

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 434 254**

51 Int. Cl.:

**C02F 3/32** (2006.01)

**C02F 3/08** (2006.01)

**C05F 17/00** (2006.01)

**C02F 101/16** (2006.01)

**C02F 101/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.03.2010 E 10003279 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.10.2013 EP 2236466**

54 Título: **Instalación para tratamiento biológico de aguas residuales**

30 Prioridad:

**31.03.2009 US 415301**

**31.03.2009 WO PCT/US2009/038944**

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

**16.12.2013**

73 Titular/es:

**ALGAEWHEEL TECHNOLOGIES, LLC (100.0%)**

**9333 N. MERIDIAN STREET, SUITE 108**

**INDIANAPOLIS IN 46260, US**

72 Inventor/es:

**LIMCACO, CHRISTOPHER A.**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 434 254 T3**

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

## DESCRIPCIÓN

Instalación para tratamiento biológico de aguas residuales

5 **Antecedentes**

La presente invención proporciona un aparato y proceso multifuncionales para tratamiento biológico de aguas residuales. La presente invención satisface múltiples necesidades medioambientales críticas, incluyendo tratamiento energéticamente eficiente de aguas residuales, la reducción de gases de efecto invernadero (GEIs) producidos por procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales, captura de CO<sub>2</sub> procedente de generadores de CO<sub>2</sub>, y producción de biomasa para energía renovable, fertilizante, aditivo para piensos, bioplásticos, cosméticos, productos farmacéuticos, tejidos, biocombustibles, y otros usos.

La Solicitud publicada US2008/0135474 describe un sistema y proceso de tratamiento de aguas residuales para tratar biológicamente aguas residuales para producir subproductos y efluente de agua sustancialmente limpia. El sistema de tratamiento incluye una serie de ruedas de medio rotativas para el crecimiento sostenido de algas. Las ruedas de medio son soportadas de modo que las algas giren entrando y saliendo de las aguas residuales para exposición a la luz solar. Un subproducto son algas sacadas de las ruedas de medio rotativas, que se pueden suministrar a otras instalaciones de procesamiento para producir combustible biodiesel. El CO<sub>2</sub> residual también puede ser suministrado a la instalación para un mejor crecimiento de las algas. Se suministran bacterias para formar una relación simbiótica con las algas, alimentada por la luz solar para quitar efectivamente materiales tóxicos de las aguas residuales. La rotación de las ruedas de medio puede ser realizada por chorros de aire que también sirven para quitar las algas excedentes como un subproducto del sistema y proceso.

El tratamiento de aguas residuales ha crecido de forma significativa desde sus orígenes para el tratamiento de aguas residuales urbanas. La normativa relativa a la protección del medio ambiente exige el tratamiento de efluente procedente de generadores de aguas residuales antes del drenaje a una vía de agua ordinaria. Ahora existen procesos de tratamiento para cumplir estas normas, pero los métodos crean cantidades significativas de CHGs, y son complejos, caros y utilizan mucha energía. Los procesos de tratamiento basados en bacterias se desarrollaron cuando los costos de la energía eran bajos y no había preocupación por el cambio climático. Obviamente, ése no es el caso hoy día. Dos problemas principales de las tecnologías actuales para el tratamiento de aguas residuales son su gran consumo de energía y gran huella de carbono. Según EPA de Estados Unidos, las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs) suponen el 3% de toda la demanda eléctrica de Estados Unidos y generan 3,4% de todas las emisiones de GEI en Estados Unidos.

Los dos procesos más ampliamente usados para el tratamiento de aguas residuales son los sistemas de lodo activado y biopelícula. Hay más de 16.000 PTARs en funcionamiento en Estados Unidos. De éstas, 6.800 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales activadas por lodo que requieren 1,3-2,5 MWh por 3,8 millones de litros (millones de galones/MG) tratados. Hay más de 2.500 sistemas de biopelícula municipales en Estados Unidos que requieren 0,8-1,8 MWh por MG. Además de los sistemas de lodo activado y biopelícula, hay más de 5.100 sistemas de tratamiento de aguas residuales del tipo de balsa en Estados Unidos. La energía que necesitan los sistemas de balsa es típicamente inferior a 0,4-1,4 MWh por MG, pero estos tipos de sistemas no son capaces de cumplir los actuales requisitos legales relativos a la descarga directa. Los sistemas de balsa también requieren grandes cantidades de terreno y tienen grandes huellas de carbono porque generan metano a partir de la digestión anaeróbica en el fondo de las balsas. Por esta razón, algunas agencias reguladoras ya no permiten estos tipos de sistemas. Las agencias reguladoras pronto requerirán también la extracción de nitrógeno y fósforo en la mayoría de las PTARs municipales. La extracción de nitrógeno y fósforo es muy difícil de lograr con un sistema de activado lodo o biopelícula y aumentará de forma significativa el costo de capital de las PTARs además de aumentar su consumo de energía y emisiones de GEI.

