede eliminar, por ejemplo, cuando el aparato de cribas 1170 está en un dispositivo de cribas activo tal como una criba giratoria o la similar que evita la acumulación del material adsorbente.

Por consiguiente, el licor mezclado, que incluye MLSS y MLVSS, que está sustancialmente libre de material adsorbente se retira de la salida 1150 del reactor biológico 1102 en una entrada 1152 del aparato de bomba 1148 a través de una línea 1151. El licor mezclado se bombea fuera del aparato de bomba 1148 por la vía de una salida 1154, a través de una línea 1155 y se dirige a una entrada de líquido 1146 integral con o de otra manera en comunicación fluida con la boquilla de chorro 1144. En conjunción, el gas comprimido 1160 se dirige a través de la línea 1161 a una entrada de gas 1158 integral con o de otra manera en comunicación fluida con la boquilla de chorro 1144 y se dirige a una cámara de mezclado 1166, donde se expande e imparte energía motriz al licor mezclado en la dirección del orificio de salida de la boquilla 1164. El gas expandido y el licor mezclado pasan a través de una garganta 1168 que tiene un área transversal decreciente en una dirección del flujo de fluido, en el cual la velocidad se incrementa, y fuera del orificio de salida 1164. La corriente combinada de gas y líquido entra con fuerza al reactor biológico 1102, y los gránulos sólidos del

material adsorbente permanecen en suspensión bajo operación continua debido a la turbulencia en el reactor biológico 1102.

En ciertas modalidades del sistema de tratamiento de aguas residuales descrito en este documento, el sistema incluye un sistema de suspensión de elevación de gas que puede comprender uno o más tubos de succión o una o más de otras configuraciones en uno o más tubos de succión se pueden dimensionar y formar para una aplicación deseada y volumen de un recipiente, tal como un reactor biológico u otro aparato, para realizar uno o más de suspender el material adsorbente, mantener el material adsorbente en suspensión, mezclar el material adsorbente por todo el recipiente, y airear el medio ambiente del recipiente, que puede incluir microorganismos aeróbicos. El sistema de suspensión de elevación de gas se puede construir de varios de varios tamaños y formas con base en el tamaño y forma del recipiente en el cual se coloca. El sistema de suspensión de elevación de gas puede comprender uno o más tubos de succión posicionados dentro de un recipiente en el cual un material adsorbente se incorpora en el sistema de tratamiento de aguas residuales. Como se utiliza en este documento, un "tubo de aspiración" puede ser un tubo u otra estructura que tiene una o más paredes laterales abiertas en ambos extremos que luego se posicionan en un recipiente que proporciona un pasaje para el flujo de fluido y puede incluir una suspensión de partículas sólidas, por ejemplo, la suspensión del material adsorbente y sólidos relacionados en un agua residual o licor mezclado con aire u otro gas.

El tubo de aspiración se puede construir de

cualquiera material adecuado para un propósito particular siempre y cuando sea resistente a la abrasión, resistente a los componentes de aguas residuales en condiciones típicas para el tratamiento de aguas residuales, y capaz de soportar flujos turbulentos a través y alrededor del tubo de aspiración. Por ejemplo, el tubo de aspiración se puede formar del mismo material como el recipiente o se puede formar de otros materiales más ligeros y menos costosos, tales como plásticos, que incluyen plásticos reforzados con fibra de vidrio, cloruro de polivinilo (PVC), o acrílico. El tubo de aspiración se puede preformar para la inserción en el recipiente, o manufacturar como parte del recipiente. Como tal, el tubo de aspiración se puede diseñar para retroalimentar sistemas de corriente. El sistema de suspensión de elevación de gas se puede soportar sobre una pared del recipiente, o se puede soportar por una porción de fondo del recipiente siempre y cuando permita el flujo a través y alrededor del tubo de aspiración. Alternativamente, el sistema de suspensión de elevación de gas se soportar por una estructura adicional construida y configurada para retener y suspender el uno o más tubos de succión dentro del recipiente.

Un tubo de aspiración individual se puede dimensionar y formar de acuerdo con una aplicación deseada, tal como para suspender un material adsorbente dentro del recipiente y/o para operar dentro de un período de tiempo preseleccionado para la operación. El tubo de aspiración también se puede dimensionar y formar para proporcionar un nivel deseado de agitación dentro del tubo de aspiración para suspender adecuadamente el material adsorbente dentro del

recipiente o para airear el medio ambiente del recipiente. El volumen de sistema de suspensión de elevación de gas deseado se puede proporcionar por un solo tubo de aspiración o por múltiples tubos de succión que tienen un volumen total sustancialmente igual al volumen deseado. Una relación particular del volumen del sistema de suspensión de elevación de gas al volumen del recipiente se puede seleccionar para proporcionar una suspensión óptima del material adsorbente dentro del tubo de aspiración, un tubo de aspiración individual puede tener un área transversal de cualquier forma, tal como circular, elíptica, cuadrada, rectangular o cualquier forma irregular. El tubo de aspiración individual puede tener cualquier forma total, tal como cónica, rectangular y cilíndrica. En una modalidad, el tubo de aspiración es un cilindro. Las dimensiones totales del tubo de aspiración, tal como longitud, anchura, y altura, se pueden seleccionar para proporcionar una suspensión óptima del material adsorbente dentro del recipiente. Por ejemplo, las relaciones particulares de la longitud del tubo de aspiración al la anchura del tubo de aspiración o diámetro se pueden seleccionar para lograr la suspensión óptima del material adsorbente dentro del recipiente. El tubo de aspiración puede estar comprendido de dos paredes laterales opuestas dentro de un recipiente en una construcción referida como un "conducto". Uno o ambos extremos del tubo de aspiración se pueden construir y arreglar para ayudar a fluir el material adsorbente dentro y/o fuera del tubo de aspiración. Por ejemplo, la pared lateral de un primer extremo del tubo de aspiración puede incluir uno o más orificios que forman pasajes para permitir que algo del

material adsorbente, agua residual, u otros contenidos del recipiente que están localizados en o cerca del primer extremo del tubo de aspiración de entrar o salir a través de la pared lateral del tubo de aspiración. Los orificios que forman los pasajes pueden tener cualquier forma para permitir una suspensión suficiente del material adsorbente dentro del recipiente. Por ejemplo, los edificios pueden ser triangulares, cuadrados, semicirculares o tienen una forma irregular. Pueden ser idénticos múltiples pasajes entre sí y posicionados uniformemente alrededor del primer extremo de tubo de aspiración para distribuir igualmente el flujo de material adsorbente en el tubo de aspiración.

Uno o más tubos de succión pueden estar posicionados en cualquier ubicación adecuada dentro del recipiente siempre y cuando proporcionen una suspensión adecuada del material adsorbente dentro del recipiente. Por ejemplo, un solo tubo de aspiración puede, pero no necesario, estar posicionado centralmente con relación a las paredes laterales del recipiente. Similarmente, múltiples tubos de succión en un solo recipiente se pueden posicionar aleatoriamente o posicionar en un patrón uniforme con relación a las paredes laterales del recipiente. Múltiples tubos de succión en un solo recipiente pueden, pero no necesario ser idénticos en volumen o en el área transversal. Por ejemplo, un solo recipiente puede comprender tubos de succión cilíndricos, cónicos y rectangulares de altura variante y área transversal. En una modalidad, un recipiente puede tener un primer tubo de aspiración posicionados centralmente que tiene una primera área transversal y una pluralidad de segundos tubos de succión posicionados

adyacentes a la pared lateral del recipiente en el cual cada uno de los segundos tubos de succión tiene una segunda área transversal más pequeña que la primera área transversal. En otra modalidad, un recipiente tiene una pluralidad de tubos de succión idénticos. En todavía otra modalidad, un primer tubo de aspiración se puede posicionar dentro de un segundo tubo de aspiración. En esta modalidad, los fondos de los tubos de succión se pueden alinear entre sí, o se pueden descentrar entre sí.

En otra modalidad, el tubo de aspiración puede incluir un deflector para promover la suspensión del material adsorbente. El deflector puede tener cualquier tamaño y forma adecuados para un tubo de aspiración particular. Por ejemplo, el deflector puede ser una placa sustancialmente posicionada sobre una superficie interior del tubo de aspiración o particular o un cilindro posicionado en el tubo de aspiración. En una modalidad, el deflector puede ser un cilindro sólido o hueco posicionado centralmente dentro del tubo de aspiración. En otra modalidad, el deflector puede ser un faldón que está posicionado en un primer extremo o segundo extremo de uno o más tubos de succión en el sistema de suspensión de elevación de gas. El deflector se puede construir del mismo material como el tubo de aspiración, o un material diferente que es compatible con el sistema de suspensión.

El recipiente en el cual el tubo de aspiración se puede colocar puede ser de cualquier tamaño o forma adecuados para suspender el material adsorbente en conjunción con el sistema de suspensión de elevación de gas. Por ejemplo, el recipiente puede tener un área transversal de cualquier

forma, tal como circular, elíptica, cuadrada, rectangular, o cualquier forma irregular. En algunas modalidades, el recipiente se puede construir o modificar a fin de promover la suspensión adecuada del material adsorbente. En ciertas modalidades, el recipiente se puede construir o modificar para incluir porciones inclinadas en la base del recipiente para promover el movimiento del material adsorbente hacia el sistema de suspensión de elevación de gas. Las porciones inclinadas pueden estar en cualquier ángulo relativo a la base del recipiente para promover el movimiento del material adsorbente hacia el sistema de suspensión de elevación de gas.

Con referencia ahora a la FIGURA 12, un ejemplo de un sistema de suspensión de elevación de gas 1232 para mantener el material adsorbente en suspensión dentro de un recipiente tal como un reactor biológico 1202 se representa esquemáticamente de acuerdo con una modalidad. En la FIGURA 12, los elementos circulares representan burbujas de gas, los elementos sólidos pequeños o puntos representan material adsorbente y los elementos lineales irregulares representan microorganismos o biomasa. El sistema de suspensión de elevación de gas 1232 incluye uno o más tubos de succión 1292 configurados, posicionados y dimensionados para facilitar la elevación del material adsorbente y mantener el material adsorbente en suspensión, como se describe anteriormente. El gas entra a través de un conducto de gas 1290 y se dirige en una porción de fondo de los tubos de succión 1292 por la vía de boquillas o difusores de distribución 1291. En ciertas modalidades alternativas, el gas se puede dirigir en la porción de fondo del(los) tubo(s) de succión 1292 por la vía

de las aberturas en el conducto de gas 1290 antes que, o en conjunción con, las boquillas o difusores de distribución 1291. El gas del conducto 1290 se puede introducir en el recipiente o reactor biológico 1202 en la(s) ubicación(es) designada(s) en una manera similar a un difusor de burbujas gruesas, y sirve tanto como una fuente de oxígeno u otro gas para el soporte del microorganismo adherido al material adsorbente y separar del material adsorbente en el licor mezclado, y como una fuente de fuerza de elevación para mantener el material adsorbente y la biomasa en suspensión en el reactor biológico 1202. En particular, el gas proporciona elevación hacia arriba como un resultado de lo que está contenido en los tubos de succión 1292. Conforme las burbujas de gas se elevan dentro de los tubos de succión, pueden causar un flujo hacia arriba que proporciona succión sobre el fondo del tubo. Esto es la fuerza motriz usada para retirar el licor mezclado y el material adsorbente a través de los tubos y elevarlo en la suspensión en el tanque. La circulación de gas proporciona elevación adecuada en los tubos de succión para mantener los contenidos del tanque suficientemente agitado tal que el asentamiento del material adsorbente se minimiza o se elimina.

Además, el arreglo de la FIGURA 12 proporciona un mezclado adecuado y suspensión con requerimientos de energía significativamente menores como es comparado a otros sistemas de mezclado y suspensión. Por ejemplo, la energía requerida para un sistema de elevación de gas 1232 en un reactor biológico 1202 que usa material adsorbente puede ser tan bajo como una décima de la energía requerida con los sistemas de suspensión alternativos y pueden requerir únicamente el gas

necesario para el sistema biológico.

Aunque el sistema de suspensión de elevación de gas 1232 se muestra y se describe en el contexto de una pluralidad de tubos de succión configurados un posicionados próximos a una fuente de gas, se pueden emplear estructuras alternativas, tales como uno o más conductos dentro de un reactor biológico, u otra estructura adecuada que produce el fenómeno de elevación de gas descrito anteriormente. Adicionalmente, las flechas direccionales mostradas en la FIGURA 12 son meramente ilustrativas de una forma posible en la cual los flujos de fluido por todo el sistema, y dependiendo de los parámetros del sistema, que incluyen el tamaño y forma del recipiente, el tamaño, forma y número de tubos de succión, y velocidad de flujo de aire, el fluido puede fluir a través del sistema en cualquier variedad de formas.

Las FIGURAS 13A y 13B muestra modalidades adicionales de la presente invención que incorporan una zona de asentamiento 1382 como una porción de un subsistema de separación. En las FIGs. 13A y 13B, los elementos en negro sólido representan material adsorbente, y los elementos de líneas irregulares representan micro-organismos o biomasa. Un reactor biológico 1302 comprende una entradas 1306 para recibir agua residual que se trata y una salida 1308 conectadas fluidamente a un sistema de operación de membrana (no mostrado). La zona de asentamiento 1382, por ejemplo, una zona inactiva, está próxima a la salida 1308 y se define generalmente por deflectores 1380 y 1381, que están posicionados y dimensionados para dirigir el material adsorbente lejos de la zona de asentamiento 1382. La mezcla

combinada de líquido y material adsorbente que fluye sobre el deflector 1380 se asiente, puesto que la turbulencia debido a la aireación a chorro o de otro sistema de suspensión en el reactor biológico 1302 se reduce sustancialmente en la zona de asentamiento 1382. El material adsorbente que tiene una densidad mayor que los sólidos biológicos suspendidos se asienta, y conforme sale de la zona de asentamiento 1382, se regresa a la suspensión por la turbulencia fuera de la zona de asentamiento 1382 causada por el sistema de suspensión. Como se muestra en la FIGURA 13A, también se proporciona un aparato de cribas 1322 próximo a la salida 1308. La cantidad de material adsorbente bloqueado por el aparato de criba 1322 se minimiza debido a la zona de asentamiento adyacente 1382. En ciertas modalidades preferidas, el aparato de cribas 1322 se coloca dentro del sistema de deflector en una distancia de los deflectores que es suficiente para asegurar que la mayoría del material adsorbente se separe/se asiente del licor mezclado antes de que alcance la criba. Consecuentemente, el aparato de cribas 1322 recibirá pocas partículas adsorbentes las cuales podrían potencialmente adherirse a la superficie de la criba y acelerar el taponamiento/ensuciamiento de la criba. Cuando los sistemas de cribas se usan en combinación con los sistemas deflectores, el taponamiento/ensuciamiento potencial de la criba se reducirá grandemente, como será la frecuencia de la limpieza de la criba.

Sin embargo, se contempla que en ciertas modalidades, el aparato de cribas 1322 se puede eliminar completamente. El uso de deflectores alrededor de la salida 1308 del tanque de aireación reduce la energía mezclada

impartida por el aparato de suspensión y deja la zona de asentamiento 1382 libre de turbulencia y eleva burbujas de aire, de modo que los gránulos adsorbentes más densos se pueden separar del licor mezclado antes de su salida del tanque por la vía de los lavadores de efluente. El sistema deflector permite el material adsorbente denso que se separe del licor mezclado, mientras que al mismo tiempo dirige el licor mezclado de regreso en la zona de mezclado en el tanque de aireación.

Los sistemas de zona de asentamiento alternativos dentro del reactor biológico también se contemplan. Por ejemplo, cualquiera de las cribas previamente mencionadas se puede usar, o, como se describe con detalle adicional posteriormente, un vertedero se puede usar en lugar del aparato de cribado 1322.

La zona de asentamiento en combinación con la acción de esfuerzo cortante proporcionada por el bombeo, mezclado o aireación a chorro permite que el material adsorbente que ha tenido la biomasa de exceso compartida de la misma para asentarse en un área sin el mezclado. El material adsorbente se asentará al fondo de esta área y volverá a entrar al licor mezclado.

La FIGURA 13B muestra otra modalidad de una zona de asentamiento que tiene un vertedero 1323. La biomasa de baja densidad se desborda al vertedero 1323 y el material adsorbente se asienta. Conforme el material adsorbente cae fuera de la zona inactiva, se mezcla con los contenidos agitados del tanque que incluyen sólidos suspendidos en el licor mezclado y material adsorbente y se vuelve a suspender.

En modalidades de la presente invención que

incluyen una zona de asentamiento que tienen un orificio de descarga de desperdicio de material adsorbente, el orificio de descarga de desperdicio puede estar localizado ventajosamente próximo a la zona de asentamiento. Esto permite que el material adsorbente de desperdicio se remueva mientras que se minimiza la remoción de licor mezclado.

Los materiales adsorbentes útiles para la presente invención incluyen varios tipos de carbones, tal como carbón activado. En particular, los carbones activados granulares son muy efectivos, puesto que el intervalo de tamaño y densidades de los gránulos se puede seleccionar para permitir su retención en una porción predeterminada del sistema y evitar sustancialmente en consecuencia que ensucien y/o desgasten las membranas.

En los sistemas en los cuales el carbón activado granular no se somete a fuerzas de esfuerzo cortante significativas y/o a la colisión del intergránulo, el carbón activado granular se puede producir de madera, coco, bagazo, aserrín, turba, desperdicio de planta de celulosa, u otros materiales basados en celulosa. Un ejemplo adecuado es MeadWestvaco Nuchar® WV B que tiene tamaños de malla nominales de 14 x 35 (con base en la Serie de Cribas Estándar de E. U. A.).

En modalidades adicionales, particularmente aquellas en las cuales la acción de esfuerzo cortante se proporciona por la turbulencia y/o colisiones inter-gránulos en una bomba y/o boquilla de chorro, el uso del(los) material(es) adsorbente(s) que tiene valores de dureza más altos son deseables. Por ejemplo, los carbones activados granulados derivados de bitumen o materiales basados en

carbón mineral son efectivos. En una modalidad particular, el carbón activado granular se deriva de lignito.

También se pueden proporcionar materiales de carbón que se modifican con un proceso de tratamiento y/o especies que proporcione en consecuencia una afinidad para ciertas especies químicas y/o metales en el agua residual. Por ejemplo, en las aguas residuales que tienen un nivel relativamente alto de mercurio, por lo menos una porción del material adsorbente incluye preferiblemente carbón activado granular impregnado con yoduro de potasio o azufre. Otros tratamientos y/o especies impregnadas se pueden proporcionar para fijar como objetivo metales específicos, otros compuestos inorgánicos y/o compuestos orgánicos.

Además, el material adsorbente puede ser un material diferente al carbón activado. Por ejemplo, los compuestos basados en hierro o resinas sintéticas se pueden usar como los materiales adsorbentes, solos o en combinación con otros materiales adsorbentes, por ejemplo, en combinación con carbón activado granular. Además, los materiales adsorbentes tratados diferentes al carbón activado que fija como objetivo ciertos metales, se pueden usar otros compuestos inorgánicos o compuestos orgánicos. Por ejemplo, en las aguas residuales que tienen niveles relativamente altos de hierro y/o manganeso, por lo menos una porción del material adsorbente puede comprender un medio de filtración de dióxido de manganeso granular. En las aguas residuales que tienen arsénico granular. En las aguas residuales que tienen arsénico, por lo menos una porción del material adsorbente puede comprender compuestos de óxido de hierro granulares. En las aguas residuales que incluyen plomo o metales pesados,

por lo menos una porción del material adsorbente puede incluir compuestos de aluminosilicato granulares.

En una modalidad, el material adsorbente se puede seleccionar con base en un intervalo de gravedad específico deseado. A fin de mantener el material adsorbente en suspensión dentro de los intervalos de consumo/costo de energía aceptables, son deseables los intervalos de gravedad especificar relativamente cercanos a aquellos del agua residual. Por otra parte, en modalidades en las cuales la separación se basa en por lo menos en parte en el asentamiento del material, son adecuadas gravedades específicas más altas. En general, la gravedad específica es preferiblemente mayor que aproximadamente 1.05 en el agua 20°C. En ciertas modalidades, la gravedad específica es mayor que aproximadamente 1.10 en el agua a 20°C. Un límite superior adecuado para la gravedad específica es, en ciertas modalidades, aproximadamente 2.65 en el agua a 20°C.

Por lo tanto, se selecciona el material adsorbente que tiene un intervalo de gravedad específica que proporciona suficiente suspensión y por lo tanto suficiente contacto con el agua residual y sus contaminantes. Además, en ciertas modalidades, el intervalo de gravedad específica proporciona suficiente características de asentamiento para la remoción subsecuente del material adsorbente del agua residual. En modalidades adicionales, la selección de la gravedad específica del material adsorbente se basa en la minimización de la energía requerida para mantener el material adsorbente en suspensión.

Adicionalmente, el material adsorbente deseado, tal como carbón activado granular, tiene un nivel de dureza que

minimiza la creación de partículas finas y otros materiales particulados debido a las colisiones intergránulos y otros efectos de proceso.

El tamaño de material adsorbente que el subsistema de separación se diseña para retener y evitar en consecuencia su paso en el sistema de operación de membrana se optimiza para minimizar la cantidad de material adsorbente y las partículas finas que entran al sistema de operación de membrana. Por lo tanto, el método y sistema de la invención minimiza la abrasión y ensuciamiento por los gránulos de carbón u otros materiales granulares que impactan sobre las membranas, mientras que aún proporciona las ventajas operacionales asociadas con el uso del material adsorbente que incluye carbón activado.

Los tamaños de gránulos adecuados para el material adsorbente se seleccionan para completar los métodos de cribas/separación seleccionados, y las necesidades del agua residual particular que se trata. En ciertas modalidades preferidas, se selecciona el límite de fondo del tamaño de gránulo efectivo del material adsorbente tal que se puede separar fácilmente del flujo del licor mezclado que entra al tanque(s) del sistema de operación de membrana en el cual las membranas están localizadas. En general, el tamaño de gránulo efectivo del material a adsorbente tiene un límite de fondo de aproximadamente 0.3 milímetros, donde mayor que aproximadamente 99.5% en peso del material adsorbente está arriba del límite de fondo; que tiene preferiblemente un límite inferior de aproximadamente 0.3 milímetros a un límite superior de aproximadamente 2.4 milímetros (que corresponde a un tamaño de malla 50 a un tamaño de malla 8, con base en la

Serie de Cribas Estándar de los E. U. A.), donde mayor que 99.5% en peso del material adsorbente está dentro del límite superior e inferior; y en ciertas modalidades preferidas a aproximadamente 0.3 milímetros a aproximadamente 1.4 milímetros (que corresponde a un tamaño de malla de 50 a un tamaño de malla 14, con base en la Serie de Mallas Estándar de los Estados Unidos) donde mayor que aproximadamente 99.5% en peso del material adsorbente está dentro del límite inferior y superior. Se ha demostrado que un carbón activado granular con un tamaño de gránulo efectivo mínimo de aproximadamente 0.5 milímetros a aproximadamente 0.6 milímetros puede ser fácilmente y eficientemente cribado del licor mezclado con un sistema de separación adecuado, y estos tamaños efectivos, en el carbón activado granular de densidades adecuadas, también se puede mantener económicamente en suspensión.

EJEMPLOS

La presente invención ahora se ilustrará por los siguientes ejemplos no limitantes.

Ejemplo 1

Un sistema de reactor biológico de membrana controlado lógico programable de escala piloto (Unidad Piloto Petro MBR™ disponible de Siemens Water Technologies, Rothschild, Wisconsin, E. U. A.) que tiene un tanque de aireación con una sección anóxica, con una capacidad de aproximadamente 3,785 litros (l) (1,000 galones (gal)) y un sistema de operación de membrana equivalente a un sistema de reactor biológico de membrana comercial, se modificó para

adaptar la adición de carbón activado granular descrito en la presente invención. Una criba de alambre de cuña se situó en la entrada de una bomba que transfirió el licor mezclado del tanque de aireación al sistema de operación de membrana.

Una materia prima sintética base incluyó agua que tiene las siguientes concentraciones de materia orgánica/inorgánica: 48 gramos por litro (g/l) (48 onzas por pie cúbico (oz/cf) de acetato de sodio; 16 g/l (16 oz/cf) de etilenglicol; 29 g/l (29 oz/cf) de metanol; 1.9 g/l (1.0 oz/cf) de hidróxido de amonio; y 0.89 g/l (0.89 oz/cf) de ácido fosfórico. El hidróxido de amonio y el ácido fosfórico fueron fuentes para el balance de nutrientes apropiados para las bacterias dentro del sistema de reactor biológico de membrana.

Se preparó una mezcla de agua residual de muestra que tiene altas concentraciones de compuestos orgánicos biológicamente refractarios y/o biológicamente inhibidores. específicamente, la mezcla de agua residual de muestra contuvo las siguientes concentraciones de compuestos orgánicos biológicamente refractarios y/o biológicamente inhibidores: 90 milígramos por litro (mg/l) (0.09 onzas por pie cúbico (oz/cf) de EDTA; 30 milígramos por litro (0.03 oz/cf) de ftalato de di-n-butilo, 120 mg/l (0.12 oz/cf) de 2,4-dinitrofenol, 21 mg/l (0.021 oz/cf) de 2,4-dinitrotolueno y 75 mg/l de éter terc-butílico de metilo. La mezcla se alimentó al tanque anóxico.

El reactor biológico de membrana primero se operó sin carbón activado granular para obtener una línea base. Se determinó que antes de la adición del carbón activado granular, solo aproximadamente 92% de los compuestos de

demanda de oxígeno químico (COD) orgánicos biológicamente refractarios o biológicamente inhibidores en el efluente se removieron, después de un período prolongado de bioaclimatación tal que el reactor biológico de membrana se aclimató totalmente, permitiendo en consecuencia que aproximadamente 8% de estos compuestos (medido como COD) pase en el efluente).

Para determinar la eficacia del carbón activado granular, 3800 gramos (g) (134 onzas (oz)) MeadWestvaco Nuchar WV B® que tiene tamaños de malla nominales de 14 x 35 (con base en la Serie de Cribas Estándar de E. U. A.) se agregaron al tanque de aireación y al soplador que suministra el aire al tanque de aireación se ajustó para alimentar 2124 litros estándar por minuto (slm) (75 scfm (scfm)) al tanque de aireación, con el aire de exceso proporcionado para mantener el carbón activado granular en suspensión. La cantidad de carbón activado granular agregado al tanque de aireación se basó en 20 por ciento de los sólidos suspendidos en el licor mezclado en la unidad, lo cual se determinó que es aproximadamente 5000 mg/l (5 oz/cf).

Después de la aclimatación del MLVSS, la concentración de COD de efluente de sistema de operación de membrana total fue menor que 4%, por lo tanto, logrando mayor que 96% de remoción de los compuestos orgánicos biológicamente refractarios o biológicamente inhibidores que se midieron como COD. La FIGURA 14 es una gráfica que representa una concentración de alimentación (en mg/l) de compuestos biológicamente refractarios y biológicamente inhibidores, y las concentraciones de efluente sobrantes (como porcentajes de la original), en varias etapas de

aclimatación biológica de un sistema de reactor biológico de membrana. En particular, la FIGURA 14 muestra la comparación entre las concentraciones de efluente antes de la adición del carbón activado granular (etapa A), durante el período de aclimatación (etapa B), y después de la aclimatación (etapa C). Una vez que se adicionó el carbón activado granular al sistema, hubo una caída inicial significativa de concentración de COD de efluente, la cual no se muestra en la FIGURA 14 ya que la capacidad de adsorción del carbón activado granular se agotó en menso de un día. El sistema luego se estabilizó tal que aproximadamente 6.5% del COD de alimentación permaneció después del tratamiento. Esto representó un período en el cual la capacidad adsorbente del carbón se agotó y la biomasa en el carbón activado granular comenzó a funcionar para digerir los compuestos orgánicos biológicamente inhibidores que se midieron como COD. Después de que las bacterias se establecieron totalmente sobre la superficie del carbón activado granular, como se confirmó con una evaluación de microscopio electrónico, los beneficios de un sistema de película de crecimiento/fija unida se volvió evidente. La concentración de COD residual en el efluente cayó a menor que 4% de la concentración de COD de alimentación, proporcionando una eficiencia de remoción de COD de mayor que 96% para una alimentación altamente concentradas de compuestos orgánicos biológicamente refractarios o biológicamente inhibidores.

El uso del método y aparato de la invención elimina el taponamiento y la abrasión de las membranas al mantener el carbón fuera del tanque(s) del sistema de operación de membrana. Al usar gránulos de carbón de tamaño más grande, es

posible el cribado y/o separación de gránulos de carbón. Por otra parte, el tamaño de partícula pequeño del carbón activado pulverizado evita su filtración efectiva del licor mezclado.

Ejemplo 2

Se realizaron pruebas de escala de suspensión de partícula de laboratorio usando un cilindro graduado de 2000 mililitros que tiene un rotámetro conectado a una fuente de aire comprimido y a un tubo de la salida del rotámetro a un tubo que alcanzó el fondo del cilindro graduado. 20 g (0.7 oz) de carbón activado granular totalmente seco se colocaron en el cilindro. Agua destilada a temperatura ambiente también se agregó al cilindro humedeciendo las partículas. Los contenidos del cilindro se mezclaron con una espátula para suspender los contenidos completos y remover las burbujas de aire.

Se agregó aire al tubo en el cilindro en proporciones de incremento hasta que los primeros sólidos se suspendieron y el flujo de aire se registró. Se incrementó el flujo de aire hasta que aproximadamente 50% de los sólidos se suspendieron (con base en la cantidad del carbón que permanece sobre el fondo del cilindro) y se registró el flujo de aire. Se incrementó nuevamente en el flujo de aire hasta que todo el carbón activado granular se suspendió. Se registró el flujo de aire final. Los resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Carbón	Flujo de aire en slm (scfm)	Flujo de aire en slm (scfm)	Flujo de aire en slm (scfm)

	para suspensión mínima, por pie^2 de área transversal	para 50% de suspensión, por pie^2 de área transversal	para 100% de suspensión, por pie^2 de área transversal
Norit Darco MRX/Carbón mineral	2.83 (0.10)	127.4 (4.5)	254.9 (9.0)
Norit GAC 1240 Plus/Bituminoso	5.38 (0.19)	135.9 (4.8)	254.9 (9.0)
Lignito Norit Petrodarco 8X30	1.70 (0.06)	85.0 (3.0)	169.9 (6.0)
Calgon Filtrasorg 400 Bituminoso	1.70 (0.06)	135.9 (4.8)	220.9 (7.8)
Westates Aquacarb 1240/bituminoso	2.27 (0.08)	85.0 (3.0)	169.9 (6.0)
Jacobi Aquasorb 1000/Bituminoso	1.42 (0.05)	85.0 (3.0)	169.9 (6.0)
Res Kem CK1240/carbón mineral	4.25 (0.15)	240.7 (8.5)	339.8 (12.0)
Mead Westvaco Nuchar WVB 14X35/Madera	1.70 (0.06)	51.0 (1.8)	93.4 (3.3)
Mead Westvaco Aquaguard 12X40/Madera	1.70 (0.06)	68.0 (2.4)	93.4 (3.3)

La cantidad de energía requerida para suspender las partículas se incremento conforme se suspendieron más partículas. Con base en estos resultados, los requerimientos de aire para suspender un carbón activado granulado se calcularon para ser aproximadamente 7,080 a aproximadamente 8,500 slm por 1,000 litros de volumen de reactor (aproximadamente 250 a aproximadamente 300 scfm por 1,000 pies cúbicos de volumen de reactor). En comparación, el estándar industrial para suspender los sólidos biológicos sin el carbón granulado a aproximadamente 850 slm por 1,000 litros de volumen de reactor (30 scfm por 1,000 pies cúbicos de volumen de reactor). El requerimiento de aire para

suspender el carbón activado granulado y los sólidos biológicos se determinó para ser hasta 10 veces mayor, usando un sistema difusor de burbujas gruesas simple, que suspende los sólidos biológicos solos y proporcionan el oxígeno requerido para la degradación.

Ejemplo 3

Se preparó una unidad piloto de suspensión de carbón activado granular, usando un tanque cilíndrico vertical que tiene un diámetro de 1.83 metros (m) (6 pies (ft)) y una profundidad de agua de 2.59 m (8.5 ft). Una boquilla de chorro eyectora de Siemens Water Technologies (Rothschild, Wisconsin, E. U. A.) se instaló a través de una pared exterior del tanque a una distancia de 43.5 centímetros (cm) (17.125 pulgadas (in)) del piso del tanque. La boquilla, mostrado en la FIGURA 15, se dirigió horizontalmente hacia el centro del tanque. Una concentración de 50 mg/l de carbón activado granular, Mead Westvaco Nuchar WVB 14X35/Wood, se introdujo en el tanque.

Como se representa en la FIGURA 15, el sistema de boquilla de chorro incluyó una boquilla de chorro 1544 que comprendió una entrada de fluido 1546, una entrada de aire comprimido 1558 y una salida 1564. El fluido pasó de la entrada 1546 a una cámara de mezclado 1566. El aire comprimido también entró a la cámara de mezclado 1566 donde se expandió y se impartió energía al fluido. Conforme el aire se expandió, la mezcla de fluido y el aire pasaron a una garganta de boquilla 1568 donde la velocidad de la mezcla se incrementó. El fluido que contiene aire salió de la boquilla 1544 a través de la salida 1564 en el tanque.

Se condujeron las pruebas con varias velocidades de flujo de líquido y velocidades de flujo de aire comprimido. Los flujos de líquido variaron de 530 litros por minuto (lpm) a 757 lpm (140 galones por minuto (gpm) a 200 gpm) mientras que las velocidades de flujo de aire comprimido variaron de 0 a 850 slm (30 scfm).

En una velocidad de flujo de líquido de 587 lpm (155 gpm), una velocidad de flujo de aire de 850 slm (30 scfm) dio por resultado la suspensión del carbón activado, mientras que los flujos de aire de 425 slm (15 scfm) y menores dieron por resultado la deposición del carbón activado sobre el fondo del tanque. Similarmente, a una velocidad de flujo de líquido de 644 lpm (170 gpm), una velocidad de flujo de aire de 850 slm (30 scfm) dio por resultado la suspensión del carbón activado, mientras que una velocidad de flujo de aire de 425 slm (15 scfm) y menor dio por resultado el asentamiento del carbón activado sobre el fondo del tanque. El incremento del flujo del líquido a 700 lpm (185 gpm) dio por resultado la suspensión del carbón activado a una velocidad de flujo de aire reducida de 425 slm (15 scfm).

El incremento de la velocidad de flujo de líquido a través de la boquilla de 644 a 700 lpm (170 a 185 gpm), un incremento de menor que 10%, redujo el consumo de aire por 50% como es comparado por el aire requerido por un sistema difusor de burbujas gruesas. Como tal, el sistema de suspensión a chorro redujo significativamente el consumo de aire comprimido, y por lo tanto los costos de energía asociados con el uso del aire comprimido.

Ejemplo 4

El Ejemplo 4 se condujo para determinar la eficacia de la boquilla de chorro para realizar la suspensión del carbón activado granular y para demostrar las estructuras para minimizar el paso de las partículas de carbón activado granular a las membranas de un sistema de operación de membrana corriente abajo. Se usó un tanque cilíndrico y una boquilla de mezclado para demostrar que el mezclado a chorro podría suspender el carbón granular completamente. Se evaluaron varias velocidades de flujo de líquido de gas y mezclado.

Como se ilustra en las FIGURAS 16, 18 y 19, una boquilla de mezclado a chorro/aireación 1644 se instaló en un tanque de acero de 9,085 l (2,400 galones), de 1 metro 80 centímetro de diámetro (6 pies), 1602 llenado con aproximadamente 7,570 l (aproximadamente 2,000 galones) de agua potable filtrada hasta un nivel L.

En este ejemplo, el carbón activado granular Mead Westvaco Nuchar WV-B® basado en madera y carbón activado granular Norit Darco MRX® basado en carbón mineral se suspendieron usando una boquilla de mezclado a chorro en un tanque cilíndrico en varias velocidades de flujo de líquido y gas. El carbón activado granular Mead Nuchar WV-B® tuvo una gravedad específica de 1.1, un tamaño efectivo de 0.6 milímetros (0.024 in), y es típicamente de manera relativa más suave que el carbón activado granular basado en carbón mineral; el Darco MRX^{MR} tuvo una gravedad específica de 1.5 y un tamaño efectivo de 0.7 milímetros (0.028 pulgadas).

Aproximadamente se agregaron al agua 50 mg/l (0.05 oz/cf) de carbón activado granular basado en madera. La baja

concentración de carbón activado granular se usó para permitir la observación del perfil de mezclado en el tanque que usa una videocámara sumergible. La Tabla 2 a continuación muestra el intervalo de condiciones de prueba usado.

Tabla 2: Condiciones de prueba para la suspensión a chorro del carbón activado granular

Condición	Velocidad del Líquido, lpm (gpm)	Velocidad del Aire, slm (scfm)
1	530 (140)	0 (0)
2	587 (155)	425 (15)
3	644 (170)	850 (30)
4	700 (185)	425 (15)
5	757 (200)	0 (0)
6	644 (170)	425 (15)
7	700 (185)	0 (0)
8	700 (185)	850 (30)
9	644 (170)	0 (0)
10	587 (155)	850 (30)
11	587 (155)	0 (0)

El agua se alimentó a la boquilla del aireador de mezclado a chorro/aireación 1644 por la bomba de disco 1648 y el aire comprimido se inyectó desde el soplador 1660. Los controladores de frecuencia variable 1649 y 1661 controlaron la velocidad de la bomba y los motores del soplador, respectivamente, permitiendo el ajuste de las velocidades de alimentación respectivas. Un medidor de flujo magnético en la línea de descarga de la bomba de disco 1648 supervisó el flujo del líquido. La velocidad del motor del soplador fue proporcional al flujo de aire.

Con referencia a la FIGURA 17, la velocidad de la garganta de la boquilla de chorro se calculó en cada

condición de prueba y se graficó contra la velocidad de flujo del líquido. Como se muestra, una velocidad de garganta mínima de aproximadamente 10.4 metros por segundo (34 pies por segundo) se requirió para lograr la suspensión completa del carbón activado granular basado en madera. Esta velocidad se puede correlacionar con la gravedad específica y el tamaño de partícula máximo del carbón activado granular.

Al final de la prueba con el carbón activado granular basado en madera, el tanque se drenó, se limpió se rellenó con agua y se agregaron aproximadamente 50 mg/l del carbón activado granular basado en carbón mineral. Con base a una serie similar de pruebas, se observó que el aireador a chorro fue capaz de mantener el carbón activado granular más denso en suspensión.

Puesto que es necesario evitar sustancialmente que las partículas de carbón activado granular alcancen las membranas de un sistema de operación de membrana corriente abajo, se posicionó una criba ranurada con orificios de 0.38 milímetros en la salida del tanque de aireación/reactor, de modo que cualquiera de las partículas de carbón activado granular que se rompen durante la circulación de aireación a chorro para las partículas que tienen un diámetro menor que 0.38 milímetros (0.015 pulgadas) pasarán a través de la criba permitiéndoles entrar al sistema de operación de membrana.

Además, se realizaron dos pruebas colocando una criba sobre el lado de succión de la bomba de chorro en el tanque de aireación/reactor que usa una zona inactiva, es decir, una zona de baja turbulencia, que permitiría que el carbón activado granular se asiente antes de que alcance la criba.

En la primera prueba, y con referencia a la FIG. 18, se usó un deflector vertical 1894 para crear una zona casi inactiva en el tanque de aireación 1802. El deflector se extendió de 0.61 m (2 pies) arriba del fondo del tanque hasta arriba del nivel de agua. En esta configuración, la criba 1822 fue una criba de alambre de cuña y se montó cerca de la parte superior de la zona inactiva que requirió agua para ser empujada del fondo del tanque 1802 a través de la zona de turbulencia baja antes de que alcance la criba 1822. La zona inactiva se dimensionó a 40-50% más grande que el flujo de tapón calculado de la unidad de modo que la velocidad hacia arriba fue menor que la velocidad de asentamiento del carbón activado granular. Para que esta configuración sea efectiva, la velocidad de sentamiento, que es dependiente en la gravedad específica de las partículas, debe ser mayor que la velocidad hacia arriba. Se realizaron las pruebas usando el carbón activado granular basado en carbón mineral por lo cual la velocidad de asentamiento calculado es de 1.8 metros por segundo. Asumiendo el flujo de tapón de la zona inactiva, se necesitaría ser por lo menos 0.39 m^2 (4.2 $pies^2$), para mantener la velocidad hacia arriba suficientemente baja para permitir que el carbón activado granular se asiente. El área transversal actual de la zona fue de 0.73 m^2 (7.8 $pies^2$).

Con referencia todavía a la FIGURA 18, la boquilla 1844 del tanque 1802 que se usó para alimentar la bomba se localizó aproximadamente 15.2 cm (6 pulgadas) del piso del tanque. Un tubo de cloruro de polivinilo se unió a la boquilla 1844 usando un sello de caucho de modo que una criba de alambre de cuña 1822 se podría suspender cerca de la parte superior del tanque y en comunicación fluida con la salida

1808. La criba de alambre de cuña fue de 8.9 cm (3.5 pulgadas) en diámetro, 0.91 m (3 pies) de largo y tubo orificios de 0.38 milímetros (0.015 pulgadas).

La prueba de mezclado se condujo con un flujo de agua de 700 lpm (185 gpm) y un flujo de aire de 419 slm (14.8 scfm) durante un tiempo de ejecución de aproximadamente 18 horas. El carbón activado granular se observó sobre el suelo del tanque bajo la zona inactiva con menos carbón activado granular aún en suspensión en la porción turbulenta del tanque. Ocasionalmente, podría ocurrir una acción de movimiento en círculos sobre el piso abajo de la zona inactiva y algo del carbón activado granular se llevaría hacia arriba de la criba.

Cuando la bomba y el soplador se apagaron, una porción del carbón activado granular que estuvo presente sobre la criba se ablandó indicando que no se adhirió fuertemente a la criba; el carbón activado granular restante se removió fácilmente con un cepillado ligero.

Con referencia a la FIGURA 19, la segunda prueba se condujo usando un tanque 1902, deflector vertical 1994, boquilla 1944, y criba 1922 en comunicación fluida con una salida 1902 dimensionada y colocada sustancialmente de forma idéntica a los elementos equivalentes descritos con respecto a la FIG. 18. Además, un segundo deflector 1993 se posicionó en un ángulo de 45° abajo del deflector vertical 1994 para disipar el flujo hacia arriba. La zona inactiva proporcionó un medio para minimizar la cantidad de carbón activado granular que alcanzó la criba. Ya sea un limpiador mecánico o un pulso de lavado a presión posterior de agua o aire se puede usar para desalojar cualquier carbón activado granular

que se puede acumular sobre la criba a través del tiempo.

Ejemplo 5

El Ejemplo 5 se condujo para demostrar la efectividad de los sistemas de bomba de elevación de aire usando un tubo de aspiración y a través del mezclado para suspender eficientemente los mismos materiales de carbón activado granular basado en madera y basado carbón mineral del Ejemplo 4. Los tanques cilíndricos y rectangulares se usaron en varias configuraciones. El desgaste se midió usando tanto el carbón activado granular basado en madera como el carbón activado granular basado en carbón mineral del Ejemplo 4; la prueba de mezclado usó el carbón activado granular basado en carbón mineral de densidad más alta.

Los datos de prueba establecieron que el carbón activado granular se puede suspender en los tubos de succión y los conductos de succión en ambos tanques cilíndricos y rectangulares que usan velocidades de aire comparables a aquellas requeridas para sostener la respiración biológica en estos tanques. Los datos también muestran que en una velocidad de flujo de aire constante, un tubo de aspiración de diámetro más grande es más eficiente que un tubo de aspiración más pequeño en términos para mover el carbón activado granular del área circundante sobre el piso del tanque y en suspensión.

A fin de determinar el grado de desgaste del carbón activado granular, una de 0.31 m (12 pulgadas) de diámetro, 3.7 m (12 pies) de alto de un tubo acrílico se llenó a 2.3 m (92 pulgadas) con 150 l (5.3 galones) de agua, y 1,500 g (53 onzas) de carbón activado granular seco se agregó para

proporcionar una concentración de aproximadamente uno por ciento en peso. Una tubería de cloruro de polivinilo que tiene un diámetro de 2.1 m (82 pulgadas) de largo, 7 cm (3 pulgadas) se aseguró en el centro del tubo de 0.31 m (12 pulgadas) de diámetro para servir como el tubo de aspiración. Se proporcionaron cuatro ranuras que miden 2.54 cm (1 pulgada) de alto por 1.9 cm (0.75 pulgadas) de ancho en el fondo de la tubería para el paso del carbón activado granular y el agua y se colocó una boquilla de 1.9 cm (0.75 pulgadas) en el centro del tubo de aspiración.

El aire se introdujo por la vía de una boquilla a una velocidad de 2,831 litros estándar por hora (100 pies cúbicos estándar por hora), que fue equivalente a aproximadamente 300 slm por 1,000 litros de agua (300 scfm por 1,000 pies cúbicos de agua). La velocidad de flujo de aire relativamente alta se seleccionó para producir más mezclado turbulento que sería esperado en una operación de escala completa a fin de determinar el desgaste. El fluido se dejó mezclar durante aproximadamente 10 minutos antes de que se tomara la primera muestra.