El tratamiento convencional de aguas residuales implica tres etapas de proceso, llamadas tratamiento primario, secundario y terciario, seguidas de procesamiento de lodo. En la etapa primaria, se separa papel, plástico y objetos sólidos grandes de la corriente de aguas residuales mediante tamices bastos o finos que se limpian mecánica o manualmente. Se quitan sólidos adicionales, grasa y heces utilizando clarificadores primarios o filtros mecánicos diseñados para sustituir a los clarificadores primarios.

En la etapa secundaria convencional, se digiere material orgánico usando bacterias indígenas, que viven en el agua y predominantemente no fototrópicas. Los sistemas de tratamiento secundario se clasifican en general como crecimiento de biopelícula o suspendido. Los procesos de tratamiento de biopelícula incluyen biofiltros y contactores biológicos rotativos (CBRs) donde la biomasa crece en el medio y las aguas residuales pasan por encima de su superficie. Los sistemas de biopelícula no son capaces de hacer crecer eficientemente algas o bacterias fototrópicas a causa de problemas mecánicos y la obstrucción. Los CBRs se suelen cubrir para evitar la exposición a la luz solar con biofiltros que son de geometría generalmente vertical con un área superficial muy pequeña expuesta a la luz solar. En los sistemas de crecimiento suspendido –tales como los biorreactores de lodo activado y membrana (MBRs)- la biomasa se mezcla bien con las aguas residuales y pueden operar en un espacio más pequeño que los sistemas de biopelícula que tratan la misma cantidad de agua. Sin embargo, de forma análoga a los sistemas de

biopelícula, los sistemas de crecimiento en suspensión no son capaces de hacer crecer algas o bacterias fototróficas debido a la alta concentración de bacterias que mantiene el sistema, denominada típicamente concentración de sólidos en suspensión en licor mixto (SSLM).

5 En una PTAR convencional, se convierte amoníaco a nitratos a través de otro proceso a base de bacterias llamado nitrificación. Este proceso se puede realizar en un proceso de “nitrificación de etapa separada” o combinar con el proceso de tratamiento secundario. El agua tratada es desinfectada finalmente usando cloración o desinfección por UV antes de la descarga a una masa de agua.

10 El lodo generado a partir de los procesos de aguas residuales se acumula en depósitos de procesado de lodo donde se descompone o es digerido por procesos aeróbicos o anaeróbicos. Después de la digestión anaeróbica, el lodo es deshidratado, secado, y transportado a un vertedero o aplicado a la tierra. El manejo del lodo en las PTARs convencionales es de un uso de energía sumamente intensivo, requiere sustancias químicas para la deshidratación y estabilización del lodo, y usa combustibles fósiles para procesar y transportar el lodo para desecho final. El lodo, independientemente de si se lleva a un vertedero o se aplica a la tierra, es convertido por bacterias en gases de efecto invernadero. El lodo que se aplica a la tierra también crea peligros para la salud pública a causa de la contaminación fecal y farmacéutica de las cosechas de alimentos. Varios estados y naciones están en vías de prohibir también la práctica de echar a la tierra heces humanas.

20 Una segunda necesidad medioambiental crítica es la reducción de la huella de carbono asociada con los procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales y la captura de CO<sub>2</sub> procedente de generadores de CO<sub>2</sub>. Todos los procesos de tratamiento biológico convencional de aguas residuales y de digestión anaeróbica de lodos convierten los componentes orgánicos e inorgánicos de las aguas residuales en gases de efecto invernadero. Las PTARs convencionales simplemente convierten una forma de contaminación en otra: de sólido a gas. El proceso convencional de tratamiento secundario crea gas CO<sub>2</sub> a partir de la respiración bacteriana. La etapa terciaria del proceso convencional crea óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) a partir del proceso de nitrificación, un GEI que es 310 veces más potente que el CO<sub>2</sub> (protocolo de Kyoto). Los procesos de digestión de lodo crean metano (CH<sub>4</sub>), un GEI que es 21 veces más potente que el CO<sub>2</sub> (protocolo de Kyoto).

30 Las ideas actuales relativas a secuestro de carbono incluyen bombear dióxido de carbono bajo tierra y la captura en sistemas de algas. El problema principal de bombear CO<sub>2</sub> bajo tierra es que la energía requerida hacen que este acercamiento sea de implementación inviable. Otro problema es el riesgo de que los gases escapen a la superficie. Se han documentado casos donde los gases CO<sub>2</sub> naturales escapados de debajo de tierra a la superficie de la tierra matan a todos los humanos y animales de la zona circundante. Bombear CO<sub>2</sub> bajo tierra es la equivalente a verter nuestros residuos al océano. No tenemos idea de las futuras consecuencias que producirán tales acciones.

35 El secuestro de carbono mediante sistemas basados en algas también es inviable. Las tasas más eficientes de producción de algas a partir de varias tecnologías de producción de algas actualmente comprobadas son del rango de 50-100 toneladas secas de algas por 0,4 ha (acre) por año. Es conocido que las algas son aproximadamente 50% de carbono y usan aproximadamente 0,86 kg (1,9 lbs) de CO<sub>2</sub> por cada 0,45 kg (1,0 lb) de algas producido. También se conoce que 0,45 kg (1,0 lb) de carbón crea típicamente aproximadamente 1,22 kg (2,7 lbs) de CO<sub>2</sub>. Por lo tanto, se puede calcular que se necesita 0,64 kg (1,42 lbs) de algas para secuestrar el CO<sub>2</sub> generado a partir de la combustión de 0,45 kg (1,0 lb) de carbón. Usando la tasa de producción de algas más alta indicada anteriormente, también se puede calcular que un sistema de producción de algas de 0,4 ha (1,0 acre) podría secuestrar el CO<sub>2</sub> generado a partir de 70,4 toneladas de carbón por año. Según la Administración de Información sobre la Energía de Estados Unidos, Estados Unidos consume actualmente 1.129 millones de toneladas de carbón por año. Para secuestrar el CO<sub>2</sub> generado a partir de este carbón, se requerirían 1.603 millones de toneladas de algas, lo que se traduce a 6,5 millones de hectáreas (16 millones de acres) o 65000 kilómetros cuadrados (25.000 millas cuadradas) de tierra, o aproximadamente todo el estado de Virginia.

50 Otra necesidad medioambiental crítica es proporcionar un sistema de producción de biomasa rentable y efectivo. La biomasa producida a partir del sistema puede ser usada como una materia prima para la producción de energía renovable, fertilizante y otros productos útiles. La necesidad de una fuente de energía renovable resulta especialmente aguda y es materia de un amplio consenso. Por ejemplo, es sabido que la energía a base de combustibles fósiles (gas y petróleo) es finita. Aunque el debate gira en torno a cuan “finita” es exactamente, muchas evidencias sugieren que en todo el mundo la producción de petróleo alcanzará un máximo en torno a 2010, y que el suministro de petróleo terminará ya en 2035, pero no después de 2060. No obstante, no cabe duda de que los combustibles fósiles se agotarán.

60 La toma de conciencia de la vida limitada de los combustibles fósiles ha espoleado la investigación y el desarrollo significativos de fuentes de energías renovables. Gran parte de la investigación se ha centrado en fuentes de energías alternativas, tales como la solar, la eólica y la biomasa. Sin embargo, estas fuentes de energías alternativas no pueden producir electricidad de forma rentable y fiable y no parecen tener la capacidad a corto plazo de satisfacer la necesidad de combustibles del tipo de petróleo, es decir, combustibles gasolina y diesel. La investigación en la década de los años 1980 se ha centrado en desarrollar gasolina y combustibles diesel a base de recursos renovables, tal como etanol a base de maíz y biodiesel. La mayoría de los biodieseles se basan en

cosechas de alimentos, tales como soja, que requieren una cantidad significativa de energía para su cultivo y recolección. Además, las cosechas de alimentos deben estar dedicadas a la producción de biocombustibles.