El desgaste se midió durante la prueba al tomar muestras al azar del agua y el carbón activado granular de la parte superior del tubo acrílico y al vaciar la muestra a través de una criba de malla 20. Los sólidos que pasaron a través de la criba y que se asumieron que han resultado del desgaste se recolectaron, se secaron y se pesaron.

Los resultados indicaron que la velocidad de desgaste del carbón activado granular fue mayor para el carbón activado granular basado en madera (WV-B) que el carbón activado granular basado en carbón mineral (MRX).

Después de 30 días de operación, aproximadamente 10% de desgaste del carbón activado granular basado en madera y aproximadamente 5% de desgaste del carbón activado granular basado en carbón mineral se observó. En la práctica de la invención en un bioreactor de trabajo, esta cantidad de desgaste sería constituida a través del desperdicio de sólidos durante la operación normal del proceso biológico. Los resultados de la prueba se resumen en la FIG. 20. La gráfica también muestra los valores de intercepción y los valores R^2 para los análisis de regresión lineales estándar para cada conjunto de datos.

El(los) tubo(s) de succión de varias configuraciones y variables tales como el número de tubos de succión, distancia del tubo de aspiración del fondo del tanque y el diámetro del tubo de aspiración se sometieron a prueba y se mostraron para efectuar el desempeño.

En una configuración, y con referencia a la FIGURA 21, se colocó un tubo de aspiración de 0.3 m (12 pulgadas) de diámetro, 1.5, (5 pies) de alto sencillo 2192 en el centro del tanque de 1.8 m (6 pies) de diámetro 2102 y se posicionó arriba del fondo del tanque sobre las patas 2195. El tanque 2102 se llenó con aproximadamente 6,435 l (1,700 galones) de agua a un nivel de agua L y suficiente carbón activado granular basado en carbón mineral (400-1,200 g (14.1-42.3 onzas) agregado para permitir la ventilación sin ayuda y registro de las características de mezclado. El aire se suministró mediante un tubo difusor de burbujas gruesas de cloruro de polivinilo de 2.54 cm (1 pulgada) de diámetro 2190 que pasó a través de la pared del tubo de aspiración y el cual tuvo varios agujeros de 3.2 milímetros (0.125 pulgadas)

de diámetro perforados a través de su superficie superior. La velocidad de flujo de aire se varió de 141 slm (5 scfm) a 425 slm (15 scfm), y la distancia D entre el fondo del tanque y el tubo de aspiración fue ya sea de 8.3 cm (3.25 pulgadas) o 1.9 cm (0.75 pulgadas).

Como se usa con relación a esta serie de pruebas, el término "zona de impacto" es el área del piso del tanque alrededor del tubo de aspiración que estuvo libre de carbón activado granular.

Se observó que con el tubo de aspiración posicionado 8.3 cm (3.25 pulgadas) arriba del piso del tanque, la zona de impacto fue más grande que cuando el tubo de aspiración se posicionó 1.9 cm (0.75 pulgadas) arriba del piso del tanque, otras condiciones son lo mismo. La distancia óptima y el fondo del tubo de aspiración y el piso del tanque para prevalecer las condiciones se puede determinar por la experimentación de rutina.

Un incremento de dos veces en la cantidad de aire agregado no duplicó el tamaño de la zona de impacto. A 425 slm (15 scfm) con un espacio entre el piso y el tubo de aspiración de 8.3 cm (3.25 pulgadas), una zona de impacto de aproximadamente 71 cm (28 pulgadas) en diámetro, es decir, 20 cm (8 pulgadas) más allá de la pared del tubo de aspiración, se produjo y fue la zona de impacto más grande observada.

En un esfuerzo para expandir el tamaño de la zona de impacto usando la misma cantidad de aire, la configuración mostrada en la FIGURA 21 se modificó mediante la adición de un faldón o lengüeta que se extiende horizontalmente desde el fondo del tubo de aspiración el cual incrementó el diámetro total del tubo de aspiración y el faldón a 71 cm (28

pulgadas). Todas las otras condiciones fueron las mismas como se describen anteriormente. La velocidad del flujo del aire se varió de 425 slm (15 scfm).

Se observó que la adición de un faldón al fondo del tubo de aspiración incrementó el tamaño de la zona de impacto. La zona de impacto se incrementó a 112 cm (44 pulgadas), es decir, 20 cm (8 pulgadas) más allá del borde exterior del faldón, en una velocidad de aire de 425 slm (15 scfm), como es comparado con la zona de impacto de 71 cm (28 pulgadas) con la misma velocidad de aire sin el faldón. La zona de impacto se incrementó en proporción del tamaño del faldón.

Estas configuraciones de tubo de aspiración produjeron un patrón de flujo que se ilustra en la FIGURA 22 en la cual el agua y el carbón activado granular suspendidos se retiraron hacia abajo y hacia adentro hacia la entrada 2296 del tubo de aspiración 2290. Las regiones estancadas también se representan en la FIGURA 22.

En un ejemplo adicional, se posicionó un tubo de aspiración de diámetro más pequeño y más corto dentro de un tubo de aspiración más grande, ambos que son de 1.82 m (6 pies) en longitud con el tubo de aspiración interior montado aproximadamente 7.6 cm (3 pulgadas) del fondo del tanque y el tubo de aspiración exterior posicionado 22.9 cm (9 pulgadas) más alto que el tubo de aspiración interior. Una lámina de cloruro de polivinilo se extendió desde el fondo del tubo de aspiración 15.3 cm (6 pulgadas) interior para crear un faldón de 71 cm (28 pulgadas) de diámetro. La lámina de plástico se unió al borde superior del faldón en una posición de aproximadamente 12.7 cm (5 pulgadas) arriba de la superficie

exterior del tubo de aspiración de 15.3 cm (6 pulgadas) de diámetro para formar una superficie inclinada, o rampa. El tubo de aspiración modificado se colocó en el centro del tanque 1.82 m (6 pies) de diámetro; la velocidad del aire se varió de 141 slm (5 scfm) y 425 slm (15 scfm).

El tubo concéntrico produjo una zona de impacto de aproximadamente 112 cm (44 pulgadas), que fuer comparable con aquella de un solo tubo de aspiración con un faldón de lengüeta de 71 cm (28 pulgadas) de diámetro. En ambas configuraciones, la zona de impacto fue de aproximadamente 112 cm (44 pulgadas).

La configuración del tubo de aspiración de la FIGURA 21 se modificó al reemplazar el tubo de aspiración de 0.31 m (12 pulgadas) de diámetro con un solo tubo de aspiración de 15.3 cm (6 pulgadas) de diámetro. La velocidad de flujo de aire se varió nuevamente de 141 slm (5 scfm) y 425 slm (15 scfm), y el espaciamiento entre el fondo del tanque y el tubo de aspiración se probó a 8.3 cm (3.25 pulgadas) y 6.4 cm (2.5 pulgadas).

Los resultados de estas pruebas indican que una variación de espaciamiento de 8.3 cm (3.25 pulgadas) y 6.4 cm (2.5 pulgadas) no cambión significativamente el diámetro de la zona de impacto alrededor del tubo.

Un incremento de dos veces en la velocidad del flujo del aire no duplicó el tamaño de la zona de impacto. La condición que produjo la zona de impacto más grande fue de 425 slm (15 scfm) con un espacio de 8.3 cm (3.25 pulgadas) entre el piso y el tubo de aspiración. Esta configuración creó una zona de impacto que fue de aproximadamente 56 cm (22 pulgadas) de diámetro, 20 cm (8 pulgadas) más allá de la

pared exterior del tubo de aspiración.

Con base en las pruebas anteriores, se puede concluir que para una velocidad de aire proporcionada, un tubo de aspiración de diámetro más grande es más efectivo en suspender el carbón activado granular que un tubo de aspiración más pequeño dentro de los intervalos y tamaños sometidos a prueba. Parece que más de un tubo de aspiración sería requerido para mezclar y suspender el carbón activado granular en un tanque de 1.82 m (6 píes) de diámetro. Aunque el incremento de la velocidad de aire no incrementó la velocidad de mezclado y el tamaño de la zona de impacto hasta un punto, duplicando la velocidad del aire no duplicó la zona de impacto. El piso del tanque en el área de aproximadamente 20 cm (8 pulgadas) más allá de la periferia del tubo de aspiración, con o sin un faldón o lengüeta, fue consistentemente claro del carbón activado granular. Se pueden emplear construcciones alternativas y/o dispositivos de mezclado complementarios en el tanque para empujar el carbón activado granular hacia la(s) zona(s) de impacto de tubo de aspiración.

En otra configuración, y con referencia a la FIGURA 23, se colocaron tres tubos de succión de 30 centímetros de diámetro (12 pulgadas) uniformemente espaciados 2392 en un tanque 2302 y se aseguraron entre sí de modo que el centro de cada tubo de aspiración sería de 0.61 m (24 pulgadas) desde el centro del tanque, con una distancia de aproximadamente 0.31 m (12 pulgadas) desde el centro de los tubos de succión hasta la pared del tanque. Cada tubo de aspiración se suspendió aproximadamente 7 cm (3 pulgadas) arriba del suelo del tanque.

El aire se suministró uniformemente a cada tubo de aspiración a través de tubos de cloruro de polivinilo de 2.5 centímetros (1 pulgada) de diámetro, cada uno provisto con dos agujeros de 3.2 milímetros (0.125 pulgadas). El aire total proporcionado a los tres tubos de succión fue 453 slm (16 scfm).

A fin de suplementar el mezclado y el movimiento del carbón activado granular fuera de las zonas de impacto que se formaron directamente adyacentes a los tres tubos de succión, un sistema de distribución de agua de un tubo de cloruro de polivinilo de 2.54 cm (1 pulgada) con agujeros se fabricó para la colocación en el fondo del tanque. Los agujeros se perforaron de aproximadamente 32 cm (7 pulgadas) en lados alternantes del tubo de modo que el agua se dirigiría hacia el piso en un ángulo de 45°. El agua se suministró al sistema de distribución a 53 lpm (14 gpm) por una bomba de centrífuga de un tanque de almacenamiento y reciclado de agua separado. Este arreglo es análogo al agua de retorno del tanque del sistema de operación de membrana en un sistema de bioreactor de membrana. Una segunda bomba y válvula controlaron el flujo del agua de regreso al tanque de almacenamiento y se usó una criba para retener el carbón activado granular en el tanque de prueba.

Se observó que cada tubo no bloqueó un área que se extiende 20 cm (8 pulgadas) más allá de la pared exterior del tubo de aspiración y que cada agujero en el sistema distribuidor de agua no bloqueó un área de 31-41 cm (12-16 pulgadas) de largo y 20-31 cm (8-12 pulgadas) de ancho. En las áreas entre las zonas de impacto de los tubos de succión y los distribuidores de agua, algo del carbón activado

granular se asentó al piso del tanque, pero no se movió lentamente en las zonas de impacto donde se elevó en suspensión.

En una prueba adicional del sistema de distribución de agua, los agujeros en los tubos de distribuidor de agua se orientaron para causar que el agua descargada se mezcle en el tanque en un patrón circular.

Todas las otras condiciones que incluyen el espaciamiento de la tubería distribuidora de agua, la velocidad del flujo de aire y la velocidad de flujo de agua fueron las mismas como se describe en relación con los tres tubos de succión de 31 cm (12 pulgadas) de diámetro 91 cm (36 pulgadas) de alto en los cuales el agua de retorno del sistema de operación de membrana se agregó uniformemente al tanque.

Los resultados de esta prueba indicaron que cada tubo de aspiración no bloqueó un área que se extiende de 20 cm (8 pulgadas) más allá de la pared exterior del tubo de aspiración. Adicionalmente, el flujo de agua fue efectivo al mezclar el carbón activado granular en un patrón circular. La acumulación de carbón activado granular en el centro del tanque se puede eliminar al colocar un tubo de aspiración en el centro del tanque en lugar de tres tubos de succión alrededor del perímetro.

Se observó que el carbón activado granular se mezcló en la parte superior del nivel de agua en el tanque aún cuando la longitud de los tubos de succión se redujo de 152 cm (60 pulgadas) a 91 cm (36 pulgadas). Adicionalmente, el uso de distribuidores de agua para ayudar a regresar el líquido al fondo del tanque fue efectivo para mover el carbón

activado granular alrededor. Cuando se colocaron múltiples tubos de succión dentro del tanque, el tamaño de la zona de impacto alrededor de cada tubo de aspiración fue equivalente al tamaño de la zona de impacto observada alrededor de un solo tubo de aspiración, es decir, 20 cm (8 pulgadas) más allá de la pared exterior del tubo de aspiración.

En otra configuración, y con referencia a la FIGURA 24, y para comparación de las características de mezclado con aquellas del tanque circular, se proporcionó un tanque rectangular 2402 que fue de 0.91 m (3 pies) de ancho, 2.1 m (7 pies) de longitud y 2.7 m (9 pies) de profundidad, y se llenó con 2.4 m (8 pies) de agua. El soplador, el motor de soplador y el medidor de flujo se ajustaron y se hicieron funcionar como se plantea anteriormente.

Como se muestra en la FIGURA 24, el exterior de 31 cm (12 pulgadas) del piso del tanque 2405 se inclinó en un ángulo de 30°, que había sido determinado previamente para hacer el ángulo en el cual el carbón activado granular comenzó a deslizarse en un medio ambiente acuoso. El ángulo de 30° de la pared de inclinación causó que el carbón activado granular se dirija hacia las entradas del tubo de aspiración.

Tres tubos de succión de 31 cm (12 pulgadas) de diámetro 2492, cada uno de 91 cm (36 pulgadas) de alto y soportados de aproximadamente 12.7 cm (5 pulgadas) fuera del fondo del tanque, se espaciaron uniformemente a través de la porción no inclinada del tanque 2402. Un tubo de aire de 7.6 cm (3 pulgadas) de diámetro 2490 que tiene orificios perforados se posicionó abajo de los tubos de succión para la introducción de aire en los tubos de succión por la vía de

tres difusores de burbujas gruesas. La velocidad de flujo de aire varió de 221 slm (7.8 scfm) a 512 slm (18.1 scfm).

El carbón activado granular se vació satisfactoriamente en todas las velocidades de aire empleadas en el intervalo. Mientras más alta es la velocidad de aire, es más vigoroso el flujo de mezclado, y permaneció menos tiempo el carbón activado granular sobre el piso del tanque. Durante la adición de aire, el carbón activado granular se observó que está presente por todas las profundidades del tanque.

En otra configuración, y con referencia ahora a la FIGURA 25, se proporcionó un tanque 2502 que tiene paredes de inclinación y un difusor descrito anteriormente en relación con la FIGURA 24, con la adición de dos deflectores paralelos 2597 que fueron de 61 cm (24 pulgadas) de alto, espaciados de 31 cm (12 pulgadas) y posicionados 6.4 cm (2.5 pulgadas) arriba del piso del tanque para formar un "canal de aspiración" 2592. La velocidad del flujo de aire a través del tubo 2590 se varió de 90.6 slm (3.2 scfm) a 331.3 slm (11.7 scfm). Se observó que el carbón activado granular se mezcló y se suspendió bien en todas las velocidades de aire mayores que 141.6 slm (5 scfm), y el incremento de la velocidad del aire arriba de 141.6 slm (5 scfm) incrementó la velocidad del mezclado.

En una prueba adicional en la cual el piso del tanque y las configuraciones del difusor fueron idénticas a las pruebas descritas con respecto a la FIGURA 24 y 25, sin un canal de aspiración o tubos de succión, se descubrió que en 1133 slm uniforme (40 scfm), hubo visiblemente menos que 10% del carbón activado granular en suspensión, indicando que

la presencia del conducto es un factor muy significativo en la suspensión eficiente de energía del carbón activado granular.

En otra configuración de prueba, se incrementó la distancia de las paredes del tanque al conducto. En un depósito de aireación grande, sería económicamente benéfico ser capaz de espaciar los conductos en distancias mayores. Se realizó una prueba para determinar la eficacia de la extensión del espacio entre los conductos a 2.1 m (7 pies). Para determinar esto, la configuración descrita anteriormente y con respecto a la Figura 25 se giró 90° en el tanque. Se instalaron dos paredes de inclinación de 30° que se extendieron de 91 cm (36 pulgadas) de cada extremo del tanque.

Se fabricó un difusor de burbujas gruesas al perforar nueve agujeros de 3.2 milímetros (0.125 pulgadas) de diámetro uniformemente espaciados a lo largo de 91 cm (36 pulgadas) de un tubo de cloruro de polivinilo de 7.6 cm (3 pulgadas) de diámetro. La velocidad del flujo de aire se varió de 164 slm (5.8 scfm) a 402 slm (14.2 scfm).

El difusor de burbujas se colocó en el centro del tanque. Se creó un conducto entre las dos paredes del tanque inclinadas alrededor del tubo de difusor que usa dos deflectores paralelos que fueron de 91 cm (36 pulgadas) de largo, 61 cm (24 pulgadas) de alto, espaciados 31 cm (12 pulgadas) y 6.4 cm (2.5 pulgadas) arriba del piso del tanque.

Se observó que el carbón activado granular se mezcló y se suspendió bien sobre el intervalo de velocidad de aire completo. El carbón activado granular se barrió de la inclinación y en el canal de aspiración que indicó que el

espaciamiento de los conductos podría ser de hasta 2.1 m (7 pies) con un piso inclinado de 30° entre ellos.

La prueba como se describe anteriormente indicó que el diseño del canal de aspiración fue exitoso al suspender el carbón activado granular en el 0.91 m (3 pies) de ancho, 2.1 m (7 pies) de largo por 2.4 m (8 pies) de volumen de agua que usa un piso inclinado de 30° o pared que se extiende desde las paredes exteriores verticales hacia el canal de aspiración.

Se realizaron pruebas adicionales que usan un conducto de 91 cm (36 pulgadas) de largo como se describen anteriormente con diferentes configuraciones en el piso del tanque para optimizar adicionalmente el desempeño de eficiente de energía para suspender el carbón activado granular. Las configuraciones incluyeron remover el piso inclinado completamente, inclinar el piso de la pared exterior al canal y reducir el ángulo de 30° a 15°, y disminuir la longitud del piso inclinado de 91 cm (36 pulgadas) sobre cada extremo del tanque a 31 cm (12 pulgadas) sobre cada mientras se mantiene el ángulo de 30°. Además, se realizó una prueba en la cual el tanque se configuró con dos conductos de 91 cm (36 pulgadas) de largo en cada extremo del tanque sin un piso inclinado. En cada uno de estas configuraciones la velocidad del flujo de aire se varió entre 141 slm (5 scfm) a 425 slm (15 scfm).

Dos conductos de succión se instalaron sobre cada extremo de un tanque de aireación piloto. Los conductos se crearon al colocar un difusor de burbujas gruesas de 91 cm (36 pulgadas) en cada extremo del tanque. El difusor se fabricó de un tubo de cloruro de polivinilo de 7.6 cm (3

pulgadas) que tiene 5 agujeros de 3.2 milímetros (0.125 pulgadas) uniformemente espaciados. Aproximadamente 20 cm (8 pulgadas) lejos de la pared, es decir, 15 centímetros (6 pulgadas) desde el centro del difusor, se montó una placa difusora de 91 cm (36 pulgadas) de largo y 61 cm (24 pulgadas) de alto aproximadamente 5.1 cm (2 pulgadas) fuera del piso del tanque.

Desde que la prueba se realizó en el tanque de aireación de escala piloto rectangular, se observó que la adición de tres tubos de succión de 31 cm (12 pulgadas) de diámetro, 91 cm (36 pulgadas) de alto sobre el difusor suspendieron el carbón activado granular en velocidades de aire entre 227 slm (8 scfm) y 510 slm (18 scfm). Sin embargo, esta configuración podría dar por resultado la formación de zonas estancadas cerca de los soportes y en las esquinas del tanque. La colocación de un canal de aspiración de 2.1 m (7 pies) de largo en el centro del tanque y la inclinación de los pisos en un ángulo de 30° produjo totalmente un mezclado y suspensión de carbón granulado en el tanque en velocidades de aire de aproximadamente 141 slm (5 scfm). La prueba adicional indicó que el mezclado adecuado se puede obtener con los conductos de succión espaciados hasta 2.1 m (7 pies).

En las configuraciones descritas anteriormente que usan tubos de succión, pareció que hay una disminución del regreso del incremento de la velocidad de aire. El incremento en la velocidad del aire incrementó la velocidad de mezclado y el tamaño de la zona de impacto. Sin embargo, duplicar la velocidad del aire no duplicó la zona de impacto. La zona de impacto para cada tubo de aspiración pareció que se extiende aproximadamente 20 cm (8 pulgadas) más allá del borde del

tubo. Más allá de esta región, el mezclado local complementario del material del tanque se requirió para mover el carbón activado granular sobre el piso del tanque hacia y dentro de la zona de impacto del tubo de aspiración. Se usó un sistema de distribución de agua para lograr este mezclado.

Se suspendió el carbón activado granular en todas las profundidades del tanque aún cuando la longitud del tubo de aspiración se redujo de 152 cm (60 pulgadas) a 91 cm (36 pulgadas). La inclinación del piso del tanque a un ángulo de 30° hacia los tubos de succión o conductos proporciona un método efectivo de hacer circular el carbón activado granular. El uso de conductos de succión y un piso inclinado proporcionó un mezclado completo del carbón activado granular en el tanque en forma rectangular y fue menos susceptible a la formación de zonas estancadas que usan tubos de succión. El canal de aspiración fue efectivo en elevar el carbón activado granular del piso del tanque. Una vez que el carbón activado granular se elevó arriba del conducto, el mezclado creado por los difusores de burbujas gruesas fue suficiente para elevar el carbón activado granular a la parte superior del tanque. Los resultados de la prueba indicaron que el uso de una superficie inclinada de 30° permitió que el centro de los conductos se espacie 2.1 m (7 pies), y puede ser posible y puede ser posible el espaciamiento mayor.

Ejemplo 6

Un sistema de tratamiento de aguas residuales diseñados sustancialmente de acuerdo con una o más modalidades de la invención descritas anteriormente e ilustradas en las figuras comprende un primer reactor

biológico, y un segundo reactor biológico que incluye carbón activado granular posicionado corriente abajo del primer reactor biológico. Un sistema de operación de membrana se posiciona corriente abajo de los reactores biológicos. Los parámetros operacionales tales como velocidades de parámetros operacionales tales como velocidades de flujo, tiempos de residencia, temperatura, niveles de pH, y cantidad de carbón activado granular presente en el sistema se para identificar las condiciones para el condiciones para el desempeño óptimo, y proporcionan niveles aceptables de compuestos de demanda de oxígeno biológico y de demanda de oxígeno químico que salen del sistema en el efluente. El flujo hidráulico entre el primer reactor y el segundo reactor se controla para proporcionar un flujo en la dirección corriente abajo y para mantener el carbón activado granular en el segundo reactor.

Durante la operación, se introduce una corriente de aguas residuales en el primer reactor biológico. Fósforo, nitrógeno y/o materiales de ajuste de pH se agregan como se necesite para mantener las relaciones de nutrientes óptimas y los niveles de pH óptimas y los niveles de pH en el primer reactor. Los microorganismos en el primer reactor son capaces de descomponer por lo menos una porción de los compuestos orgánicos biológicamente inestables en el agua residual y reducen los compuestos de demanda de oxígeno biológicos en efluente a un nivel aceptable. El segundo reactor biológico que contiene el carbón activado granular se usa para tratar los compuestos biológicamente refractarios y biológicamente inhibidores en el agua residual y reduce los compuestos de demanda de oxígeno químico en el efluente a un nivel aceptable.

El carbón activado granular se mantiene en suspensión en el segundo reactor que usa un sistema de suspensión. Se posiciona una criba en el segundo reactor para mantener el sistema de para mantener el sistema de operación de membrana sustancialmente libre de carbón activado granular. El carbón activado granular se agrega al segundo reactor como sea necesario, con base en los compuestos de demanda de oxígeno biológico y de demanda de oxígeno químico medidos en el efluente.

El efluente del segundo reactor se introduce al sistema de operación de membrana después de pasar a través de la criba. En el sistema de operación de membrana, el agua residual tratada pasará a través de una o más membranas. El material permeado de la membrana se descargará a través de una salida del sistema de operación de membrana. El material retenido, que incluye lodo activado, se regresará al primer reactor a través de una línea de lodo activado de retorno.

El carbón activado granular agotado del segundo reactor biológico se remueve periódicamente a través de un orificio de descarga de desperdicio de licor mezclado. Una salida de desperdicio también se conecta a la línea de lodo activado de retorno para desviar algo o todo del lodo activado de retorno para eliminación, por ejemplo, para controlar la concentración de componentes en el reactor.

El sistema incluye un controlador para supervisar y ajustar el sistema como sea deseado. El controlador dirige cualquiera de los parámetros dentro del sistema dependiendo de las condiciones de operación deseadas y la calidad deseada de las corrientes de efluente. El controlador ajusta o regula las válvulas, alimentadores o bombas asociados con cada flujo

potencial, con base en una o más señales generadas por los sensores o cronómetros posicionados dentro del sistema, o basados en una tendencia hacia arriba o hacia abajo en una característica o propiedad del sistema supervisados durante un período de tiempo predeterminado. El sensor genera una señal que puede indicar que la concentración de contaminantes tales como compuestos orgánicos e inorgánicos biológicamente refractarios/inhibidores ha alcanzado un valor predeterminado o tendencia, el cual acciona el controlador para iniciar una acción predeterminada correspondiente corriente arriba de, corriente abajo de, o en el sensor. Esta acción puede incluir cualquiera de uno o más para agregar carbón activado granular al reactor biológico, agregar un tipo diferente de material adsorbente, ajustar el flujo de la corriente de aguas residuales a un reactor dentro del sistema, redirigir el flujo del agua residual a un tanque de almacenamiento dentro del sistema, ajustar el flujo de aire entre un reactor biológico, ajustar el tiempo de residencia dentro de un reactor biológico, y ajustar la temperatura y/o pH dentro de un reactor biológico.

A fin de lograr los niveles predeterminados de los compuestos de demanda de oxígeno biológico y de demanda de oxígeno químico en el efluente, el primero y segundo reactores se operan con sus propios tiempos de residencia químico en el efluente, el primero y segundo reactores se operan con sus propios tiempos de residencia hidráulicos. El tiempo de residencia hidráulico del primero y segundo reactores se varía para determinar la relación óptima del tiempo de residencia hidráulica del primer reactor al tiempo de residencia hidráulico del segundo reactor. El tiempo de

residencia hidráulico total del sistema debe ser igual, o menor que un solo reactor biológico estándar, por ejemplo, entre aproximadamente 8 y 12 horas. En un modo preferido de operación, el primer reactor tendrá un tiempo de residencia hidráulico de entre aproximadamente 4 hora y aproximadamente 8 horas, mientras que el segundo reactor tendrá un tiempo de residencia hidráulico de aproximadamente 4 horas. Generalmente el tiempo de residencia hidráulico del primer reactor será más prolongado del tiempo de residencia hidráulico del segundo reactor; sin embargo, los tiempos relativos variarán dependiendo del tipo de agua residual que se trata. El tiempo de residencia hidráulico en las velocidades de flujo del sistema se usa para determinar el tamaño de cada reactor de acuerdo con las prácticas estándares en el campo. El efluente del sistema debe ser menor en compuestos de demanda de oxígeno químico por al menos alrededor de 10% cuando se comparan con el efluente de un solo reactor biológico estándar. Adicionalmente, en una modalidad preferida, la regeneración del carbón activado granular se logra entre el uso de este sistema.

Ejemplo 7

Un sistema a escala de banco para estimular el tratamiento de lodo activado seguido por un tratamiento de carbón activado granular/lodo activado combinado se construyó y probó. Esta prueba se realizó para determinar la efectividad de usar carbón activado granular en un reactor biológico (el segundo reactor de etapa) corriente debajo de un reactor biológico sin carbón activado granular (reactor de primera etapa).

La reactor de primera etapa fue un tanque de 4 litros (1.06 galón) que contiene sólo lodo activado. Se usó un difusor de aire de burbuja fina que tiene una velocidad de flujo de aire de 370 cm^3/min (23 $pulgadas^3$/min). La segunda etapa del reactor fue un tanque de 3 litros (0.79 galón) que contiene lodo activado y un carbón activado granular basado en carbón mineral (Carbón AquaCarb® de Siemens Water Technologies Corp.). El carbón activado granular tiene un tamaño de malla estándar E.U.A. de 8 x 30. La concentración de carbón activado granular en el reactor de segunda etapa fue 20 g/l (20 oz/cf). Un tubo de aspiración que comprende tubería de PVC de 5.1 cm (2 pulgadas) de diámetro se colocó en la segunda etapa de rector que tiene un diámetro de 12.7 cm (5 pulgadas) para mantener el carbón activado granular en suspensión con una velocidad de flujo de aire de 368 slm (13 scfm). La concentración de sólidos suspendidos de licor mezclado en el reactor de primera etapa fue alrededor de 3,470 mg/l (3.5 oz/cf) mientras la concentración en el reactor de segunda etapa fue alrededor de 16,300 mg/l (16.3 oz/cf). El tiempo de retención hidráulico del reactor de primera etapa fue alrededor de 6 horas y el tiempo de retención hidráulico del reactor de segunda etapa fue alrededor de 8 horas para un tiempo hidráulico de sistema total de alrededor de 14 horas.

El sistema se operó por alrededor de 30 días. La concentración de alimentación promedio de COD soluble que ingresa al reactor de primera etapa fue 130 mg/l (0.13 oz/cf) y la concentración COD soluble promedio del efluente del reactor de primera etapa fue 70 mg/l (0.07 oz/cf) y fue la alimentación para el reactor de segunda etapa. La

concentración COD soluble promedio medida en el efluente del reactor de segunda etapa fue 62 mg/l (.062 oz/cf). Esta reducción mayor al 10% en COD soluble por el reactor de segunda etapa demuestra la utilidad del procesamiento de agua residual en un sistema que tiene un reactor biológico que contiene carbón activado granular corriente abajo del primer reactor biológico sin carbón activado granular.

Otros aspectos de la invención descritos en el documento actual, incluyendo el subsistema de separación en el reactor de segunda etapa y el uso de un sistema de operación de membrana corriente abajo del reactor de segunda etapa, son aplicables al aparato descrito en este ejemplo para alcanzar tratamiento efectivo de aguas residuales.

El método y aparato de la presente invención se han descrito anteriormente y en dos dibujos anexos; sin embargo, las modificaciones serán evidentes para aquellas personas de experiencia ordinaria en el campo y el alcance de protección para la invención se debe definir por las reivindicaciones que siguen.

REIVINDICACIONES

Habiéndose descrito la invención como antecede, se reclama como propiedad lo contenido en las siguientes.

1. Un sistema de tratamiento de aguas residuales para tratar aguas residuales, caracterizado porque comprende:

un reactor biológico que comprende un subsistema de separación construido y configurado para mantener el material adsorbente en el reactor biológico con un licor mezclado;

un sistema de suspensión posicionado en el reactor biológico, el sistema de suspensión construido y configurado para mantener el material adsorbente en suspensión con el licor mezclado; y

un sistema de operación de membrana localizado corriente abajo del reactor biológico que se construye y se configura para recibir el licor mezclado tratado del reactor biológico y la descarga un permeado de membrana.

2. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque el sistema de suspensión comprende un sistema de suspensión de elevación de gas.

3. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 2, caracterizado porque el sistema de suspensión de elevación de gas comprende por lo menos un tubo de aspiración posicionado en el reactor

biológico y un conducto de gas que tiene una o más aberturas posicionadas y dimensionadas para dirigir el gas a un extremo de entrada del tubo de aspiración.

4. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 2, caracterizado porque el sistema de suspensión de elevación de gas comprende por lo menos un canal de aspiración posicionado en el reactor biológico y un conducto de gas que tiene una o más aberturas posicionadas y dimensionadas para dirigir el gas a una porción más baja del canal de aspiración.

5. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 4, caracterizado porque el canal de aspiración se forma por un par de deflectores posicionados en el reactor biológico.

6. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque el sistema de suspensión comprende un sistema de suspensión a chorro.

7. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque el subsistema de separación incluye una criba posicionada en una salida del reactor biológico.

8. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque el subsistema de separación incluye una zona de asentamiento

localizada próxima a la salida del reactor biológico.

9. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 8, caracterizado porque la zona de asentamiento comprende un primer deflector y un segundo deflector posicionados y dimensionados para definir una zona inactiva en la cual el material adsorbente se separa del licor mezclado y se asienta en el licor mezclado en una porción más baja del reactor biológico.

10. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 8, caracterizado porque además comprende una criba posicionada próxima a la salida del reactor biológico.

11. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 8, caracterizado porque además comprende un vertedero posicionado próximo a la salida del reactor biológico.

12. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque además comprende

una fuente de aparato de introducción de material adsorbente en comunicación con el reactor biológico;

un sensor construido y configurado para medir el parámetro del sistema; y

un controlador en comunicación electrónica con el sensor programado para instruir el desempeño de un acto con

base en el parámetro medido del sistema.

13. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 12, caracterizado porque el parámetro medido es la concentración de uno o más compuestos predeterminados.

14. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 12, caracterizado porque comprende remover al menos una porción del material adsorbente del reactor biológico.

15. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 12, caracterizado porque el acto comprende agregar material adsorbente al reactor biológico.

16. Un sistema de tratamiento de aguas residuales para tratar aguas residuales, caracterizado porque comprende:

un reactor biológico con una entrada de aguas residuales, una salida de licor mezclado, y un subsistema se de separación asociado con la salida del licor mezclado;

un sistema de suspensión para material adsorbente posicionado en el reactor biológico;

un sistema de operación de membrana localizado corriente abajo del reactor biológico que tiene una entrada en comunicación fluida con la salida del licor mezclado y

una salida de efluente tratado.

17. El sistema de tratamiento de aguas residuales

de conformidad con la reivindicación 16, caracterizado porque el sistema de suspensión comprende un sistema de suspensión de elevación de gas.

18. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 16, caracterizado porque el sistema de suspensión comprende un sistema de suspensión a chorro.

19. Un proceso para tratar aguas residuales, caracterizado porque comprende:

introducir el licor mezclado en un reactor biológico;

introducir el material adsorbente en el reactor biológico con el licor mezclado;

suspender el material adsorbente en el licor mezclado usando un gas, bajo condiciones de operación que promueven la adsorción de contaminantes del licor mezclado por el material adsorbente; y

hacer pasar un efluente que está sustancialmente libre del material adsorbente del reactor biológico a un sistema de operación de membrana mientras que mantiene el material adsorbente en el reactor biológico.

20. El proceso de conformidad con la reivindicación 19, caracterizado porque el líquido se hace circular en el reactor biológico para promover la suspensión del material adsorbente.

RESUMEN DE LA INVENCION

Se proporciona un sistema de tratamiento de agua residual que comprende un reactor biológico que tiene un subsistema de separación, un sistema de suspensión y un sistema de operación de membrana. El subsistema de separación se construye y configura para mantener el material adsorbente en el reactor biológico con un licor mezclado. El sistema de suspensión se coloca en el reactor biológico y se construye y configura para mantener el material adsorbente en suspensión con el licor mezclado. El sistema de operación de membrana se localiza corriente abajo del reactor biológico y se construye y configura para recibir el licor mezclado tratado del reactor biológico y descargar un permeado de membrana.

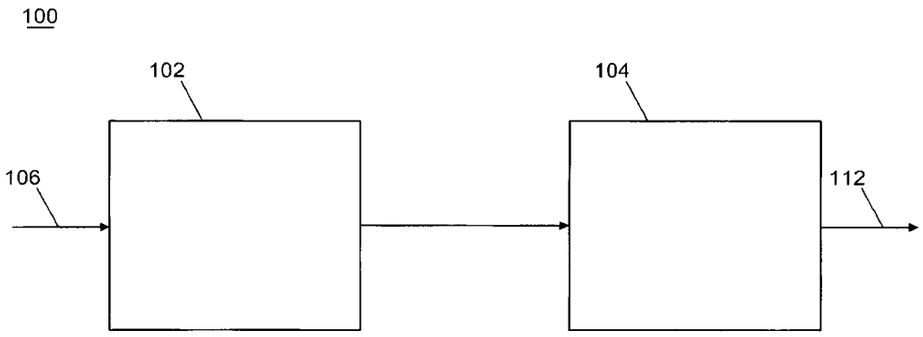


FIG. 1

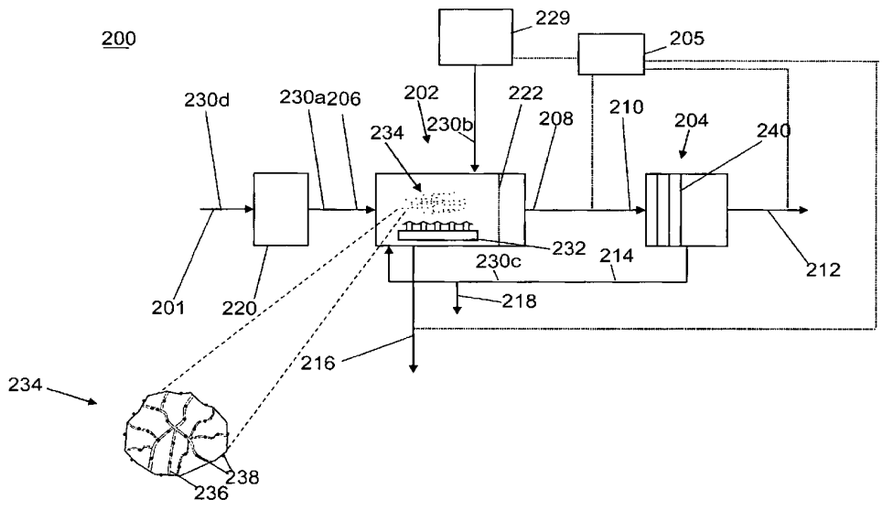

200
229
205
230d
230a
206
202
222
210
204
240
234
230b
208
232
214
230c
212
201
220
218
216
234
238
236

FIG. 2

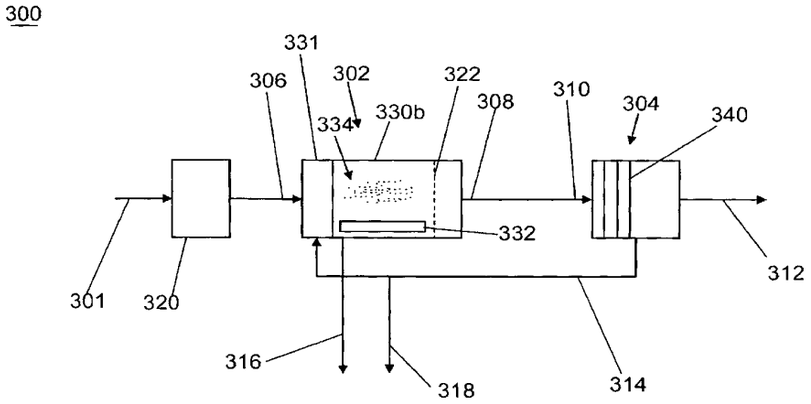

300
331
306
302
322
310
304
340
330b
308
334
332
312
301
320
316
318
314

FIG. 3

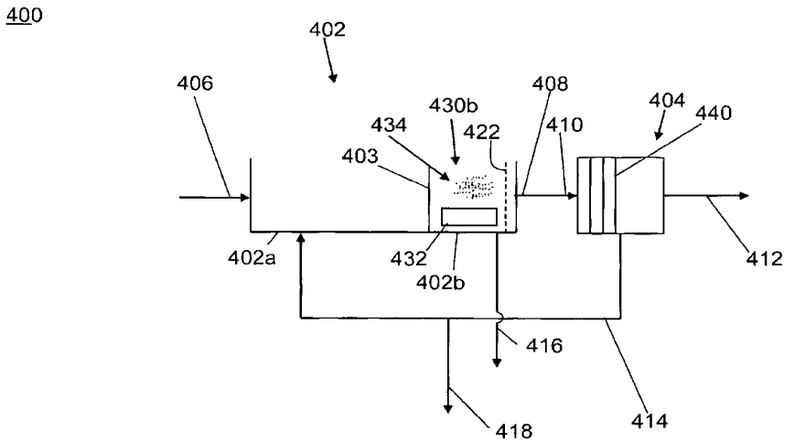

400
402
406
408
430b
434
422
410
404
440
403
402a
432
402b
412
416
418
414

FIG. 4

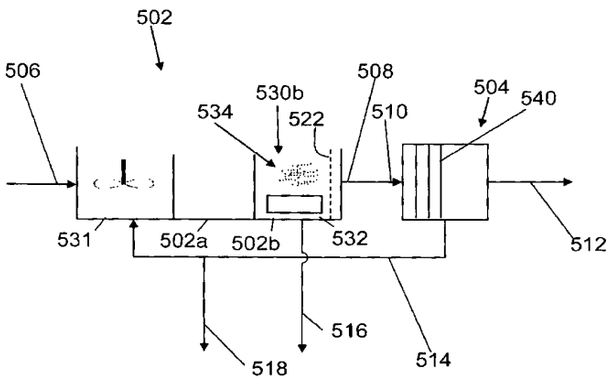

500
502
506
508
530b
504
540
534
522
510
531
502a
502b
532
512
516
518
514

FIG. 5

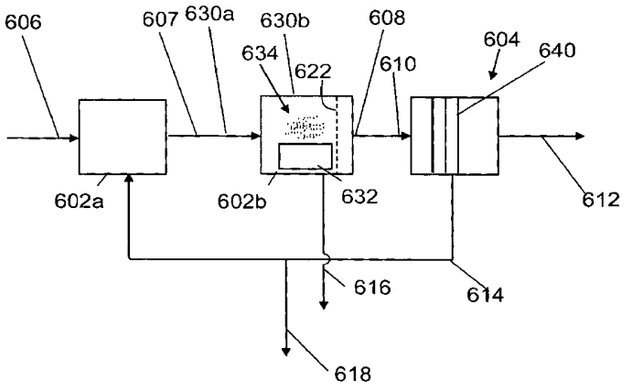

600
606
607
630a
630b
608
634
622
610
604
640
602a
602b
632
612
616
614
618

FIG. 6

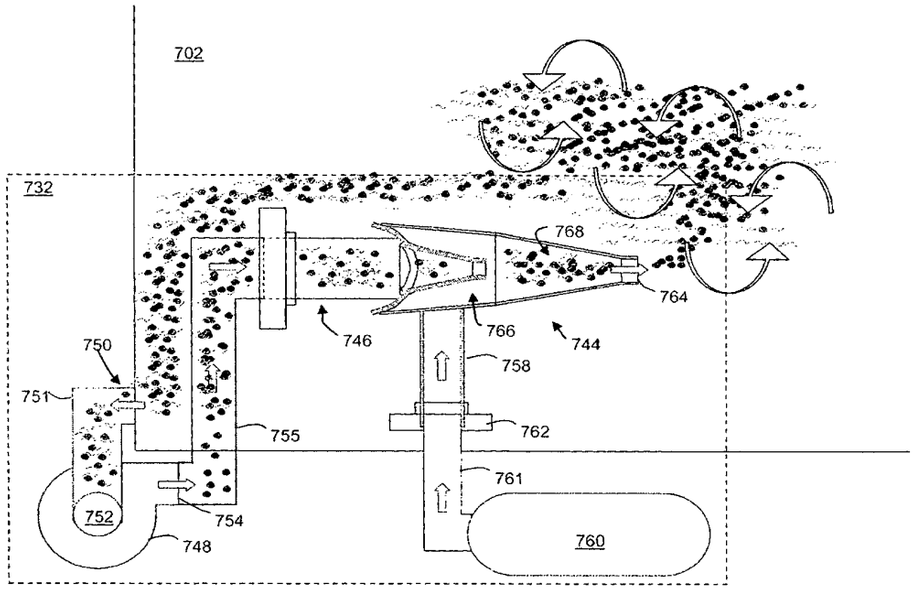

702
732
768
764
746
766
744
750
758
751
755
762
761
752
754
748
760

FIG. 7

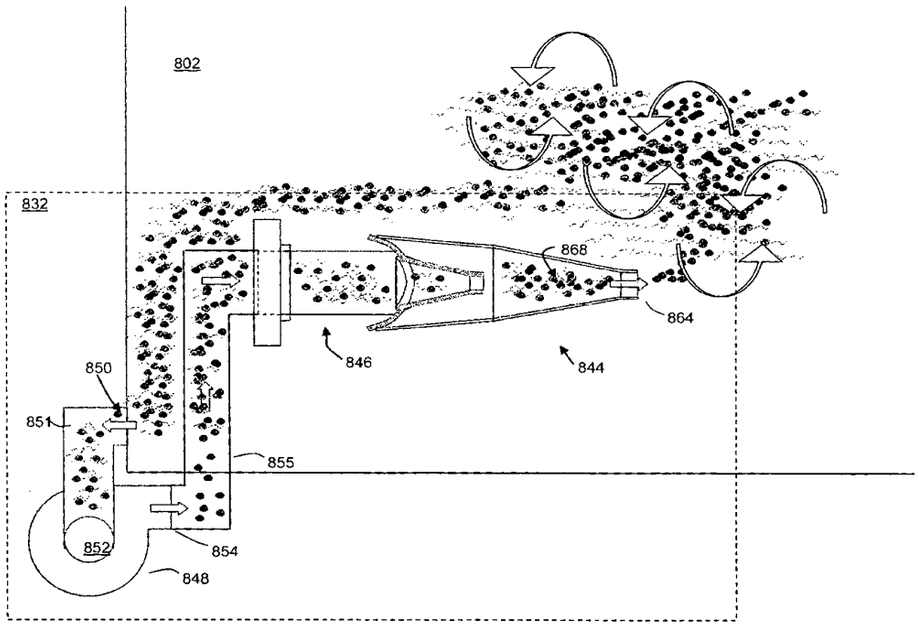


FIG. 8

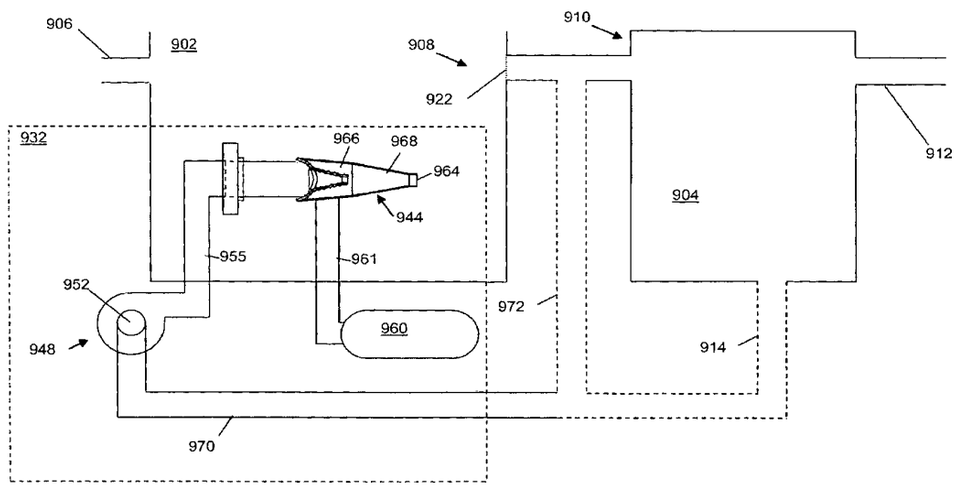

900
906
902
908
910
922
912
932
966
968
964
944
904
955
961
952
960
948
972
914
970