5 La investigación realizada entre 1980-1996 por el Departamento de Energía de Estados Unidos considera las algas como una fuente de biocombustibles. Se puede producir biocombustibles a partir de algas por digestión anaeróbica para combustibles de metano o hidrógeno, extracción de lípidos para biodiesel, y destilación para etanol. Además de sus beneficios como precursor de los biocombustibles, se han desarrollado algas para otros usos, tales como un fertilizante orgánico que podría ser usado como una sustitución de los fertilizantes producidos a partir de gas natural.

10 El biodiesel ha sido investigado por el Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos como parte de su "Programa de Especies Acuáticas" que comenzó en 1978. La financiación de este programa quedó eliminada en 1995, pero la creciente preocupación por los combustibles fósiles no renovables ha hecho que el DOE volviese a abrir el programa debido al creciente interés por esta fuente de biocombustibles aparentemente infinita y renovable. El acercamiento del DOE ha sido crear balsas de algas o "raceways" cerca de las factorías que generan CO<sub>2</sub> residual. Se inyecta CO<sub>2</sub> residual y otros nutrientes al agua que circula por una balsa en forma de pista de carreras. Las algas que crecen en el agua se alimentan de CO<sub>2</sub>. Las algas son sacadas eventualmente de la balsa para procesado adicional como biocombustible. Así, la atención del DOE se ha centrado en crear artificialmente un entorno de crecimiento de algas reciclando CO<sub>2</sub> residual de una factoría o una central eléctrica de carbón. Naturalmente, una limitación significativa de esta tecnología es que está vinculada a una fuente de CO<sub>2</sub> residual. Otro detrimento es que esta tecnología propuesta requiere una balsa-raceway grande, y en último término una gran cantidad de terreno dedicado a soportar algas suficientes para captar el CO<sub>2</sub> residual y producir una cantidad significativa de algas para la producción de biocombustible. Dado que las algas requieren la exposición a la luz solar para crecer, las balsas deben ser poco profundas, lo que significa que el área superficial de la balsa debe ser muy grande para soportar las colonias de algas. El gran tamaño de la balsa también significa que la "estación" útil es limitada en algunos puntos y climas debido a la congelación de la balsa.

Actualmente no hay en el mundo sistemas de producción de algas que puedan sustituir al sistema convencional de aireación extendida y lograr el mismo nivel de tratamiento. Se han propuesto algunos sistemas de producción de algas en efluente de PTAR, pero eso aporta poco beneficio al propietario de la planta de tratamiento porque las aguas residuales ya han sido limpiadas. De hecho, crea una responsabilidad y riesgo importantes al propietario a causa de la posible recontaminación con sólidos de algas de ciertos tipos de sistemas de producción de algas. Se ha usado balsas de algas de alta tasa para el tratamiento de aguas residuales, pero los sistemas de balsa no son capaces de cumplir los actuales requisitos legales relativos a la descarga y requieren extensiones muy grandes de terreno en comparación con las PTARs mecánicas. Una razón por la que los sistemas actuales de producción de algas no pueden ser usados para tratar aguas residuales se debe al hecho de que las algas no pueden usar carbono orgánico como fuente de carbono. El carbono presente en las aguas residuales, cuando entra a la PTAR, tiene forma de carbono orgánico que es esencialmente inútil para las algas en ese punto. El carbono orgánico debe ser convertido primero a CO<sub>2</sub> mediante bacterias a través de respiración. Los actuales sistemas de producción de algas carecen de un componente de biomedio para proporcionar el medio de crecimiento que precisan las bacterias para que tenga lugar dicha conversión.

Otro problema relativo al crecimiento de algas en cualquier tipo de balsa es que solamente en el 1/4 de pulgada superior, más o menos, del agua reciben las algas suficiente radiación solar. Así, la capacidad de la balsa de hacer crecer algas queda limitada por su área superficial, no por su volumen.

Las algas producen oxígeno necesario para el crecimiento bacteriano aeróbico y las bacterias producen CO<sub>2</sub> necesario para el crecimiento de las algas. La única entrada externa para alimentar esta relación simbiótica es la luz solar. Esta estrategia se implementa primero satisfactoriamente en lagunas abiertas e instalaciones de tratamiento en humedales. Estos sistemas tenían obvias limitaciones, tales como el espacio de terreno, la geografía y la topografía, la claridad del agua, etc. Además, los sistemas de laguna eran propensos al florecimiento de algas que rebasarían y obstruirían los sistemas. Estas limitaciones condujeron al desarrollo del raceway de algas en la década de 1970. El raceway de algas es esencialmente una corriente en la que agua rica en nutrientes puede circular mientras está expuesta a la luz solar. La biomasa de algas resultante es recogida por medios mecánicos. Un detrimento significativo del raceway de algas es que requiere una gran área superficial para la adecuada exposición a la luz solar. Además, el raceway requiere un nivel poco profundo del agua para funcionar, lo que limita inherentemente el volumen y el flujo de aguas residuales que pueden ser tratadas por una instalación de raceway concreta. Otro problema de los sistemas de balsas y raceway es la predación por parte de animales e insectos. Las larvas de algunos insectos se alimentan de las algas y pueden consumir toda la cosecha de algas casi de la noche a la mañana.

También se han desarrollado biorreactores de bucle cerrado para la producción de algas. Los biorreactores de bucle cerrado son típicamente tubos de plástico transparente, bolsas de plástico, hojas de plástico, resinas, vidrio o cualquier material que permita que la luz penetre. La ventaja propuesta de los biorreactores de bucle cerrado es que el sistema permite más control sobre las algas y las condiciones de crecimiento porque no está abierto al entorno. Una de las desventajas de los biorreactores cerrados es que, a medida que aumentan las algas en el depósito, disminuye la distribución uniforme de luz debido a que la luz es absorbida por las algas. La capa exterior de algas en

el reactor obtiene demasiada luz y la capa interior de algas no tienen luz suficiente. Las algas también producen compuestos orgánicos que recubren el biorreactor cerrado y reducen lentamente la capacidad de penetración de la luz en el biorreactor. El material del biorreactor tiene que ser limpiado o sustituido, lo que incrementa los costos de funcionamiento y sustitución.

Los biorreactores cerrados actualmente propuestos no pueden ser usados con los ventiladores aspirantes típicos que hay en las plantas de carbón debido a que la profundidad del agua de los reactores crea una presión demasiado alta para que los ventiladores aspirantes bombeen en su contra. Otro problema de los biorreactores de bucle cerrado es la acumulación de gas. Dado que los reactores están completamente cerrados y se comprime CO<sub>2</sub> en el depósito de cultivo, las concentraciones de gas pueden alcanzar niveles que son tóxicos para las algas y perjudiciales para el equipo. Otro problema de los biorreactores de bucle cerrado es la cantidad de energía requerida para mover el agua a través del sistema, especialmente los sistemas verticales de crecimiento de algas. La cantidad de energía requerida para bombear el agua a través del sistema excede de la energía obtenida por las algas producidas. Éste es esencialmente el mismo problema que tienen las plantas de etanol por consumir más energía que la que producen. La acumulación de calor es otro problema de los biorreactores de bucle cerrado. En último término, los biorreactores de bucle cerrado son malos sustitutos para procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales.

La presente invención resuelve estos retos del tratamiento de aguas residuales, la reducción de emisiones de GEI, y la producción de algas y biomasa.

### Resumen de la invención

Un objetivo primario de la invención es proporcionar una instalación multifuncional que puede servir para tratar aguas residuales, reducir los gases de efecto invernadero procedentes del tratamiento de aguas residuales, capturar CO<sub>2</sub> para generadores de CO<sub>2</sub>, y producir una biomasa valiosa para la producción de energía y otros usos. Una sola instalación genera flujos de ingresos procedentes del tratamiento de aguas residuales, créditos de carbono, y ventas de biomasa/biocombustibles. Esta invención proporciona una ventaja significativa sobre otros sistemas de energías renovables tales como los sistemas eólicos, solares y otros sistemas de biomasa porque la biomasa/energía producida por el sistema es un subproducto del proceso de tratamiento de aguas residuales.