FIG. 9

144

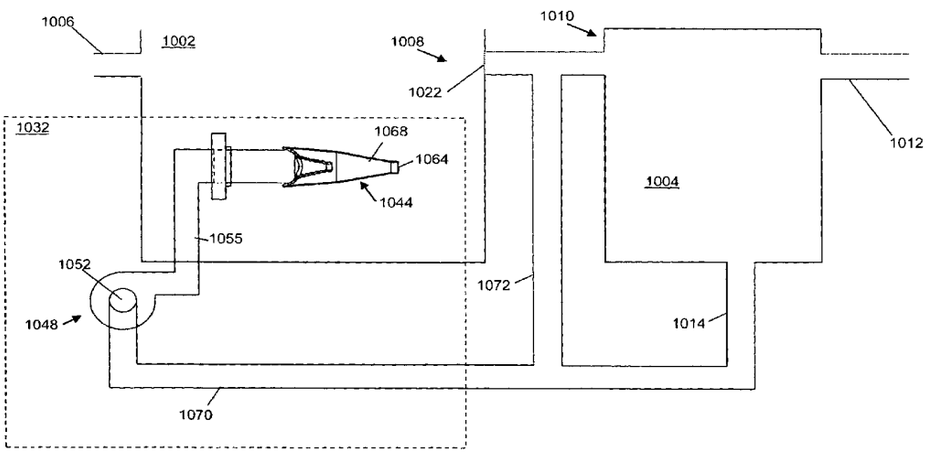

1000
1006
1002
1008
1010
1022
1012
1032
1068
1064
1044
1004
1055
1052
1072
1048
1014
1070

FIG. 10

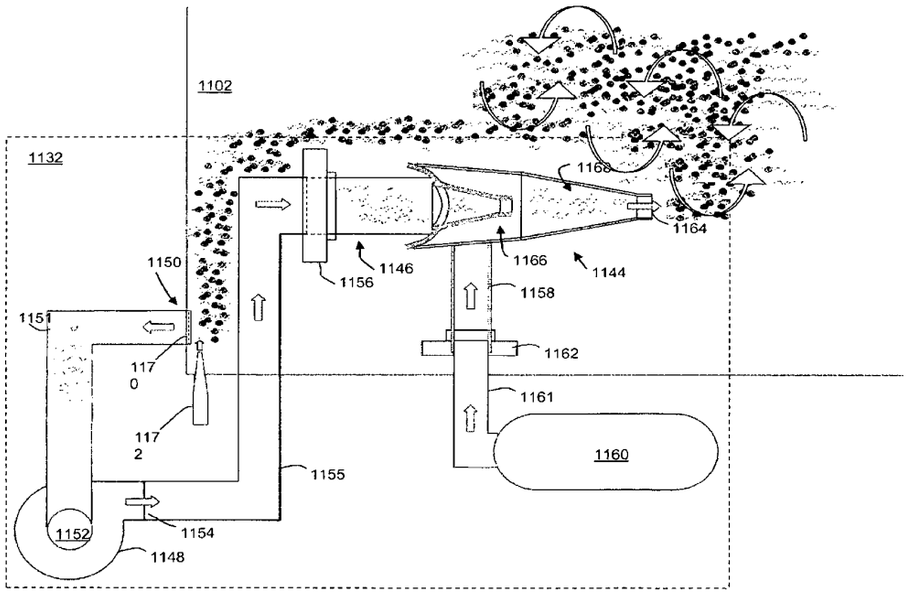

1102
1132
1168
1164
1166
1144
1146
1156
1150
1158
1151
1162
1170
1161
1172
1160
1155
1154
1152
1148

FIG. 11

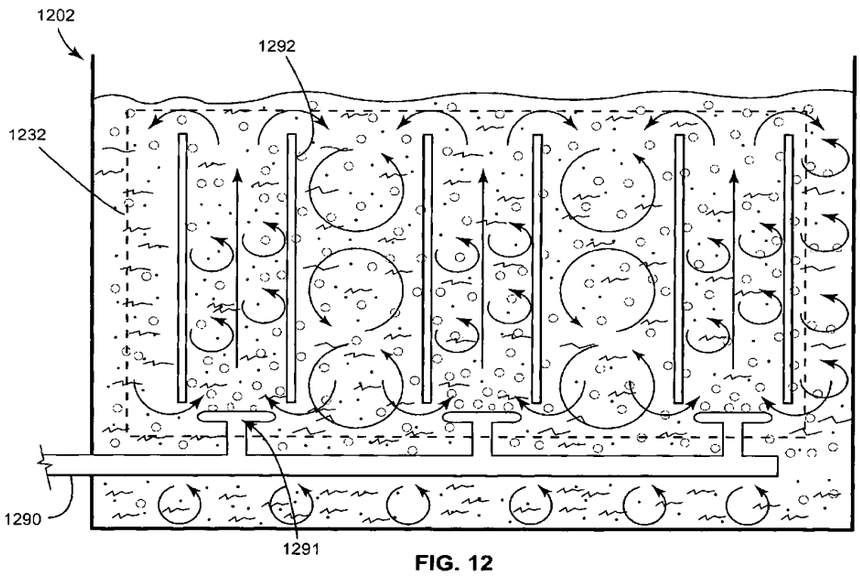


FIG. 12

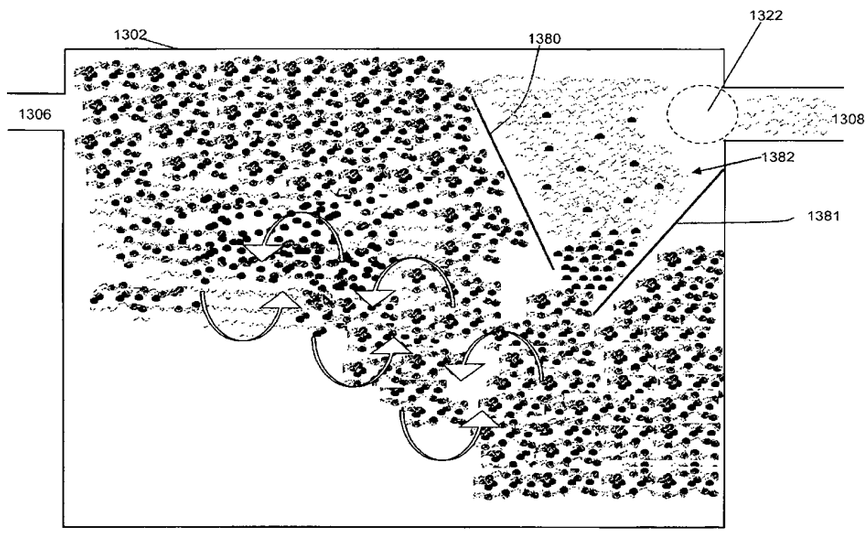


FIG. 13A

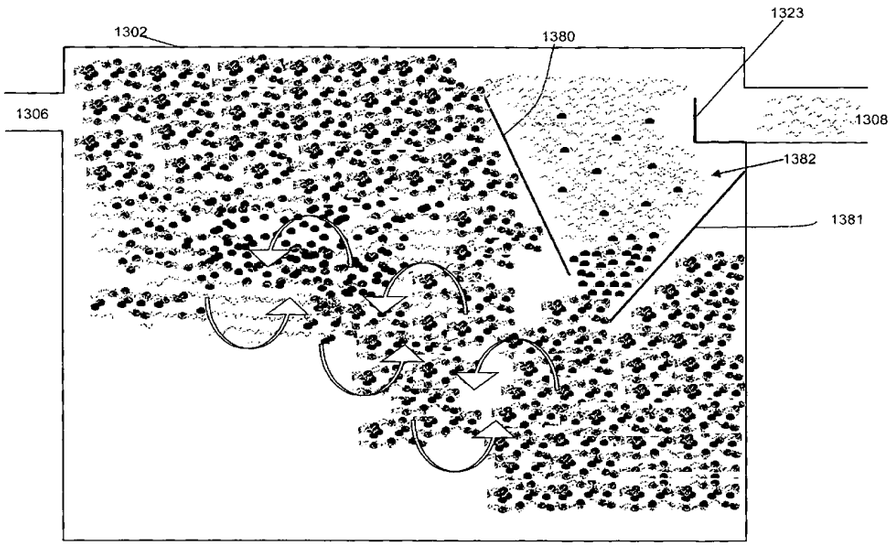
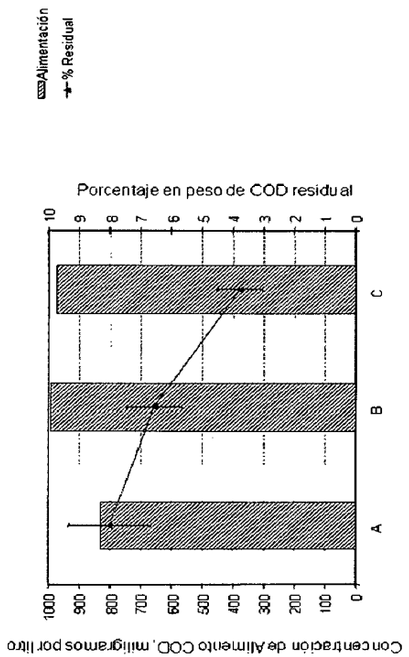


FIG. 13B

149

15/26


Alimentación
% Residual
Porcentaje en peso de COD residual
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
C
B
A
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
Concentración de Alimento COD, miligramos por litro

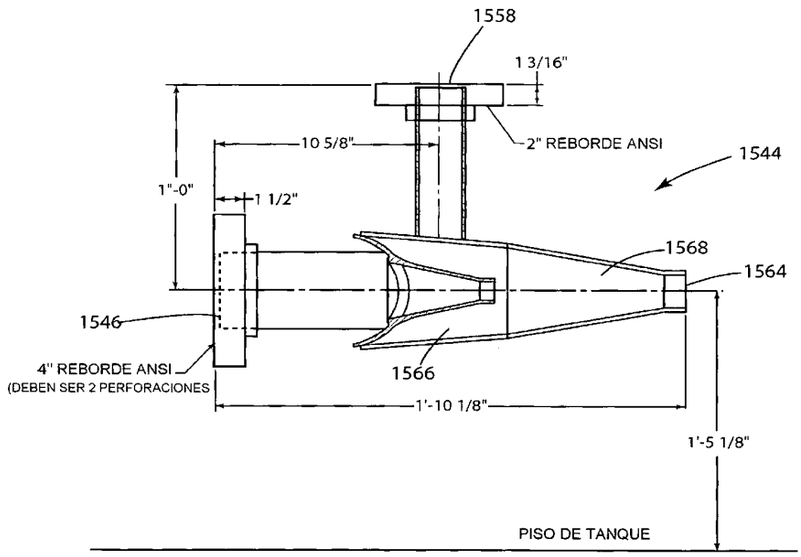

1558
1 3/16"
2" REBORDE ANSI
1544
10 5/8"
1"-0"
1 1/2"
1568
1564
1546
4" REBORDE ANSI
(DEBEN SER 2 PERFORACIONES
1566
1'-10 1/8"
1'-5 1/8"
PISO DE TANQUE

FIG. 15

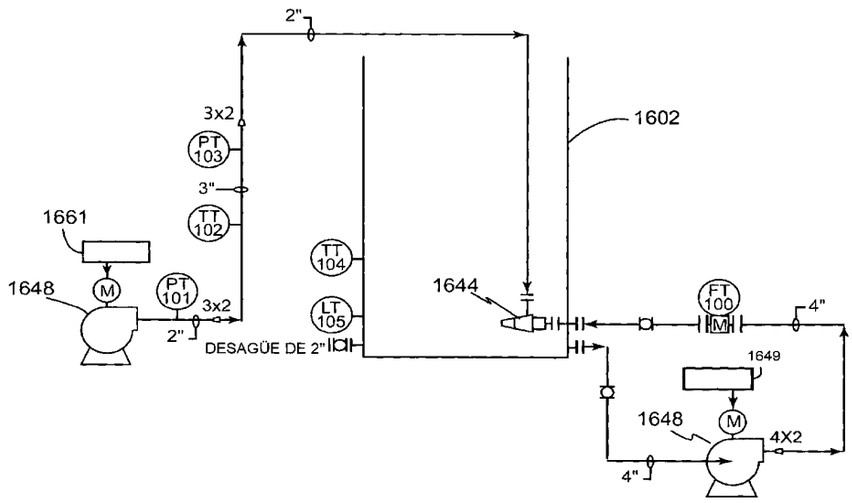
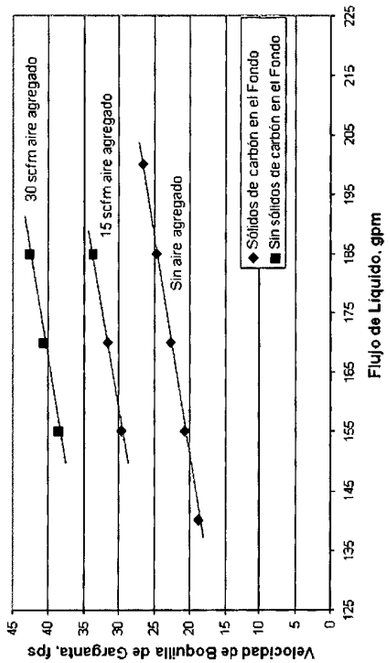

2"
3x2
PT 103
3"
TT 102
1661
1602
TT 104
1644
1648
M
PT 101
3x2
LT 105
FT 100
M
4"
2"
DESAGÜE DE 2"
1649
1648
M
4X2
4"

FIG. 16

18/26


30 scfm aire agregado
15 scfm aire agregado
Sin aire agregado
Sólidos de carbón en el Fondo
Sin sólidos de carbón en el Fondo
Velocidad de Boquilla de Garganta, fps
Flujo de Liquido, gpm
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
125
135
145
155
165
175
185
195
205
215
225

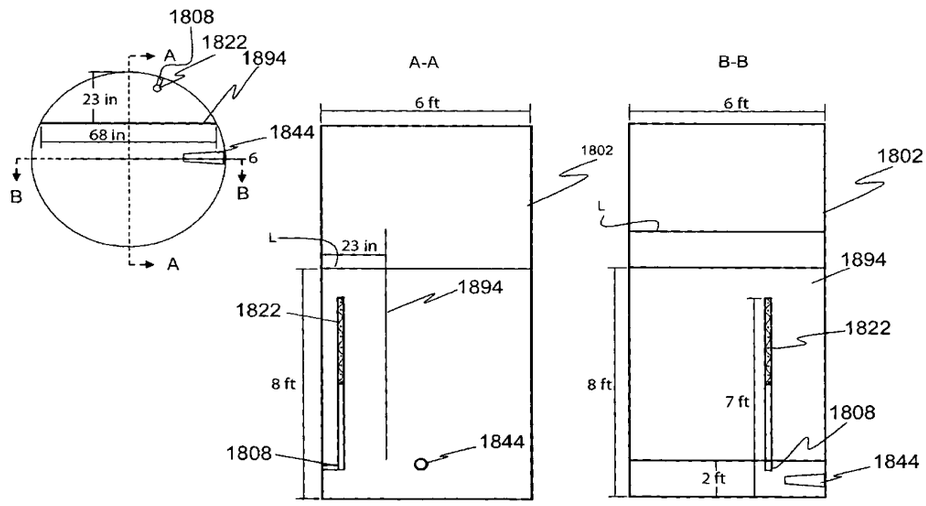

1808
1822
1894
A
23 in
68 in
1844
6
B
B
A
A-A
6 ft
1802
L
23 in
1894
1822
8 ft
1808
1844
B-B
6 ft
1802
L
1894
1822
8 ft
7 ft
1808
2 ft
1844

FIG. 18

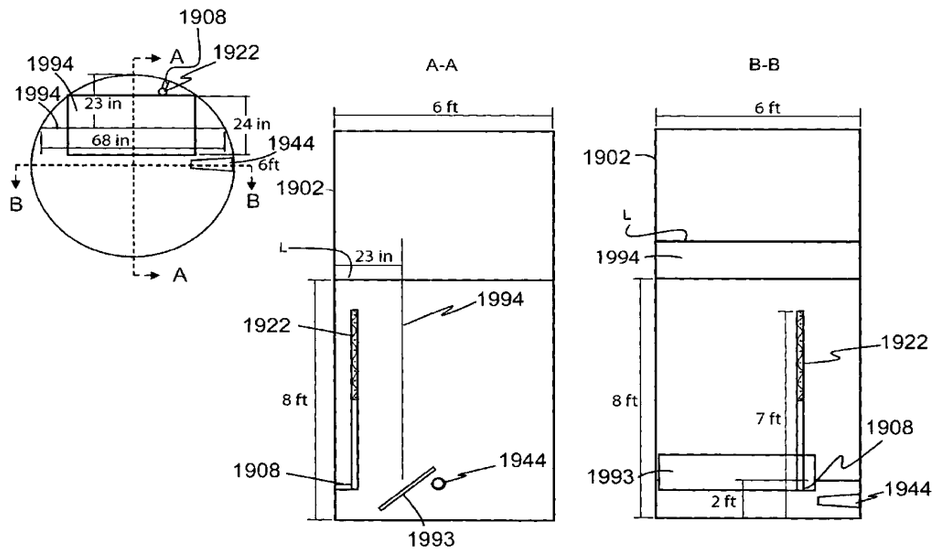
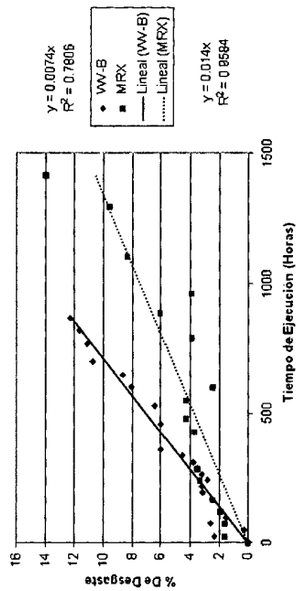

1908
A
1922
1994
1994
23 in
24 in
68 in
1944
6ft
B
B
A
A-A
6 ft
1902
L
23 in
1994
1922
8 ft
1908
1944
1993
B-B
6 ft
1902
L
1994
1922
8 ft
7 ft
1908
1993
2 ft
1944

FIG. 19


y = 0.0074x
R² = 0.7806
VW-B
MRX
Lineal (VW-B)
Lineal (MRX)
y = 0.014x
R² = 0.8584
% De Desgaste
Tiempo de Ejecucion (Horas)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
0
500
1000
1500

2190
2195
2192
1 ft
6 ft
2195
2102
6 ft
13 ft
1 ft
2102
2192
8 ft
5 ft
2190
D
2195

FIG. 21

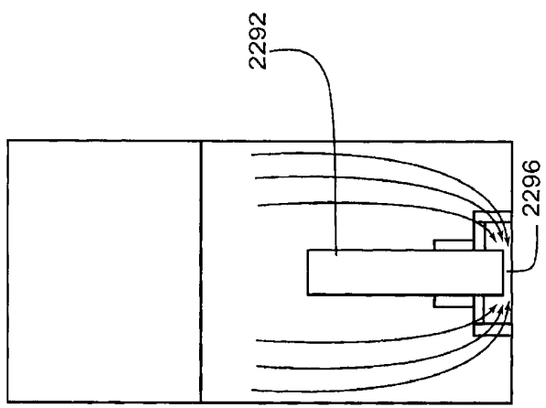
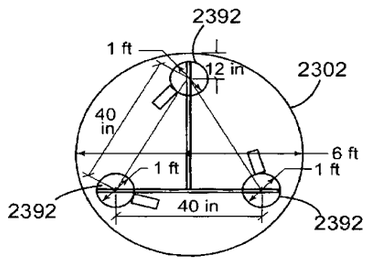


FIG. 22


2392
1 ft
12 in
2302
40 in
6 ft
1 ft
1 ft
2392
40 in
2392

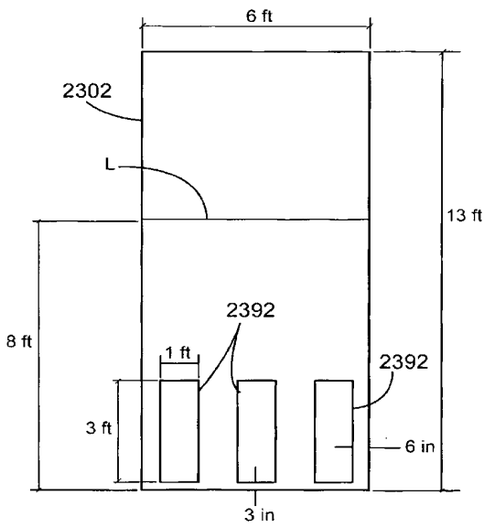

6 ft
2302
L
13 ft
8 ft
2392
1 ft
2392
3 ft
6 in
3 in

FIG. 23

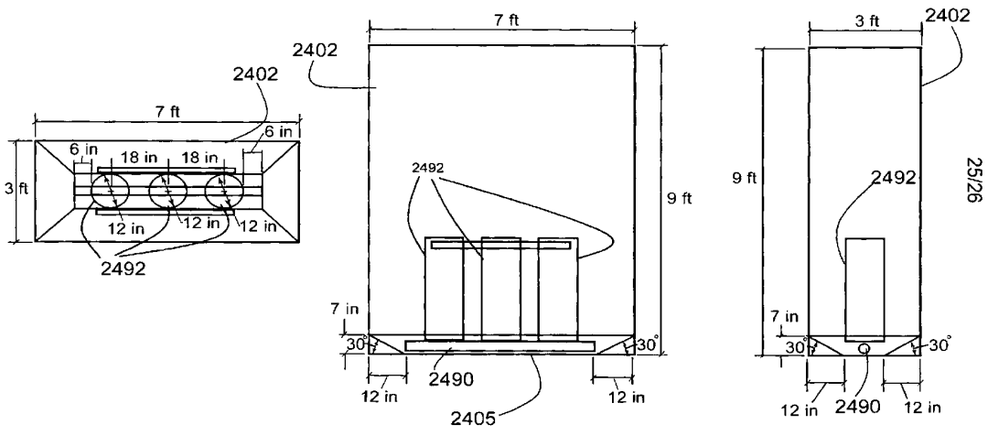

2402
7 ft
6 in
6 in
18 in
18 in
3 ft
12 in
12 in
12 in
2492
2402
7 ft
2492
9 ft
7 in
30°
30°
2490
12 in
12 in
2405
3 ft
2402
9 ft
2492
25/26
7 in
30°
30°
12 in
2490
12 in

FIG. 24

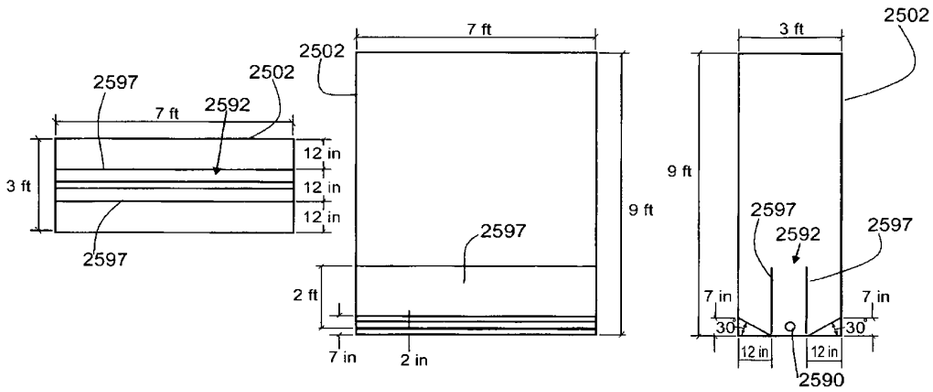

7 ft
2502
2597
2502
7 ft
2592
12 in
3 ft
12 in
12 in
2597
2597
9 ft
2 ft
7 in
2 in
3 ft
2502
9 ft
2597
2592
2597
7 in
7 in
30°
30°
12 in
12 in
2590

FIG. 25

SUSPENDED MEDIA MEMBRANE BIOLOGICAL REACTOR SYSTEM AND PROCESS INCLUDING SUSPENSION SYSTEM

RELATED APPLICATIONS

[01] This application claims the benefit of U.S. Provisional Patent Application No. 61/224,000 filed July 8, 2009, and U.S. Provisional Patent Application No. 61/186,983 filed on June 15, 2009, the disclosures of which are hereby incorporated by reference in their entireties.

BACKGROUND OF THE INVENTION

Field of the Invention

[02] This invention relates to wastewater treatment systems and methods.

Description of Related Art

[03] Effective handling of domestic sewage and industrial wastewater is an extremely important aspect of increasing the quality of life and conservation of clean water. The problems associated with simply discharging wastewater in water sources such as rivers, lakes and oceans, the standard practice up until about a half century ago, are apparent - the biological and chemical wastes create hazards to all life forms including the spread of infectious diseases and exposure to carcinogenic chemicals. Therefore, wastewater treatment processes have evolved into systems ranging from the ubiquitous municipal wastewater treatment facilities, where sanitary wastewater from domestic populations is cleaned, to specialized industrial wastewater treatment processes, where specific pollutants in wastewater from various industrial applications must be addressed.

[04] Biologically refractory and biologically inhibitory organic and inorganic compounds are present in certain industrial and sanitary wastewater streams to be treated. Various attempts have been made to address treatment of such biologically refractory and

biologically inhibitory compounds. Certain types of known treatment include use of powdered activated carbon to adsorb and subsequently remove biologically refractory and biologically inhibitory organic compounds.

[05] Nonetheless, a need exists to treat wastewater containing biologically refractory and biologically inhibitory organic and inorganic compounds without disadvantages associated with using powdered activated carbon and other existing technologies.

SUMMARY OF THE INVENTION

[06] In accordance with one or more embodiments, the invention relates to a system and method of treating wastewater.

[07] In accordance with one or more embodiments, the invention relates to a wastewater treatment system comprising a biological reactor having a separation subsystem, a suspension system and a membrane operating system. The separation subsystem is constructed and arranged to maintain adsorbent material in the biological reactor with a mixed liquor. The suspension system is positioned in the biological reactor and is constructed and arranged to maintain adsorbent material in suspension with mixed liquor. The membrane operating system is located downstream of the biological reactor and is constructed and arranged to receive treated mixed liquor from the biological reactor and discharge a membrane permeate.

[08] In accordance with one or more embodiments, the suspension system comprises a gas lift suspension system. The gas lift suspension system can include at least one draft tube positioned in the biological reactor and a gas conduit having one or more apertures positioned and dimensioned to direct gas to an inlet end of the draft tube. The gas lift suspension system can alternatively include at least one draft trough positioned in the

biological reactor and a gas conduit having one or more apertures positioned and dimensioned to direct gas to a lower portion of the draft trough.

[09] In accordance with one or more embodiments, the suspension system comprises a jet suspension system.

[10] In accordance with one or more embodiments, the separation subsystem includes a screen positioned at an outlet of the biological reactor.

[11] In accordance with one or more embodiments, the separation subsystem includes a settling zone located proximate the outlet of the biological reactor. The settling zone can include a first baffle and a second baffle positioned and dimensioned to define a quiescent zone in which the adsorbent material separates from mixed liquor and settles into the mixed liquor in a lower portion of the biological reactor. Further, the settling zone can include a screen or a weir positioned proximate the outlet of the biological reactor.

[12] In accordance with one or more embodiments, the invention relates to a wastewater treatment system in which a source of adsorbent material introduction apparatus in communication with the biological reactor. In addition, a sensor is constructed and arranged to measure a parameter of the system. Further, a controller is in electronic communication with the sensor and programmed to instruct performance of an act based on the measured parameter of the system. The measured parameter can be the concentration of one or more predetermined compounds. The act can include removing at least a portion of the adsorbent material from the biological reactor, and/or adding adsorbent material to the biological reactor.

[13] In accordance with one or more embodiments, the invention relates to a wastewater treatment system for treating wastewater. The system includes a biological reactor with a wastewater inlet, a mixed liquor outlet, and a separation subsystem associated with the mixed liquor outlet. The system also includes a suspension system for adsorbent material positioned in the biological reactor, and a membrane operating system located downstream of the biological reactor having an inlet in fluid communication with the mixed liquor outlet, and a treated effluent outlet.

[14] In accordance with one or more embodiments, the invention relates to a process for treating wastewater. The process includes introducing mixed liquor into a biological reactor; introducing adsorbent material into the biological reactor with the mixed liquor; suspending the adsorbent material in the mixed liquor using a gas, under operating conditions that promote adsorption of contaminants from the mixed liquor by the adsorbent material; and passing an effluent that is substantially free of adsorbent material from the biological reactor to a membrane operating system while maintaining adsorbent material in the biological reactor.

[15] Still other aspects, embodiments, and advantages of these exemplary aspects and embodiments, are discussed in detail below. Moreover, it is to be understood that both the foregoing information and the following detailed description are merely illustrative examples of various aspects and embodiments, and are intended to provide an overview or framework for understanding the nature and character of the claimed aspects and embodiments. The accompanying drawings are included to provide illustration and a further understanding of the various aspects and embodiments, and are incorporated in and constitute a part of this specification. The drawings, together with the remainder of

the specification, serve to explain principles and operations of the described and claimed aspects and embodiments.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

[16] The invention will be described in further detail below and with reference to the attached drawings all of which describe or relate to apparatus, systems and methods of the present invention. In the figures, which are not intended to be drawn to scale, each similar component that is illustrated in various figures is represented by a like numeral. In the figures:

[17] FIG. 1 is a schematic diagram of a membrane biological reactor system using a biological reactor which contains one or more zones with adsorbent material in suspension;

[18] FIG. 2 is a schematic diagram of an embodiment of a system for treatment of wastewater using adsorbent material in a biological reactor upstream of a membrane operating system;

[19] FIG. 3 is a schematic diagram of a second embodiment of a system similar to that shown in FIG. 2 which includes a denitrification zone;

[20] FIG. 4 is a schematic diagram of another embodiment in which adsorbent material is maintained in suspension in only a portion of a biological reactor tank;

[21] FIG. 5 is a schematic diagram of a further embodiment of a biological reactor divided into multiple sections that includes an anoxic zone;

[22] FIG. 6 is a schematic diagram of an additional embodiment using a series of biological reactors in which adsorbent material is maintained in suspension in only one of the biological reactors;

[23] FIGs. 7 and FIG. 8 are embodiments of biological reactor systems depicting a jet suspension system for suspension of adsorbent material in mixed liquor;

[24] FIGs. 9 and 10 are alternative embodiments of biological reactor systems depicting a jet suspension system for suspension of adsorbent material in mixed liquor, in which mixed liquor taken from a source that has had adsorbent material removed;

[25] FIG. 11 is an alternative embodiment depicting a jet suspension system for suspension of adsorbent material in mixed liquor in which adsorbent material is not circulated through the jet nozzle;

[26] FIG. 12 is a further embodiment of a biological reactor depicting a gas lift suspension system to provide circulation to maintain adsorbent material in suspension;

[27] FIGs. 13A and 13B are further embodiments depicting a settling zone;

[28] FIG. 14 is a chart depicting feed COD concentration (in milligrams per liter), and the remaining effluent COD concentrations (as percentages of the original), at various stages of biological acclimation in a membrane biological reactor system;

[29] FIG. 15 is a schematic illustration of an embodiment of a jet nozzle of the type used in an example demonstrating use of a jet suspension system;

[30] FIG. 16 is a schematic illustration of an system configuration used in another example herein;

[31] FIG. 17 is a chart depicting suspension of adsorbent material under certain nozzle throat velocities and liquid flow rates as determined under various test conditions using the system configuration of FIG. 16;

[32] FIGs. 18 and 19 depict top and sectional views of embodiments of biological reactors employed in the system configuration of FIG. 16;

[33] FIG. 20 is a chart depicting attrition as a function of run time for various types of adsorbent material in another example herein using a gas lift suspension system;

[34] FIG. 21 depicts a top and a sectional view of an embodiment of a biological reactor using a gas lift suspension system;

[35] FIG. 22 is a schematic illustration of flow patterns using the gas lift suspension system of FIG. 21;

[36] FIG. 23 depicts a top and a sectional view of an embodiment of a biological reactor using another configuration of a gas lift suspension systems; and

[37] FIGs. 24 and 25 depict top, side sectional and end sectional views of embodiments of biological reactors using various configurations of gas lift suspension systems.

DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

[38] As used herein, "biologically refractory compounds" refer to those types of chemical oxygen demand ("COD") compounds (organic and/or inorganic) in wastewater that are difficult to biologically break down when contacted with micro-organisms. The "biologically refractory compounds" can have varying degrees of refractory, ranging from those that are mildly refractory to those that are highly refractory.

[39] "Biologically inhibitory compounds" refer to those compounds (organic and/or inorganic) in wastewater that inhibit the biological decomposition process.

[40] "Biologically labile" means easy-to-digest, simple organics such as human and animal waste, food waste, and inorganics, such as ammonia and phosphorous-based compounds.

[41] "COD" or "Chemical Oxygen Demand," refers to a measure of the capacity of water to consume oxygen during a chemical reaction that results in the oxidation (decomposition) of organic matter and the oxidation of inorganic chemicals such as ammonia and nitrite. COD measurement includes biologically labile, biologically inhibitory and biologically refractory compounds.

[42] "Mixed liquor suspended solids," or "MLSS," means microbes and other substances, both dissolved and suspended, present in wastewater being treated; "mixed liquor volatile suspended solids," or "MLVSS," means the active microbes in the MLSS; and "mixed liquor" means the combined mixture of wastewater and MLSS.

[43] "Adsorbent" or "adsorbent materials" as used herein means one or more of granular activated carbon, including granular activated carbon that has been treated to provide affinity to predetermined chemical species, metals or other compounds found to be present in the wastewater that is to be treated; granular iron-based compounds, e.g., iron oxide composites; synthetic resins; and granular alumino-silicate composites.

[44] "Substantially free" or "substantially prevented" in the context of describing the presence of adsorbent material in effluent passing from one section of a system to another, e.g., from a biological reactor containing suspended adsorbent material to a membrane operating system, refers to limiting the amount of adsorbent material passing

to the membrane operating system to an amount that does not adversely effect the requisite efficacy of the membrane filtration process therein. For instance, in certain embodiments, "substantially free" or "substantially prevented" refers to retaining at least about 80% by volume of the predetermined amount of adsorbent material to be used in a given system within the biological reactor or one or more biological reaction zones, in further embodiments, at least about 90% by volume and in still further embodiments at least about 95% by volume, and in yet still further embodiments at least about 99% by volume. However, it will be appreciated by one of ordinary skill in the art based upon the teachings herein that these percentages are merely illustrative, and can vary depending on factors including but not limited to the type of membrane(s) used and their resistance to abrasion, the requisite effluent quality, the predetermined amount of adsorbent material to be used in a given system, and other factors.

[45] This invention in directed to wastewater treatment systems and methods. "Wastewater" as used herein, defines any water to be treated such as surface water, ground water, and a stream of wastewater from industrial, agricultural and municipal sources, having pollutants of biodegradable material, inorganic, labile organic compounds capable of being decomposed by bacteria, biologically refractory compounds, and/or biologically inhibitory compounds, flowing into the wastewater treatment system.

[46] Wastewater from industrial and municipal sources typically contains biological solids, and inert material and organics, including biologically inhibitory and refractory organics. Examples of biologically inhibitory and refractory organics may include synthetic organic chemicals, such as polyelectrolyte treatment chemicals. Other biologically inhibitory and refractory organics include polychlorinated biphenyls,

170

polycyclic aromatic hydrocarbons, polychlorinated dibenzo-p-dioxin, and polychlorinated dibenzofurans. Endocrine disrupting compounds are also a class of biologically inhibitory and refractory organics which can affect hormone systems in organisms and are found in the environment. Examples of endocrine disrupting compounds include: alkylphenolics, such as nonylphenol used for removing oil as well as natural hormones and synthetic steroids found in contraceptives, such as 17-b-estradiol, estrone, testosterone, ethynyl estradiol.

[47] Other examples of wastewaters to be treated include: high strength wastewater; low strength wastewater; and leachate from landfills. Waters may also be treated to remove viruses. Other examples of pollutants in wastewater include: flame retardants, solvents, stabilizers, polychlorinated biphenyls (PCBs); dioxins; furans; polynuclear aromatic compounds (PNAs); pharmaceuticals, petroleum; petrochemical products; petrochemical byproducts; cellulose; phosphorous; phosphorous compounds and derivatives; and agricultural chemicals such as those derived from or used to produce fertilizers, pesticides, and herbicides.

[48] Wastewater from industrial and municipal sources may also contain trace constituent compounds that originate during the water treatment process and are subsequently difficult to remove. Examples of trace constituents introduced during the water treatment process include nitrosamines, such as N-nitrosodimethylamine (NDMA) which may be released from proprietary cationic and anionic resins.

[49] In general, wastewater treatment facilities use multiple treatment stages to clean water so that it may be safely released into bodies of water such as lakes, rivers, and streams. Presently, many sanitary sewage treatment plants include a preliminary

treatment phase in which mechanical means are used to remove large objects (e.g., bar screens), and a sand or grit channel where sand, grit and stones settle. Some treatment systems also include a primary stage where certain fats, greases and oils float to the surface for skimming, and heavier solids settle to the bottom, and are subsequently treated in an aerobic or anaerobic digester to digest biomass and reduce the levels of biological solids.

[50] After preliminary and/or primary treatment, the wastewater is then sent to a secondary biological activated sludge treatment phase. Biological treatment of wastewater is widely practiced. Wastewater is commonly treated with waste activated sludge, in which biological solids are acted upon by bacteria within a treatment tank. Activated sludge processes involve aerobic biological treatment in an aeration tank, typically followed by a clarifier/settling tank. Settled sludge is recycled back to the aeration tank in order to maintain an adequate mixed liquor suspended solids concentration to digest the contaminants. Some alternatives available for disposal of excess bio-solids, e.g., sludge, include but are not limited to incineration, disposal in a landfill, or use as fertilizer if there are no toxic components.

[51] In the aeration tank, an oxygen-containing gas such as air or pure oxygen is added to the mixed liquor. The oxygen from the air is typically used by the bacteria to biologically oxidize the organic compounds that are either dissolved or carried in suspension within the wastewater feed. Biological oxidation is typically the lowest cost oxidation method available to remove organic pollutants and some inorganic compounds, such as ammonia and phosphorous compounds, from wastewater and is the most widely used treatment system for wastewater contaminated with biologically treatable organic

compounds. Wastewaters that contain compounds entirely resistant to bio-decomposition, biologically inhibitory compounds, and/or biologically refractory compounds may not be treated adequately by a conventional simple biological wastewater treatment system. These compounds can only be acted upon by the bacteria only during a hydraulic retention time within a treatment tank. Because the hydraulic retention time is generally insufficient for biological oxidation of sufficient biologically inhibitory compounds and/or biologically refractory compounds, it is likely that some of these recalcitrant compounds may not be treated or destroyed and can pass through a treatment process unchanged or only partially treated prior to discharge in either an effluent or excess residual sludge.

[52] The mixed liquor effluent from the aeration tank typically enters a clarifier/settling tank where sludge, including concentrated mixed liquor suspended solids, settles by gravity. Excess biomass is wasted, i.e., discharged, to off-site disposal. However, based on the wastewater and economic needs, some biological oxidation systems use a different treatment method to remove the solids from the wastewater effluent. The clarifier/settling tank can be replaced with a membrane operating system, or another unit operation such as a dissolved/induced air flotation device can be used. The liquid effluent from the clarifier/settling tank, operating system or dissolved air flotation device is either discharged or given further treatment prior to discharge. The solids that are removed from the mixed liquor are returned to the aeration tank as return activated sludge for further treatment and in order to retain an adequate concentration of bacteria in the system. Some portion of this return activated sludge is periodically

removed from this recycle line in order to control the concentration of bacteria in the mixed liquor.

[53] One recent advance in conventional industrial biological wastewater treatment plant technology includes the addition of powdered activated carbon particles to the mixed liquor. In biological treatment processes utilizing powdered activated carbon, the organics can be adsorbed onto the activated carbon and remain within the treatment tank for a hydraulic retention time that is similar to the sludge residence time and therefore undergo both adsorptive and biological treatments that result in enhanced removal of certain biologically inhibitory or refractory compounds. In these processes, certain organic and inorganic compounds are physically adsorbed to the surface of the powdered activated carbon particles.

[54] Powdered activated carbon has been used in conventional biological treatment plants because of its ability to adsorb biologically inhibitory and biologically refractory compounds, thereby providing an effluent with lower concentrations of these pollutants. Inclusion of powdered activated carbon in the mixed liquor provides a number of operational benefits. The carbon provides the advantages of a suspended media biological treatment system which include increased pollutant removal and increased tolerance to upset conditions. Additionally, the carbon allows the biologically inhibitory and biologically refractory compounds to adsorb onto the surface of the carbon and to be exposed to the biology for a significantly longer period of time than in a conventional biological treatment system, thereby providing benefits similar to that of a fixed film system. The carbon also allows for the evolution of specific strains of bacteria that are more capable of digesting the biologically inhibitory organic materials. The fact that the

carbon is continuously recycled back to the aeration tank with the return activated sludge, i.e., the sludge residence time, means that the bacteria can work on digesting the biologically inhibitory organic compounds adsorbed onto the surface of the carbon for a period of time longer than the hydraulic detention time of the biological treatment system. This process also results in biological regeneration of the carbon and allows the carbon to remove significantly more biologically inhibitory and biologically refractory compounds than it could in a simple packed bed carbon filter system which would also require frequent replacement or costly physical regeneration of the carbon once the adsorption capacity of the carbon is exhausted. The carbon in the mixed liquor can also adsorb certain compounds and therefore provide an effluent that is free of or hasw a substantially reduced concentration of compounds that are not treatable by conventional biological oxidation or otherwise entirely resistant to bio-decomposition. One example of a known powder activated carbon system is offered by Siemens Water Technologies under the trademark "PACT®."

[55] However, because both biological growth and adsorption of organic and inorganic compounds occurs on the activated carbon in powder form, wasting of excess solids is required. In addition, the powdered activated carbon is discharged from the treatment process with the removal of biosolids and must, therefore, be continually replaced.

[56] Increasingly, sanitary wastewater is being treated using membrane biological reactor technology, which offers improved effluent quality, a smaller physical footprint (more wastewater can be treated per unit area), increased tolerance to upsets, improved ability to process hard-to-treat wastewaters and a variety of other operational advantages. For example, wastewaters containing high total dissolved solids can experience settling

problems in a conventional clarifier/settling tank and requires significantly more difficult-to-operate solids separation devices such as a dissolved air flotation device or some other solids removal system. However, while membrane biological reactors eliminate the settling problems experienced with clarifier/settling tank systems, they often present problems of membrane fouling and foaming that do not occur in conventional systems using clarifiers. Membrane fouling may be the result of extra-cellular polymeric compounds that result from the break-down of the biological life forms in the mixed liquor suspended solids, accumulation of organic materials such as oils, or by scaling by inorganic materials.

[57] In addition, to date, membrane biological reactors have not been utilized commercially with powdered activated carbon addition. There has been some use of powdered activated carbon in surface water treatment systems that utilize membranes for filtration. However, it has been reported that these surface water treatment systems using membranes and powdered activated carbon have problems with the carbon abrading the membranes and the carbon permanently plugging and/or fouling the membranes.

[58] Industrial wastewater that must be treated prior to discharge or reuse often include oily wastewaters, which can contain emulsified hydrocarbons. Oily wastewaters can come from a variety of industries including steel and aluminum industries, chemical processing industries, automotive industries, laundry industries, and crude oil production and petroleum refining industries. As discussed above, a certain amount of non-emulsified oils and other hydrocarbons may be removed in primary treatment processes, where floating oils are skimmed from the top. However, biological secondary wastewater processes are generally employed to remove the remaining oils from

wastewater, typically the dissolved and emulsified oils, though some free oil may exist. Typical hydrocarbons remaining after primary treatment can include lubricants, cutting fluids, tars, grease, crude oils, diesel oils, gasoline, kerosene, jet fuel, and the like. These hydrocarbons typically must be removed prior to discharge of the water into the environment or reuse of the water in the industrial process. In addition to governmental regulations and ecological concerns, efficient removal of the remaining hydrocarbons also has benefits, as adequately treated wastewater may be used in many industrial processes and eliminate raw water treatment costs and reduce regulatory discharge concerns.