Como un sistema de tratamiento de aguas residuales, un objetivo de la invención es proporcionar un cambio paradigmático en la forma en que se ve el tratamiento de aguas residuales. La idea corriente en el tratamiento de aguas residuales es “usar energía para tratar aguas residuales”. Esta invención proporciona los medios para “usar aguas residuales para crear energía”. Según una característica de la invención, el sistema de tratamiento de aguas residuales se centra en torno a la producción de biomasa de algas usando una variedad de fuentes de nutrientes acuosos incluyendo, aunque sin limitación, fuentes de aguas residuales agrícolas, industriales, municipales y otras. Los subproductos biosólidos de algas se suministran entonces como entrada para generar biocombustibles, fertilizante, y aditivos para piensos animales.

Los sistemas corrientes de tratamiento de aguas residuales usan bacterias para tratar aguas residuales. Las bacterias requieren grandes cantidades de oxígeno para respirar, digerir y descomponer los compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en las aguas residuales. Toda la energía usada para realizar este proceso es suministrada por impulsores de aire movidos por electricidad, bombas de agua, y/o aireadores mecánicos. La presente invención usa algas para proporcionar la mayor parte del oxígeno requerido para el tratamiento a través de fotosíntesis que reduce de forma significativa la energía externa requerida para realizar el tratamiento.

Otro objetivo es usar las bacterias para consumir y digerir los sólidos presentes en las aguas residuales, lo que se denomina típicamente destrucción de sólidos volátiles. Dado que los sólidos son una forma de energía, y los sistemas anteriores usan energía para destruir los sólidos, estos sistemas anteriores esencialmente “usan energía para destruir energía”. La Fundación para la Investigación del Entorno Acuático (WERF) ha indicado que las aguas residuales contienen 10 veces más energía que la que se consume en su tratamiento. Esta invención no solamente preserva la viabilidad energética de las aguas residuales, sino que crea energía adicional mediante la producción de biomasa utilizando energía solar mediante fotosíntesis por algas y bacterias fototrópicas.

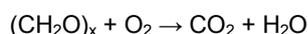
La cantidad de biomasa (lodo) generada a partir de los procesos convencionales de tratamiento biológico de aguas residuales es una función directa de los componentes orgánicos que entran a la planta dado que las bacterias usadas en estos procesos son no fotosintéticas y solamente usan carbono orgánico. Una PTAR convencional es incapaz de producir más biomasa que la que puede ser producida a partir de este material orgánico. Los procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales usan energía de forma tan intensiva que el lodo generado no es capaz de crear la energía necesaria para el funcionamiento de la planta, de modo que actualmente es imposible lograr una planta de tratamiento de aguas residuales autosostenible, fuera de la red. Sin embargo, esta invención proporciona la capacidad de producir biomasa suficiente no solamente para hacer funcionar la planta, sino también para producir biomasa excedente a usar fuera de la planta. Esto se lleva a cabo utilizando energía solar a través de fotosíntesis para cultivar algas y bacterias fototrópicas y porque las algas reducen de forma significativa la energía requerida para oxigenar las aguas residuales.

Una característica importante de esta invención es la capacidad de oxigenar aguas residuales a profundidades muy pequeñas del agua debido a una combinación de la capacidad de las algas de oxigenar el agua y la rotación de una rueda de medio de algas que entra y sale de las aguas residuales. La profundidad operativa normal en los depósitos de rueda de medio según algunas realizaciones de la invención es aproximadamente 38 cm (15 pulgadas). Por otra parte, las plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales a base de bacterias requieren profundidades del agua mucho mayores para lograr el mismo nivel de oxigenación porque usan difusores de aire que requieren depósitos profundos para la eficiente transferencia de oxígeno. Por ejemplo, una profundidad típica del agua en un depósito de aireación de lodo activado es 4,57 m (15 pies). Esto crea una gran carga operativa en los impulsores de aire que requieren el uso de impulsores de aire de desplazamiento centrífugo o positivo de uso intensivo de energía. Los depósitos de aireación convencionales también son profundos y crean condiciones de trabajo muy peligrosas. Esta invención proporciona una profundidad operativa pequeña que elimina las peligrosas condiciones de trabajo.