[59] Other types of wastewater that must be treated includes contaminated process water from other industrial processes such as manufacturing of pharmaceuticals, various goods, agricultural products (e.g., fertilizers, pesticides, herbicides), and paper processing, as well as medical wastewater.

[60] Commercial deployment of membrane biological reactors in the treatment of oily/industrial wastewater has been very slow to develop, mainly due to maintenance problems associated with oil and chemical fouling of the membranes. Testing of industrial/oily wastewater treated in a membrane biological reactor having powdered activated carbon added to the mixed liquor indicated the same treatment advantages as observed in conventional biological wastewater treatment systems including powdered activated carbon. It was also noted that the advantages of using a membrane biological reactor can also achieved. However, a side-by-side comparison of membrane biological reactors with and without the addition of powdered activated carbon demonstrated that the membrane biological reactor with powdered activated carbon provided treatment

advantages as compared to the membrane biological reactors without activated carbon. Additionally, the membrane biological reactor without the carbon addition was very difficult to operate because of dissolved organics and extra cellular polymeric compounds fouling the membranes. Testing further demonstrated that while the addition of powdered activated carbon provided a very viable biological wastewater treatment system, the carbon had the deleterious effect of a significant amount of abrasion to and non-reversible fouling of the membranes. This abrasion and non-reversible fouling was significant enough to result in this system being very costly to operate, because of the significantly decreased life expectancy of the membranes and membrane cleaning frequency.

[61] The systems and methods of the present invention overcome the deleterious effects of using powdered activated carbon , while providing the same and additional advantages.

[62] Referring to FIG. 1, a wastewater treatment system 100 is schematically depicted including a biological reactor system 102 upstream of a membrane operating system 104. In certain embodiments, biological reactor system 102 includes a single biological reactor vessel. In additional embodiments, biological reactor system 102 includes a plurality of biological reactor vessels, one biological reactor vessel divided into separate sections, or a plurality of biological reactor vessels some or all of which can be divided into separate sections. The individual reactor vessels or segregated sections are generally referred to herein as biological reaction zones. During wastewater treatment operations according to the present invention, adsorbent material along with micro-organisms are maintained in suspension in all of the biological reaction zones or a subset of the total number of

biological reaction zones. The membrane operating system 104 is maintained substantially free of adsorbent material using one or more of the separation subsystems described herein. An influent wastewater stream 106 can be introduced from a primary treatment system, a preliminary screening system, or as a direct flow of previously untreated wastewater. In further embodiments, the influent wastewater stream 106 can be previously treated wastewater, e.g., an effluent from one or more upstream biological reactors, including but not limited to aerobic biological reactors, anoxic biological reactors, continuous flow reactors, sequencing batch reactors, or any number of other types of biological treatment systems capable of biologically degrading organic and in certain embodiments some inorganic compounds.

[63] The biological reactor(s) and/or certain biological reactor zones can be various types of biological reactors, including but not limited to aerobic biological reactors, anoxic biological reactors, continuous flow reactors, sequencing batch reactors, trickling filters, or any number of other types of biological treatment systems capable of biologically degrading organic and in certain embodiments some inorganic compounds.

[64] In addition, the biological reactor(s) and/or certain biological reactor zones used herein can be of any size or shape suitable to suspend adsorbent material in conjunction with the suspension system. For example, the vessel may have a cross sectional area of any shape, such as circular, elliptical, square, rectangle, or any irregular shape. In some embodiments, the vessel may be constructed or modified in order to promote suitable suspension of the adsorbent material.

[65] FIG. 2 schematically depicts the process flow of a wastewater treatment system 200 for producing a treated effluent having reduced concentrations of biologically labile,

biologically refractory, biologically inhibitory and/or organic and inorganic compounds that are entirely resistant to biological decomposition. System 200 generally includes a biological reactor 202 and a membrane operating system 204. Biological reactor 202 includes an inlet 206 for receiving wastewater and an outlet 208 for discharging effluent that has been biologically treated, including mixed liquor volatile suspended solids and/or mixed liquor, to the membrane operating system 204.

[66] The biological reactor 202 includes a distributed mass of porous 236 adsorbent material 234, and an effective amount of one or more micro-organisms 238, that are both adhered to the adsorbent material and free-floating and separate from the adsorbent material in the mixed liquor, for acting on biologically labile and certain biologically refractory and/or biologically inhibitory compounds in the mixed liquor. The adsorbent material adsorption sites, including the outer surface of the adsorbent granules or particles, and the wall surfaces of pores 236, initially serve as adsorption sites for the biologically labile, biologically refractory, biologically inhibitory and/or organic and inorganic compounds that are entirely resistant to biological decomposition. In addition, micro-organisms 238 can be adsorbed on the adsorption sites of the adsorbent material. This allows for higher digestion levels of certain biologically refractory and/or biologically inhibitory compounds without requiring proportionally longer hydraulic retention times and sludge retention times, due to the fact those certain biologically refractory and/or biologically inhibitory compounds are retained for extended periods of time on the adsorbent material, which are isolated or retained in the biological reactors.

[67] Generally, biologically labile compounds and certain inorganics will be digested relatively quickly and predominantly by the micro-organisms that are not adhered to the

adsorbent material, i.e., the free floating micro-organisms in the mixed liquor. Certain components including organics and inorganics that are entirely resistant to biological decomposition and very refractory biologically refractory and biologically inhibitory compounds will remain adsorbed on the adsorbent material or may be adsorbed and/or absorbed by free-floating biological material in the reactor(s). Ultimately, these non-digestible compounds will concentrate on the adsorbent to the point where the replacement of the adsorbent will be required to maintain the effluent at an acceptable level of adsorptive capacity. As the adsorbent material remains in the system according to the present invention, micro-organisms grow and are retained on the adsorbent material, generally long enough to break down at least certain biologically refractory and/or biologically inhibitory compounds in the particular influent wastewater, which have been concentrated on the adsorbent material. In addition, while not wishing to be bound by theory, it is believed that micro-organisms can eventually evolve into mature strains with specific acclimation necessary to break down the hard-to-treat compounds in the particular influent wastewater. Over additional time, e.g., several days to several weeks, in which adsorbent material having certain biologically refractory and/or biologically inhibitory compounds is maintained in the system, the micro-organisms having a high degree of specificity become second, third, and higher generations, thereby increasing their efficacy to biodegrade at least certain of the specific biologically refractory and/or biologically inhibitory compounds that are present in the particular influent wastewater as the system becomes acclimated. This is depicted by the step change in residual COD depicted in FIG. 14, which shows a plot of feed concentration (in milligrams per liter) of biologically refractory and biologically inhibitory compounds,

and the remaining effluent concentrations (as percentages of the original), at various stages of the acclimation of a membrane biological reactor system with adsorbent material added, i.e., stage A that is before adsorbent material is added, stage B that is during the acclimation period, and stage C that is after acclimation.

[68] Various influent wastewaters can be deficient in certain nutrients beneficial to the biology that occurs in the biological reactor 202. Further, certain influent wastewaters can have pH levels that are excessively acidic or caustic. Accordingly, as will be apparent to a person having ordinary skill in the art, phosphorus, nitrogen, and pH adjustment materials or chemicals can be added to maintain optimal nutrient ratios and pH levels for the biological life and associated activity, including biological oxidation, in the reactor 202.

[69] Effluent from the biological reactor 202 is introduced via a separation subsystem 222 to an inlet 210 of the membrane operating system 204. This transferred mixed liquor, having been treated in biological reactor 202, is substantially free of adsorbent material. In the membrane operating system 204, the wastewater passes through one or more microfiltration or ultra-filtration membranes, thereby eliminating or minimizing the need for clarification and/or tertiary filtration. Membrane permeate, i.e., liquid that passes through the membranes 240, is discharged from the membrane operating system 204 via an outlet 212. Membrane retentate, i.e., solids from the biological reactor 202 effluent, including activated sludge, is returned to the biological reactor 202 via a return activated sludge line 214.

[70] Spent adsorbent material from the biological reactor 202, e.g., granular activated carbon that is no longer effective in adsorbing contaminants such as certain compounds

entirely resistant to bio-decomposition, biologically refractory compounds and biologically inhibitory compounds, can be removed via a mixed liquor waste discharge port 216 of the biological reactor 202. A waste outlet 218 can also be connected to the return pipe 214 to divert some or all the return activated sludge for disposal, for instance, to control the concentration of the mixed liquor and/or culture. Sludge is discharged from the apparatus with the waste activated sludge when it increases to the point where the mixed liquor solids concentration is so high that it disrupts the operation of the particular membrane biological reactor system. In addition, the mixed liquor waste discharge port 216 can be used to remove a portion of the adsorbent material, thereby removing some portion of the biologically refractory compounds, biologically inhibitory compounds, and/or organic and inorganic compounds that are entirely resistant to biological decomposition, rather than from the return activated sludge line with the waste activated sludge, resulting in a lower concentration of these biologically refractory compounds, biologically inhibitory compounds, and/or organic and inorganic compounds that are entirely resistant to biological decomposition in the discharge and a more stable biomass in the membrane biological reactor. An equivalent quantity of fresh or regenerated adsorbent material can be added.

[71] A preliminary screening and/or separation system 220 can be provided upstream of the inlet 206 of the biological reactor 202. This preliminary screening and/or separation system can include a dissolved air floatation system, a coarse screen or a combination of these and/or other preliminary treatment devices for separating suspended matter of the type known in the art. Optionally, the preliminary screening and/or

separation system 220 can be eliminated, or other types of preliminary treatment devices may be included, depending on the particular wastewater being treated.

[72] In order to prevent at least a majority of the adsorbent material 234 from entering the membrane operating system 204 and causing undesirable abrasion and/or fouling of the membranes 240, separation subsystem 222 is provided. As shown, in FIG. 2, the separation subsystem 222 is located proximate the outlet of the biological reactor 202. However, in certain embodiments, the separation subsystem 222 can be positioned in a separate vessel downstream of the biological reactor 202. In either case, the separation subsystem 222 includes suitable apparatus and/or structures for preventing contact between at least a majority of the adsorbent 234 and the membranes 240 in the membrane operating system 204. Separation subsystem 222 can comprise one or more of a screening apparatus, a settling zone, and/or other suitable separation apparatus.

[73] Suitable types of screens or screening apparatus for use in certain embodiments of the present invention include wedge wire screens, metal or plastic apertured plates, or woven fabrics, in cylindrical or flat configurations and arranged at various angles including vertically oriented, horizontally oriented, or at any angle therebetween. In further embodiments, an active screening apparatus can be employed such as a rotating drum screen, vibrating screen or other moving screening apparatus. In general, for systems in which the separation subsystem 222 is a screening apparatus, the mesh size is smaller than the bottom limit of the effective granule or particle size of the adsorbent material that is being used.

[74] Other types of separation subsystems can also be used in the separation subsystem, as alternatives to, or in combination with, a screening apparatus. For

instance, as further described below, a settling zone can be provided, in which adsorbent material settles by gravity.

[75] In alternative embodiments, or in conjunction with previously described embodiments, separation subsystems can include a centrifugal system (e.g., hydrocyclone, centrifuge, or the like), an aerated grit chamber, a floatation system (such as induced gas flotation or dissolved gas), or other known apparatus.

[76] Optionally, or in combination with the separation subsystem 222 proximate the outlet of biological reactor 202, a separation subsystem can be provided between biological reactor 202 and the membrane operating system 204 (not shown). This alternative or an additional separation subsystem can be the same as or different as separation subsystem 222, in type and/or dimension. For instance, in certain embodiments, a settling zone, a clarifier, a hydrocyclone separator, a centrifuge, or a combination of these can be provided as a distinct unit operation between biological reactor 202 and membrane operating system 204.

[77] Note that the separation subsystem 222 is highly effective for preventing passage of adsorbent material in its original dimension to the membrane operating system. In certain preferred embodiments, the separation subsystem 222 prevents substantially all of the adsorbent material 234 from passage to the membrane operating system 204. However, during operation of the system 200, various causes of attrition of the adsorbent material, including inter-granule collisions, shearing, circulation, or collisions of granules within stationary or moving equipment, can cause particles to be created that are too small to be effectively retained with the separation subsystem 222. In order to minimize the detriment to the membranes and loss of adsorbent material to wasting, certain

embodiments include a separation subsystem 222 that is capable of preventing passage of substantially all of the adsorbent material 234 within about 70 to about 80 percent of its original dimension. The acceptable percentage reduction in the original dimension can be determined by a person having ordinary skill in the art, for instance, based on an economic evaluation. If the reduction in the dimension results in an increase in the particles passing through the screening system, the membranes will experience increased abrasion. Thus, a cost-benefit analysis can be used to determine what is an acceptable percentage reduction of adsorbent material based on the cost of abrasion and eventual replacement of the membranes as compared to the costs associated with adsorbent material that minimizes breakage, and handling and operational costs associated with a separation subsystem capable of preventing passage of particles much smaller than the original adsorbent material granules or particles. In addition, in certain embodiments, some degree of inter-granule collisions, or collisions of granules within stationary or moving equipment, is desirable to strip excess biomass from the outer surfaces of the adsorbent material.

[78] Screened or separated mixed liquor effluent from the biological reactor 202 can be pumped or flow by gravity (depending on the design of the particular system) into the membrane operating system 204. In a system using an external separation subsystem (not shown), the apparatus is preferably configured such that adsorbent material separated from the mixed liquor passing through an external fine screen or separator subsystem falls by gravity back into the biological reactor 202.

[79] Adsorbent material such as granular activated carbon, e.g., suitably pre-wetted to form a slurry of adsorbent material, can be added to the wastewater at various points in

the system 200, e.g., from a source 229 of adsorbent material. As shown in FIG. 2, adsorbent material can be introduced at one or more locations 230a, 230b, 230c and/or 230d. For instance, adsorbent material can be added to the feedstream downstream of the preliminary screening system 220 (e.g., location 230a). Optionally, or in combination, adsorbent material can be added directly to the biological reactor 202 (i.e., location 230b). In certain embodiments, adsorbent material can be introduced via the return activated sludge line 214 (e.g., location 230c). In additional embodiments, it can be desirable to add the adsorbent material upstream of the preliminary screening system 220 (e.g., location 230d), where the preliminary screening system 220 is designed specifically for this application by including screening that allows the adsorbent material to pass through and into the biological reactor 202. Mixed liquor passes through the separation subsystem 222 and the adsorbent material is substantially prevented from passing into the membrane operating system 204 with the mixed liquor suspended solids.

[80] As the adsorbent material remains in the system and is exposed to wastewater constituents including biologically refractory, biologically inhibitory compounds and/or organic and inorganic compounds that are entirely resistant to biological decomposition, some or all of the adsorbent material will become ineffective for treating the constituents, i.e., the adsorption capacity decreases. This will result in a higher concentration of these constituents entering the membrane operating system 204, where they pass through the membranes, and are discharged with the membrane effluent 212. In addition, adsorbent material can become ineffective due to coating with bacteria, polysaccharides and/or extracellular polymeric substances. This layer of coating can reach levels where it blocks the pore sites and thereby prevents access for biologically refractory, biologically

inhibitory and/or organic and inorganic compounds that are entirely resistant to biological decomposition, and consequently prevents adsorption and inhibits biodegradation. In certain embodiments of the present invention, this coating can be removed by a shearing action produced by one or more mechanisms in the system, such as collisions between adsorbent material granules suspended in the mixed liquor or shearing forces associated with suspension and/or movement of the adsorbent material.

[81] When adsorbent material has lost all or a portion of its efficacy for reducing the effluent concentration of biologically refractory, biologically inhibitory and/or organic and inorganic compounds that are entirely resistant to biological decomposition, a portion of the adsorbent material can be wasted via waste port 216, e.g., by discharging a portion of the mixed liquor containing adsorbent material dispersed therein.

[82] Additional fresh or regenerated adsorbent material can be introduced into the system, as described above, via adsorbent material introduction apparatus 229 and/or at one or more suitable addition locations. The inlet wastewater and the effluent wastewater COD compound concentrations and/or inorganic compound concentrations, can be monitored to determine when the adsorbent material and its accompanying biomass in the system have experienced reduced effectiveness. A plot of the difference between the inlet and effluent COD divided by the inlet COD concentration will show gradual loss of the efficacy of the adsorbent material in the mixed liquor. The same type of plot can be used to monitor the inorganic removal capacity of the system. The amount of COD removed from the feed stream can provide an indication of the relative amount of biologically refractory and/or biologically inhibitory organic compounds that are being removed from the wastewater feed. As the operators of the system develop experience

with treating a particular wastewater, they will be able to determine when this ratio indicates a point at which there is a need to remove a portion of the adsorbent material in the biological reactor and replace it with fresh adsorbent material. The system's required efficiency will be regained for the compounds that are biologically refractory, biologically inhibitory and/or entirely resistant to bio-decomposition, for instance, to produce an effluent that is in compliance with regulatory requirements. Sampling and analysis of the effluent for concentrations of specific organic and inorganic compounds can also be used to determine when efficacy of the adsorbent material and its accompanying biomass in the mixed liquor has been reduced and partial replacement should be initiated.

[83] The operator of a membrane biological reactor system 200 according to the invention can begin replacing some of the adsorbent material when the effluent concentrations of specific organic or inorganic compounds start to approach the facility's permitted discharge concentrations for these compounds. The allowed discharge concentrations are typically limited by the facility's permit, for instance, as determined by the National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES) permit program that is regulated by the United States Environmental Protection Agency, or other similar regulating body in a particular state or nation. As operators gain experience in operating this system with their particular wastewater, they will be able to anticipate when to commence replacement of adsorbent material. When the operator determines that the efficacy of the adsorbent material and its accompanying biomass is approaching an inability to achieve the requisite effluent concentration of pollutants, the normal wasting of excess biomass that is performed by wasting return activated sludge from line 218 can

cease and the excess biomass and the accompanying adsorbent material is wasted from the biological reactor 202 via waste port 216. The amount of material wasted is determined by what is required to maintain the mixed liquor suspended solids within the optimum operating range for the particular membrane biological reactor system. After replacement of a portion of the adsorbent material, the effluent is monitored by the operator to determine whether the requisite contaminant removal efficiency has been restored. Additional replacement can be made as needed based on operating experience.

[84] In some embodiments, the system and/or individual apparatus of the system can include a controller to monitor and adjust the system as desired. A controller can direct any of the parameters within the system depending upon the desired operating conditions, which may, for example, be based on governmental regulations regarding effluent streams. The controller can adjust or regulate valves, feeders or pumps associated with each potential flow based upon one or more signals generated by sensors or timers positioned within the system or individual apparatus. The controller can also adjust or regulate valves, feeders or pumps associated with each potential flow based upon one or more signals generated by sensors or timers, which indicate a specific trend, for example an upward or downward trend in a characteristic or property of the system over a predetermined period of time. For example, a sensor in an effluent stream can generate a signal indicating that the concentration of pollutants such as biologically refractory compounds, biologically inhibitory compounds, and or compounds entirely resistant to bio-decomposition has reached a predetermined value or trend, or indicating that the COD level, thereby triggering the controller to perform some act upstream from, downstream from, or at the sensor. This act can include any one or more of removing

adsorbent material from the biological reactor, adding new or regenerated adsorbent material to the biological reactor, adding a different type of adsorbent material, adjusting flow of the wastewater at the feed inlet or inlet to another apparatus within the system, redirecting flow of the feed inlet or inlet to another apparatus within the system to a storage tank, adjusting air flow within the biological reactor, adjusting residence time within the biological reactor or other apparatus, and adjusting temperature and/or pH within the biological reactor or other apparatus. One or more sensors can be utilized in or with the one or more apparatus or streams of the system to provide an indication or characteristic of the state or condition of any one or more processes being performed in the system.

[85] The system and controller of one or more embodiments of the invention provide a versatile unit having multiple modes of operation, which can respond to multiple inputs to increase the efficiency of the wastewater treatment system of the present invention. The controller can be implemented using one or more computer systems which can be, for example, a general-purpose computer. Alternatively, the computer system can include specially-programmed, special-purpose hardware, for example, an application-specific integrated circuit (ASIC) or controllers intended for water treatment systems.

[86] The computer system can include one or more processors typically connected to one or more memory devices, which can comprise, for example, any one or more of a disk drive memory, a flash memory device, a RAM memory device, or other device for storing data. The memory is typically used for storing programs and data during operation of the system. For example, the memory can be used for storing historical data relating to the parameters over a period of time, as well as operating data. Software,

including programming code that implements embodiments of the invention, can be stored on a computer readable and/or writeable nonvolatile recording medium, and then typically copied into memory wherein it can then be executed by one or more processors. Such programming code can be written in any of a plurality of programming languages or combinations thereof.

[87] Components of the computer system can be coupled by one or more interconnection mechanisms, which can include one or more busses, e.g., between components that are integrated within a same device, and/or a network, e.g., between components that reside on separate discrete devices. The interconnection mechanism typically enables communications, e.g., data, instructions, to be exchanged between components of the system.

[88] The computer system can also include one or more input devices, for example, a keyboard, mouse, trackball, microphone, touch screen, and other man-machine interface devices as well as one or more output devices, for example, a printing device, display screen, or speaker. In addition, the computer system can contain one or more interfaces that can connect the computer system to a communication network, in addition or as an alternative to the network that can be formed by one or more of the components of the system.

[89] According to one or more embodiments of the invention, the one or more input devices can include sensors for measuring any one or more parameters of system and/or components thereof. Alternatively, one or more of the sensors, pumps, or other components of the system, including metering valves or volumetric feeders, can be connected to a communication network that is operatively coupled to the computer

system. Any one or more of the above can be coupled to another computer system or component to communicate with the computer system over one or more communication networks. Such a configuration permits any sensor or signal-generating device to be located at a significant distance from the computer system and/or allow any sensor to be located at a significant distance from any subsystem and/or the controller, while still providing data therebetween. Such communication mechanisms can be affected by utilizing any suitable technique including but not limited to those utilizing wireless protocols.

[90] Although the computer system is described by way of example as one type of computer system upon which various aspects of the invention can be practiced, it should be appreciated that the invention is not limited to being implemented in software, or on the computer system as exemplarily shown. Indeed, rather than implemented on, for example, a general purpose computer system, the controller, or components or subsections thereof, can alternatively be implemented as a dedicated system or as a dedicated programmable logic controller (PLC) or in a distributed control system. Further, it should be appreciated that one or more features or aspects of the invention can be implemented in software, hardware or firmware, or any combination thereof. For example, one or more segments of an algorithm executable by a controller can be performed in separate computers, which in turn, can be in communication through one or more networks.

[91] In some embodiments, one or more sensors can be included at locations throughout of the system 200, which are in communication with a manual operator or an automated control system to implement a suitable process modification in a

programmable logic controlled membrane biological reactor system. In one embodiment, system 200 includes a controller 205 which can be any suitable programmed or dedicated computer system, PLC, or distributed control system. The concentration of certain organic and/or inorganic compounds can be measured at the membrane operating system effluent 212 or the effluent from outlet 208 of the biological reactor 202, as indicated by dotted line connections between the controller 205 and both the effluent line 212 and the intermediate effluent line between outlet 208 and inlet 210. In another embodiment, the concentration of volatile organic compounds or other property or characteristic of the system may be measured at one or more of inlets 201, 206, or 210. Sensors known to those of ordinary skill in the art of process control apparatus can include those based on laser-induced fluorescence or any other sensor suitable for in situ real time monitoring of the concentration of organic or inorganic compounds in the effluent or other property or characteristic of the system. Sensors that may be used include submersible sensors for use in oil-in-water measurement which use UV fluorescence for detection, such as enviroFlu-HC sensors available from TriOS Optical Sensors (Oldenburg, Germany). The sensors may comprise lenses which are coated or otherwise treated to prevent or limit the amount of fouling or film that occurs on the lenses. When one or more sensors in the system generate a signal that the concentration of one or more organic and/or inorganic compounds exceeds a predetermined concentration, the control system can implement a responsive action such as a suitable feedback action or feedforward action, including but not limited to removing adsorbent material via waste discharge port 216 (as indicated by dotted line connections between the controller 205 and the waste discharge port 216); adding new or regenerated adsorbent material via adsorbent material introduction

apparatus 229 or at one of the other locations (as indicated by dotted line connections between the controller 205 and the adsorbent material introduction apparatus 229); adding a different type of adsorbent material; modifying the hydraulic retention time; modifying the biological characteristics such as simple carbon food for micro-organisms or adding phosphorus, nitrogen and/or pH adjustment chemicals; and/or other modifications as described above or that will be apparent to those of ordinary skill in the art.

[92] Note that while the controller 205 and the adsorbent material introduction apparatus 229 are shown only with respect to FIG. 2, it is intended that these features and the various feedback and feedforward capabilities can be incorporated in any of the systems described herein. In addition, the controller 205 can be electronically connected to other components such as a wastewater feed pump and the suspension system 232.

[93] After the mixed liquor is aerated and treated by the adsorbent material in the biological reactor 202, the processed mixed liquor passes through separation subsystem 222, and is transferred to the membrane operating system 204 substantially free of adsorbent material. The separation subsystem 222 prevents adsorbent material from passing into the membrane operating system 204. By maintaining the adsorbent material in the biological reactor 202, or otherwise upstream of the membrane operating system 204, the method and system of the present invention minimizes or eliminates the likelihood of fouling and/or abrasion of the membrane operating system tank membranes by the adsorbent material.

[94] The membrane operating system 204 contains filtering membranes 240 to filter the biomass and any other solids in the mixed liquor in the membrane operating system

tank 204 from the effluent from the bioreactor 212. These membranes 240, which can be in the form of hollow fiber membranes or other suitable configurations, as is known to those of ordinary skill in the art, are typically very expensive and it is highly desirable to protect them from damage in order to maximize their useful life. In the method and system of the present invention, the life of the membranes in the operating system tank are extended, since the separation subsystem 222 substantially reduces or eliminates entry of the adsorbent material such as granular activated carbon, and/or any other solid granules and particles, into the membrane operating system 204.

[95] Outlet 212 transports filtered effluent from the membrane operating system tank 204. Return activated sludge line 214 transports a return activated sludge stream from the membrane operating system tank 204 to the biological reactor 202 for further use in processing of the wastewater feedstream. Excess sludge is wasted from the system using waste line 218 as in a conventional membrane biological reactor system.

[96] In systems in which biological reactor 202 is an aerobic reactor such as an aeration tank and the micro-organisms are aerobic micro-organisms, an air diffusion apparatus or mechanical mixing system can be used to maintain the adsorbent material in suspension. As described in further detail below, various additional embodiments of the present invention include alternative or supplemental suspension apparatus or system 232 to maintain the adsorbent material in suspension.

[97] Maintaining the relatively large granules of adsorbent material in suspension typically requires considerable more energy than a prior art system not using the adsorbent material, or that employs powdered activated carbon. Nonetheless, the advantages of using granules of adsorbent material according to the present invention,

196

including increased rate and degree of contaminant removal, thereby minimizing or obviating the need for further downstream treatment, outweighs any increase in energy consumption for operating the system.

[98] The suspension system 232 in certain embodiments of the present invention, utilizes one or more of jet mixing, mechanical mixing, jet aeration, coarse bubble aeration, and other types of mechanical or air suspension to maintain the adsorbent material 234 in suspension while minimizing attrition of the adsorbent material 234.

[99] In certain embodiments, after an initial period of time in which the adsorbent material 234 is within the biological reactor 202 and some granule breakage occurs, e.g., some of the rough and/or protruding surfaces of the adsorbent material 234 break off and becomes powder, fines, needles or other smaller particulates, the adsorbent material 234 maintained in suspension by the jet suspension system 232 stabilizes, whereby little or no further breakage or degradation in size occurs.

[100] In additional embodiments of the present invention, prior to introduction of adsorbent material into the system, the material can be preconditioned by removing easy-to-break portions of the adsorbent material, thereby minimizing creation of fines and other undesirable smaller particles that are difficult to separate and can abrade the membranes. Preconditioning can occur with or prior to pre-wetting, for instance, in a suitable conditioning apparatus such as a wet or dry particle tumbler.

[101] The concentration of adsorbent material in the mixed liquor is generally determined based upon the specific system parameters and wastewater to treat the particular combination of biologically refractory and/or biologically inhibitory organic or inorganic compounds to meet a facility's discharge requirements. Testing has indicated

that operating a membrane biological reactor with a typical industrial mixed liquor suspended solids concentration (in a normal range for the particular membrane biological reactor configuration employed) and an adsorbent material concentration, such as granular activated carbon, of about 20% (of the total mixed liquor suspended solids concentration) was adequate to remove the biologically refractory and/or biologically inhibitory organic compounds present in the wastewater feed without creating fouling problems on the screening system used. Higher concentrations of adsorbent material can be added to provide an additional margin of safety against process upsets that could cause higher than normal effluent concentrations of biologically refractory compounds, biologically inhibitory compounds, and/or organic or inorganic compounds entirely resistant to biological decomposition. Note that this additional adsorbent material will result in increased screening and/or settling requirements. The lowest concentration of adsorbent material that can be utilized and still achieve the required effluent quality can be empirically determined, based upon a desired margin of safety against process upsets that is based on experience or otherwise deemed appropriate for the particular system and process.

[102] The present invention using adsorbent material upstream of a membrane operating system tank to adsorb organic and inorganic materials (biologically refractory, biologically inhibitory or otherwise) as well as to provide for a suspended media membrane biological reactor is applicable for a variety of different configurations. In addition, various separation devices may also be used to maintain the adsorbent material in the biological reactor. It will be appreciated by one of ordinary skill in the art that

different systems will have different economic benefits based on the individual characteristics of the wastewater and the region where the facility is to be installed.

[103] The factors that are controlled to produce optimal treatment conditions include the type of adsorbent material, including its size, shape, hardness, specific gravity, settling rate, requisite air flow or other suspension needs for granule suspension in the mixed liquor, i.e., to maintain the granular activated carbon as a suspended media, the screen bar spacing or opening size and hole configuration, the concentration of adsorbent material in the mixed liquor, the concentration of the mixed liquor volatile suspended solids, the total concentration of mixed liquor suspended solids, the ratio of the return activated sludge flow rate divided by the flow rate of the mixed liquor entering the membrane operating system tank, the hydraulic retention time and the sludge retention time. This optimization provides adsorption of some portion of the biologically refractory compounds, easy to degrade biological oxygen demand compounds (BOD_5), biologically inhibitory compounds, organic or inorganic compounds entirely resistant to biological decomposition, and extra-cellular polymeric substances by the adsorbent material such as granular activated carbon suspended in the mixed liquor.

[104] Another benefit of the apparatus of the present invention is providing sites to which the micro-organisms in the mixed liquor suspended solids can adhere. This aspect of the process produces a mixed liquor volatile suspended solids stream that is more stable and resilient in its response to upset conditions and allows enhanced biodegradation of the organics present in the wastewater as compared to a non-granular activated carbon enhanced membrane biological reactor operated with similar hydraulic retention times and sludge retention times. A source of micro-organisms inside the pore

spaces, or on the surface, of the adsorbent material serves as a source of seed bacteria in the event of an upstream process upset resulting in the loss of some of the viable micro-organisms floating free in the mixed liquor. In the event of a thermal or toxic chemical shock to the system, which would, in conventional systems, terminate certain bacteria, some of the micro-organisms within the pore spaces or on the surface can survive, thus only a fraction of the recovery time is necessary as compared to conventional systems without adsorbent. For instance, in systems where the bacteria is mesophilic, the adsorbent can allow some bacteria within the pore sites to survive in the event of thermal shock due to increased temperature. Likewise, in systems where the bacteria is thermophilic, the adsorbent allows some bacteria within the pore sites to survive in the event of thermal shock due to decreased temperature. In both of these circumstances, the time required for the cultures to re-acclimate can be greatly reduced. In addition, in the event of a system shock that terminates all or a portion of the micro-organism population, the presence of adsorbent material allows for continued operation, in which labile, refractory, and inhibitory contaminants can be adsorbed while the micro-organism population is adjusted.

[105] The various benefits result in a more rapid acclimation of the mixed liquor to the wastewater feed, reduce fouling of the membranes, an improved tolerance to variations in feed concentrations and flow rate, produce a sludge that can be dewatered more quickly with a less oily nature that is easier to handle, and an effluent having a lower concentration of organic and inorganic impurities than can be obtained from a conventional membrane biological reactor apparatus.

201

[106] The use of an adsorbent such as granular activated carbon in place of powdered activated carbon eliminates the membrane fouling and/or abrasion that have been identified as a problem in powdered activated carbon membrane biological reactors testing.

[107] Although the use of granular activated carbon in place of powdered activated carbon does not use carbon as efficiently on a weight basis, the system and method of the present invention substantially prevents the granular activated carbon from entering the membrane operating system thereby minimizing or eliminating the likelihood of abrasion and fouling of the membranes. The impact of the reduced adsorption efficiency as a result of using granular activated carbon in place of powdered activated carbon does not, however, significantly impact the efficacy of the overall activated carbon-enhanced membrane biological reactor apparatus.

[108] Testing has indicated that the principal mechanism of removal of certain biologically inhibitory organics and/or biologically refractory compounds is related to an increase in the residence time that the biologically refractory and biologically inhibitory compounds are exposed to the micro-organisms in the powdered activated carbon enhanced apparatus. Micro-organisms in the mixed liquor volatile suspended solids adsorbed on the adsorbent material such as granular activated carbon have a longer period of time to digest these certain biologically refractory and biologically inhibitory compounds. Increased residence time for biodegradation has been shown to be a major factor in reducing the concentration of certain biologically refractory and biologically inhibitory compounds in the membrane biological reactor effluent, and the higher

adsorption efficiency of the powdered activated carbon is not required to achieve the desired results.

[109] Granular activated carbon in a carbon-assisted membrane biological reactor performs as well or better than a powdered activated carbon enhanced membrane biological reactor in enhancing the removal of biologically refractory compounds, biologically inhibitory compounds, compounds that are entirely resistant to biological decomposition, and extra-cellular polymeric compounds. Also, because of its larger size, it can be effectively filtered or otherwise separated from the mixed liquor that enters the membrane operating system tank(s). The abrasion that occurs when using the powdered activated carbon can be eliminated or significantly reduced by employing granular activated carbon in accordance with the present invention.

[110] While the use of the powdered activated carbon particles in a membrane biological reactor has demonstrated some of the same advantages described above for the granular activated carbon system, the observed membrane abrasion from the powdered activated carbon particles in the membrane operating system tank(s) is unacceptable since the membrane's useful life can be reduced to an unacceptable level, e.g., significantly less than a typical membrane warranty. Since the cost of the membranes represents a significant portion of the total cost of a membrane biological reactor system, an extension of their useful life is an important factor in the operating cost of the membrane operating system.

[111] FIG. 3 shows an alternative embodiment of a membrane biological reactor system 300 that utilizes a biological denitrification operation. Other specialized biological or chemical treatment systems required by a specific influent wastewater can also be

incorporated in the system of the present invention generally shown with respect to FIG. 2, as will be apparent to a person having ordinary skill in the art. The embodiment of FIG. 3 is similar to the embodiment of FIG. 2, with the addition of an anoxic (low oxygen concentration) zone 331. In the embodiments herein using an anoxic zone or vessel, a simple organic carbon source, such as methanol or the biochemical oxygen demand content of the wastewater itself, provides for the consumption by biological organisms. Wastewater 306 is introduced into the anoxic zone 331, which is in fluid communication with the biological reactor 302 containing adsorbent material 334. The anoxic zone 331 can include a mixer and/or an aeration device (not shown). In embodiments herein in which an aeration device is used, the dissolved oxygen concentration is controlled to maintain anoxic conditions. Effluent from the biological reactor 302 is introduced via a separation subsystem 322 to an inlet 310 of the membrane operating system 304. In the membrane operating system 304, the wastewater passes through one or more microfiltration or ultra-filtration membranes, thereby eliminating or minimizing the need for clarification and/or tertiary filtration. Membrane permeate, i.e., liquid that passes through the membranes 340, is discharged from the membrane operating system 304 via an outlet 312. Membrane retentate, i.e., solids from the biological reactor 302 effluent, including activated sludge, is returned to the anoxic zone 331 via a return activated sludge line 314. Spent adsorbent material from the biological reactor 302 can be removed via a mixed liquor waste discharge port 316 of the biological reactor 302. A waste outlet 318 can also be connected to the return pipe 314 to divert some or all the return activated sludge for disposal, for instance, to control the concentration of the mixed liquor and/or culture. The mixed liquor waste discharge port 316 can also be used

to remove a portion of the adsorbent material. An equivalent quantity of fresh or regenerated adsorbent material can be added.

[112] As in the system described in FIG. 2, there are multiple locations at which the adsorbent material 334 can be added to the system. In a preferred embodiment, adsorbent material is added at a location 330b that prevents passage into anoxic zone 331.

[113] FIG. 4 is a schematic depiction of a water treatment system 400 which is one embodiment of a system 100 shown in FIG. 1. In system 400, a biological reactor 402 is divided or partitioned into multiple sections 402a and 402b, e.g., using a baffle wall 403. A membrane operating system 404 is positioned downstream of biological reactor 402.

[114] The hydraulic flow between zones 402a and 402b is engineered to provide a flow in the downstream direction. This can be accomplished by configurations and/or apparatus including, but not limited to an overflow weir, submerged orifices, and/or various distribution piping arrangements, for the purpose of maintaining positive separation between zones 402a and 402b and to maintain adsorbent material 434 only in zone 402b. These various configurations can also be designed so as to control the rate of flow between zones 402a and 402b. Further specific arrangements are not illustrated as these will be known to one of ordinary skill in the art.

[115] During operation, an influent wastewater stream 406 is introduced into the biological reactor 402, and in particular to the first zone 402a of the biological reactor 402. As was discussed above, it will be apparent to a person having ordinary skill in the art, phosphorus, nitrogen, and pH adjustment materials or chemicals can be added to maintain optimal nutrient ratios and pH levels for the biological life and associated activity, including biological oxidation, in the first zone 402a. The micro-organisms in

the first zone 402a are capable of breaking down at least a portion of the biologically labile content of the mixed liquor suspended solids. The simple carbon, i.e., biologically labile compounds, in the mixed liquor suspended solids serve as a food source for the micro-organisms. Wastewater can be treated in zone 402a to remove substantially all of the biologically labile content of the mixed liquor suspended solids, or, in certain embodiments, a portion of the biologically labile content of the mixed liquor suspended solids can be retained for passage into the biological reaction zone 402b. In embodiments in which the biologically labile content of the mixed liquor suspended solids is reduced in zone 402a to a level that is insufficient to efficiently support micro-organisms downstream, one or more controls are implemented to maintain an effective concentration of a micro-organism food source, particularly in the downstream biological reaction zone 402b. This control can be, for instance, based on the residence time of wastewater in the upstream zone 402a, passing a slipstream of untreated influent wastewater directly to the zone 402b, controlling the return activated sludge, introducing methanol or other simple carbon food source for the micro-organisms, or provide intermittent aeration in zone 402a, or other methods that promote a healthy biomass in zone 402b.

[116] Adsorbent material 434 is maintained in suspension in biological reaction zone 402b using a suspension apparatus 432, which can include one or more of the suspension systems described herein, e.g., as shown in FIGs. 7, 8, 9, 10, 11 or 12, in the examples herein, or any suitable conventional apparatus for circulating air, liquid or a combination of air and liquid. These conventional apparatus include, but are not limited to, air diffusion bubblers, paddles, mixers, surface aerators, liquid circulating pumps, and others

that are known to one of ordinary skill in the art. It should be appreciated that, while in certain embodiments it is desirable to use a suspension apparatus 432 having relatively low energy consumption to maintain the adsorbent material 434 in suspension, such as those described in conjunction with FIGs. 7, 8, 9, 10, 11, or 12, or in Example 3, Example 4, or Example 5, other embodiments using less efficient apparatus are also suitable, as the overall volume of the zone 402b within which adsorbent material 434 must be maintained in suspension is only a portion of the total volume of the biological reactor 402.

[117] A screening/separation system 422 is positioned in section 402b to substantially prevent passage of adsorbent material 434 to the membrane operating system 404. In certain embodiments, adsorbent material is added only at location 430b, i.e., corresponding to zone 402b.

[118] Note that while system 400 is shown with one substantially adsorbent-free biological reactor zone, and one zone containing adsorbent material 434, it will be appreciated by one of ordinary skill in the art that a fewer or a greater number of zones of each type can be employed. The concentration of adsorbent material 434 in section 402b can be the same concentration as employed, e.g., in the system of FIG. 1, or a higher or lower concentration can be used depending on the wastewater being treated.

[119] In addition, the biological reactor zones can be formed in various configurations. For instance, in a prismatic biological reactor tank, a partition wall can be provided across the width of the tank to divide it into zones. In a cylindrical tank, for example, a partition wall can be provided as a chord, or plural walls, e.g., as radii, can be provided that form two or more sectors.

[120] By having adsorbent material only in the final biological reaction zone or zones, biologically labile compounds can be treated in the upstream section without adsorbent material and hence without the need to suspend the adsorbent material in the mixed liquor of the adsorbent-free zones of system 400. This also permits development of a colony of micro-organisms that can biodegrade at least certain biologically refractory and/or biologically inhibitory compounds that cannot be biologically decomposed by the traditional microorganisms that would exist in the upstream sections of this system. It will also be appreciated by one of ordinary skill in the art that a system similar to system 400 can be provided according to the present invention using separate tanks rather than divided sections of a biological reactor, as shown schematically in FIG. 6, or a combination of divided sections of a biological reactor and separate vessels.

[121] Still referring to FIG. 4, effluent from the biological reaction zone 402b is introduced via the screening/separation system 422 to an inlet 410 of the membrane operating system 404. In the membrane operating system 404, the wastewater passes through one or more microfiltration or ultra-filtration membranes 440, and membrane permeate is discharged via an outlet 412 while membrane retentate, including activated sludge, is returned to the biological reaction zone 402a via a return activated sludge line 414.

[122] Spent adsorbent material from the biological reaction zone 402b can be removed periodically via a mixed liquor waste discharge port 416. A waste outlet 418 can also be connected to the return activated sludge line 414 to divert some or all the return activated sludge for disposal, for instance, to control the concentration of the mixed liquor and/or culture. The mixed liquor waste discharge port 416 can also be used to remove a portion

of the adsorbent material. An equivalent quantity of fresh or regenerated adsorbent material can be added.

[123] FIG. 5 shows a system 500 that operates in a manner similar to system 400, with a biological reactor 502 that is divided into multiple zones 502a and 502b, and includes a biological denitrification step that is integrated with the biological reactor 502. In this embodiment, adsorbent material 535 added, e.g., a location 530b, and is maintained in suspension in zone 502b and not introduced into the anoxic zone 531 or zone 502a.

[124] Effluent from the biological reaction zone 502b is introduced via the screening/separation system 522 to an inlet 510 of the membrane operating system 504. In the membrane operating system 504, the wastewater passes through one or more microfiltration or ultra-filtration membranes 540, and membrane permeate is discharged via an outlet 512 while membrane retentate, including activated sludge, is returned to the anoxic zone 531 via a return activated sludge line 514.

[125] Spent adsorbent material from the biological reaction zone 502b can be removed periodically via a mixed liquor waste discharge port 516. A waste outlet 518 can also be connected to the return activated sludge line 514 to divert some or all the return activated sludge for disposal, for instance, to control the concentration of the mixed liquor and/or culture. The mixed liquor waste discharge port 516 can also be used to remove a portion of the adsorbent material. An equivalent quantity of fresh or regenerated adsorbent material can be added.

[126] Under certain operational conditions, it may be necessary to introduce a simple organic carbon source, such as methanol to the anoxic zone, to assist with the denitrification process. Alternatively, the biological oxygen demand content of the raw

wastewater can typically provide the necessary food source for consumption by biological organisms.

[127] In further embodiments, an anoxic zone can be provided downstream (not shown) of zone 502b, or between zones 502a and 502b. In either case, it will likely be necessary to add a food source for consumption by biological organisms in the anoxic zone to assist with the denitrification process.

[128] It will also be appreciated by one of ordinary skill in the art that a system similar to system 500 can be provided according to the present invention using separate biological reactors rather than divided sections of a biological reactor, as shown schematically in FIG. 6, or a combination of divided sections of a biological reactor and separate reactors.

[129] FIG. 6 is a schematic depiction of another embodiment of a water treatment system 600. In system 600, a series of biological reactors are provided, including a first biological reactor 602a that is substantially free of adsorbent material, and a second biological reactor 602b that contains a suspension of adsorbent material 634 that can be added, e.g., one or both of locations 630a and 630b. A membrane operating system 604 is positioned downstream of biological reactor 602a and 602b. The second biological reactor 602b includes a screening/separation system 622 is positioned in section 602b to substantially prevent passage of adsorbent material to the membrane operating system 604.

[130] The hydraulic flow between reactors 602a and 602b is engineered to provide a flow in the downstream direction to maintain adsorbent material only in zone 602b, i.e.,

to prevent backflow of adsorbent material from reactor 602b to reactor 602a, and can be designed so as to control the rate of flow between zones 602a and 602b.

[131] During operation, an influent wastewater stream 606 is introduced into the biological reactor 602a. Micro-organisms in the first biological reactor 602a are capable of breaking down at least a portion of the biologically labile compounds contained in the mixed liquor suspended solids. The simple organics in the mixed liquor suspended solids serve as a food source for the micro-organisms. The partially-treated wastewater is passed via conduit 607 to the biological reactor 602b. Partially-treated wastewater from the biological reactor 602a can also be gravity-fed to the biological reactor 602b, or passed by other means know to those having ordinary skill in the art.

[132] Wastewater can be treated in the first biological reactor 602a to remove substantially all of the biologically labile compounds of the mixed liquor suspended solids, or, in certain embodiments, a portion of the biologically labile compounds contained in the mixed liquor suspended solids can be retained for passage into the second biological reactor 602b. In embodiments in which the biologically labile compounds contained in the mixed liquor suspended solids is reduced in the first biological reactor 602a to a level that is insufficient to efficiently support micro-organisms downstream, one or more controls are implemented to maintain an effective concentration of a micro-organism food source, particularly in the downstream biological reactor 602b. This control can be, for instance, based on the residence time of wastewater in the upstream biological reactor 602a, passing a slipstream of untreated influent wastewater directly to the biological reactor 602b, controlling the return

activated sludge, introducing methanol or other simple carbon food source for the micro-organisms, or other suitable feedback or feedforward action.

[133] Adsorbent material 634 is maintained in suspension in the biological reactor 602b using a suspension apparatus 632, which can include one or more of the suspension systems described herein, e.g., as shown in FIGs. 7, 8, 9, 10, 11 or 12, in the examples herein, or any suitable conventional apparatus for circulating air, liquid or a combination of air and liquid. These conventional apparatus include, but are not limited to, air diffusion bubblers, paddles, mixers, surface aerators, liquid circulating pumps, and others that are known to one of ordinary skill in the art. It should be appreciated that, while in certain embodiments it is desirable to use a suspension apparatus 632 having relatively low energy consumption to maintain the adsorbent material in suspension, such as those described in conjunction with FIGs. 7, 8, 9, 10, 11 or 12, or in Example 3, Example 4, or Example 5, other embodiments using less efficient apparatus are also suitable, as the overall volume of the zone 602b is only a portion of the total combined volume of the biological reactors 602a and 602b.

[134] The screening/separation system 622 is positioned in biological reactor 602b to substantially prevent passage of adsorbent material 634 to the membrane operating system 604. In certain instances, adsorbent material 634 is added only to the biological reactor 602b, e.g., at location 630a associated with the conduit 607, or directly into the biological reactor 602b (location 630b). In certain preferred embodiments, adsorbent material is pre-wetted, e.g., to form a slurry, prior to introduction into the biological reactor 602b.

[135] Note that while system 600 is shown with one substantially adsorbent-free biological reactor, and one biological reactor containing adsorbent material 634, it will be appreciated by one of ordinary skill in the art that a fewer or a greater number of biological reactors, or sections of biological reactors, of each type can be employed. The concentration of adsorbent material in biological reactor 602b can be the same concentration as employed, e.g., in the system of FIG. 1, or a higher concentration can be used, depending on factors including but not limited to the characteristics of the partially-treated wastewater to be treated in biological reactor 602b.

[136] By having adsorbent material only in the final biological reactor, biologically labile compounds can be treated in the upstream biological reactor without adsorbent material. This permits development of a colony of micro-organisms that can biodegrade the biologically refractory organisms that cannot be biologically oxidized by the traditional microorganisms that would exist in the upstream sections of this system. It will also be appreciated by one of ordinary skill in the art that a system similar to system 600 can be provided according to the present invention using divided sections of a biological reactor rather than separate biological reactors, as shown schematically in FIG. 4, or a combination of divided sections of a biological reactor and separate reactors.

[137] Still referring to FIG. 6, effluent from the biological reactor 602b is introduced via the screening/separation system 622 to an inlet 610 of the membrane operating system 604. In the membrane operating system 604, the wastewater passes through one or more microfiltration or ultra-filtration membranes 640, and membrane permeate is discharged via an outlet 612 while membrane retentate, including activated sludge, is returned to the biological reactor 602a via a return activated sludge line 614.

[138] Spent adsorbent material from the biological reactor 602b can be removed periodically via a mixed liquor waste discharge port 616. A waste outlet 618 can also be connected to the return pipe 614 to divert some or all the return activated sludge for disposal, for instance, to control the concentration of the mixed liquor and/or culture.

[139] Referring generally to FIGs. 7, 8, 9, 10 and 11, various alternative embodiments are shown including a jet suspension system in which mixed liquor (including MLSS having MLVSS) and adsorbent dispersed therein is circulated through a jet nozzle. This circulation provides for intimate mixing of the adsorbent and the mixed liquor, and also provides turbulence that maintains the adsorbent in suspension in the biological reactor. The turbulence can be localized turbulence, e.g., proximate the nozzle orifice, causing swirling and rolling of the fluid exiting the jet nozzle. In FIGs. 7, 8 and 11, solid black elements represent adsorbent material, and irregular linear elements represent micro-organisms or biomass.

[140] FIG. 7 schematically depicts a suspension apparatus 732 within a biological reactor 702 (a portion of which is shown in the figure for clarity of exposition). The suspension apparatus 732 comprises a jet nozzle 744 fluidly connected to a pump 748 and a source 760 of gas. The gas can be an oxygen-containing gas in the case of an aerobic biological reactor 702, or a gas free of oxygen or substantially free of oxygen in the case of an anaerobic biological reactor 702.

[141] The configuration shown in FIG. 7, and in certain additional embodiments described in conjunction with FIGs. 8, 9 and 10, can be deployed using, for instance, the Vari Cant® system that is commercially available from Siemens Water Technologies of Rothschild, Wisconsin, USA. Other jet aeration systems can also be deployed for one or

more of the systems shown with respect to FIGs. 8, 9 and 10. For instance, various systems include, but are not limited to, jet aeration systems that are commercially available from Fluidyne Corporation of Cedar Falls, Iowa, USA; KLa Systems of Assonet, Massachusetts, USA; and Mixing Systems Inc. of Dayton, Ohio, USA.

[142] Note that while the systems described herein with respect to FIGs. 7, 8, 9, 10, and 11 generally depict a pump outside of the biological reactor tank, a person having ordinary skill in the art will appreciate that one or more pumps can also be positioned inside of the tank(s). In further embodiments, one or more pumps can be positioned inside or outside of a head tank to maintain positive suction.

[143] In addition, while the systems described herein with respect to FIGs. 7, 8, 9, 10 and 11 generally show, for purposes of illustration, the entire jet nozzle positioned in the biological reactor tank, in certain embodiments a portion of the jet nozzle(s) can be positioned outside of the biological reactor tank, with at least their outlet orifice(s) located in the biological reactor tank.

[144] The jet nozzle 744 liquid inlet 746 and outlet orifice 764, and the pump apparatus 748 inlet 752 and outlet 754, are dimensioned and configured to allow passage of adsorbent material and MLSS, including MLVSS. Accordingly, a mixture of mixed liquor, including MLSS and MLVSS, and adsorbent material is drawn from an outlet 750 of the biological reactor 702 into an inlet 752 of the pump apparatus 748 through a line 751. The mixture is pumped out of the pump apparatus 748 via an outlet 754, through a line 755 and directed to a liquid inlet 746 integral with or otherwise in fluid communication with the jet nozzle 744.

[145] Simultaneously, gas 760 is directed through line 761 to a gas inlet 758 integral with or otherwise in fluid communication with the jet nozzle 744 and is directed to a mixing chamber 766, where it expands and imparts motive energy to the mixed stream of mixed liquor and dispersed adsorbent material in the direction of the nozzle outlet orifice 764. The expanded gas, mixed liquor and dispersed adsorbent material pass through a throat 768 having decreasing cross-sectional area in a direction of fluid flow, in which the velocity is increased, and out of the outlet orifice 764. The combined stream of gas, liquid, and solid particles forcefully enters the biological reactor 702, and the solid granules of adsorbent material remain in suspension under continuous operation due to the liquid turbulence in the biological reactor 702.

[146] Referring now to FIG. 8, another embodiment of a biological reactor is shown including a jet suspension system. In particular, a biological reactor 802 includes a jet suspension system 832 including a jet nozzle 844 having at least an outlet orifice 864 located in the biological reactor 802 for circulating mixed liquor having adsorbent material dispersed therein. The jet nozzle 844 is fluidly connected to a pump 848 to circulate mixed liquor having adsorbent material dispersed therein to create turbulence that maintains the adsorbent material in suspension. Any jet mixer, sprayer or other device capable of directing and discharging the mixed liquor having adsorbent material dispersed therein without requiring a gas inlet can be used as the jet nozzle 844 as will be appreciated by one having ordinary skill in the art.

[147] In aerobic biological reactors 802, a source of oxygen-containing gas is also provided (not shown), such as a conventional air diffusion apparatus.

[148] The liquid inlet 846 and outlet orifice 864 of the jet nozzle 844, and the inlet 852 and outlet 854 of the pump apparatus 848, are dimensioned and configured to allow passage of adsorbent material and mixed liquor suspended solids, including mixed liquor suspended volatile solids. Accordingly, a mixture of mixed liquor, including MLSS and MLVSS, and adsorbent material is drawn from an outlet 850 of the biological reactor 802 into inlet 852 of the pump apparatus 848 through a line 851. The mixture is pumped out of the pump apparatus 848 via outlet 854, through a line 855 and directed to a liquid inlet 846 integral with or otherwise in fluid communication with the jet nozzle 844. The jet nozzle 844 includes a throat portion 868 having decreasing cross-sectional area in a direction of fluid flow to increase velocity of mixed liquor and adsorbent material exiting an outlet orifice 864.

[149] Referring generally to FIGs. 9, 10 and 11, alternative embodiments are shown including a jet suspension system in which mixed liquor and/or return activated sludge is circulated through a jet nozzle without adsorbent material. This circulation provides for intimate mixing of the adsorbent material and the mixed liquor at the outlet of the jet nozzle, and also provides turbulence that maintains the adsorbent material in suspension within the biological reactor. The turbulence can be localized turbulence, e.g., proximate the nozzle orifice, causing swirling and rolling of the fluid exiting the jet nozzle.

[150] FIG. 9 schematically depicts a wastewater treatment system 900 including a suspension apparatus 932 within a biological reactor 902 and upstream of a membrane operating system 904. The suspension apparatus 932 comprises a jet nozzle 944 fluidly connected to a pump 948 and a source 960 of compressed gas.

The system 900 includes a screening/separation system 922 which prevents passage of at least a majority of adsorbent material, for instance, at the outlet 908 of the biological reactor 902.

[151] In certain embodiments, mixed liquor is drawn from the effluent of the biological reactor 902 into an inlet 952 of the pump apparatus 948 through conduits 972, 970, wherein conduit 972 is between the outlet 908 of the biological reactor 902 and the inlet 910 of the membrane operating system 904. In additional embodiments, return activated sludge is drawn from a conduit 914 from the membrane operating system 904 into line 970 into the inlet 952 of the pump apparatus 948. In further embodiments, a combined stream of effluent from the biological reactor 902 and return activated sludge from the membrane operating system 904 is used as the liquid providing circulation to the pump. Liquid from the effluent and/or the return activated sludge is pumped out of the pump apparatus 948 through a line 955 and directed to a liquid inlet integral with or otherwise in fluid communication with the jet nozzle 944. In conjunction, compressed gas 960 is directed through line 961 to a gas inlet integral with or otherwise in fluid communication with the jet nozzle 944 and is directed to a mixing chamber 966, where it expands and imparts motive energy to the mixed liquor in the direction of the nozzle outlet orifice 964. The expanded gas and mixed liquor pass through a throat 968 having decreasing cross-sectional area in a direction of fluid flow, in which the velocity is increased, and out of the outlet orifice 964. The combined stream of gas and liquid forcefully enters the biological reactor 902, and the solid granules of adsorbent material remain in suspension under continuous operation due to turbulence in the biological reactor 902.

[152] FIG. 10, schematically depicts another embodiment of a wastewater treatment system, in which wastewater treatment system 1000 includes a suspension apparatus 1032 within a biological reactor 1002 and upstream of a membrane operating system 1004. The system 1000 includes a screening/separation system 1022 which prevents passage of at least a majority of adsorbent material, for instance, at the outlet 1008 of the biological reactor 1002. The suspension apparatus includes a jet nozzle 1044 fluidly connected to a pump 1048 to circulate mixed liquor to create turbulence that maintains the adsorbent in suspension. In aerobic biological reactors 1002, a source of oxygen-containing gas is also provided (not shown), such as a conventional air diffusion apparatus or any number of other devices that can transfer oxygen into the mixed liquor as would be apparent to one of ordinary skill in the art.

[153] The liquid flow in system 1000 is similar to that of system 900 shown and described with respect to FIG. 9 above. Accordingly, in certain embodiments, mixed liquor is drawn from the effluent of the biological reactor 1002 into an inlet 1052 of the pump apparatus 1048 through conduits 1072, 1070, wherein conduit 1072 is between the outlet 1008 of the biological reactor 1002 and the inlet 1010 of the membrane operating system 1004. In additional embodiments, return activated sludge is drawn from a conduit 1014 from the membrane operating system 1004 into line 1070 into the inlet 1052 of the pump apparatus 1048. In further embodiments, a combined stream of effluent from the biological reactor 1002 and return activated sludge from the membrane operating system 1004 is used as the liquid providing circulation to the pump.

[154] Liquid from the effluent and/or the return activated sludge is pumped out of the pump apparatus 1048 through a line 1055 and directed to a liquid inlet integral with or

otherwise in fluid communication with the jet nozzle 1044. The mixed liquor passes through a throat 1068 having decreasing cross-sectional area in a direction of fluid flow, in which the velocity is increased, and out of the outlet orifice 1064. The liquid stream forcefully enters the biological reactor 1002, and the solid granules of adsorbent material remain in suspension under continuous operation due to turbulence in the biological reactor 1002.

[155] In certain embodiments of systems 900 and 1000, it can be necessary to design the hydraulics of the system so that the flow rate through the pump is equal to, or greater than the overall flow rate through the system, i.e., represented by the flow rate of the influent 906, 1006 and the effluent 912, 1012.

[156] FIG. 11 schematically depicts a suspension apparatus 1132 within a biological reactor 1102 (a portion of which is shown in the figure for clarity of exposition). The suspension apparatus 1132 comprises a jet nozzle 1144 fluidly connected to a pump 1148 and a source 1160 of gas. The gas can be an oxygen-containing gas in the case of an aerobic biological reactor 1102, or a gas free of oxygen or substantially free of oxygen in the case of an anaerobic biological reactor 1102.

[157] An outlet 1150 of the biological reactor 1102 includes a screening apparatus 1170 which prevents passage of at least a majority of adsorbent material. A spray nozzle 1172 or other suitable apparatus is provided to remove build-up from the screening apparatus 1170. Spay nozzle 1172 can direct gas and/or liquid to clear the screening apparatus. In certain embodiments (not shown), spray nozzle 1172 can be connected to a pump and/or the source 1160 of compressed gas, to provide pressurized fluid to clear the screening apparatus 1170. In additional embodiments, the spray nozzle 1172 can be eliminated, for

instance, when the screening apparatus 1170 is an active screening device such as a rotary screen or the like that prevents build-up of adsorbent material.

[158] Accordingly, mixed liquor, including MLSS and MLVSS, that is substantially free of adsorbent material is drawn from the outlet 1150 of the biological reactor 1102 into an inlet 1152 of the pump apparatus 1148 through a line 1151. Mixed liquor is pumped out of the pump apparatus 1148 via an outlet 1154, through a line 1155 and directed to a liquid inlet 1146 integral with or otherwise in fluid communication with the jet nozzle 1144. In conjunction, compressed gas 1160 is directed through line 1161 to a gas inlet 1158 integral with or otherwise in fluid communication with the jet nozzle 1144 and is directed to a mixing chamber 1166, where it expands and imparts motive energy to the mixed liquor in the direction of the nozzle outlet orifice 1164. The expanded gas and mixed liquor pass through a throat 1168 having decreasing cross-sectional area in a direction of fluid flow, in which the velocity is increased, and out of the outlet orifice 1164. The combined stream of gas and liquid forcefully enters the biological reactor 1102, and the solid granules of adsorbent material remain in suspension under continuous operation due to turbulence in the biological reactor 1102.

[159] In certain embodiments of the wastewater treatment system described herein, the system includes a gas lift suspension system which may comprise one or more draft tubes or one or more other configurations. The one or more draft tubes may be sized and shaped for a desired application and volume of a vessel, such as a biological reactor or other apparatus, to perform one or more of suspending the adsorbent material, maintaining the adsorbent material in suspension, mixing the adsorbent material throughout the vessel, and aerating the environment of the vessel, which may include

aerobic microorganisms. The gas lift suspension system may be constructed of various sizes and shapes based on the size and shape of the vessel into which it is placed. The gas lift suspension system may comprise one or more draft tubes positioned within a vessel in which an adsorbent material is incorporated into the wastewater treatment system. As used herein, a "draft tube" may be a tube or other structure having one or more sidewalls open at both ends which when positioned in a vessel provides a passageway for fluid flow and may include solid particle suspension, for example, the suspension of adsorbent material and related solids in a wastewater or mixed liquor with air or other gas.

[160] The draft tube may be constructed of any material suitable for a particular purpose as long as it is abrasion resistant, resistant to wastewater components at typical conditions for wastewater treatment, and able to withstand turbulent flows through and around the draft tube. For example, the draft tube may be formed of the same material as the vessel or may be formed of other lighter and less expensive materials, such as plastics, including fiberglass reinforced plastics, polyvinyl chloride (PVC), or acrylic. The draft tube may be preformed for insertion into the vessel, or manufactured as part of the vessel. As such, the draft tube may be designed to retrofit current systems. The gas lift suspension system may be supported on a wall of the vessel, or may be supported by a bottom portion of the vessel so long as it allows for flow through and around the draft tube. Alternatively, the gas lift suspension system may be supported by an additional structure constructed and arranged to retain and suspend the one or more draft tubes within the vessel.

[161] An individual draft tube may be sized and shaped according to a desired application, such as to suspend an adsorbent material within the vessel and/or to operate

within a preselected time period for operation. The draft tube may also be sized and shaped to provide a desired level of agitation within the draft tube to adequately suspend the adsorbent material within the vessel or to aerate the environment of the vessel. The desired gas lift suspension system volume may be provided by a single draft tube or by multiple draft tubes having a total volume substantially equal to the desired volume. A particular ratio of gas lift suspension system volume to vessel volume may be selected to provide optimal suspension of the adsorbent material within the draft tube. An individual draft tube may have a cross sectional area of any shape, such as circular, elliptical, square, rectangle, or any irregular shape. The individual draft tube may have any overall shape, such as conical, rectangular and cylindrical. In one embodiment, the draft tube is a cylinder. The overall dimensions of the draft tube, such as length, width, and height, may be selected to provide optimal suspension of the adsorbent material within the vessel. For example, particular ratios of draft tube length to draft tube width or diameter may be selected to achieve optimal suspension of the adsorbent material within the vessel. The draft tube may be comprised of two opposed sidewalls within a vessel in a construction referred to as a "trough." One or both ends of the draft tube may be constructed and arranged to assist flow of adsorbent material into and/or out of the draft tube. For example, the side wall at a first end of the draft tube may include one or more openings forming passageways to allow some of the adsorbent material, wastewater, or other contents of the vessel that are located at or near the first end of the draft tube to enter or exit through the sidewall of the draft tube. The openings forming the passageways may have any shape to allow for sufficient suspension of the adsorbent material within the vessel. For example, openings may be triangular, square, semicircular or have an

irregular shape. Multiple passageways may be identical to one another and uniformly positioned about the first end of the draft tube to equally distribute flow of adsorbent material in the draft tube.

[162] The one or more draft tubes may be positioned at any suitable location within the vessel so long as they provide adequate suspension of the adsorbent material within the vessel. For example, a single draft tube may, but need not, be positioned centrally in relation to the vessel sidewalls. Similarly, multiple draft tubes in a single vessel may be randomly positioned or positioned in a uniform pattern in relation to the vessel sidewalls. Multiple draft tubes in a single vessel may, but need not be identical in volume or cross sectional area. For example, a single vessel may comprise cylindrical, conical and rectangular draft tubes of varying height and cross sectional area. In one embodiment, a vessel may have a first draft tube centrally positioned having a first cross sectional area and a plurality of second draft tubes positioned adjacent to the side wall of vessel in which each of the second draft tubes has a second cross sectional area smaller than the first cross sectional area. In another embodiment, a vessel has a plurality of identical draft tubes. In yet another embodiment, a first draft tube may be positioned within a second draft tube. In this embodiment, the bottoms of the draft tubes may be aligned with each other, or may be off-set from one another.

[163] In another embodiment, the draft tube may include a baffle to promote the suspension of adsorbent material. The baffle may have any size and shape suitable for a particular draft tube. For example the baffle may be a plate suitably positioned on an inner surface of the draft tube or a cylinder positioned in the draft tube. In one embodiment, the baffle may be a solid or hollow cylinder centrally positioned within the

draft tube. In another embodiment, the baffle may be a skirt that is positioned at a first end or second end of one or more draft tubes in the gas lift suspension system. The baffle may be constructed of the same material as the draft tube, or a different material that is compatible with the suspension system.

[164] The vessel into which the draft tube may be placed may be of any size or shape suitable to suspend adsorbent material in conjunction with the gas lift suspension system. For example, the vessel may have a cross sectional area of any shape, such as circular, elliptical, square, rectangle, or any irregular shape. In some embodiments, the vessel may be constructed or modified in order to promote suitable suspending of the adsorbent material. In certain embodiments, the vessel may be constructed or modified to include sloped portions at the base of the vessel to promote the movement of adsorbent material toward the gas lift suspension system. The sloped portions may be at any angle relative to the base of the vessel to promote movement of the adsorbent material towards the gas lift suspension system.

[165] Referring now to FIG. 12, an example of a gas lift suspension system 1232 for maintaining adsorbent material in suspension within a vessel such as biological reactor 1202 is schematically depicted according to one embodiment. In FIG. 12, circular elements represent bubbles of gas, small solid elements or dots represent adsorbent material and irregular linear elements represent micro-organisms or biomass. The gas lift suspension system 1232 includes one or more draft tubes 1292 configured, positioned and dimensioned to facilitate lifting of adsorbent material and maintaining the adsorbent material in suspension, as described above. Gas enters through a gas conduit 1290 and is directed into a bottom portion of the draft tube(s) 1292 via distribution nozzles or

diffusers 1291. In certain alternative embodiments, gas can be directed into the bottom portion of the draft tube(s) 1292 via apertures in the gas conduit 1290 rather than, or in conjunction with, the distribution nozzles or diffusers 1291. The gas from conduit 1290 can be introduced into the vessel or biological reactor 1202 at the designated location(s) in a manner similar to a coarse bubble diffuser, and serves both as a source of oxygen or other gas for support of the micro-organism adhered to the adsorbent material and separate from the adsorbent material in the mixed liquor, and as a source of lift force for maintaining the adsorbent material and biomass in suspension in the biological reactor 1202. In particular, the gas provides upward lift as a result of its being contained in the draft tubes 1292. As the gas bubbles rise inside of the draft tubes, they cause an upward flow that provides suction on the bottom of the tube. This is the motive force used to draw the mixed liquor and adsorbent material through the tubes and lift it into suspension in the tank. The gas circulation provides adequate lift in the draft tubes to keep the contents of the tank sufficiently agitated such that the settling of adsorbent material is minimized or eliminated.

[166] In addition, the arrangement of FIG. 12 provides adequate mixing and suspension with significantly less energy requirements as compared to other mixing and suspension systems. For example, the energy required for a gas lift system 1232 in a biological reactor 1202 using adsorbent material can be as low as one-tenth of the energy required with alternative suspension systems and may only require the gas necessary for the biological system.

[167] Although the gas lift suspension system 1232 is shown and described in the context of a plurality of draft tubes configured and positioned proximate a source of gas,

alternative structures can be employed, such as one or more troughs within a biological reactor, or other suitable structure that produces the gas lift phenomenon described above. Additionally, the directional arrows shown in FIG. 12 are merely illustrative of one possible way in which fluid flows throughout the system, and depending on the parameters of the system, including the size and shape of the vessel, the size, shape and number of draft tubes, and air flow rate, the fluid may flow through the system in any number of ways.

[168] FIGs. 13A and 13B show additional embodiments of the present invention incorporating a settling zone 1382 as a portion of a separation subsystem. In FIGs. 13A and 13B, solid black elements represent adsorbent material, and irregular linear elements represent micro-organisms or biomass. A biological reactor 1302 comprises an inlet 1306 for receiving wastewater to be treated and an outlet 1308 fluidly connected to a membrane operating system (not shown). The settling zone 1382, e.g., a quiescent zone, is proximate the outlet 1308 and is generally defined by baffles 1380 and 1381, which are positioned and dimensioned to direct adsorbent material away from the settling zone 1382. The combined mixture of liquid and adsorbent material that flows over baffle 1380 settles, since turbulence due to the jet aeration or other suspension system in the biological reactor 1302 is substantially reduced in the settling zone 1382. Adsorbent material having a greater density than the suspended biological solids settles, and as it leaves the settling zone 1382, is returned to suspension by the turbulence outside of the settling zone 1382 caused by the suspension system. As shown in FIG. 13A, a screening apparatus 1322 is also provided proximate the outlet 1308. The quantity of adsorbent blocked by the screening apparatus 1322 is minimized due to the adjacent settling zone

1382. In certain preferred embodiments, screening apparatus 1322 is placed within the baffle system at a distance from the baffles that is sufficient to ensure that most of the adsorbent material will separate/settle from the mixed liquor before it reaches the screen. Consequently, the screening apparatus 1322 will receive fewer adsorbent particles which could potentially adhere to the screen surface and accelerate plugging/fouling of the screen. When screening systems are used in combination with baffle systems, the plugging/fouling potential of the screen will be greatly reduced, as will the frequency of screen cleaning.

[169] However, it is contemplated that in certain embodiments, the screening apparatus 1322 can be eliminated altogether. The use of baffles around the outlet 1308 of the aeration tank reduces the mixing energy imparted by the suspension apparatus and leaves the settling zone 1382 free of turbulence and rising air bubbles, so that the denser adsorbent granules can separate from the mixed liquor prior to its exiting the tank by way of the effluent launderers. The baffling system allows the dense adsorbent material to separate from the mixed liquor, while at the same time, directs the mixed liquor back into the mixing zone in the aeration tank.

[170] Alternative settling zone systems within the biological reactor are also contemplated. For example, any of the previously-mentioned screens can be used, or, as described in further detail below, a weir can be used instead of screening apparatus 1322.

[171] The settling zone in combination with shearing action provided by pumping, mixing or jet aeration allows the adsorbent material that has had the excess biomass sheared therefrom to settle in an area without mixing. The adsorbent material will settle to the bottom of this area and re-enter the mixed liquor.

[172] FIG. 13B shows another embodiment of a settling zone having a weir 1323. Low density biomass overflows the weir 1323 and the adsorbent settles. As adsorbent drops out of the quiescent zone, it mixes with the agitated contents of the tank including mixed liquor suspended solids and adsorbent and is re-suspended.

[173] In embodiments of the present invention including a settling zone having an adsorbent material waste discharge port, the waste discharge port can advantageously be located proximate the settling zone. This allows the waste adsorbent material to be removed while minimizing removal of mixed liquor.

[174] Useful adsorbent materials for the present invention include various types of carbons, such as activated carbon. In particular, granular activated carbons are very effective, since the size range and densities of the granules can be selected to enable their retention in a predetermined portion of the system and thereby substantially prevent them from fouling and/or abrading the membranes.

[175] In systems in which the granular activated carbon is not subjected to significant shearing forces and/or inter-granule collision, the granular activated carbon can be produced from wood, coconut, bagasse, sawdust, peat, pulp-mill waste, or other cellulose-based materials. One suitable example is MeadWestvaco Nuchar® WV B having nominal mesh sizes of 14 x 35 (based on the U.S. Standard Sieve Series).

[176] In additional embodiments, particularly those in which shearing action is provided by turbulence and/or inter-granule collisions in a pump and/or jet nozzle, use of adsorbent material(s) having higher hardness values are desirable. For instance, granular activated carbons derived from bitumen or coal-based materials are effective. In a particular embodiment, the granular activated carbon is derived from lignite.

[177] Carbon materials can also be provided which are modified with a treatment process and/or species thereby providing an affinity to certain chemical species and/or metals in the wastewater. For instance, in wastewaters having a relatively high level of mercury, at least a portion of the adsorbent material preferably includes granular activated carbon impregnated with potassium iodide or sulfur. Other treatments and/or impregnated species can be provided to target specific metals, other inorganic compounds and/or organic compounds.

[178] In addition, the adsorbent can be a material other than activated carbon. For instance, iron-based compounds or synthetic resins can be used as the adsorbent materials, alone or in combination with other adsorbent materials, e.g., in combination with granular activated carbon. Further, treated adsorbent materials other than activated carbon that target certain metals, other inorganic compounds or organic compounds can be used. For instance, in wastewaters having relatively high levels of iron and/or manganese, at least a portion of the adsorbent can comprise a granular manganese dioxide filtering media. In wastewaters having arsenic, at least a portion of the adsorbent can comprise granular iron oxide composites. In wastewaters including lead or heavy metals, at least a portion of the adsorbent can include granular alumino-silicate composites.

[179] In one embodiment, the adsorbent material can be selected based upon a desired specific gravity range. In order to maintain the adsorbent material in suspension within acceptable energy consumption/cost ranges, specific gravity ranges relatively close to that of the wastewater are desirable. On the other hand, in embodiments in which separation is based at least in part on settling of the material, higher specific gravities are

suitable. In general, the specific gravity is preferably greater than about 1.05 in water at 20°C. In certain embodiments, the specific gravity is greater than about 1.10 in water at 20°C. A suitable upper limit for the specific gravity is, in certain embodiments, about 2.65 in water at 20°C.

[180] Therefore, the adsorbent material having a specific gravity range is selected which provides sufficient suspension and therefore sufficient contact with the wastewater and its contaminants. In addition, in certain embodiments, the specific gravity range provides sufficient settling characteristics for subsequent removal of the adsorbent material from the wastewater. In further embodiments, selection of the specific gravity of the adsorbent material is based on minimization of the energy required to maintain the adsorbent material in suspension.

[181] Furthermore, the desired adsorbent material, such as granular activated carbon, has a hardness level that minimizes creation of fines and other particulates due to inter-granule collisions and other process effects.

[182] The size of the adsorbent material that the separation subsystem is designed to retain and thereby prevent its passage into the membrane operating system is optimized to minimize the amount of adsorbent material and fines entering the membrane operating system. Therefore, the method and system of the invention minimizes abrasion and fouling by carbon granules or other granular materials impinging on the membranes, while still providing the operational advantages associated with the use of adsorbent material including activated carbon.

[183] Suitable granule sizes for the adsorbent material are selected to complement the selected screening/separation methods, and the needs of the particular wastewater being

treated. In certain preferred embodiments, the bottom limit of effective granule size of the adsorbent material is selected such that it can easily be separated from the flow of mixed liquor entering the membrane operating system tank(s) in which the membranes are located. In general, the effective granule size of the adsorbent material has a bottom limit of about 0.3 millimeters, where greater than about 99.5 weight % of the adsorbent material is above the bottom limit; preferably having a lower limit of about 0.3 millimeters to an upper limit of about 2.4 millimeters (corresponding to a mesh size 50 to a mesh size 8, based on United States Standard Sieve Series), where greater than 99.5 weight % of the adsorbent material is within the lower and upper limit; and in certain preferred embodiments about 0.3 millimeters to about 1.4 millimeters (corresponding to a mesh size 50 to a mesh size 14, based on the United States Standard Sieve Series) where greater than about 99.5 weight % of the adsorbent material is within the lower and upper limit. It has been demonstrated that a granular activated carbon with a minimum effective granule size of about 0.5 millimeters to about 0.6 millimeters can be easily and efficiently screened from the mixed liquor with a suitable separation system, and such effective sizes, in granular activated carbon of suitable densities, also can economically be maintained in suspension.

EXAMPLES

[184] The present invention will now be illustrated by the following non-limiting examples.

Example 1

[185] A pilot scale programmable logic controlled membrane biological reactor system (Petro™ MBR Pilot Unit available from Siemens Water Technologies, Rothschild, Wisconsin, USA) having an aeration tank with an anoxic section, with an capacity of approximately 3,785 liters (l) (1,000 gallons (gal)) and a membrane operating system equivalent to a commercial membrane biological reactor system, was modified to accommodate the granular activated carbon addition described in the present invention. A wedge wire screen was situated at the inlet of a pump that transferred mixed liquor from the aeration tank to the membrane operating system.

[186] A base synthetic feedstock included water having the following concentrations of organic/inorganic matter: 48 grams per liter (g/l) (48 ounces per cubic foot (oz/cf)) of sodium acetate; 16 g/l (16 oz/cf) of ethylene glycol; 29 g/l (29 oz/cf) of methanol; 1.9 g/l (1.0 oz/cf) of ammonium hydroxide; and 0.89 g/l (0.89 oz/cf) of phosphoric acid. The ammonium hydroxide and phosphoric acid were sources for proper nutrient balance for the bacteria within the membrane biological reactor system.

[187] A sample wastewater mixture was prepared having high concentrations of biologically refractory and/or biologically inhibitory organic compounds. Specifically, the sample wastewater mixture contained following concentrations of biologically refractory and/or biologically inhibitory organic compounds: 90 milligrams per liter (mg/l) (0.09 ounces per cubic foot (oz/cf) of EDTA; 30 milligrams per liter (0.03 oz/cf) of di-n-butyl phthalate, 120 mg/l (0.12 oz/cf) of 2,4-dinitrophenol, 21 mg/l (0.021 oz/cf) of 2,4-dinitrotoluene and 75 mg/l of methyl tert-butyl ether. The mixture was fed to the anoxic tank.

[188] The membrane biological reactor was first operated without granular activated carbon to obtain a baseline. It was determined that prior to the addition of granular activated carbon, only about 92% of the biologically refractory or biologically inhibitory organic chemical oxygen demand (COD) compounds in the effluent were removed, after a long period of bio-acclimation such that the membrane biological reactor was fully acclimated, thus allowing about 8% of these compounds (measured as COD) to pass into the effluent).

[189] To determine the efficacy of granular activated carbon, 3800 grams (g) (134 ounces (oz)) MeadWestvaco Nuchar® WV B having nominal mesh sizes of 14 x 35 (based on U.S. Standard Sieve Series) was added to the aeration tank and the blower supplying air to the aeration tank was adjusted to feed 2124 standard liters per minute (slm) (75 scfm (scfm)) to the aeration tank, with the excess air provided to maintain the granular activated carbon in suspension. The amount of granular activated carbon added to the aeration tank was based on 20 percent of the mixed liquor suspended solids in the unit, which was determined to be approximately 5000 mg/l (5 oz/cf).

[190] After acclimation of the MLVSS, the total membrane operating system effluent COD concentration was less than 4%, therefore achieving greater than 96% removal of biologically refractory or biologically inhibitory organic compounds that were measured as COD. FIG. 14 is a chart depicting feed concentration (in mg/l) of biologically refractory and biologically inhibitory compounds, and the remaining effluent concentrations (as percentages of the original), at various stages of biological acclimation of a membrane biological reactor system. In particular, FIG. 14 shows the comparison between the effluent concentrations prior to addition of granular activated carbon (stage

A), during the acclimation period (stage B), and after acclimation (stage B). Once granular activated carbon was added to the system, there was a very significant initial drop in effluent COD concentration, which is not shown in FIG. 14 as the adsorption capacity of the granular activated carbon was exhausted in less than one day. The system then stabilized such that around 6.5% of the feed COD was remaining after treatment. This represented a period in which the adsorptive capacity of the carbon was exhausted and the biomass on the granular activated carbon started working to digest the biologically inhibitory organic compounds that were measured as COD. After the bacteria became fully established onto the surface of the granular activated carbon, as was confirmed with an electron microscope evaluation, the benefits of an attached growth/fixed film system became apparent. The residual COD concentration in the effluent dropped to less than 4% of the feed COD concentration, providing a COD removal efficiency of greater than 96% for a highly concentrated feed of biologically refractory or biologically inhibitory organic compounds.

[191] Use of the method and apparatus of the invention eliminates the plugging and abrasion of the membranes by keeping the carbon out of the membrane operating system tank(s). By using larger sized carbon granules, carbon granule screening and/or separation is possible. On the other hand, the small particle size of the powdered activated carbon prevents its effective filtration from the mixed liquor.

Example 2

[192] Laboratory particle suspension scale tests were performed using a 2000 milliliter graduated cylinder having a rotameter connected to a source of compressed air and a tube from the outlet of the rotameter to a tube that reached to the bottom of the graduated

cylinder. 20 g (0.7 oz) of thoroughly dried granular activated carbon were placed in the cylinder. Room temperature distilled water was also added to the cylinder wetting the particles. The contents of the cylinder were mixed with a spatula to suspend the entire contents and remove air bubbles.

[193] Air was added to the tube in the cylinder at increasing rates until the first solids were suspended and the air flow was recorded. The airflow was increased until approximately 50% of the solids were suspended (based upon the amount of carbon remaining on the bottom of the cylinder) and the airflow was recorded. Airflow was again increased until all of the granular activated carbon was suspended. The final airflow was recorded. The results are shown in Table 1.

Table 1

Carbon	Air flow in slm (scfm) for minimal suspension, per ft^2 of cross-sectional area	Air flow in slm (scfm) for 50% suspension, per ft^2 of cross-sectional area	Air flow in slm (scfm) for 100% suspension, per ft^2 of cross-sectional area
Norit Darco MRX/Coal	2.83 (0.10)	127.4 (4.5)	254.9 (9.0)
Norit GAC1240 Plus/Bituminous	5.38 (0.19)	135.9 (4.8)	254.9 (9.0)
Norit Petrodarco 8X30 Lignite	1.70 (0.06)	85.0 (3.0)	169.9 (6.0)
Calgon Filtrasorg 400 Bituminous	1.70 (0.06)	135.9 (4.8)	220.9 (7.8)
Westates Aquacarb 1240/bituminous	2.27 (0.08)	85.0 (3.0)	169.9 (6.0)
Jacobi Aquasorb 1000/Bitumnous	1.42 (0.05)	85.0 (3.0)	169.9 (6.0)
Res Kem CK1240/coal	4.25 (0.15)	240.7 (8.5)	339.8 (12.0)
Mead Westvaco Nuchar WVB 14X35/Wood	1.70 (0.06)	51.0 (1.8)	93.4 (3.3)
Mead Westvaco Aquaguard 12X40/Wood	1.70 (0.06)	68.0 (2.4)	93.4 (3.3)

[194] The amount of energy required to suspend the particles increased as more particles were suspended. Based upon these results, the air requirements for suspending a granulated activated carbon were calculated to be about 7,080 to about 8,500 slm per 1,000 liters of reactor volume (about 250 to about 300 scfm per 1,000 cubic feet of reactor volume). In comparison, the industry standard for suspending biological solids without granulated activated carbon about 850 slm per 1,000 liters of reactor volume (30 scfm per 1,000 cubic feet of reactor volume). The air requirement to suspend the granulated activated carbon and the biological solids was determined to be up to 10 times greater, using a simple coarse bubble diffuser system, than that to suspend the biological solids alone and to provide the required oxygen for biodegradation.

Example 3

[195] A granular activated carbon suspension pilot unit was prepared, utilizing a vertical cylindrical tank having a diameter of 1.83 meters (m) (6 feet (ft)) and a water depth of 2.59 m (8.5 ft). One eductor jet nozzle from Siemens Water Technologies (Rothschild, Wisconsin, USA) was installed through an outer wall of the tank at a distance of 43.5 centimeters (cm) (17.125 inches (in)) from the tank floor. The nozzle, shown in FIG. 15, was directed horizontally towards the center of the tank. A 50 mg/l concentration of granular activated carbon, Mead Westvaco Nuchar WVB 14X35/Wood, was introduced into the tank.

[196] As depicted in FIG. 15, the jet nozzle system included a jet nozzle 1544 which comprised a fluid inlet 1546, a compressed air inlet 1558 and an outlet 1564. Fluid passed from inlet 1546 to a mixing chamber 1566. Compressed air also entered mixing chamber 1566 where it expanded and imparted energy to the fluid. As the air expanded,

the mixture of fluid and air passed to a nozzle throat 1568 where velocity of the mixture increased. The fluid containing air exited nozzle 1544 through outlet 1564 into the tank.

[197] Tests were conducted with various liquid flow rates and compressed air flow rates. Liquid flows ranged from 530 liters per minute (lpm) to 757 lpm (140 gallons per minute (gpm) to 200 gpm) while compressed air flow rates ranged from 0 to 850 slm (30 scfm)

[198] At a liquid flow rate of 587 lpm (155 gpm), an air flow rate of 850 slm (30 scfm) resulted in suspension of the activated carbon, while air flows of 425 slm (15 scfm) and less resulted in deposition of the activated carbon on the bottom of the tank. Similarly, at a liquid flow rate of 644 lpm (170 gpm) , an air flow rate of 850 slm (30 scfm) resulted in suspension of the activated carbon, while an air flow rate of 425 slm (15 scfm) and less resulted in settling of the activated carbon on the bottom of the tank. Increasing the liquid flow to 700 lpm (185 gpm) resulted in suspension of the activated carbon at a reduced air flow rate of 425 slm (15 scfm.).

[199] Increasing the flow rate of the liquid through the nozzle from 644 to 700 lpm (170 to 185 gpm), an increase of less than 10%, reduced the consumption of air by 50% as compared to the air required by a coarse bubble diffuser system. As such, the jet suspension system significantly reduced the consumption of compressed air, and therefore the energy costs associated with the use of compressed air.

Example 4

[200] Example 4 was conducted to determine the efficacy of jet nozzle to perform suspension of granular activated carbon and to demonstrate structures for minimizing passage of granular activated carbon particles to the membranes of a downstream

membrane operating system. A cylindrical tank and a jet mix nozzle were used to demonstrate that jet mixing could suspend granular activated carbon completely. Various mixing liquid and gas flow rates were evaluated.

[201] As illustrated in FIGs. 16, 18 and 19, a jet mixing/aeration nozzle 1644 was installed in a six foot diameter, 9,085 l (2,400 gal) steel tank 1602 filled with about 7,570 l (about 2,000 gal) of filtered tap water to a level L.

[202] In this example, wood-based Mead Westvaco Nuchar® WV-B granular activated carbon and coal-based Norit Darco® MRX granular activated carbon were suspended utilizing a jet mixing nozzle in a cylindrical tank at various liquid and gas flow rates. The Mead Nuchar® WV-B granular activated carbon had a specific gravity of 1.1, an effective size of 0.6 millimeters (0.024 in), and is typically relatively softer than coal-based granular activated carbon; the Darco® MRX had a specific gravity of 1.5 and an effective size of 0.7 millimeters (0.028 in).

[203] Approximately 50 mg/l (0.05 oz/cf) of wood-based granular activated carbon was added to the water. The low concentration of granular activated carbon was used to permit viewing of the mixing profile in the tank using a submersible video camera. Table 2 below shows the range of test conditions used.

Table 2: Test conditions for granular activated carbon jet suspension

Condition	Liquid Rate, lpm (gpm)	Air Rate, slm (scfm)
1	530 (140)	0 (0)
2	587 (155)	425 (15)
3	644 (170)	850 (30)
4	700 (185)	425 (15)
5	757 (200)	0 (0)
6	644 (170)	425 (15)
7	700 (185)	0 (0)
8	700 (185)	850 (30)
9	644 (170)	0 (0)
10	587 (155)	850 (30)
11	587 (155)	0 (0)

[204] Water was fed to the nozzle of jet mixing/aeration aerator 1644 by disc pump 1648 and compressed air was injected from blower 1660. Variable frequency drives 1649 and 1661 controlled the speed of the pump and blower motors, respectively, allowing adjustment of the respective feed rates. A magnetic flow meter in the discharge line of the disc pump 1648 monitored the liquid flow. The speed of the blower motor was proportional to the air flow.

[205] Referring to FIG. 17, the throat velocity of the jet nozzle was calculated at each test condition and plotted versus the liquid flow rate. As shown, a minimum throat velocity of approximately 10.4 meters per second (34 feet per second) was required to achieve complete suspension of the wood-based granular activated carbon. This velocity can be correlated to the specific gravity and maximum particle size of the granular activated carbon.

[206] At the completion of the testing with the wood-based granular activated carbon, the tank was drained, cleaned and refilled with water and approximately 50 mg/l of the coal-based granular activated carbon was added. Based on a similar series of tests, it was observed that the jet aerator was able to maintain the denser granular activated carbon in suspension.

[207] Since it is necessary to substantially prevent the granular activated carbon particles from reaching the membranes of a downstream membrane operating system, a slotted screen with 0.38 millimeter openings was positioned at the outlet of the aeration/reactor tank, so that any granular activated carbon particles that are broken down during the jet aeration circulation to particles having a diameter less than 0.38 millimeter

(0.015 in) will pass through the screen, allowing them to enter the membrane operating system.

[208] In addition, two tests were performed placing a screen on the suction side of the jet pump in the aeration/reactor tank using a quiescent zone, i.e., a zone of low turbulence, that would allow the granular activated carbon to settle before it reached the screen.