En una realización, la entrada al sistema son aguas residuales conteniendo residuos biológicos y otros obtenidas de varias fuentes. El sistema de la invención contempla volúmenes variables de aguas residuales en el sistema, como los que podría haber en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, agrícolas e industriales. En un primer paso en el proceso de la presente invención, las aguas residuales sin tratar son tamizadas mecánicamente para quitar sólidos tales como plástico, harapos y objetos sólidos grandes, que se pueden desechar de manera convencional, por ejemplo, llevándolos a un vertedero, o que se pueden añadir a la biomasa generada.

Cuando las aguas residuales sin tratar llegan a una PTAR, el valor energético de los compuestos orgánicos está en su nivel más alto. La descomposición biológica de los compuestos orgánicos o sólidos volátiles en suspensión (VSS) por procesos de tratamiento convencionales reduce realmente y destruye el potencial energético de las aguas residuales. La energía requerida para el funcionamiento de la planta también es una función directa de la cantidad de compuestos orgánicos suministrados al proceso de tratamiento. Además, las algas no pueden utilizar carbono orgánico que es la forma en que se encuentra el carbono cuando entra en la PTAR. En primer lugar, debe ser convertido a CO<sub>2</sub> por bacterias mediante respiración. Esto requiere energía adicional. Por lo tanto, es ventajoso quitar gran parte del material orgánico de las aguas residuales antes del tratamiento biológico para conservar el valor energético y reducir la demanda de energía de la instalación para tratamiento del carbono orgánico. Se puede usar un clarificador primario convencional para reducir 30% y 70%, respectivamente, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y los sólidos en suspensión totales (SST) en las aguas residuales sin tratar. El proceso del clarificador primario convencional también se puede mejorar mediante tratamiento primario mejorado químicamente (TPMQ). Las tasas de extracción de DBO y SST con TPMQ se pueden aumentar a 57% y 85%, respectivamente. También se puede usar unidades de filtración mecánica diseñadas específicamente para sustituir a los clarificadores primarios para quitar compuestos orgánicos en la cabecera de la planta si el espacio de terreno es un problema.

El efluente de clarificador primario fluye entonces a las ruedas primarias de medio de algas. Las aguas residuales que entran en las ruedas de medio primarias son una solución acuosa de nutrientes que facilita el crecimiento de bacterias y algas. Cada rueda de medio tiene un biomedio interno diseñado para el crecimiento de bacterias no fototrópicas y una superficie externa expuesta a la luz solar que soporta algas y bacterias fototrópicas. Así, según un aspecto del sistema y método de la invención, estas aguas residuales cargadas de nutrientes pasan a través del biomedio interno de las ruedas de medio que puede alojar varias especies de bacterias capaces de aprovechar el entorno apropiado y los nutrientes disponibles. Las bacterias realizan varios procesos biológicos que asimilan los nutrientes a una biomasa o convierten los nutrientes a formas menos tóxicas para el medio ambiente. Una reacción biológica facilitada por las bacterias en el biomedio de rueda de medio es:



donde (CH<sub>2</sub>O)<sub>x</sub> representa la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de las sustancias orgánicas introducidas mediante la fuente de aguas residuales.

En una realización, las ruedas de medio primarias incluyen una construcción de rueda rotativa que proporciona superficies para colonización por algas y bacterias fototrópicas. Este sistema de ruedas de medio rotativas facilita la siguiente reacción biológica que tiene lugar por fotosíntesis:



donde (CH<sub>2</sub>O)<sub>x</sub> representa la materia orgánica fijada en la biomasa de algas. El sistema de la invención aprovecha una simbiosis beneficiosa entre algas y bacterias que da lugar a un método de costo razonable de producir biomasa. Las bacterias dependen de la presencia de O<sub>2</sub> producido por las algas y las algas dependen del CO<sub>2</sub> producido por las bacterias. El crecimiento de colonias de bacterias y algas en las ruedas de medio primarias da lugar a una reducción de DBO (demanda bioquímica de oxígeno) de la fuente de aguas residuales, así como una reducción de los sólidos en suspensión, nitrógeno, fósforo y otros nutrientes. Dado que las algas usan energía solar en su absorción fotosintética de nutrientes, la rueda de medio rotativa del sistema de la presente invención se expone intencionadamente a la luz solar para aprovechar dicha fuente de energía libre. El efecto neto es un entorno eficiente para la producción de biomasa de bacterias y algas que no se halla en ningún otro sistema usado para tratar aguas

residuales.