[209] In the first test, and referring to FIG. 18, a vertical baffle 1894 was used to create a near quiescent zone in the aeration tank 1802. The baffle extended from 0.61 m (2 ft) above the bottom of the tank to above the water level. In this configuration, the screen 1822 was a wedge wire screen and was mounted near the top of the quiescent zone which required water to be pulled from the bottom of the tank 1802 through the low turbulence zone before it reached the screen 1822. The quiescent zone was sized at 40-50% greater than the calculated plug flow of the unit so that the upward velocity was less than the settling velocity of the granular activated carbon. For this configuration to be effective, the settling rate, which is dependent upon the specific gravity of the particles, must be greater than the upward velocity. The tests were performed using the coal-based granular activated for which the calculated settling rate is 1.8 meters per second. Assuming plug flow in the quiescent zone, it would need to be at least 0.39 m^2 (4.2 ft^2), to keep the upward velocity low enough to allow the granular activated carbon to settle. The actual cross-sectional area of the zone was 0.73 m^2 (7.8 ft^2).

[210] Still referring to FIG. 18, nozzle 1844 of tank 1802 that was used to feed the pump was located approximately 15.2 cm (6 in) from the tank floor. Polyvinyl chloride pipe was attached to nozzle 1844 using a rubber boot so that a wedge wire screen 1822

241

could be suspended near the top of the tank and in fluid communication with the outlet 1808. The wedge wire screen was 8.9 cm (3.5 in) in diameter, 0.91 m (3 ft) long and had 0.38 millimeter (0.015 in) openings.

[211] The mixing test was conducted with a water flow of 700 lpm (185 gpm) and an air flow of 419 slm (14.8 scfm) for a run time of approximately 18 hours. Granular activated carbon was observed on the floor of the tank under the quiescent zone with less granular activated carbon still in suspension in the turbulent portion of the tank. Occasionally, a swirling action would occur on the floor below the quiescent zone and some of the granular activated carbon would be carried upwards toward the screen.

[212] When the pump and blower were turned off, a portion of the granular activated carbon that was present on the screen fluffed off indicating it was not strongly adhered to the screen; the remaining granular activated carbon was easily removed with a light brushing.

[213] Referring to FIG. 19, the second test was conducted using a tank 1902, vertical baffle 1994, nozzle 1944, and screen 1922 in fluid communication with an outlet 1902 dimensioned and positioned substantially identically to equivalent elements described with respect to FIG. 18. In addition, a second baffle 1993 was positioned at an angle of 45° below the vertical baffle 1994 to dissipate the upward flow. The quiescent zone provided a means for minimizing the amount of granular activated carbon that reached the screen. Either a mechanical wiper or back-flushing pulse of water or air can be used to dislodge any granular activated carbon that may accumulate on the screen over time.

Example 5

[214] Example 5 was conducted to demonstrate the effectiveness of air lift pump systems using draft tube and trough mixing to efficiently suspend the same wood-based and coal-based granular activated carbon materials used in Example 4. Cylindrical and rectangular tanks were used in various configurations. Attrition was measured using both the wood-based granular activated carbon and coal-based granular activated carbon of Example 4; the mixing test used the higher density coal-based granular activated carbon.

[215] The test data established that granular activated carbon can be suspended in draft tubes and draft troughs in both cylindrical and rectangular tanks using air rates comparable to those required to sustain biological respiration in such tanks. The data also shows that at a constant air flow rate, a larger diameter draft tube is more efficient than a smaller draft tube in terms of moving the granular activated carbon from the surrounding area on the floor of the tank and into suspension.

[216] In order to determine the extent of granular activated carbon attrition, a 0.31 m (12 in) diameter, 3.7 m (12 foot) high section of acrylic pipe was filled to 2.3 m (92 in) with 150 l (5.3 gal) of water, and 1,500 g (53 oz) of dry granular activated carbon was added to provide a concentration of approximately one weight percent. A polyvinyl chloride pipe having a diameter of 2.1 m (82 in) long, 7 cm (3 in) was secured in the center of the 0.31 m (12 in) diameter pipe to serve as the draft tube. Four slots measuring 2.54 cm (1 in) high by 1.9 cm (0.75 in) wide were provided in the bottom of the tubing for passage of the granular activated carbon and water and a 1.9 cm (0.75 in) in nozzle was placed in the center of the draft tube.

[217] Air was introduced via the nozzle at a rate of 2,831 standard liters per hour (100 standard cubic feet per hour), which was equivalent to about 300 slm per 1000 liters of water (300 scfm per 1000 cubic feet of water). This relatively high air flow rate was chosen to produce more turbulent mixing than would be expected in a full-scale operation in order to determine attrition. The fluid was allowed to mix for approximately 10 minutes before the first sample was taken.

[218] Attrition was measured during the test by taking grab samples of the water and granular activated carbon from the top of the acrylic pipe and pouring the sample through a 20 mesh screen. The solids that passed through the screen and which were assumed to have resulted from attrition were collected, dried and weighed.

[219] The results indicated that the granular activated carbon attrition rate was greater for the wood-based granular activated carbon (WV-B) than the coal-based granular activated carbon (MRX). After 30 days of operation, approximately 10% attrition of the wood-based granular activated carbon and about 5% attrition of the coal-based granular activated carbon was observed. In the practice of the invention in a working bioreactor, this amount of attrition would be made up through solids wasting during normal operation of the biological process. The results from the testing are summarized in FIG. 20. The plot also shows the y-intercept values and R^2 values for standard linear regression analysis for each data set.

[220] Draft tube(s) of various configurations and variables such as the number of draft tubes, distance of the draft tube from the bottom of the tank and the draft tube diameter were tested and shown to effect performance.

[221] In one configuration, and referring to FIG. 21, a single 0.3 m (12 in) diameter, 1.5 m (5 ft) high draft tube 2192 was placed in the center of 1.8 m (6 ft) diameter tank 2102 and positioned above the bottom of the tank on legs 2195. The tank 2102 was filled with approximately 6,435 l (1,700 gal) of water to a water level L and sufficient coal-based granular activated carbon (400-1,200 g (14.1-42.3 oz)) added to permit unaided viewing and recording of the mixing characteristics. Air was supplied by a 2.54 cm (1 in) diameter polyvinyl chloride course bubble diffuser pipe 2190 that passed through the draft tube wall and which had several 3.2 millimeter (0.125 in) diameter holes drilled through its top surface. The air flow rate was varied from 141 slm (5 scfm) to 425 slm (15 scfm), and the distance D between the bottom of the tank and draft tube was either 8.3 cm (3.25 in) or 1.9 cm (0.75 in).

[222] As used in connection with this series of tests, the term "impact zone" is the area of the tank floor around the draft tube which was free of granular activated carbon.

[223] It was observed that with the draft tube positioned 8.3 cm (3.25 in) above the tank floor, the impact zone was larger than when the draft tube was positioned 1.9 cm (0.75 in) above the tank floor, other conditions being the same. The optimum distance between the bottom of the draft tube and the tank floor for prevailing conditions can be determined by routine experimentation.

[224] A two-fold increase in the amount of air added did not double the size of the impact zone. At 425 slm (15 scfm) with a gap between the floor and draft tube of 8.3 cm (3.25 in), an impact zone of approximately 71 cm (28 in) in diameter, i.e., 20 cm (8 in) beyond the outside wall of the draft tube, was produced and was the largest impact zone observed.

[225] In an effort to expand the size of the impact zone using the same amount of air, the configuration shown in FIG. 21 was modified by addition of a skirt or flange extending horizontally from the bottom of the draft tube which increased the overall diameter of the draft tube and skirt to 71 cm (28 in). All other conditions were the same as described above. The air flow rate was varied between 141 slm (5 scfm) and 425 slm (15 scfm).

[226] It was observed that adding a skirt to the bottom of the draft tube did increase the size of the impact zone. The impact zone was increased to 112 cm (44 in), i.e., 20 cm (8 in) beyond the outer edge of the skirt, at an air rate of 425 slm (15 scfm), as compared to an impact zone of 71 cm (28 in) with the same air rate without the skirt. The impact zone was increased in proportion to the size of the skirt.

[227] These draft tube configurations produced a flow pattern that is illustrated in FIG. 22 in which water and suspended granular activated carbon are drawn down and inwardly toward the inlet 2296 of draft tube 2290. Stagnant regions are also represented in FIG. 22.

[228] In a further example, a smaller diameter and shorter draft tube was positioned inside a larger draft tube, both being 1.82 m (6 ft) in length with the inner draft tube mounted approximately 7.6 cm (3 in) from the bottom of the tank and the outer draft tube positioned 22.9 cm (9 in) higher than the inner draft tube. A polyvinyl chloride sheet extended from the bottom of the 15.3 cm (6 in) inner draft tube to create a 71 cm (28 in) diameter skirt. Plastic sheeting was attached to the top edge of the skirt and at a position approximately 12.7 cm (5 in) up the exterior surface of the 15.3 cm (6 in) diameter draft tube to form an inclined surface, or ramp. The modified draft tube was placed in the

center of the 1.82 m (6 foot) diameter tank; the air rate was varied between 141 slm (5 scfm) and 425 slm (15 scfm).

[229] The concentric tube produced an impact zone of approximately 112 cm (44 in), which was comparable to that of a single draft tube with a 71 cm (28 in) diameter flange skirt. In both configurations, the impact zone was approximately 112 cm (44 in).

[230] The draft tube configuration of FIG. 21 was modified by replacing the 0.31 m (12 in) diameter draft tube with a single 15.3 cm (6 in) diameter draft tube. The air flow rate was again varied from 141 slm (5 scfm) and 425 slm (15 scfm), and the spacing between the bottom of the tank and the draft tube was tested at 8.3 cm (3.25 in) and 6.4 cm (2.5 in).

[231] The results of these tests indicated that a variation in the spacing from 8.3 cm (3.25 in) and 6.4 cm (2.5 in) did not significantly change the diameter of the impact zone around the tube.

[232] A two-fold increase in the air flow rate did not double the size of the impact zone. The condition that produced the largest impact zone was 425 slm (15 scfm) with a space of 8.3 cm (3.25 in) between the floor and draft tube. This configuration created an impact zone that was approximately 56 cm (22 in) in diameter, 20 cm (8 in) beyond the outside wall of the draft tube.

[233] Based on the above tests, it can be concluded that for a given air rate, a larger diameter draft tube is more effective in suspending the granular activated carbon than a smaller draft tube within the ranges and sizes tested. It appears that more than one draft tube would be required to mix and suspend the granular activated carbon in a 1.82 m (6 foot) diameter tank. Although increasing the air rate did increase the rate of mixing and

the size of the impact zone up to a point, doubling the air rate did not double the impact zone. The tank floor in an area approximately 20 cm (8 in) beyond the periphery of the draft tube, with or without a skirt or flange, was consistently cleared of granular activated carbon. Alternative constructions and/or supplemental mixing devices can be employed in the tank to push the granular activated carbon toward the draft tube impact zone(s).

[234] In another configuration, and referring to FIG. 23, three evenly spaced 12 in diameter draft tubes 2392 were placed in a tank 2302 and secured to each other so that the center of each draft tube would be 0.61 m (24 in) from the center of the tank, with a distance of approximately 0.31 m (12 in) from the center of the draft tubes to the tank wall. Each draft tube was suspended approximately 7 cm (3 in) off the tank floor.

[235] Air was uniformly supplied to each draft tube through 1 in diameter polyvinyl chloride pipes, each provided with two 3.2 millimeter (0.125 in) holes. The total air provided to all three of the draft tubes was 453 slm (16 scfm).

[236] In order to supplement the mixing and movement of the granular activated carbon outside of the impact zones that formed directly adjacent to the three draft tubes, a water distribution system of 2.54 cm (1 in) polyvinyl chloride pipe with holes was fabricated for placement in the bottom of the tank. Holes were drilled approximately 32 cm (7 in) apart on alternating sides of the pipe so that the water would be directed towards the floor at a 45° angle. Water was supplied to the distribution system at 53 lpm (14 gpm) by a centrifugal pump from a separate water storage and recycling tank. This arrangement is analogous to the return water from the membrane operating system tank in a membrane bioreactor system. A second pump and valve controlled the flow of water back to the storage tank and a screen was used to retain granular activated carbon in the test tank.

[237] It was observed that each draft tube cleared an area extending 20 cm (8 in) beyond the outside wall of the draft tube and that each hole in the water distributor system cleared an area 31-41 cm (12-16 in) long and 20-31 cm (8-12 in) wide. In the areas in between the impact zones of the draft tubes and water distributors, some granular activated carbon settled to the tank floor, but did slowly move into the impact zones where it was lifted into suspension.

[238] In a further test of the water distribution system, the holes in the water distributor pipes were oriented to cause the water discharged to mix the tank in a circular pattern.

[239] All other conditions including the spacing of the water distributor piping, air flow rate and water flow rate were the same as described in connection with the three 31 cm (12 in) diameter 91 cm (36 in) high draft tube in which membrane operating system return water was added uniformly to the tank.

[240] The results from this test indicated that each draft tube cleared an area extending 20 cm (8 in) beyond the outside wall of the draft tube. Additionally, the water flow was effective at mixing the granular activated carbon in a circular pattern. The build up of granular activated carbon in the center of the tank can be eliminated by placing one draft tube in the center of the tank instead of three draft tubes around the perimeter.

[241] It was observed that granular activated carbon was mixed to the top of the water level in the tank even when the length of the draft tubes was reduced from 152 cm (60 in) to 91 cm (36 in). Additionally, using water distributors to add return liquid to the bottom of the tank was effective to move the granular activated carbon around. When multiple draft tubes were placed inside of the tank, the size of the impact zone around each draft

tube was equivalent to the size of the impact zone observed around a single draft tube, i.e., 20 cm (8 in) beyond the outer wall of the draft tube.

[242] In another configuration, and referring to FIG. 24, and for comparison of the mixing characteristics with those of the circular tank, a rectangular tank 2402 was provided that was 0.91 m (3 ft) wide, 2.1 m (7 ft) long and 2.7 m (9 ft) deep, and was filled with 2.4 m (8 ft) of water. The blower, blower motor, and flow meter was set up and operated as discussed above.

[243] As shown in FIG. 24, the outside 31 cm (12 in) of the tank floor 2405 was sloped at an angle of 30°, which had previously been determined to be the angle at which the granular activated carbon commenced to slide in an aqueous environment. The 30° angle of the sloping wall caused the granular activated carbon to be directed towards the draft tube inlets.

[244] Three 31 cm (12 in) diameter draft tubes 2492, each 91 cm (36 in) high and supported approximately 12.7 cm (5 in) off of the bottom of the tank, were evenly spaced across the non-sloped portion of the tank 2402. A 7.6 cm (3 in) diameter air pipe 2490 having drilled openings was positioned below the draft tubes for introduction of air into the draft tubes via three coarse bubble diffusers. The air flow rate was varied from 221 slm (7.8 scfm) to 512 slm (18.1 scfm).

[245] The granular activated carbon was satisfactorily mixed at all of the air rates employed in the range. The higher the air rate, the more vigorous the mixing flow, and the less time the granular activated carbon remained on the floor of the tank. During air addition, granular activated carbon was observed to be present throughout all depths of the tank.

[246] In another configuration, and with reference now to FIG. 25, a tank 2502 was provided having sloping walls and diffuser described above in connection with FIG. 24, with the addition of two parallel baffles 2597 that were 61 cm (24 in) high, spaced 31 cm (12 in) apart and positioned 6.4 cm (2.5 in) above the tank floor to form a "draft trough" 2592. The air flow rate through pipe 2590 was varied from 90.6 slm (3.2 scfm) to 331.3 slm (11.7 scfm). It was observed that the granular activated carbon was mixed and suspended well at all air rates greater than 141.6 slm (5 scfm), and increasing the air rate to above 141.6 slm (5 scfm) increased the rate of mixing.

[247] In a further test in which the tank floor and diffuser configurations were identical to the tests described with respect to FIG. 24 and 25, without a draft trough or draft tubes, it was found that at even 1133 slm (40 scfm), there was visibly less than 10% of the granular activated carbon in suspension, indicating that the presence of the trough is a very significant factor in the energy-efficient suspension of the granular activated carbon.

[248] In another test configuration, the distance from the tank walls to the trough was increased. In a large aeration basin, it would be economically beneficial to be able to space the troughs apart at greater distances. A test was performed to determine the efficacy of extending the spacing between troughs to 2.1 m (7 ft). To determine this, the configuration described above and with respect to Figure 25 was rotated 90° in the tank. Two 30° sloping walls were installed that extended 91 cm (36 in) from each end of the tank.

[249] A coarse bubble diffuser was fabricated by drilling nine 3.2 millimeter (0.125 in) diameter holes evenly spaced along the 91 cm (36 in) of a 7.6 cm (3 in) diameter

polyvinyl chloride pipe. The air flow rate was varied from 164 slm (5.8 scfm) to 402 slm (14.2 scfm).

[250] The bubble diffuser was placed in the center of the tank. A trough was created between the two sloping tank walls around the diffuser pipe using two parallel baffles that were 91 cm (36 in) long, 61 cm (24 in) high, spaced 31 cm (12 in) apart and 6.4 cm (2.5 in) above the tank floor.

[251] It was observed that the granular activated carbon was mixed and suspended well over the entire air rate range. The granular activated carbon was swept down the slope and into the draft trough which indicated that the spacing of the troughs could be up to 2.1 m (7 ft) apart with a 30° sloped floor between them.

[252] Testing as described above indicated that the draft trough design was successful at suspending the granular activated carbon in the 0.91 m (3 foot) wide, 2.1 m (7 foot) long by 2.4 m (8 foot) volume of water using a 30° sloped floor or wall that extended from the vertical outside walls toward the draft trough.

[253] Additional tests were performed using a 91 cm (36 in) long trough as described above with different configurations of the tank floor to further optimize the energy-efficient performance to suspend the granular activated carbon. The configurations included removing the sloped floor entirely, sloping the floor from the outside wall to the trough and reducing the angle from 30° to 15°, and decreasing the length of the sloped floor from 91 cm (36 in) on each end of the tank to 31 cm (12 in) on each end while maintaining the 30° angle. In addition, a test was performed in which the tank was configured with two 91 cm (36 in) long troughs at each end of the tank without a sloped

floor. In each of these configurations the air flow rate was varied between 141 slm (5 scfm) to 425 slm (15 scfm).

[254] Two draft troughs were installed on each end of a pilot aeration tank. The troughs were created by placing a 91 cm (36 in) coarse bubble diffuser at each end of the tank. The diffuser was fabricated from 7.6 cm (3 in) polyvinyl chloride pipe having 5 evenly spaced 3.2 millimeter (0.125 in) holes. Approximately 20 cm (8 in) away from the wall, i.e., 6 in from the center of the diffuser, a 91 cm (36 in) long and 61 cm (24 in) high baffle plate was mounted approximately 5.1 cm (2 in) off the tank floor.

[255] From the testing that was performed in the rectangular pilot scale aeration tank, it was observed that adding three 31 cm (12 in) diameter, 91 cm (36 in) high draft tubes over the diffuser suspended the granular activated carbon at air rates between 227 slm (8 scfm) and 510 slm (18 scfm). However, this configuration could result in the formation of stagnant zones near the supports and in the corners of the tank. Placing a 2.1 m (7 foot) long draft trough in the center of the tank and sloping the floors at a 30° angle produced thoroughly mixing and suspension of granular activated carbon in the tank at air rates above 141 slm (5 scfm). Further testing indicated that adequate mixing can be obtained with the draft troughs spaced up to 2.1 m (7 ft) apart.

[256] In the above-described configurations using draft tubes, there appeared to be a diminishing return from increasing the air rate. Increasing the air rate did increase the rate of mixing and the size of the impact zone. However, doubling the air rate did not double the impact zone. The impact zone for each draft tube appeared to extend approximately 20 cm (8 in) beyond the outside edge of the tube. Beyond this region, supplemental local mixing of the material in the tank was required to move the granular

activated carbon on the tank floor toward and into the draft tube impact zone. A water distribution system was used to accomplish this mixing.

[257] Granular activated carbon was suspended at all depths of the tank even when the length of the draft tube was reduced from 152 cm (60 in) to 91 cm (36 in). Sloping the floor of the tank at a 30° angle towards the draft tubes or troughs provides an effective method of circulating the granular activated carbon. The use of draft troughs and a sloped floor provided complete mixing of the granular activated carbon in the rectangular shaped tank and was less susceptible to formation of stagnant zones than using draft tubes. The draft trough was effective at lifting granular activated carbon off of the tank floor. Once the granular activated carbon was lifted above the trough, the mixing created by the coarse bubble diffusers was sufficient to lift the granular activated carbon to the top of the tank. Test results indicated that utilizing a 30° sloped surface allowed the center of the troughs to be spaced 2.1 m (7 ft) apart, and greater spacing may be possible.

Example 6

[258] A wastewater treatment system designed substantially in accordance with one or more embodiments of the invention described above and illustrated in the figures comprises a first biological reactor, and a second biological reactor that includes granular activated carbon positioned downstream of the first biological reactor. A membrane operating system is positioned downstream of the biological reactors. Operational parameters such as flow rates, residence times, temperature, pH levels, and amount of granular activated carbon present in the system are adjusted to identify conditions for optimum performance, and provide acceptable levels of biological oxygen demand and chemical oxygen demand compounds exiting the system in the effluent. The hydraulic

flow between the first reactor and the second reactor is controlled to provide a flow in the downstream direction and to maintain the granular activated carbon in the second reactor.

[259] During operation, a wastewater stream is introduced into the first biological reactor. Phosphorus, nitrogen, and/or pH adjustment materials are added as needed to maintain optimal nutrient ratios and pH levels in the first reactor. The micro-organisms in the first reactor are capable of breaking down at least a portion of the biologically labile organics in the wastewater and reduce the biological oxygen demand compounds in the effluent to an acceptable level. The second biological reactor which contains the granular activated carbon is used to treat the biologically refractory and bio-inhibitory compounds in the wastewater and reduces the chemical oxygen demand compounds in the effluent to an acceptable level.

[260] The granular activated carbon is maintained in suspension in the second reactor using a suspension system. A screen is positioned in the second reactor to maintain the membrane operating system substantially free of granular activated carbon. The granular activated carbon is added to the second reactor as needed, based on biological oxygen demand and chemical oxygen demand compounds measured in the effluent.

[261] Effluent from the second reactor is introduced to the membrane operating system after passing through the screen. In the membrane operating system, the treated wastewater will pass through one or more membranes. The membrane permeate will be discharged through an outlet of the membrane operating system. The retentate, including activated sludge, will be returned to the first reactor through a return activated sludge line.

[262] Spent granular activated carbon from the second biological reactor is removed periodically through a mixed liquor waste discharge port. A waste outlet is also connected to the return activated sludge line to divert some or all of the return activated sludge for disposal, for instance, to control the concentration of components in the reactor.

[263] The system includes a controller to monitor and adjust the system as desired. The controller directs any of the parameters within the system depending upon the desired operating conditions and desired quality of the effluent streams. The controller adjusts or regulates valves, feeders or pumps associated with each potential flow, based upon one or more signals generated by sensors or timers positioned within the system, or based upon an upward or downward trend in a characteristic or property of the system monitored over a predetermined period of time. The sensor generates a signal that can indicate that the concentration of pollutants such as biologically refractory/inhibitory organic and inorganic compounds has reached a predetermined value or trend, which triggers the controller to initiate a corresponding predetermined action upstream from, downstream from, or at the sensor. This action can include any one or more of adding granular activated carbon to the biological reactor, adding a different type of adsorbent material, adjusting flow of the wastewater to a reactor within the system, redirecting flow of the wastewater to a storage tank within the system, adjusting air flow within a biological reactor, adjusting residence time within a biological reactor, and adjusting temperature and/or pH within a biological reactor.

[264] In order to achieve the predetermined levels of biological oxygen demand and chemical oxygen demand compounds in the effluent, the first and second reactors are

operated with their own hydraulic residence times. The hydraulic residence time of the first and second reactors are varied to determine the optimum ratio of first reactor hydraulic residence time to second reactor hydraulic residence time. The total hydraulic residence time of the system should be equal to, or less than a standard single biological reactor, e.g., between about 8 and 12 hours. In a preferred mode of operation, the first reactor will have a hydraulic residence time of between about 4 hours and about 8 hours, while the second reactor will have a hydraulic residence time of about 4 hours. Genearlly the hydraulic residence time of the first reactor will be longer than the hydraulic residence time of the second reactor; however, the relative times will vary depending on the type of wastewater being treated. The hydraulic residence time and the flow rates of the system are used to determine the size of each reactor in accordance with standard practices in the art. The effluent from the system should be lower in chemical oxygen demand compounds by at least about 10% when compared with the effluent from a standard single biological reactor. Additionally, in a preferred embodiment, the regeneration of the granular activated carbon is accomplished through use of this system.

Example 7

[265] A bench scale system to simulate activated sludge treatment followed by a combined activated sludge/granular activated carbon treatment was constructed and tested. This test was performed to determine the effectiveness of using granular activated carbon in a biological reactor (the second stage reactor) downstream of a biological reactor without granular activated carbon (first stage reactor).

[266] The first stage reactor was a 4 liter (1.06 gal) tank that contained only activated sludge. A fine bubble air diffuser was used having an air flow rate of 370 cm^3/min (23

in^3/min). The second stage reactor was a 3 liter (0.79 gal) tank that contained activated sludge and a coal based granular activated carbon (AquaCarb® Carbon of Siemens Water Technologies Corp.). The granular activated carbon had a U.S. standard mesh size of 8 x 30. The concentration of granular activated carbon in the second stage reactor was 20 g/l (20 oz/cf). A draft tube comprising 5.1 cm (2 inches) diameter PVC piping was set up in the second stage reactor having a diameter of 12.7 cm (5 inches) to maintain the granular activated carbon in suspension with an air flow rate of 368 slm (13 scfm). The mixed liquor suspended solids concentration in the first stage reactor was about 3,470 mg/l (3.5 oz/cf) while the concentration in the second stage reactor was about 16,300 mg/l (16.3 oz/cf). The hydraulic retention time of the first stage reactor was about 6 hours and the hydraulic retention time of the second stage reactor was about 8 hours for a total system hydraulic time of about 14 hours.

[267] The system was operated for over 30 days. The average feed concentration of soluble COD entering the first stage reactor was 130 mg/l (0.13 oz/cf) and the average soluble COD concentration of the effluent of the first stage reactor was 70 mg/l (0.07 oz/cf) and was the feed for the second stage reactor. The average soluble COD concentration measured in the effluent of the second stage reactor was 62 mg/l ((.062 oz/cf). This greater than 10% reduction in soluble COD by the second stage reactor demonstrates the utility of processing wastewater in a system having a biological reactor containing granular activated carbon downstream of a first biological reactor without granular activated carbon.

[268] Other aspects of the invention described herein, including a separation subsystem in the second stage reactor and use of a membrane operating system downstream of the

second stage reactor, are applicable to the apparatus described in this example to achieve effective treatment of wastewater.

[269] The method and apparatus of the present invention have been described above and in the attached drawings; however, modifications will be apparent to those of ordinary skill in the art and the scope of protection for the invention is to be defined by the claims that follow.

Claims

1. A wastewater treatment system for treating wastewater comprising:

a biological reactor comprising a separation subsystem constructed and arranged to maintain adsorbent material in the biological reactor with a mixed liquor;

a suspension system positioned in the biological reactor, the suspension system constructed and arranged to maintain adsorbent material in suspension with mixed liquor; and

a membrane operating system located downstream of the biological reactor that is constructed and arranged to receive treated mixed liquor from the biological reactor and discharge a membrane permeate.

2. The wastewater treatment system of claim 1, wherein the suspension system comprises a gas lift suspension system.

3. The wastewater treatment system of claim 2, wherein the gas lift suspension system comprises at least one draft tube positioned in the biological reactor and a gas conduit having one or more apertures positioned and dimensioned to direct gas to an inlet end of the draft tube.

4. The wastewater treatment system of claim 2, wherein the gas lift suspension system comprises at least one draft trough positioned in the biological reactor and a gas conduit having one or more apertures positioned and dimensioned to direct gas to a lower portion of the draft trough.

5. The wastewater treatment system of claim 4, wherein the draft trough is formed by a pair of baffles positioned in the biological reactor.

6. The wastewater treatment system of claim 1, wherein the suspension system comprises a jet suspension system.

7. The wastewater treatment system of claim 1, wherein the separation subsystem includes a screen positioned at an outlet of the biological reactor.

8. The wastewater treatment system of claim 1, wherein the separation subsystem includes a settling zone located proximate the outlet of the biological reactor.

9. The wastewater treatment system of claim 8, wherein the settling zone comprises a first baffle and a second baffle positioned and dimensioned to define a quiescent zone in which the adsorbent material separates from mixed liquor and settles into the mixed liquor in a lower portion of the biological reactor.

10. The wastewater treatment system of claim 8, further comprising a screen positioned proximate the outlet of the biological reactor.

11. The wastewater treatment system of claim 8, further comprising a weir positioned proximate the outlet of the biological reactor.

12. The wastewater treatment system of claim 1, further comprising

a source of adsorbent material introduction apparatus in communication with the biological reactor;

a sensor constructed and arranged to measure a parameter of the system; and

a controller in electronic communication with the sensor programmed to instruct performance of an act based on the measured parameter of the system.

13. The wastewater treatment system of claim 12, wherein the measured parameter is the concentration of one or more predetermined compounds.

14. The wastewater treatment system of claim 12, wherein the act comprises removing at least a portion of the adsorbent material from the biological reactor.

15. The wastewater treatment system of claim 12, wherein the act comprise adding adsorbent material to the biological reactor.

16. A wastewater treatment system for treating wastewater comprising:

a biological reactor with a wastewater inlet, a mixed liquor outlet, and a separation subsystem associated with the mixed liquor outlet;

a suspension system for adsorbent material positioned in the biological reactor;

a membrane operating system located downstream of the biological reactor having

an inlet in fluid communication with the mixed liquor outlet, and

a treated effluent outlet.

17. The wastewater treatment system of claim 16, wherein the suspension system comprises a gas lift suspension system.

18. The wastewater treatment system of claim 16, wherein the suspension system comprises a jet suspension system.

19. A process for treating wastewater comprising:

introducing mixed liquor into a biological reactor;

introducing adsorbent material into the biological reactor with the mixed liquor;

suspending the adsorbent material in the mixed liquor using a gas, under operating conditions that promote adsorption of contaminants from the mixed liquor by the adsorbent material; and

passing an effluent that is substantially free of adsorbent material from the biological reactor to a membrane operating system while maintaining adsorbent material in the biological reactor.

20. The process of claim 19, wherein liquid is circulated in the biological reactor to promote the suspension of the adsorbent material.

(57) **Abstract**: A wastewater treatment system is provided comprising a biological reactor having a separation subsystem, a suspension system and a membrane operating system. The separation subsystem is constructed and arranged to maintain adsorbent material in the biological reactor with a mixed liquor. The suspension system is positioned in the biological reactor and is constructed and arranged to maintain adsorbent material in suspension with mixed liquor. The membrane operating system is located downstream of the biological reactor and is constructed and arranged to receive treated mixed liquor from the biological reactor and discharge a membrane permeate.

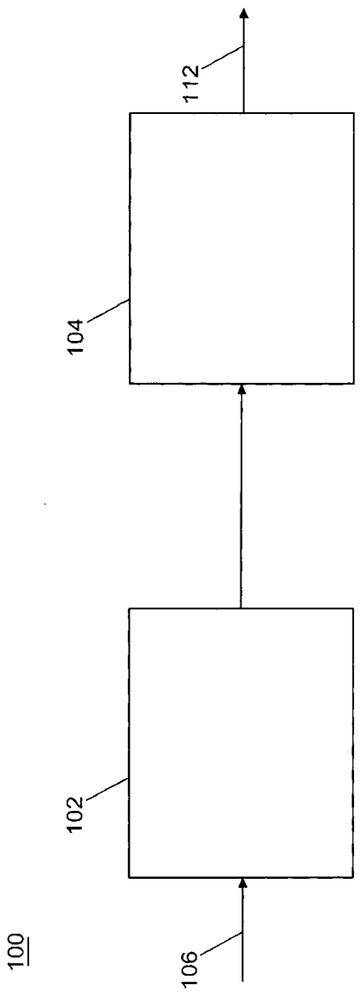


FIG. 1

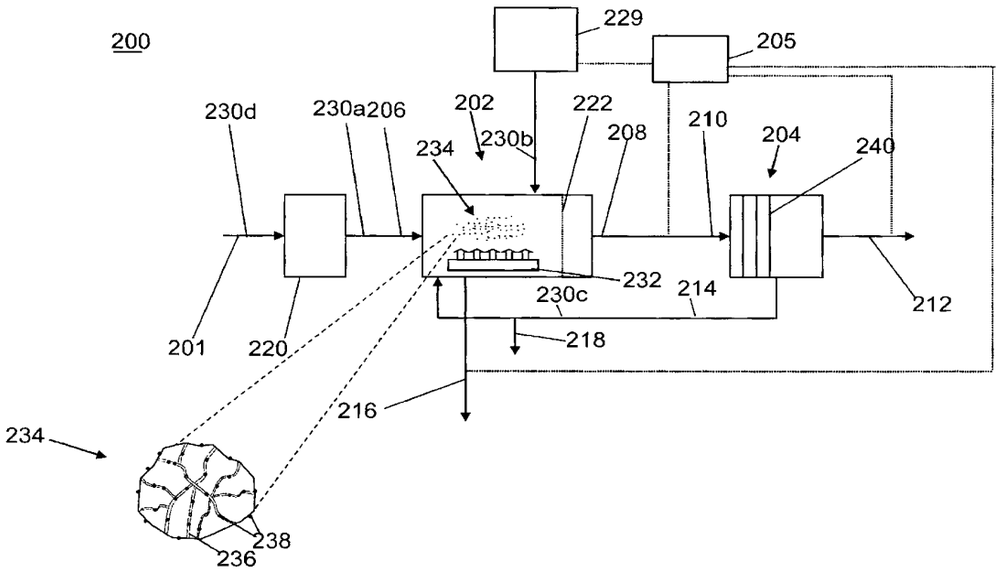


FIG. 2

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

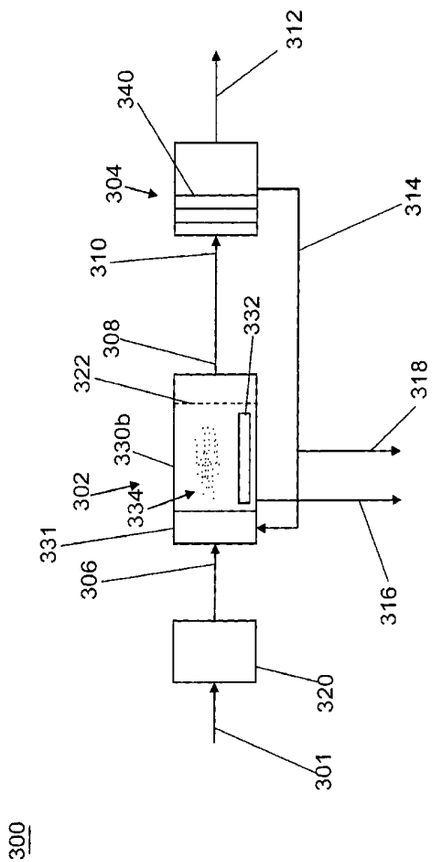

300
301
306
331
302
334
330b
322
308
332
310
304
340
312
314
316
318
320

FIG. 3

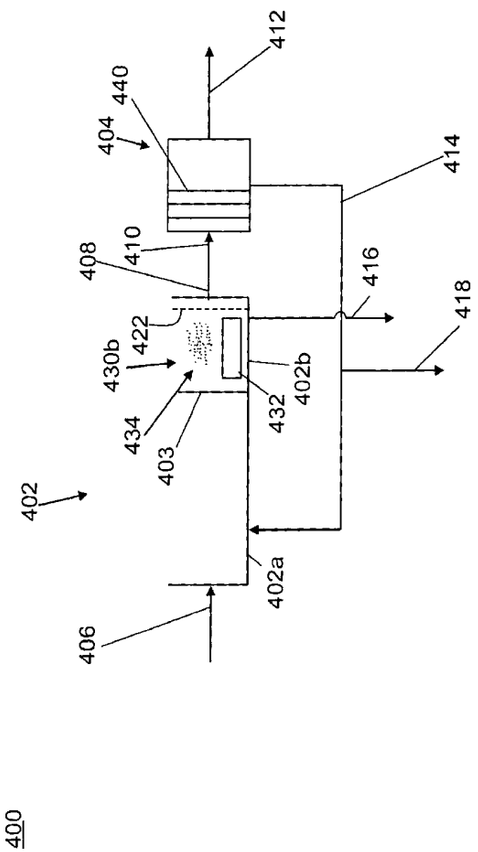

400
402
406
402a
403
434
430b
422
408
410
404
440
412
414
416
418
432
402b

FIG. 4

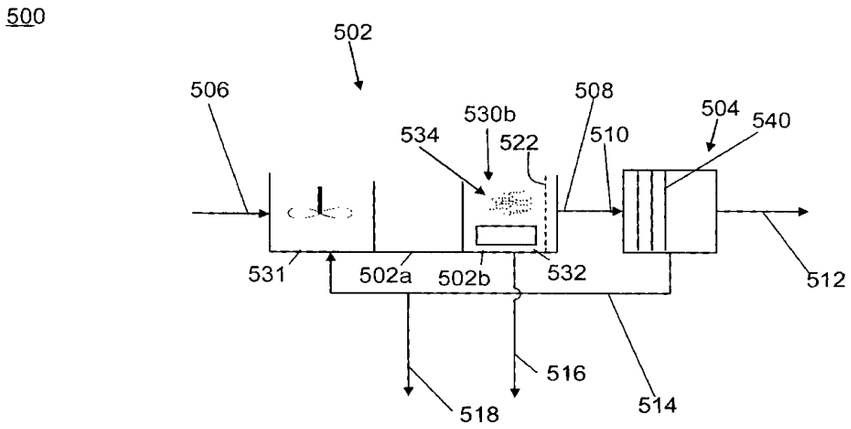


FIG. 5

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

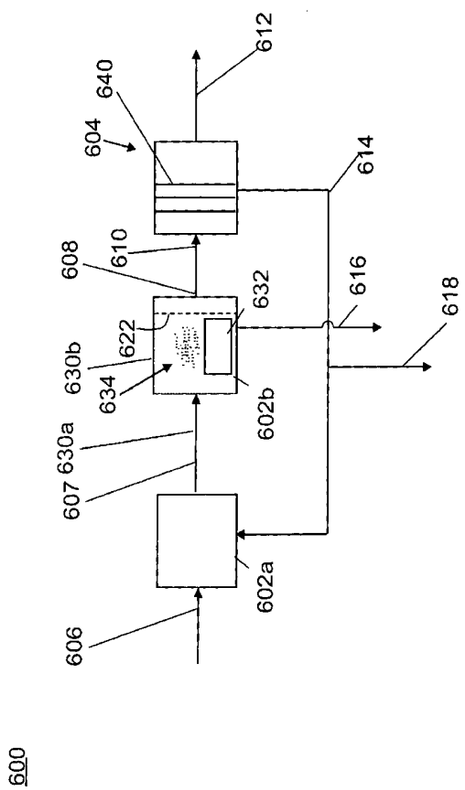

600
606
607
630a
630b
634
622
608
610
640
604
612
602a
602b
632
614
616
618

FIG. 6

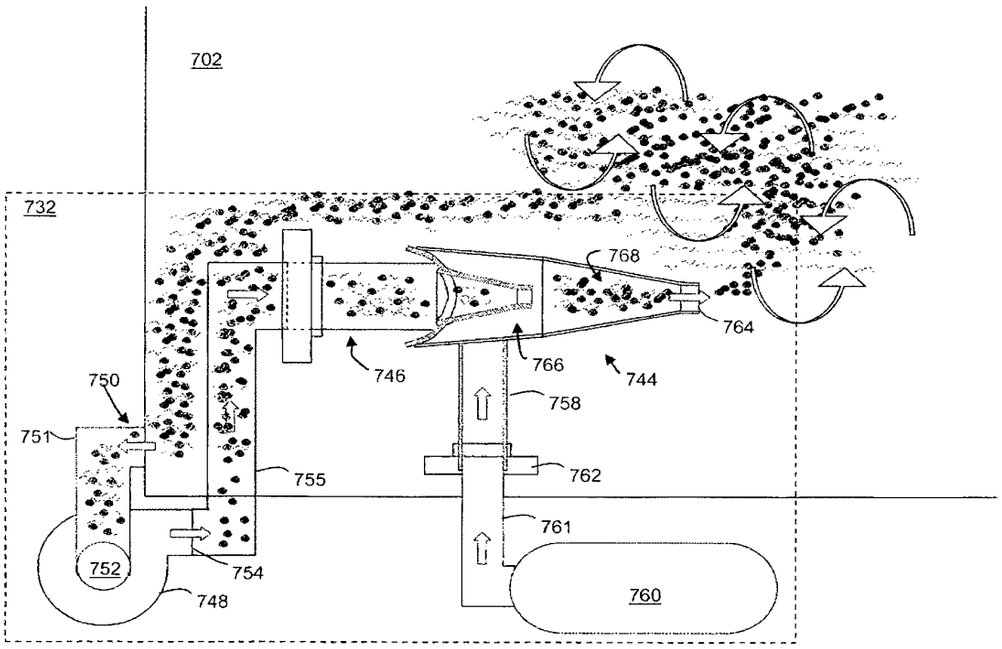

702
732
768
764
746
766
744
750
758
751
755
762
761
752
754
748
760

FIG. 7

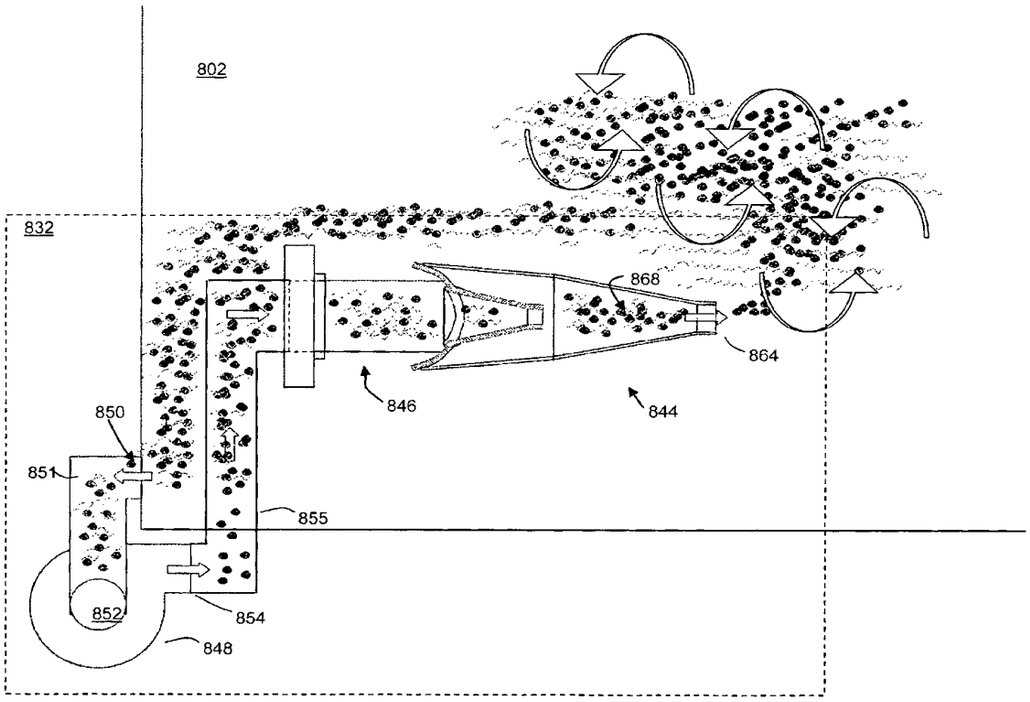


FIG. 8

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

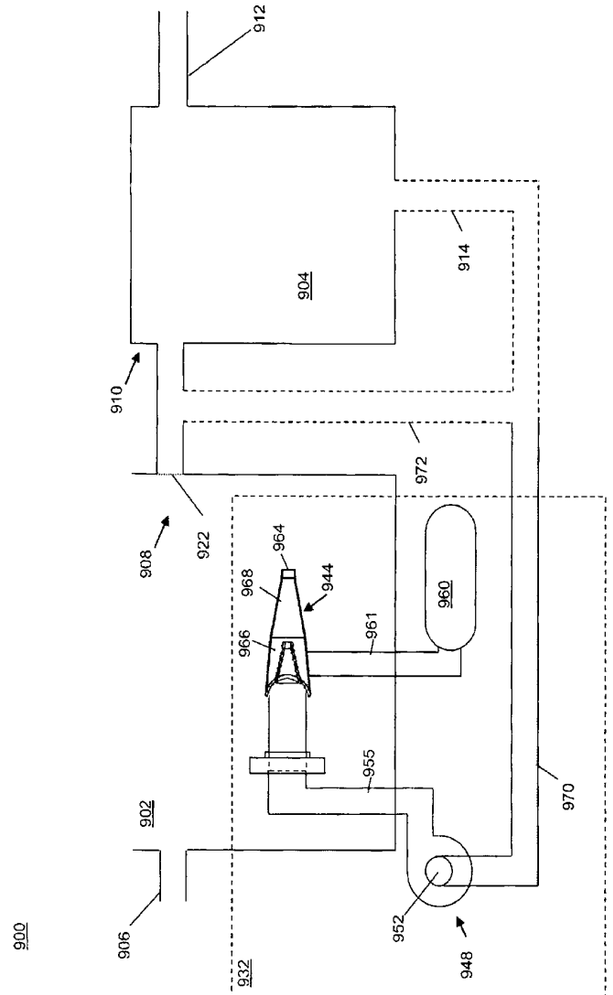

912
914
904
910
972
908
922
964
968
944
960
961
966
955
902
970
900
906
952
948
932

FIG. 9

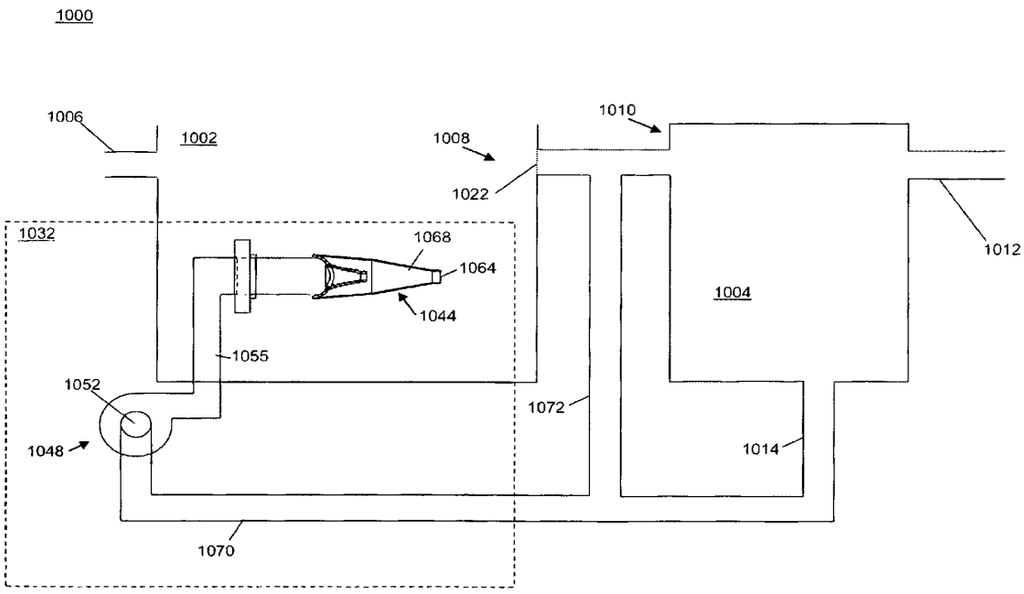


FIG. 10

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

274

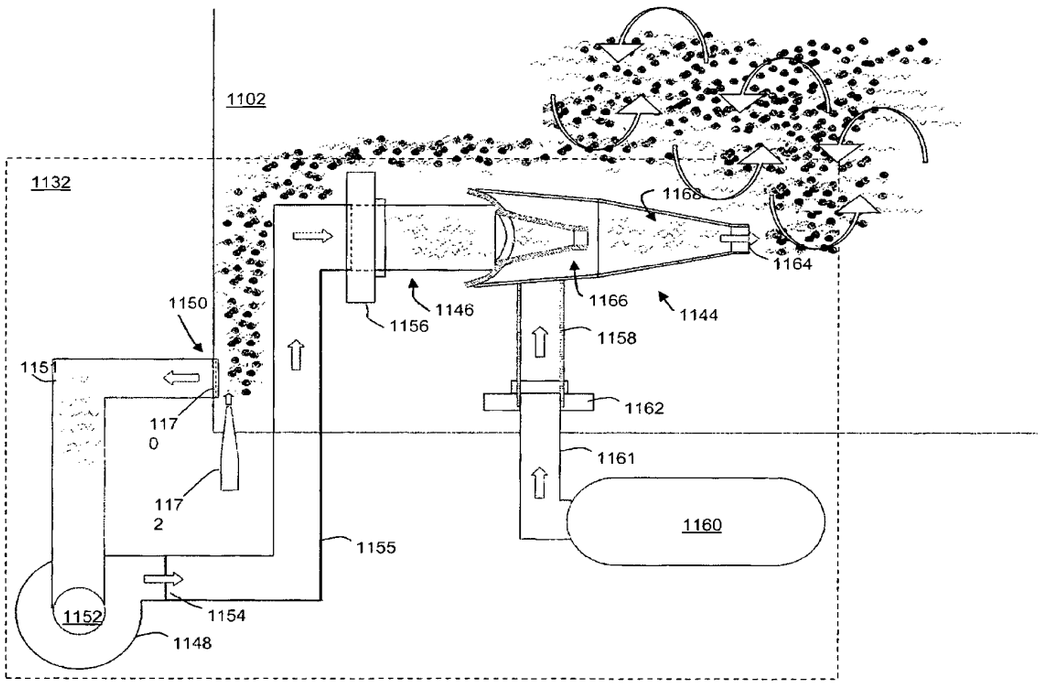


FIG. 11

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

275

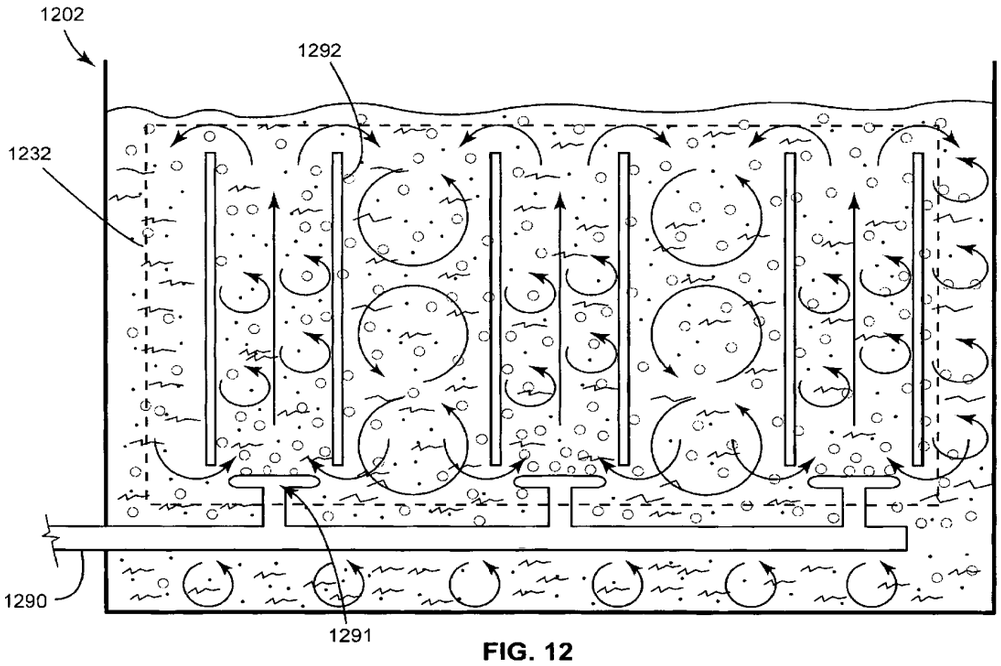


FIG. 12

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

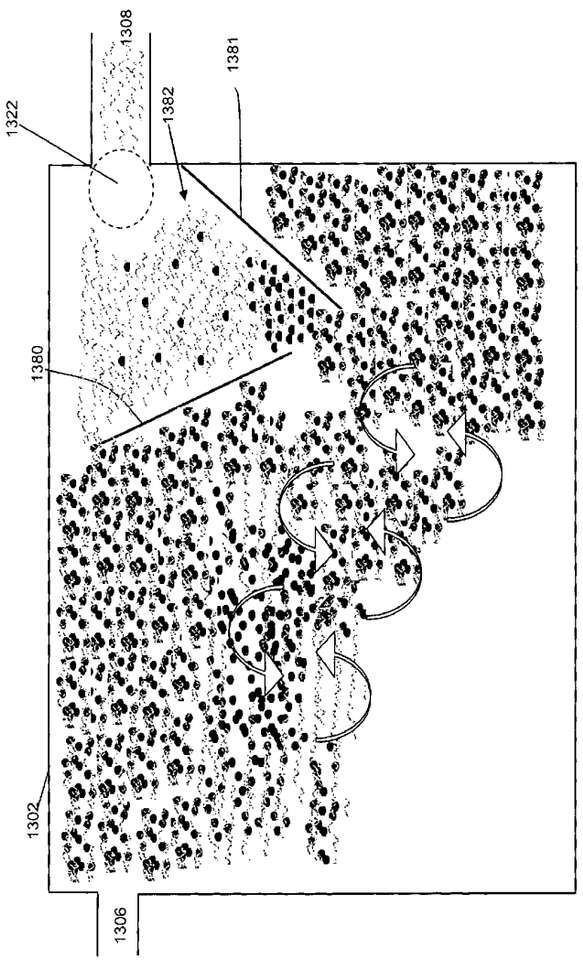


FIG. 13A

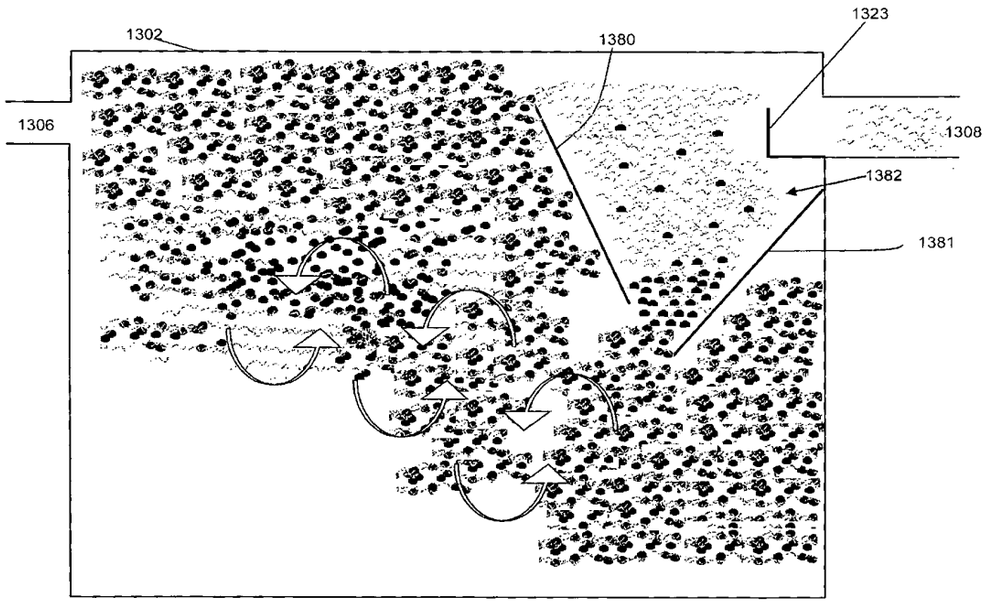


FIG. 13B

2-18

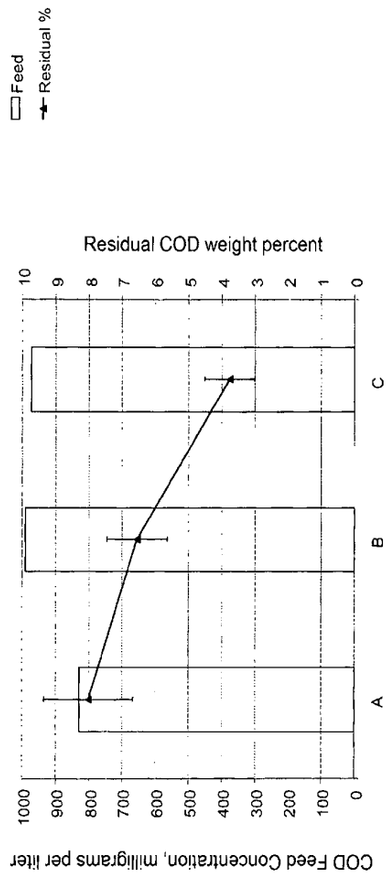

Feed
Residual %
Residual COD weight percent
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
C
B
A
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
COD Feed Concentration, milligrams per liter

FIG. 14

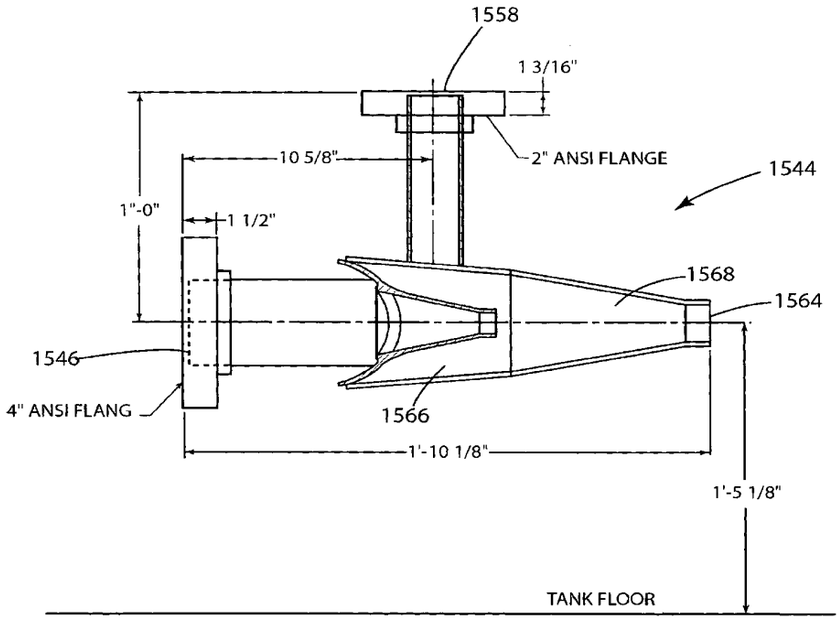

1558
1 3/16"
2" ANSI FLANGE
1544
10 5/8"
1"-0"
1 1/2"
1568
1564
1546
4" ANSI FLANG
1566
1'-10 1/8"
1'-5 1/8"
TANK FLOOR

FIG. 15

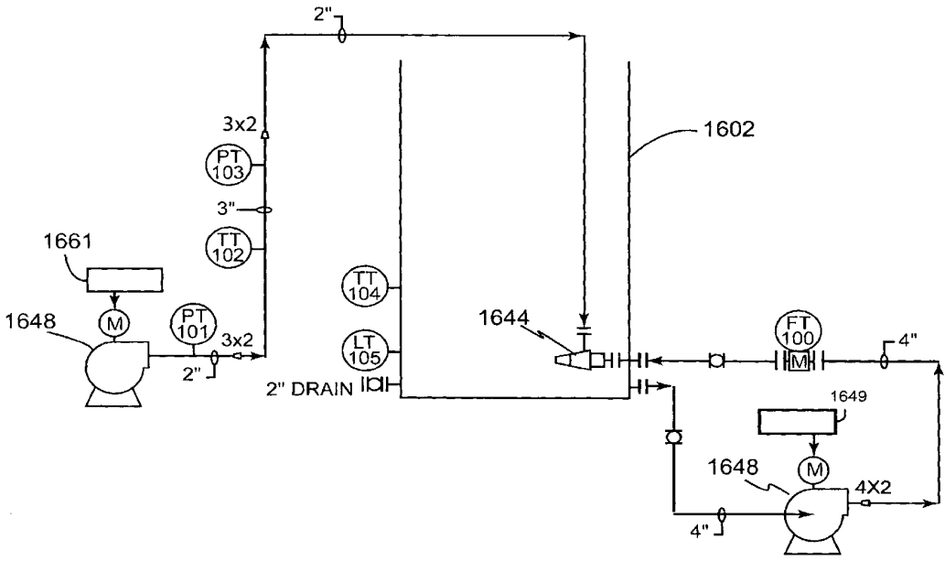

2"
3x2
PT 103
3"
TT 102
1661
1648
M
PT 101
3x2
2"
TT 104
LT 105
2" DRAIN
1602
1644
FT 100
M
4"
1649
1648
M
4X2
4"

FIG. 16

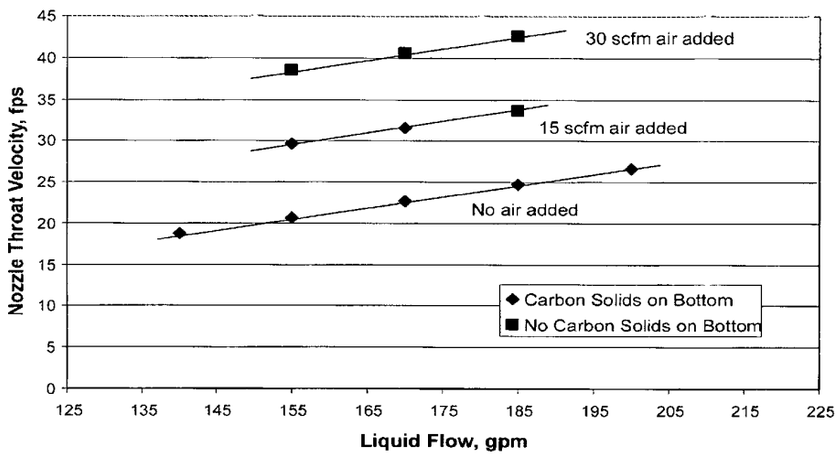


FIG. 17

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

282

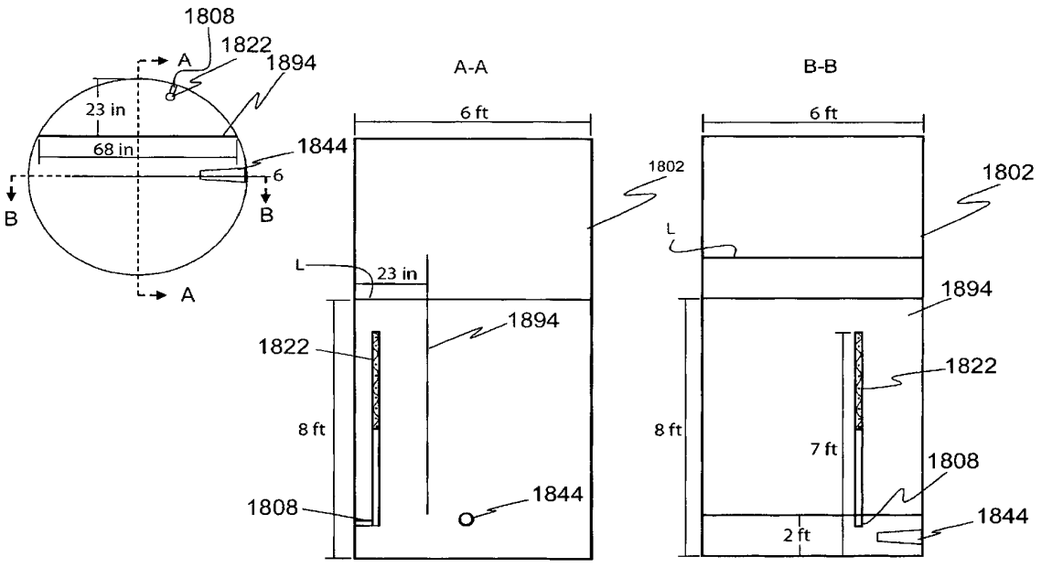

1808
1822
A
1894
23 in
68 in
1844
6
B
B
A
A-A
6 ft
1802
L
23 in
1894
1822
8 ft
1808
1844
B-B
6 ft
1802
L
1894
1822
8 ft
7 ft
1808
1844
2 ft

FIG. 18

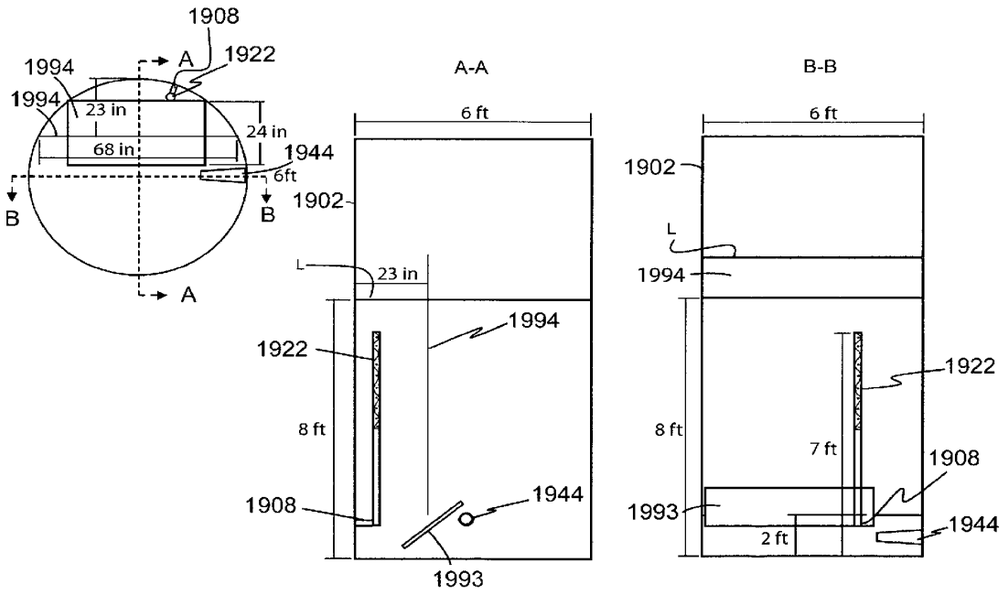


FIG. 19

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

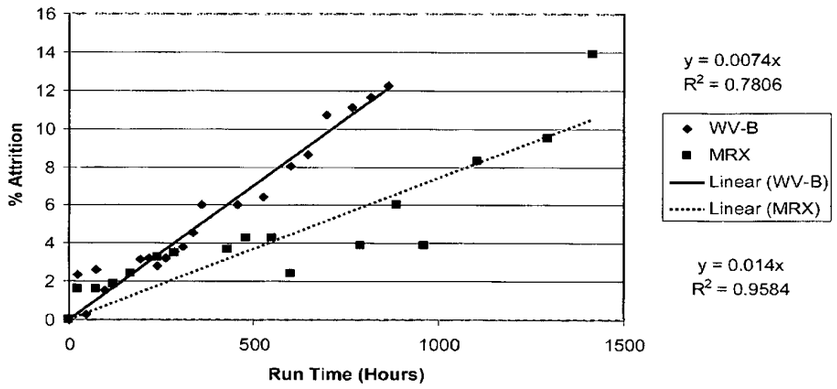


FIG. 20

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

285

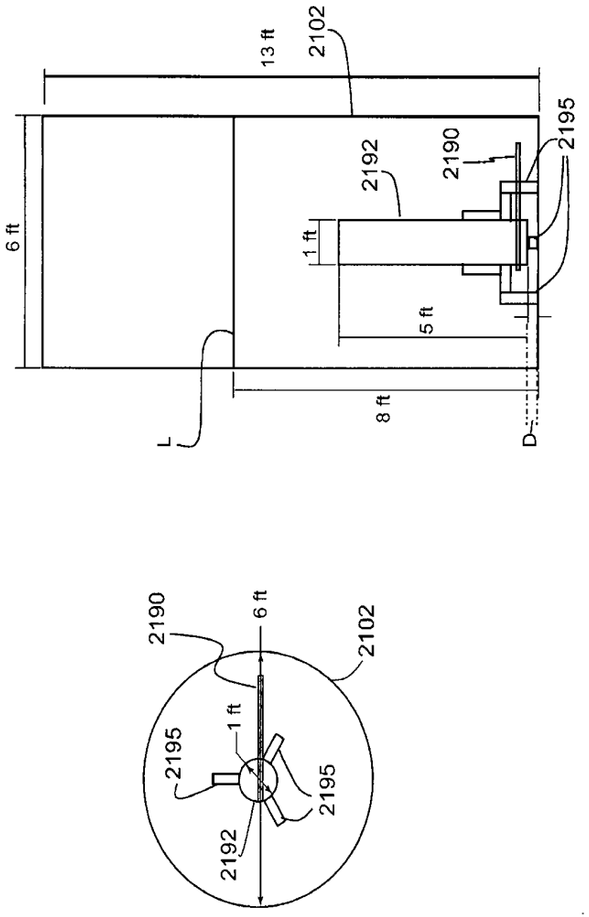

13 ft
2102
2195
2190
2192
6 ft
1 ft
5 ft
8 ft
L
D
2190
6 ft
2102
2195
1 ft
2195
2192

FIG. 21

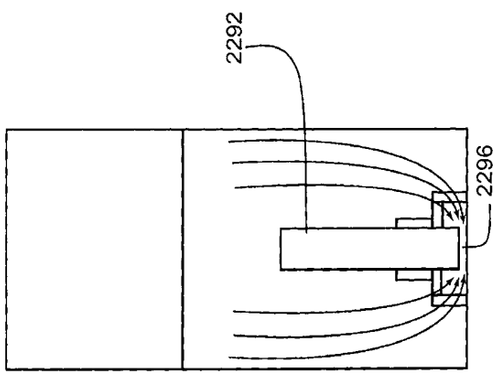
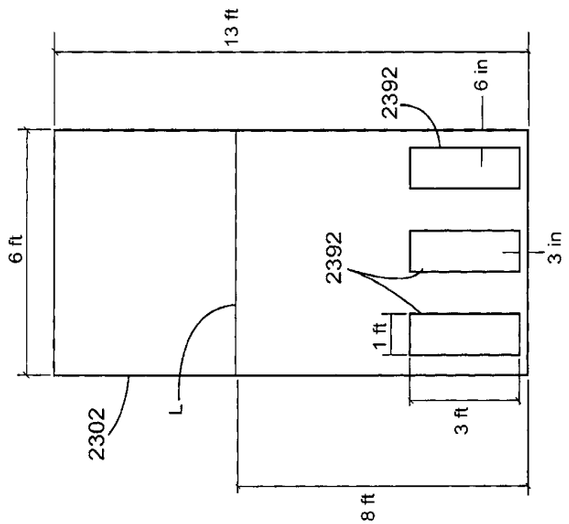


FIG. 22


13 ft
6 in
2392
6 ft
3 in
2392
1 ft
3 ft
2302
L
8 ft

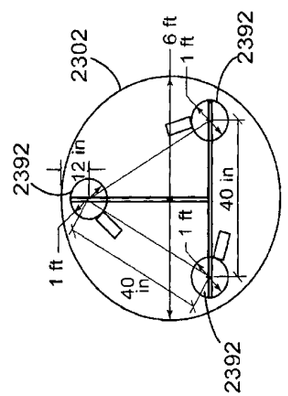

2302
6 ft
1 ft
2392
2392
12 in
40 in
1 ft
1 ft
40 in
2392

FIG. 23

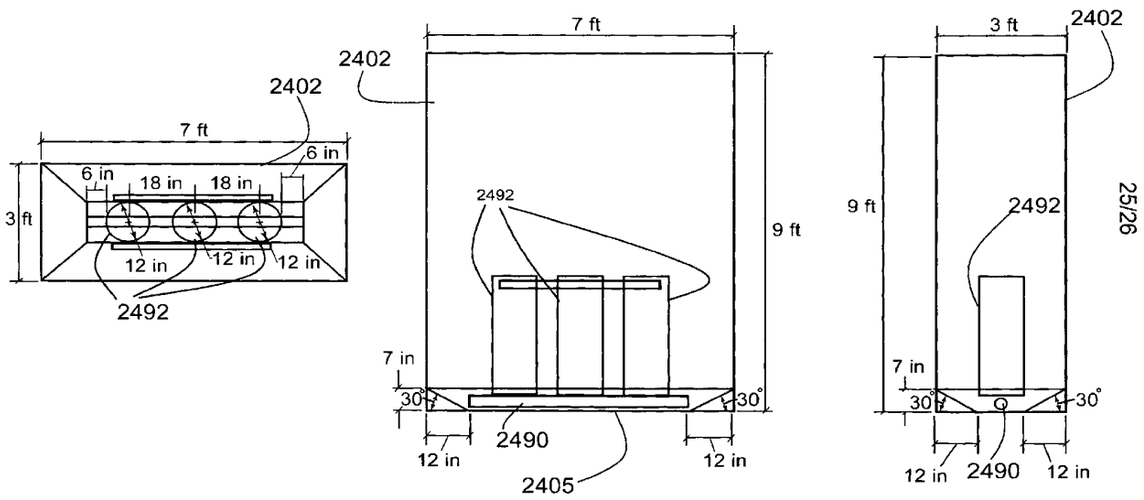


FIG. 24

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

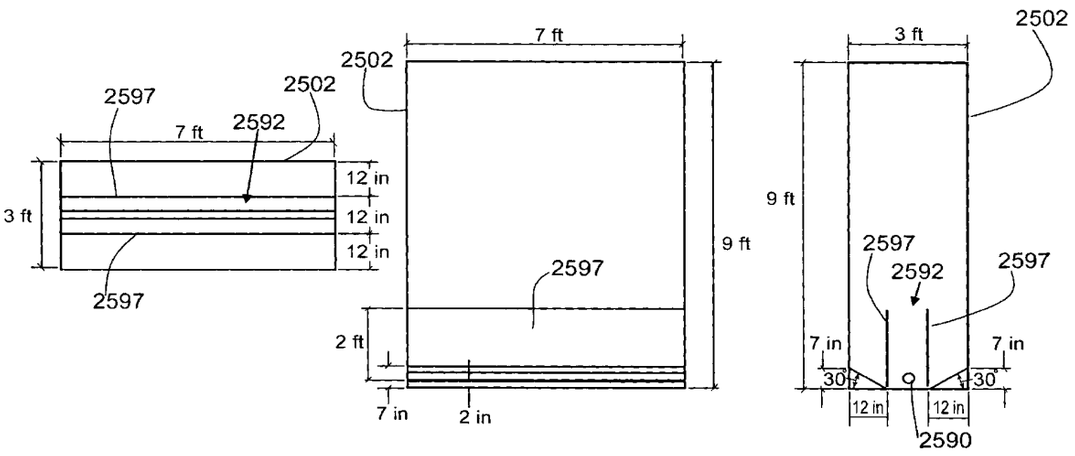

2597
7 ft
2592
2502
12 in
12 in
12 in
3 ft
2597
7 ft
2502
9 ft
2597
2 ft
7 in
2 in
3 ft
2502
9 ft
2597
2592
2597
7 in
7 in
30°
30°
12 in
12 in
2590

FIG. 25

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau

(43) International Publication Date
23 December 2010 (23.12.2010)

PCT

(10) International Publication Number
WO 2010/147964 A1

(51) International Patent Classification:
C02F 1/28 (2006.01) *C02F 3/00* (2006.01)

(21) International Application Number:
PCT/US2010/038644

(22) International Filing Date:
15 June 2010 (15.06.2010)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
61/186,983 15 June 2009 (15.06.2009) US
61/224,000 8 July 2009 (08.07.2009) US

(71) Applicants *(for all designated States except US)*: **SAUDI ARABIAN OIL COMPANY** [SA/SA]; Box 5000, Dhahran, 31311 (SA). **SIEMENS WATER TECHNOLOGIES CORP.** [US/US]; 181 Thorn Hill Road, Warrendale, PA 15086 (US).

(72) Inventors; and

(75) Inventors/Applicants *(for US only)*: **CONNER, William, G.** [US/SA]; P.O. Box 10260, Saudi Aramco, Dhahran, 31311 (SA). **AL-HAJRI, Mohammed, A.** [SA/SA]; P.O. Box 1478, Saudi Aramco, Dhahran, 31311 (SA). **SCHULTZ, Thomas, E.** [US/US]; W226 S4559 Weber Drive, Waukesha, WI 53189 (US). **HOWDESHELL, Michael** [US/US]; R12235 Happy Trails Lane, Ringle, WI 54474 (US). **FELCH, Chad, L.** [US/US]; 1862 Mike Lane, Mosinee, WI 54455 (US). **PATTERSON, Matthew** [US/US]; R20101 Hoot Owl Drive, Ringle, WI 54471 (US). **SHAFARIK, Samuel** [US/US]; 2600 Bufflehead, Wausau, WI 54401 (US). **COOLEY, Curt** [US/US]; 5720 Hillcrest Drive, Wausau, WI 54401 (US).

(74) Agent: **CRISPINO, Ralph, J.**; Abelman, Frayne & Schwab, 666 Third Avenue, New York, NY 10017-5621 (US).

(81) Designated States *(unless otherwise indicated, for every kind of national protection available)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Designated States *(unless otherwise indicated, for every kind of regional protection available)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK,

[Continued on next page]

(54) Title: SUSPENDED MEDIA MEMBRANE BIOLOGICAL REACTOR SYSTEM AND PROCESS INCLUDING SUSPENSION SYSTEM

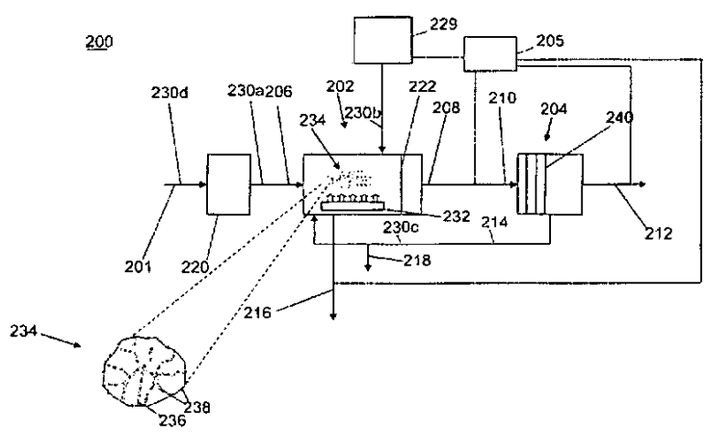


FIG. 2

(57) Abstract: A wastewater treatment system is provided comprising a biological reactor having a separation subsystem, a suspension system and a membrane operating system. The separation subsystem is constructed and arranged to maintain adsorbent material in the biological reactor with a mixed liquor. The suspension system is positioned in the biological reactor and is constructed and arranged to maintain adsorbent material in suspension with mixed liquor. The membrane operating system is located downstream of the biological reactor and is constructed and arranged to receive treated mixed liquor from the biological reactor and discharge a membrane permeate.

WO 2010/147964 A1

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Declarations under Rule 4.17:

— *of inventorship (Rule 4.17(iv))*

Published:

— *with international search report (Art. 21(3))*

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US 10/38644

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC(8) - C02F 1/28, C02F 3/00 (2010.01)
USPC - 210/617, 631, 691
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
US: 210/617, 631, 691

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
IPC: C02F 1/28, C02F 3/00 (2010.01)

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
PubWEST (PGPB, USPT, USOC, EPAB, JPAB), Google (Patents, Scholar) for Wastewater, suspension, reactor, bio$, membrane, gas, lift, mixed, liquor, jet, screen, baffles, biological, reactor, weir, Siemens, water, William, connor, mohammed, al-hajri, thomoas, Schultz, Michael, howdeshell, chad, felch.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2007/0209999 A1 (SMITH et al.) 13 September 2007 (13.09.2007); Fig 1; para [0027]-[0080].	1-20
Y	US 2008/0283469 A1 (POLLOCK) 20 November 2008 (20.11.2008); Fig 1, 9; para [0087], [0088], [0110]-[0118].	1-20
Y	US 6,030,529 A (BISKNER et al.) 29 February 2000 (29.02.2000); Fig 1, 2; col 5.	11

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
28 July 2010 (28.07.2010)	11 AUG 2010
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-3201	Authorized officer: Lee W. Young PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2009)

PATENT COOPERATION TREATY

From the
INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

To: RALPH J. CRISPINO
ABELMAN, FRAYNE & SCHWAB
666 THIRD AVENUE
NEW YORK, NY 10017-5621

PCT

WRITTEN OPINION OF THE
INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

(PCT Rule 43*bis*.1)

Date of mailing *(day/month/year)*	11 AUG 2010
Applicant's or agent's file reference 210,901-PCT	**FOR FURTHER ACTION** See paragraph 2 below

International application No.	International filing date *(day/month/year)*	Priority date *(day/month/year)*
PCT/US 10/38644	15 June 2010 (15.06.2010)	15 June 2009 (15.06.2009)

International Patent Classification (IPC) or both national classification and IPC
IPC(8) - C02F 1/28, C02F 3/00 (2010.01)
USPC - 210/617, 631, 691

Applicant SAUDI ARABIAN OIL COMPANY

1. This opinion contains indications relating to the following items:

- [X] Box No. I Basis of the opinion
- [ ] Box No. II Priority
- [ ] Box No. III Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
- [ ] Box No. IV Lack of unity of invention
- [X] Box No. V Reasoned statement under Rule 43*bis*.1(a)(i) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
- [ ] Box No. VI Certain documents cited
- [ ] Box No. VII Certain defects in the international application
- [ ] Box No. VIII Certain observations on the international application

2. **FURTHER ACTION**

If a demand for international preliminary examination is made, this opinion will be considered to be a written opinion of the International Preliminary Examining Authority ("IPEA") except that this does not apply where the applicant chooses an Authority other than this one to be the IPEA and the chosen IPEA has notified the International Bureau under Rule 66.1*bis*(b) that written opinions of this International Searching Authority will not be so considered.

If this opinion is, as provided above, considered to be a written opinion of the IPEA, the applicant is invited to submit to the IPEA a written reply together, where appropriate, with amendments, before the expiration of 3 months from the date of mailing of Form PCT/ISA/220 or before the expiration of 22 months from the priority date, whichever expires later.

For further options, see Form PCT/ISA/220.

3. For further details, see notes to Form PCT/ISA/220.

Name and mailing address of the ISA/US	Date of completion of this opinion	Authorized officer:
Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-3201	29 July 2010 (29.07.2010)	Lee W. Young PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774

Form PCT/ISA/237 (cover sheet) (July 2009)

WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

International application No.
PCT/US 10/38644

Box No. I Basis of this opinion

1. With regard to the **language**, this opinion has been established on the basis of:

   ☒ the international application in the language in which it was filed.

   ☐ a translation of the international application into _____ which is the language of a translation furnished for the purposes of international search (Rules 12.3(a) and 23.1(b)).

2. ☐ This opinion has been established taking into account the **rectification of an obvious mistake** authorized by or notified to this Authority under Rule 91 (Rule 43*bis*.1(a))

3. With regard to any **nucleotide and/or amino acid sequence** disclosed in the international application, this opinion has been established on the basis of a sequence listing filed or furnished:

   a. (means)

      ☐ on paper

      ☐ in electronic form

   b. (time)

      ☐ in the international application as filed

      ☐ together with the international application in electronic form

      ☐ subsequently to this Authority for the purposes of search

4. ☐ In addition, in the case that more than one version or copy of a sequence listing has been filed or furnished, the required statements that the information in the subsequent or additional copies is identical to that in the application as filed or does not go beyond the application as filed, as appropriate, were furnished.

5. Additional comments:

WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

International application No.
PCT/US 10/38644

Box No. V **Reasoned statement under Rule 43*bis*.1(a)(i) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement**

1. Statement

Novelty (N)	Claims	1-20	YES
	Claims	NONE	NO
Inventive step (IS)	Claims	NONE	YES
	Claims	1-20	NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1-20	YES
	Claims	NONE	NO

2. Citations and explanations:

Claims 1-10 and 12-20 lack an inventive step under PCT Article 33(3) as being obvious over US 2007/0209999 A1 to Smith et al. (hereinafter .Smith.) in view of US 2008/0283469 A1 (Pollock).

Regarding claim 1, Smith teaches a wastewater treatment system for treating wastewater (Fig 1) comprising:
a biological reactor (120) comprising a separation subsystem (130) constructed and arranged to maintain adsorbent material in the biological reactor with a mixed liquor (para [0027], [0038], [0055]-[0058]); and
a membrane operating system located downstream of the biological reactor (120) that is constructed and arranged to receive treated mixed liquor from the biological reactor and discharge a membrane permeate (para [0033]).

Smith does not specifically show a suspension system positioned in the biological reactor. However, Pollock teaches a wastewater treatment system for treating wastewater comprising a suspension system positioned in the biological reactor (para [0113]). In view of this teaching, it would have been obvious to one of ordinary skill in this art to combine a system as in Smith with a suspension system as in Pollock to configure the suspension system constructed and arranged to maintain adsorbent material in suspension with mixed liquor so as to provide for enhanced adsorption of contaminants.

Regarding claim 2, Pollock teaches wherein the suspension system comprises a gas lift suspension system (para [0113]).

Regarding claim 3, Pollock teaches wherein the gas lift suspension system (Fig 1) comprises at least one draft tube (14) positioned in the biological reactor (10) (para [0087], [0088]) and a gas conduit (62) having one or more apertures (64) positioned and dimensioned to direct gas to an inlet end of the draft tube (para [0110]).

Regarding claim 4, Pollock teaches wherein the gas lift suspension system (Fig 1) comprises at least one draft trough (84,86) positioned in the biological reactor (10) (Fig 9; para [0116]) and a gas conduit (62) having one or more apertures (64) positioned and dimensioned to direct gas to a lower portion of the draft trough (Fig 1, 9; para [0110]).

Regarding claim 5, Pollock teaches wherein the draft trough is formed by a pair of baffles (84,86) positioned in the biological reactor (10) (Fig 1, 9; para [0116]-[0118]).

Regarding claim 6, Pollock teaches wherein the suspension system comprises a jet suspension system (see wherein compressed air is delivered via an air delivery port (62) from a dedicated air line (64), discussed at para [0110]).

Regarding claim 7, neither Smith nor Pollock teaches wherein the separation subsystem includes a screen positioned at an outlet of the biological reactor. However, Smith teaches an optional separation system including a screen positioned at an outlet of the biological reactor (140,150) (Fig 1; para [0035], [0060]). In view of this teaching, it would have been obvious to one of ordinary skill in this art configure the system made obvious by the combination of Smith and Pollock wherein the separation subsystem includes a screen positioned at an outlet of the biological reactor so as to provide for optional filtering of material.

Regarding claim 8, Smith teaches wherein the separation subsystem includes a settling zone located proximate the outlet of the biological reactor (para [0033], [0050]).

Regarding claim 9, neither Smith nor Pollock specifically shows wherein the settling zone comprises a first baffle and a second baffle positioned and dimensioned to define a quiescent zone in which the adsorbent material separates from mixed liquor and settles into the mixed liquor in a lower portion of the biological reactor. However, Smith teaches a settling zone in which adsorbent material separates from mixed liquor (para [0033], [0050]). Further, Pollock teaches wherein a first baffle (84) and a second baffle (86) are positioned and dimensioned to direct flow within the biological reactor (para [0116]-[0118]). As such, it would have been obvious to one of ordinary skill in this art to configure the system made obvious by the combination of Smith and Pollock wherein the settling zone comprises a first baffle and a second baffle positioned and dimensioned to define a quiescent zone in which the adsorbent material separates from mixed liquor and settles into the mixed liquor in a lower portion of the biological reactor, so as to provide for direction of adsorbent material in the settling zone within the biological reactor.

[See Supplemental Box]

WRITTEN OPINION OF THE
INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

International application No.
PCT/US 10/38644

Supplemental Box

In case the space in any of the preceding boxes is not sufficient.

Continuation of:
BOX NO. V/2: Citations and explanations

Regarding claim 10, neither Smith nor Pollock teaches wherein the separation subsystem includes a screen positioned at an outlet of the biological reactor. However, Smith teaches an optional separation system including a screen positioned at an outlet of the biological reactor (140,150) (Fig 1; para [0035], [0060]). In view of this teaching, it would have been obvious to one of ordinary skill in this art configure the system made obvious by the combination of Smith and Pollock wherein the separation subsystem includes a screen positioned at an outlet of the biological reactor so as to provide for optional filtering of material.

Regarding claim 12, Smith teaches further comprising:
a source of adsorbent material (150) introduction apparatus in communication with the biological reactor (120) (Fig 1; para [0055], [0065]);
a sensor constructed and arranged to measure a parameter of the system (para [0074]); and
a controller (500) in electronic communication with the sensor programmed to instruct performance of an act based on the measured parameter of the system (para [0074], [0076], [0080].

Regarding claim 13, Smith teaches wherein the measured parameter is the concentration of one or more predetermined compounds (para [0074]).

Regarding claim 14, Smith teaches wherein the act comprises removing at least a portion of the adsorbent material from the biological reactor (para [0074]).

Regarding claim 15, Smith teaches wherein the act comprises adding adsorbent material to the biological reactor (para [0065], [0074], [0076], [0080]).

Regarding claim 16, Smith teaches a wastewater treatment system for treating wastewater (Fig 1) comprising:
a biological reactor (120) with a wastewater inlet (114), a mixed liquor outlet (124), and a separation subsystem (130) associated with the mixed liquor outlet (para [0027], [0038], [0055]-[0058]); and
a membrane operating system located downstream of the biological reactor (120) having an inlet in fluid communication with the mixed liquor outlet, and a treated effluent outlet (para [0033]).

Smith does not specifically show a suspension system positioned in the biological reactor. However, Pollock teaches a wastewater treatment system for treating wastewater comprising a suspension system positioned in the biological reactor, the suspension system constructed and arranged to maintain adsorbent material in suspension with mixed liquor (para [0113]). In view of this teaching, it would have been obvious to one of ordinary skill in this art to combine a system as in Smith with a suspension system as in Pollock so as to provide for enhanced adsorption of contaminants.

Regarding claim 17, Smith teaches wherein the suspension system comprises a gas lift suspension system (para [0113]).

Regarding claim 18, Pollock teaches wherein the suspension system comprises a jet suspension system (see wherein compressed air is delivered via an air delivery port (62) from a dedicated air line (64), discussed at para [0110]).

Regarding claim 19, Smith teaches a process for treating wastewater (Fig 1) comprising:
introducing mixed liquor (via conduit 114) into a biological reactor (120) (para [0027], [0038], [0055]-[0058]);
introducing adsorbent material (via conduit 122) into the biological reactor (120) with the mixed liquor (para [0056]); and
passing an effluent that is substantially free of adsorbent material from the biological reactor to a membrane operating system while maintaining adsorbent material in the biological reactor (para [0033]).

Smith does not specifically show suspending the adsorbent material in the mixed liquor using a gas. However, Pollock teaches a wastewater treatment system for treating wastewater comprising a suspension system positioned in the biological reactor using a gas (para [0113]). In view of this teaching, it would have been obvious to one of ordinary skill in this art to combine a process as in Smith with a suspension system as in Pollock to configure a process for treating wastewater comprising suspending the adsorbent material in the mixed liquor using a gas, under operating conditions that promote adsorption of contaminants from the mixed liquor by the adsorbent material, so as to provide for enhanced adsorption of contaminants.

Regarding claim 20, Pollock teaches wherein liquid is circulated in the biological reactor to promote the suspension of the adsorbent material (para [0118]).

Claim 11 lacks an inventive step under PCT Article 33(3) as being obvious over Smith in view of Pollock, and further in view of US 6,030,529 A to Biskner et al. (hereinafter .Biskner.).

Regarding claim 11, the combination of Smith and Pollock makes obvious the wastewater treatment system of claim 8, but neither reference specifically shows further comprising a weir positioned proximate the outlet of the biological reactor. However, Biskner teaches a wastewater treatment system comprising a weir (28) positioned proximate the outlet of the biological reactor (Fig 1, 2; col 5, ln 21-26). In view of this teaching, it would have been obvious to one of ordinary skill in this art to combine the system of Smith and Pollock with a weir as in Biskner so as to provide for enhanced flow through the biological reactor.

Claims 1-20 have industrial applicability as defined by PCT Article 33(4) because the subject matter claimed can be made or used in industry.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US 10/38644

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC(8) - C02F 1/28, C02F 3/00 (2010.01)
USPC - 210/617, 631, 691
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
US: 210/617, 631, 691

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
IPC: C02F 1/28, C02F 3/00 (2010.01)

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
PubWEST (PGPB, USPT, USOC, EPAB, JPAB), Google (Patents, Scholar) for Wastewater, suspension, reactor, bio$, membrane, gas, lift, mixed, liquor, jet, screen, baffles, biological, reactor, weir, Siemens, water, William, connor, mohammed, al-hajri, thomoas, Schultz, Michael, howdeshell, chad, felch.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2007/0209999 A1 (SMITH et al.) 13 September 2007 (13.09.2007); Fig 1; para [0027]-[0080].	1-20
Y	US 2008/0283469 A1 (POLLOCK) 20 November 2008 (20.11.2008); Fig 1, 9; para [0087], [0088], [0110]-[0118].	1-20
Y	US 6,030,529 A (BISKNER et al.) 29 February 2000 (29.02.2000); Fig 1, 2; col 5.	11

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
28 July 2010 (28.07.2010)	11 AUG 2010

Name and mailing address of the ISA/US	Authorized officer:
Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-3201	Lee W. Young PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2009)

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

INTERNATIONAL PRELIMINARY REPORT ON PATENTABILITY

(Chapter II of the Patent Cooperation Treaty)

(PCT Article 36 and Rule 70)

Applicant's or agent's file reference 210,901-PCT	FOR FURTHER ACTION	See Form PCT/IPEA/416
International application No. PCT/US10/38644	International filing date *(day/month/year)* 15 June 2010 (15.06.2010)	Priority date *(day/month/year)* 15 June 2009 (15.06.2009)
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC IPC: C02F 1/28(2006.01),3/00(2006.01) USPC: 210/617,631,691		
Applicant SAUDI ARABIAN OIL COMPANY		

1. This report is the international preliminary examination report, established by this International Preliminary Examining Authority under Article 35 and transmitted to the applicant according to Article 36.
2. This REPORT consists of a total of 3 sheets, including this cover sheet.
3. This report is also accompanied by ANNEXES, comprising:
   a. ☒ *(sent to the applicant and to the International Bureau)* a total of 14 sheets, as follows:
      ☐ sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis of this report and/or sheets containing rectifications authorized by this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions).
      ☐ sheets which supersede earlier sheets, but which this Authority considers contain an amendment that goes beyond the disclosure in the international application as filed, as indicated in item 4 of Box No. I and the Supplemental Box.
   b. ☐ *(sent to the International Bureau only)* a total of (indicate type and number of electronic carrier(s)) _____ , containing a sequence listing and/or tables related thereto, in electronic form only, as indicated in the Supplemental Box Relating to Sequence Listing (see Section 802 of the Administrative Instructions).
4. This report contains indications relating to the following items:
   - ☒ Box No. I Basis of the report
   - ☐ Box No. II Priority
   - ☐ Box No. III Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
   - ☐ Box No. IV Lack of unity of invention
   - ☒ Box No. V Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
   - ☐ Box No. VI Certain documents cited
   - ☐ Box No. VII Certain defects in the international application
   - ☐ Box No. VIII Certain observations on the international application

Date of submission of the demand	Date of completion of this report
15 April 2011 (15.04.2011)	25 October 2011 (25.10.2011)
Name and mailing address of the IPEA/ US Mail Stop PCT, Attn: IPEA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450 Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No.	Authorized officer CHESTER BARRY Telephone No. 703-308-0651

Form PCT/IPEA/409 (cover sheet)(April 2007)

INTERNATIONAL PRELIMINARY REPORT ON PATENTABILITY

International application No.
PCT/US10/38644

Box No. I Basis of the report

1. With regard to the **language**, this report is based on:

☒ the international application in the language in which it was filed.

☐ a translation of the international application into English, which is the language of a translation furnished for the purposes of:

- ☐ international search (under Rules 12.3(a) and 23.1(b))
- ☐ publication of the international application (under Rule 12.4(a))
- ☐ international preliminary examination (under Rules 55.2(a) and/or 55.3(a))

2. With regard to the **elements** of the international application, this report is based on *(replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to this report)*:

☐ the international application as originally filed/furnished

☒ the description:
pages 1-97 as originally filed/furnished
pages* NONE received by this Authority on _____
pages* NONE received by this Authority on _____

☒ the claims:
pages NONE as originally filed/furnished
pages* NONE as amended (together with any statement) under Article 19
pages* 98-101 received by this Authority on 15 April 2011 (15.04.2011)
pages* NONE received by this Authority on _____

☒ the drawings:
pages 1/26-26/26 as originally filed/furnished
pages* NONE received by this Authority on _____
pages* NONE received by this Authority on _____

☐ a sequence listing and/or any related table(s) - see Supplemental Box Relating to Sequence Listing.

3. ☐ The amendments have resulted in the cancellation of:

- ☐ the description, pages _____
- ☐ the claims, Nos. _____
- ☐ the drawings, sheets/figs _____
- ☐ the sequence listing (*specify*): _____
- ☐ any table(s) related to the sequence listing (*specify*): _____

4. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments annexed to this report and listed below had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).

- ☐ the description, pages _____
- ☐ the claims, Nos. _____
- ☐ the drawings, sheets/figs _____
- ☐ the sequence listing (*specify*): _____
- ☐ any table(s) related to the sequence listing (*specify*): _____

5. ☐ This report has been established taking into account the **rectification of an obvious mistake** authorized by or notified to this Authority under Rule 91 (Rule 70.2(e)).

** If item 4 applies, some or all of those sheets may be marked "superseded."*

INTERNATIONAL PRELIMINARY REPORT ON PATENTABILITY

International application No.
PCT/US10/38644

Box No. V **Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement**

1. Statement

Novelty (N)	Claims 1-20	YES
	Claims NONE	NO
Inventive Step (IS)	Claims 1-20	YES
	Claims NONE	NO
Industrial Applicability (IA)	Claims 1-20	YES
	Claims NONE	NO

2. Citations and Explanations (Rule 70.7)

Claims 1 – 15 meet the criteria set out in PCT Article 33(2)-(3), because the prior art does not teach or fairly suggest a wastewater treatment system having a biological reactor having a suspension system positioned in the biological reactor and a membrane operating system located downstream of the biological reactor that is constructed and arranged to receive treated mixed liquor from the biological reactor and discharge a membrane permeate.in which a structure is provided for preventing activated carbon from passing to the membrane reactor, i.e., maintaining adsorbent material in the biological reactor with a mixed liquor.

Claims 16 - 18 meet the criteria set out in PCT Article 33(2)-(3), because the prior art does not teach or fairly suggest a wastewater treatment system having a biological reactor with a wastewater inlet, a mixed liquor outlet, a suspension system for adsorbent material positioned in the biological reactor; a membrane operating system located downstream of the biological reactor having an inlet in fluid communication with the mixed liquor outlet, and a treated effluent outlet, in which a separation subsystem associated with the mixed liquor outlet is provided.

Claims 19 – 20 meet the criteria set out in PCT Article 33(2)-(3), because the prior art does not teach or fairly suggest a process for treating wastewater comprising: introducing mixed liquor into a biological reactor; introducing adsorbent material into the biological reactor with the mixed liquor; and suspending the adsorbent material in the mixed liquor using a gas, under operating conditions that promote adsorption of contaminants from the mixed liquor by the adsorbent material; including the step of passing an effluent that is substantially free of adsorbent material from the biological reactor to a membrane operating system while maintaining adsorbent material in the biological reactor.

Claims 1 – 20 meet the criteria set out in PCT Article 33(4), and thus have industrial applicability because the subject matter claimed can be made or used in industry.

CLAIMS

What is claimed is:

1. A wastewater treatment system comprising:

a biological reactor comprising a separation subsystem constructed and arranged to maintain adsorbent material in the biological reactor with a mixed liquor;

a suspension system positioned in the biological reactor, the suspension system constructed and arranged to maintain adsorbent material in suspension with the mixed liquor; and

a membrane operating system located downstream of the biological reactor that is constructed and arranged to receive treated mixed liquor from the biological reactor and discharge a membrane permeate.

2. The wastewater treatment system of claim 1, wherein the suspension system comprises a gas lift suspension system.

3. The wastewater treatment system of claim 2, wherein the gas lift suspension system comprises at least one draft tube positioned in the biological reactor and a gas conduit having one or more apertures positioned and dimensioned to direct gas to an inlet end of the draft tube.

4. The wastewater treatment system of claim 2, wherein the gas lift suspension system comprises at least one draft trough positioned in the biological reactor and a gas conduit having one or more apertures positioned and dimensioned to direct gas to a lower portion of the draft trough.

5. The wastewater treatment system of claim 4, wherein the draft trough is formed by a pair of baffles positioned in the biological reactor.

6. The wastewater treatment system of claim 1, wherein the suspension system comprises a jet suspension system.

7. The wastewater treatment system of claim 1, wherein the separation subsystem includes a screen positioned at an outlet of the biological reactor.

8. The wastewater treatment system of claim 1, wherein the separation subsystem includes a settling zone located proximate the outlet of the biological reactor.

9. The wastewater treatment system of claim 8, wherein the settling zone comprises a first baffle and a second baffle positioned and dimensioned to define a quiescent zone in which the adsorbent material separates from mixed liquor and settles into the mixed liquor in a lower portion of the biological reactor.

10. The wastewater treatment system of claim 8, further comprising a screen positioned proximate the outlet of the biological reactor.

11. The wastewater treatment system of claim 8, further comprising a weir positioned proximate the outlet of the biological reactor.

12. The wastewater treatment system of claim 1, further comprising:

an adsorbent material introduction apparatus in communication with the biological reactor;

a sensor constructed and arranged to measure a parameter of the system; and

a controller in electronic communication with the sensor programmed to instruct performance of an act based on the measured parameter of the system.

13. The wastewater treatment system of claim 12, wherein the measured parameter is the concentration of one or more predetermined compounds.

14. The wastewater treatment system of claim 12, wherein the act comprises removing at least a portion of the adsorbent material from the biological reactor.

15. The wastewater treatment system of claim 12, wherein the act comprises adding adsorbent material to the biological reactor.

16. A wastewater treatment system comprising:

a biological reactor with a wastewater inlet, a mixed liquor outlet, and a separation subsystem associated with the mixed liquor outlet;

a suspension system for adsorbent material positioned in the biological reactor;

a membrane operating system located downstream of the biological reactor having

an inlet in fluid communication with the mixed liquor outlet, and

a treated effluent outlet.

17. The wastewater treatment system of claim 16, wherein the suspension system comprises a gas lift suspension system.

18. The wastewater treatment system of claim 16, wherein the suspension system comprises a jet suspension system.

19. A process for treating wastewater comprising:

introducing mixed liquor into a biological reactor;

introducing adsorbent material into the biological reactor with the mixed liquor;

suspending the adsorbent material in the mixed liquor using a gas, under operating conditions that promote adsorption of contaminants from the mixed liquor by the adsorbent material; and

passing an effluent that is substantially free of adsorbent material from the biological reactor to a membrane operating system while maintaining adsorbent material in the biological reactor.

20. The process of claim 19, wherein liquid is circulated in the biological reactor to promote the suspension of the adsorbent material.

CLAIMS

What is claimed is:

1. A wastewater treatment system comprising:

a biological reactor comprising a separation subsystem constructed and arranged to maintain adsorbent material in the biological reactor with a mixed liquor;

a suspension system positioned in the biological reactor, the suspension system constructed and arranged to maintain adsorbent material in suspension with the mixed liquor; and

a membrane operating system located downstream of the biological reactor that is constructed and arranged to receive treated mixed liquor from the biological reactor and discharge a membrane permeate.

2. The wastewater treatment system of claim 1, wherein the suspension system comprises a gas lift suspension system.

3. The wastewater treatment system of claim 2, wherein the gas lift suspension system comprises at least one draft tube positioned in the biological reactor and a gas conduit having one or more apertures positioned and dimensioned to direct gas to an inlet end of the draft tube.

4. The wastewater treatment system of claim 2, wherein the gas lift suspension system comprises at least one draft trough positioned in the biological reactor and a gas conduit having one or more apertures positioned and dimensioned to direct gas to a lower portion of the draft trough.

Replacement Page

5. The wastewater treatment system of claim 4, wherein the draft trough is formed by a pair of baffles positioned in the biological reactor.

6. The wastewater treatment system of claim 1, wherein the suspension system comprises a jet suspension system.

7. The wastewater treatment system of claim 1, wherein the separation subsystem includes a screen positioned at an outlet of the biological reactor.

8. The wastewater treatment system of claim 1, wherein the separation subsystem includes a settling zone located proximate the outlet of the biological reactor.

9. The wastewater treatment system of claim 8, wherein the settling zone comprises a first baffle and a second baffle positioned and dimensioned to define a quiescent zone in which the adsorbent material separates from mixed liquor and settles into the mixed liquor in a lower portion of the biological reactor.

10. The wastewater treatment system of claim 8, further comprising a screen positioned proximate the outlet of the biological reactor.

11. The wastewater treatment system of claim 8, further comprising a weir positioned proximate the outlet of the biological reactor.

Replacement Page

12. The wastewater treatment system of claim 1, further comprising:

an adsorbent material introduction apparatus in communication with the biological reactor;

a sensor constructed and arranged to measure a parameter of the system; and

a controller in electronic communication with the sensor programmed to instruct performance of an act based on the measured parameter of the system.

13. The wastewater treatment system of claim 12, wherein the measured parameter is the concentration of one or more predetermined compounds.

14. The wastewater treatment system of claim 12, wherein the act comprises removing at least a portion of the adsorbent material from the biological reactor.

15. The wastewater treatment system of claim 12, wherein the act comprises adding adsorbent material to the biological reactor.

16. A wastewater treatment system comprising:

a biological reactor with a wastewater inlet, a mixed liquor outlet, and a separation subsystem associated with the mixed liquor outlet;

a suspension system for adsorbent material positioned in the biological reactor;

a membrane operating system located downstream of the biological reactor having

an inlet in fluid communication with the mixed liquor outlet, and

a treated effluent outlet.

AMENDED SHEET - IPEA/US

Replacement Page

17. The wastewater treatment system of claim 16, wherein the suspension system comprises a gas lift suspension system.

18. The wastewater treatment system of claim 16, wherein the suspension system comprises a jet suspension system.

19. A process for treating wastewater comprising:

introducing mixed liquor into a biological reactor;

introducing adsorbent material into the biological reactor with the mixed liquor;

suspending the adsorbent material in the mixed liquor using a gas, under operating conditions that promote adsorption of contaminants from the mixed liquor by the adsorbent material; and

passing an effluent that is substantially free of adsorbent material from the biological reactor to a membrane operating system while maintaining adsorbent material in the biological reactor.

20. The process of claim 19, wherein liquid is circulated in the biological reactor to promote the suspension of the adsorbent material.

AMENDED SHEET - IPEA/US

ATTORNEY DOCKET NO. 210,901-PCT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE AS THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

APPLICANTS:	Saudi Arabian Oil Company and Siemens Water Technologies Corp.	
APPLN NO.:	PCT/US2010/038644	CONFIRM. NO. 2341
FILED:	June 15, 2010	
TITLE:	SUSPENDED MEDIA MEMBRANE BIOLOGICAL REACTOR SYSTEM AND PROCESS INCLUDING SUSPENSION SYSTEM	

Date: April 15, 2011

ATTACHMENT TO THE RESPONSE UNDER ARTICLE 34 TO THE WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

Mailstop PCT
Commissioner for Patents
P. O. Box 1450
Alexandria, VA 22313 -1450

Replacement claim sheets 98-101 are attached which include all of the claims in the present application.

Respectfully submitted,
Agent for Applicant

Ralph L. Crispino

ABELMAN, FRAYNE & SCHWAB
666 Third Avenue, 10th floor
New York, New York 10017-5621
Tel: (212) 949-9022
Fax: (212) 949-9190

ATTORNEY DOCKET NO. 210,901-PCT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE AS THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

APPLICANTS:	Saudi Arabian Oil Company and Siemens Water Technologies Corp.	
APPLN NO.:	PCT/US2010/038644	CONFIRM. NO. 2341
FILED:	June 15, 2010	
TITLE:	SUSPENDED MEDIA MEMBRANE BIOLOGICAL REACTOR SYSTEM AND PROCESS INCLUDING SUSPENSION SYSTEM	

Date: April 15, 2011

RESPONSE UNDER ARTICLE 34 TO THE WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY MAILED 11 August 2010

Mail Stop PCT
Commissioner for Patents
P. O. Box 1450
Alexandria, VA 22313 -1450

Sir:

In response to the Written Opinion of the International Searching Authority mailed 11 August 2010, the remarks which follow are provided prior to establishment of the International Preliminary Report on Patentability.

MARKED-UP CLAIMS

1. (Currently Amended) A wastewater treatment system ~~for treating wastewater~~ comprising:

a biological reactor comprising a separation subsystem constructed and arranged to maintain adsorbent material in the biological reactor with a mixed liquor;

a suspension system positioned in the biological reactor, the suspension system constructed and arranged to maintain adsorbent material in suspension with the mixed liquor; and

a membrane operating system located downstream of the biological reactor that is constructed and arranged to receive treated mixed liquor from the biological reactor and discharge a membrane permeate.

2. (Original) The wastewater treatment system of claim 1, wherein the suspension system comprises a gas lift suspension system.

3. (Original) The wastewater treatment system of claim 2, wherein the gas lift suspension system comprises at least one draft tube positioned in the biological reactor and a gas conduit having one or more apertures positioned and dimensioned to direct gas to an inlet end of the draft tube.

4. (Original) The wastewater treatment system of claim 2, wherein the gas lift suspension system comprises at least one draft trough positioned in the biological reactor and a gas conduit having one or more apertures positioned and dimensioned to direct gas to a lower portion of the draft trough.

5. (Original) The wastewater treatment system of claim 4, wherein the draft trough is formed by a pair of baffles positioned in the biological reactor.

6. (Original) The wastewater treatment system of claim 1, wherein the suspension system comprises a jet suspension system.

7. (Original) The wastewater treatment system of claim 1, wherein the separation subsystem includes a screen positioned at an outlet of the biological reactor.

8. (Original) The wastewater treatment system of claim 1, wherein the separation subsystem includes a settling zone located proximate the outlet of the biological reactor.

9. (Original) The wastewater treatment system of claim 8, wherein the settling zone comprises a first baffle and a second baffle positioned and dimensioned to define a quiescent zone in which the adsorbent material separates from mixed liquor and settles into the mixed liquor in a lower portion of the biological reactor.

10. (Original) The wastewater treatment system of claim 8, further comprising a screen positioned proximate the outlet of the biological reactor.

11. (Original) The wastewater treatment system of claim 8, further comprising a weir positioned proximate the outlet of the biological reactor.

12. (Currently Amended) The wastewater treatment system of claim 1, further comprising:

[a source of] an adsorbent material introduction apparatus in communication with the biological reactor;

a sensor constructed and arranged to measure a parameter of the system; and

a controller in electronic communication with the sensor programmed to instruct performance of an act based on the measured parameter of the system.

13. (Original) The wastewater treatment system of claim 12, wherein the measured parameter is the concentration of one or more predetermined compounds.

14. (Original) The wastewater treatment system of claim 12, wherein the act comprises removing at least a portion of the adsorbent material from the biological reactor.

15. (Currently Amended) The wastewater treatment system of claim 12, wherein the act comprises adding adsorbent material to the biological reactor.

16. (Currently Amended) A wastewater treatment system ~~for treating wastewater~~ comprising:

a biological reactor with a wastewater inlet, a mixed liquor outlet, and a separation subsystem associated with the mixed liquor outlet;

a suspension system for adsorbent material positioned in the biological reactor;

a membrane operating system located downstream of the biological reactor having

an inlet in fluid communication with the mixed liquor outlet, and

a treated effluent outlet.

17. (Original) The wastewater treatment system of claim 16, wherein the suspension system comprises a gas lift suspension system.

18. (Original) The wastewater treatment system of claim 16, wherein the suspension system comprises a jet suspension system.

19. (Original) A process for treating wastewater comprising:

introducing mixed liquor into a biological reactor;

introducing adsorbent material into the biological reactor with the mixed liquor;

suspending the adsorbent material in the mixed liquor using a gas, under operating conditions that promote adsorption of contaminants from the mixed liquor by the adsorbent material; and

passing an effluent that is substantially free of adsorbent material from the biological reactor to a membrane operating system while maintaining adsorbent material in the biological reactor.

20. (Original) The process of claim 19, wherein liquid is circulated in the biological reactor to promote the suspension of the adsorbent material.

REMARKS

The Written Opinion of the International Searching Authority asserted the following determinations with respect to the claims of record:

Novelty (N)	-	Claims: 1-20	-	Yes
	-	Claims: None	-	No
Inventive Step (IS)	-	Claims: None	-	Yes
	-	Claims: 1-20	-	No
Industrial	-	Claims: 1-20	-	Yes
Applicability (IA)	-	Claims: None	-	No

Amendments are presented to address minor issues with the claim language. In Claim 1, the article "the" is added in the suspension system element to clarify that the "mixed liquor" is the same as that which is referred to in the "separation subsystem" element. In Claims 12 and 15-16, claim amendments are made for clarification purposes and to correct typographical errors.

The findings of the International Searching Authority with respect to Claims 1-20 are respectfully traversed. In particular, it is respectfully submitted that all of the claims are directed to subject matter that meets the requirement of an inventive step (IS) over the art of record. The following remarks are offered in support of this conclusion.

The present invention as recited in independent Claim 1 is directed to a wastewater treatment system. The system includes a biological reactor comprising a suspension system positioned in the biological reactor that is constructed and arranged to maintain adsorbent material in suspension with a mixed liquor. The treatment system also includes a separation subsystem that is constructed and arranged ***to maintain the adsorbent material in the biological reactor*** with the mixed liquor. Further, a membrane operating system is provided downstream of the biological reactor that is constructed and arranged to receive treated mixed liquor from the biological reactor and discharge a membrane permeate.

The present invention of independent Claim 16 is directed to a wastewater treatment system that includes a biological reactor with a wastewater inlet, a mixed liquor outlet, and a separation subsystem ***associated with the mixed liquor outlet.*** A suspension system for adsorbent material is positioned in the biological reactor. Further, a membrane operating system is provided downstream of the biological reactor having an inlet in fluid communication with the mixed liquor outlet, and a treated effluent outlet.

The present invention of independent Claim 19 is directed to a process for treating wastewater. Mixed liquor and adsorbent material are introduced into a biological reactor. The adsorbent material is suspended in the mixed liquor using a gas under operating conditions that promote adsorption of contaminants from the mixed liquor by the adsorbent material. An effluent that is ***substantially free of adsorbent material*** is passed from the biological reactor to a membrane operating system ***while maintaining adsorbent material in the biological reactor.***

As set forth below, the subject matter of independent system Claim 1, its dependent Claims 2-15, independent system Claim 16, its dependent Claims 17-18, and independent process Claim 19 and its dependent Claim 20, respectively, are different from the systems and processes disclosed in U.S. Patent Publication Number 2007/0209999 to Smith et al., and U.S. Patent Publication 2008/0283469 to Pollock, and each of these claims represent an inventive step in the art.

The Written Opinion asserts that Smith et al. discloses all of the features of Claim 1, except the limitation of a suspension system positioned in the biological reactor. However, it is respectfully submitted that the Smith et al. reference does not disclose other important limitations of the system set forth in Claims 1 or 16, or the process steps of Claim 19, and does not address or attempt to solve the same problems to which the present invention is directed.

More specifically, in one embodiment, Smith et al. discloses a wastewater treatment system having a bioreactor, a biomass separator (which can be a membrane bioreactor), an inert solids separator, a powdered activated carbon regeneration unit, and a gross filter screen. Liquid is introduced into the first biological treatment tank containing one or more selected bacteria, and powdered activated carbon is initially added to the biological treatment tank. Wastewater entering the biological treatment tank contacts the powdered activated carbon and the bacterial population which digest biodegradable components in the wastewater to produce a mixed liquor.

In this embodiment, in contrast to the system of the present invention, the mixed liquor ***and powdered activated carbon*** (PAC) carrying the organics is passed directly to the biomass separator, for example, a membrane separator. A portion of the sludge containing PAC is then treated, whereby PAC is regenerated in a regeneration unit, such as a wet oxidation unit or a second bioreactor. The reactivated carbon and sludge is removed from the regeneration unit and returned to the bioreactor. (Smith et al. at paragraph nos. 55 – 61.)

Smith et al. discloses that recirculating and regenerating the adsorbent material may reduce the amount of solids to be removed from the wastewater treatment system, which may also reduce the amount of activated carbon that is removed with the solids, resulting in lower costs associated with using less activated carbon. (Smith et al. at paragraph no. 51.) In one embodiment, a portion of the combined powdered activated carbon and the activated sludge is recycled directly back to the bioreactor, and a portion of the powdered activated carbon that has been separated from the sludge in the inert solids separator is regenerated, by a wet oxidation unit or a second bioreactor. Indeed, the regeneration of the powdered activated carbon is purported to be an aspect of the novelty of the Smith, et al. disclosure and its contribution to the art.

Smith et al. generally disclose that the wastewater treatment system may comprise an inert solids separation unit or units that may comprise a fine screen. Additionally, Smith, et al. propose several potential advantages for using an adsorbent such as powdered activated in a membrane bioreactor. (Smith et al. at paragraph nos. 41-45.) However, there is ***no specific teaching or suggestion*** in Smith et al. of any structure or apparatus that ***prevents activated carbon from passing to the membrane bioreactor.***

In particular, Claim 1 includes a specific limitation whereby the biological reactor comprises "a separation subsystem constructed and arranged *to maintain adsorbent material in the biological reactor* with a mixed liquor." *Emphasis added.*

In addition, Claim 16 includes a specific element of "a separation subsystem associated with the mixed liquor outlet."

Further, Claim 19 includes a specific step of "passing an effluent that is substantially free of adsorbent material from the biological reactor to a membrane operating system while maintaining adsorbent material in the biological reactor."

It is admitted in the Written Opinion that Smith et al. does not disclose the limitation in Claims 1 or 16 of "a suspension system positioned in the biological reactor," or the step in Claim 19 of "suspending the adsorbent material in the mixed liquor using a gas." In an attempt to set forth a teaching of this limitation, Pollack is cited, and sections describing gas lift to circulate liquor only are noted in the Written Opinion. However, it is respectfully submitted that there is no teaching at all of adsorbent material of any type in Pollack, and it follows that there can be no teaching or suggestion of the suspension system that is "constructed and arranged to maintain adsorbent material in suspension with mixed liquor" as in Claim 1, "a suspension system for adsorbent material" as in Claim 16, or "suspending the adsorbent material in the mixed liquor" as in Claim 19.

Even if such a combination were considered proper (which Applicant does not in any way concede), the combination would still lack the suspension system positioned in the biological reactor and the step of suspending the adsorbent material in the mixed liquor using a gas, as presently claimed.

Accordingly, it is respectfully submitted that the cited references, alone or in combination, do not support the adverse finding based upon lack of inventive step and the rejection of claims 1-20 should be withdrawn.

DEMAND FOR PRELIMINARY EXAMINATION FILED

A Demand for Preliminary Examination, together with the requisite fee for entry of this application under Article 34, are being submitted with this Response. Early examination and issuance of a favorable International Preliminary Examination Report are respectfully requested.

Respectfully submitted,
Agent for Applicant

Ralph J. Crispino

ABELMAN, FRAYNE & SCHWAB
666 Third Avenue, 10th floor
New York, New York 10017-5621
Tel: (212) 949-9022
Fax: (212) 949-9190

REIVINDICACIONES

Habiéndose descrito la invención como antecede, se reclama como propiedad lo contenido en las siguientes.

1. Un sistema de tratamiento de aguas residuales, caracterizado porque comprende:

un reactor biológico que comprende un subsistema de separación construido y configurado para mantener el material adsorbente en el reactor biológico con un licor mezclado;

un sistema de suspensión posicionado en el reactor biológico, el sistema de suspensión construido y configurado para mantener el material adsorbente en suspensión con el licor mezclado; y

un sistema de operación de membrana localizado corriente abajo del reactor biológico que se construye y se configura para recibir el licor mezclado tratado del reactor biológico y la descarga un permeado de membrana.

2. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque el sistema de suspensión comprende un sistema de suspensión de elevación de gas.

3. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 2, caracterizado porque el sistema de suspensión de elevación de gas comprende por lo menos un tubo de aspiración posicionado en el reactor biológico y un conducto de gas que tiene una o más aberturas posicionadas y dimensionadas para dirigir el gas a un extremo de entrada del tubo de aspiración.

4. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 2, caracterizado porque el sistema de suspensión de elevación de gas comprende por lo

menos un canal de aspiración posicionado en el reactor biológico y un conducto de gas que tiene una o más aberturas posicionadas y dimensionadas para dirigir el gas a una porción más baja del canal de aspiración.

5. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 4, caracterizado porque el canal de aspiración se forma por un par de deflectores posicionados en el reactor biológico.

6. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque el sistema de suspensión comprende un sistema de suspensión a chorro.

7. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque el subsistema de separación incluye una criba posicionada en una salida del reactor biológico.

8. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque el subsistema de separación incluye una zona de asentamiento localizada próxima a la salida del reactor biológico.

9. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 8, caracterizado porque la zona de asentamiento comprende un primer deflector y un segundo deflector posicionados y dimensionados para definir una zona inactiva en la cual el material adsorbente se separa del licor mezclado y se asienta en el licor mezclado en una porción más baja del reactor biológico.

10. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 8, caracterizado porque además comprende una criba posicionada próxima a la salida del reactor biológico.

11. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 8, caracterizado porque además comprende un vertedero posicionado próximo a la salida del reactor biológico.

12. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque además comprende

Un aparato de introducción de material adsorbente en comunicación con el reactor biológico;

un sensor construido y configurado para medir el parámetro del sistema; y

un controlador en comunicación electrónica con el sensor programado para instruir el desempeño de un acto con base en el parámetro medido del sistema.

13. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 12, caracterizado porque el parámetro medido es la concentración de uno o más compuestos predeterminados.

14. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 12, caracterizado porque comprende remover al menos una porción del material adsorbente del reactor biológico.

15. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 12, caracterizado porque el acto comprende agregar material adsorbente al reactor biológico.

16. Un sistema de tratamiento de aguas residuales, caracterizado porque comprende:

un reactor biológico con una entrada de aguas residuales, una salida de licor mezclado, y un subsistema se de separación asociado con la salida del licor mezclado;

un sistema de suspensión para material adsorbente posicionado en el reactor biológico;

un sistema de operación de membrana localizado corriente abajo del reactor biológico que tiene una entrada en comunicación fluida con la salida del licor mezclado y

una salida de efluente tratado.

17. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 16, caracterizado porque el sistema de suspensión comprende un sistema de suspensión de elevación de gas.

18. El sistema de tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 16, caracterizado porque el sistema de suspensión comprende un sistema de suspensión a chorro.

19. Un proceso para tratar aguas residuales, caracterizado porque comprende:

introducir el licor mezclado en un reactor biológico;

introducir el material adsorbente en el reactor biológico con el licor mezclado;

suspender el material adsorbente en el licor mezclado usando un gas, bajo condiciones de operación que promueven la adsorción de contaminantes del licor mezclado por el material adsorbente; y

hacer pasar un efluente que está sustancialmente libre del material adsorbente del reactor biológico a un sistema de operación de membrana mientras que mantiene el material adsorbente en el reactor biológico.

20. El proceso de conformidad con la reivindicación 19, caracterizado porque el líquido se hace circular en el reactor biológico para promover la suspensión

del material adsorbente.

PATENT COOPERATION TREATY PCT/US2010/038644

From the INTERNATIONAL BUREAU

PCT

NOTIFICATION OF THE RECORDING OF A CHANGE

(PCT Rule 92*bis*.1 and Administrative Instructions, Section 422)

To:

CRISPINO, Ralph, J.
Abelman, Frayne & Schwab
666 Third Avenue
New York, NY 10017-5621
ETATS-UNIS D'AMERIQUE

Date of mailing *(day/month/year)*
10 November 2011 (10.11.2011)

Applicant's or agent's file reference
210,901-PCT

IMPORTANT NOTIFICATION

International application No.
PCT/US2010/038644

International filing date *(day/month/year)*
15 June 2010 (15.06.2010)

1. The following indications appeared on record concerning:

☒ the applicant ☐ the inventor ☐ the agent ☐ the common representative

Name and Address
SIEMENS WATER TECHNOLOGIES CORP.
181 Thorn Hill Road
Warrendale, PA 15086
United States of America

State of Nationality: US
State of Residence: US
Telephone No.:
Facsimile No.:
E-mail address:

2. The International Bureau hereby notifies the applicant that the following change has been recorded concerning:

☒ the person ☐ the name ☐ the address ☐ the nationality ☐ the residence

Name and Address
SIEMENS INDUSTRY, INC.
3333 Old Milton Parkway
Alpharetta, Georgia 30005
United States of America

State of Nationality: US
State of Residence: US
Telephone No.:
Facsimile No.:
E-mail address:
☐ Notifications by e-mail authorized

3. Further observations, if necessary:
Applicant in Box. 1. merged into Siemens Water Technologies Holding Corp. which then merged into Siemens Industry, Inc.

4. A copy of this notification has been sent to:

☒ the receiving Office
☐ the International Searching Authority
☐ the Authority(ies) specified for supplementary search
☒ the International Preliminary Examining Authority
☐ the designated Offices concerned
☒ the elected Offices concerned
☐ other:

The International Bureau of WIPO
34, chemin des Colombettes
1211 Geneva 20, Switzerland

Facsimile No. +41 22 338 71 30

Authorized officer
Fahy Laurence
e-mail pt09.pct@wipo.int
Telephone No. +41 22 338 74 04

CLAIMS

What is claimed is:

1. A wastewater treatment system comprising:

a biological reactor comprising a separation subsystem constructed and arranged to maintain adsorbent material in the biological reactor with a mixed liquor;

a suspension system positioned in the biological reactor, the suspension system constructed and arranged to maintain adsorbent material in suspension with the mixed liquor; and

a membrane operating system located downstream of the biological reactor that is constructed and arranged to receive treated mixed liquor from the biological reactor and discharge a membrane permeate.

2. The wastewater treatment system of claim 1, wherein the suspension system comprises a gas lift suspension system.

3. The wastewater treatment system of claim 2, wherein the gas lift suspension system comprises at least one draft tube positioned in the biological reactor and a gas conduit having one or more apertures positioned and dimensioned to direct gas to an inlet end of the draft tube.

4. The wastewater treatment system of claim 2, wherein the gas lift suspension system comprises at least one draft trough positioned in the biological reactor and a gas conduit having one or more apertures positioned and dimensioned to direct gas to a lower portion of the draft trough.

5. The wastewater treatment system of claim 4, wherein the draft trough is formed by a pair of baffles positioned in the biological reactor.

6. The wastewater treatment system of claim 1, wherein the suspension system comprises a jet suspension system.

7. The wastewater treatment system of claim 1, wherein the separation subsystem includes a screen positioned at an outlet of the biological reactor.

8. The wastewater treatment system of claim 1, wherein the separation subsystem includes a settling zone located proximate the outlet of the biological reactor.

9. The wastewater treatment system of claim 8, wherein the settling zone comprises a first baffle and a second baffle positioned and dimensioned to define a quiescent zone in which the adsorbent material separates from mixed liquor and settles into the mixed liquor in a lower portion of the biological reactor.

10. The wastewater treatment system of claim 8, further comprising a screen positioned proximate the outlet of the biological reactor.

11. The wastewater treatment system of claim 8, further comprising a weir positioned proximate the outlet of the biological reactor.

12. The wastewater treatment system of claim 1, further comprising:

an adsorbent material introduction apparatus in communication with the biological reactor;

a sensor constructed and arranged to measure a parameter of the system; and

a controller in electronic communication with the sensor programmed to instruct performance of an act based on the measured parameter of the system.

13. The wastewater treatment system of claim 12, wherein the measured parameter is the concentration of one or more predetermined compounds.

14. The wastewater treatment system of claim 12, wherein the act comprises removing at least a portion of the adsorbent material from the biological reactor.

15. The wastewater treatment system of claim 12, wherein the act comprises adding adsorbent material to the biological reactor.

16. A wastewater treatment system comprising:

a biological reactor with a wastewater inlet, a mixed liquor outlet, and a separation subsystem associated with the mixed liquor outlet;

a suspension system for adsorbent material positioned in the biological reactor;

a membrane operating system located downstream of the biological reactor having

an inlet in fluid communication with the mixed liquor outlet, and

a treated effluent outlet.

17. The wastewater treatment system of claim 16, wherein the suspension system comprises a gas lift suspension system.

18. The wastewater treatment system of claim 16, wherein the suspension system comprises a jet suspension system.

19. A process for treating wastewater comprising:

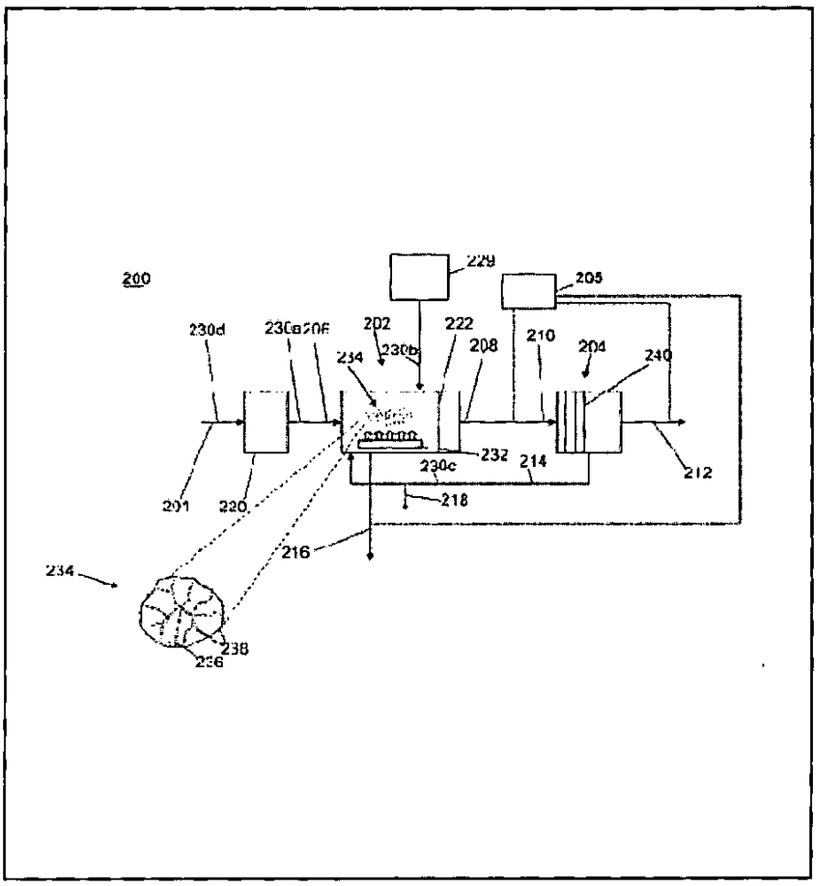
introducing mixed liquor into a biological reactor;

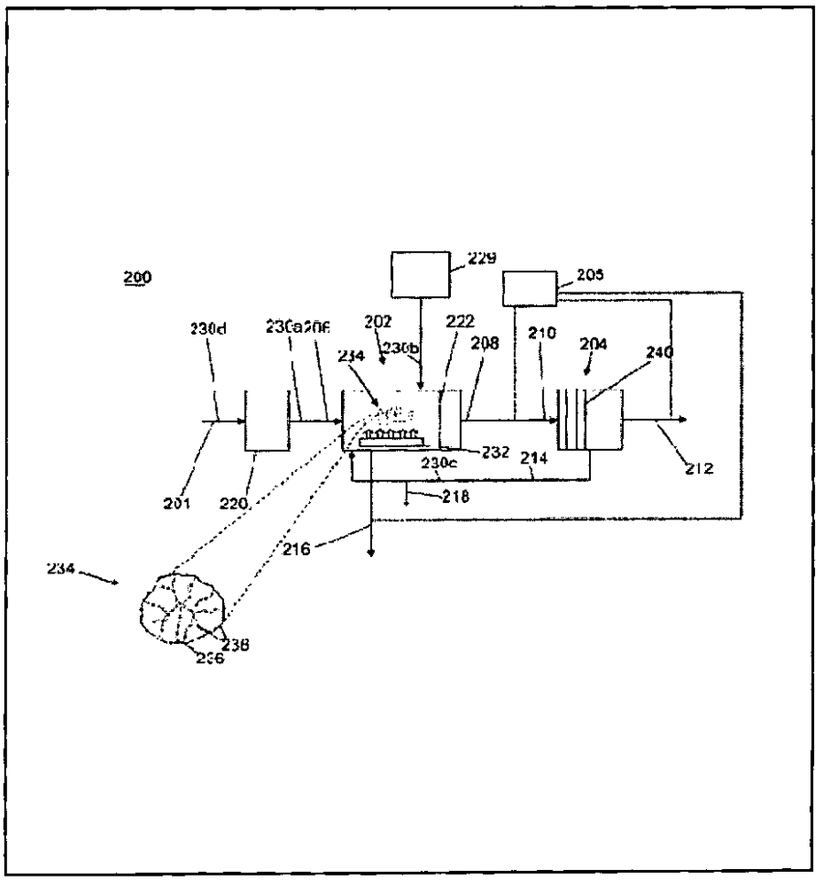
introducing adsorbent material into the biological reactor with the mixed liquor;

suspending the adsorbent material in the mixed liquor using a gas, under operating conditions that promote adsorption of contaminants from the mixed liquor by the adsorbent material; and

passing an effluent that is substantially free of adsorbent material from the biological reactor to a membrane operating system while maintaining adsorbent material in the biological reactor.

20. The process of claim 19, wherein liquid is circulated in the biological reactor to promote the suspension of the adsorbent material.


200
229
205
230d
230a
206
202
222
230b
208
210
204
240
234
232
230c
214
212
201
220
218
216
234
238
236


200
229
205
230d
230a
206
202
222
230b
208
210
204
240
234
232
230c
214
212
201
220
218
216
234
238
236

Industria y Comercio
SUPERINTENDENCIA

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

No. 12-003563- -00000-0000

Fecha: 2012-01-11 15:32:25 Dep. 2020 DIR.NUEVASCR
Tra. 11 PATENTEIYII Eve: 379 FASENACIONALII
Act. 411 PRESENTACION Folios: 329

PATENTE DE INVENCIÓN ☐ MODELO DE U

- ☐ Indicación que se solicita una patente.
- ☐ Datos de identificación del solicitante o de la persona que presenta la solicitud
- ☐ Descripción de la invención
- ☐ Dibujos de ser estos pertinentes
- ☐ Comprobante de pago de las tasas establecidas (De ser el caso formato de descuento)

Completa ☐ Incompleta ☐

PATENTE DE INVENCIÓN PCT ☐ MODELO DE UTILIDAD PCT ☐ Art.33 Decisión 486/00, Circular Única

- ☐ Indicación que se solicita una PCT
- ☐ Copia de la solicitud en español, tal como fue presentada inicialmente (capítulo descriptivo, reivindicatorio, resumen)
- ☐ Dibujos de ser estos pertinentes
- ☐ Comprobante de pago de las tasas establecidas (de ser el caso formato de descuento)

Completa ☐ Incompleta ☐

DISEÑO INDUSTRIAL ☐ (Art. 119 Decisión 486/00)

- ☐ Indicación que se solicita Diseño industrial
- ☐ Datos de identificación del solicitante o de la persona que presenta la solicitud
- ☐ Representación gráfica y fotográfica del Diseño industrial o muestra del material que incorpora el diseño
- ☐ Comprobante de pago de las tasas establecidas

Completa ☐ Incompleta ☐

ESQUEMA DE TRAZADO ☐ (Art. 92 Decisión 486/00)

- ☐ Indicación que se solicita un esquema de trazado
- ☐ Datos de identificación del solicitante o de la persona que presenta la solicitud
- ☐ Representación gráfica de un esquema de trazado
- ☐ Comprobante de pago de las tasas establecidas

Completa ☐ Incompleta ☐