5 El efluente procedente de las ruedas de medio primarias avanza posteriormente a clarificadores secundarios para la extracción de la biomasa generada en las ruedas de medio primarias. El efluente procedente de los clarificadores secundarios avanza posteriormente a un sistema secundario de ruedas de medio de etapa separada para tratamiento adicional de aguas residuales, reducción de GEI y captura de carbono, y producción de biomasa.

10 Las ruedas de medio secundarias pueden ser idénticas a las ruedas de medio primarias previamente descritas. Sin embargo, las aguas residuales deben ser tratadas en dos procesos de rueda de medio claramente separados con el fin de lograr el deseado tratamiento de aguas residuales que cumpla los requisitos establecidos.

15 Como con las ruedas de medio primarias, el agua que sale de las ruedas de medio secundarias contiene en consecuencia un porcentaje de sólidos de algas y bacterias (biomasa). La biomasa se separa posteriormente del agua tratada usando clarificadores terciarios convencionales. El agua efluente clarificada puede ser desinfectada posteriormente y descargada directamente a una corriente receptora, aplicarse a un terreno adyacente según los requisitos establecidos o reutilizarse para otros fines.

20 Las ruedas de medio rotativas tienen aletas para capturar aire con el fin de girar la rueda de medio y de proporcionar una mayor área superficial para el crecimiento adicional de algas y bacterias fototróficas. La geometría general de la rueda de medio y las aletas puede proporcionar un área superficial total de crecimiento de algas que es más de 7,6 veces la huella bidimensional de la rueda. Las ruedas de medio se hacen girar inyectando aire desde impulsores de aire a un orificio en un tubo de aire situado debajo de cada rueda de medio. El uso de aire inyectado para mover las ruedas de medio rotativas elimina la necesidad de mecanismos de accionamiento mecánicos que pueden fallar cuando se acumula biomasa en la superficie de la rueda de medio rotativa. La velocidad rotacional de las ruedas de medio se regula dependiendo de la profundidad de agua en cada compartimento de rueda de medio. En particular, la velocidad rotacional se controla con el fin de evitar la fotoinhibición de las algas y de proporcionar una mezcla ordenada en la que las algas quedan expuestas a períodos alternos de alta densidad de flujo fotónico (DFF) y bajo DFF u oscuridad. El aire inyectado también sirve para añadir a la solución acuosa O<sub>2</sub> que es necesario para los procesos biológicos empleados por las colonias bacterianas y de algas en el depósito para absorber nutrientes. Adicionalmente, la turbulencia producida por el aire inyectado en el depósito hace que las algas cargadas de sólidos se liberen y dejen entrar el flujo del agua que pasa a través del sistema. El flujo continuo a través del sistema lleva las partículas de algas libres, así como los sólidos recogidos por las algas, hacia el punto de salida del sistema.

35 Se usan impulsores de aire para girar las ruedas de medio y la rejilla de tubos de distribución de aire está diseñada para suministrar y distribuir aire uniformemente a cada rueda de medio. Esto da a esta invención una ventaja significativa sobre otros sistemas de producción de algas porque el gas CO<sub>2</sub> de escape puede ser distribuido eficiente y uniformemente a las algas a través de toda la zona de crecimiento. También permite que el calor residual sea distribuido uniformemente con el CO<sub>2</sub> por todo el sistema de producción de algas/bacterias para óptimo calentamiento de las aguas residuales y del aire dentro del invernadero en climas más fríos. Además, la profundidad del agua en los depósitos de rueda de medio se mantiene a 38 cm (15 pulgadas). Esta poca profundidad del agua permite el uso de impulsores regenerativos cuyo funcionamiento requiere mucha menos energía que los impulsores centrífugos y de desplazamiento positivo. La poca profundidad del agua también permite usar equipo típico de suministro de aire usado en plantas de carbón para suministrar aire al sistema de ruedas de medio.

45 Otro objeto de esta invención es proporcionar un proceso y aparato de tratamiento de aguas residuales capaces de producir grandes cantidades de biomasa de fácil deshidratación. En otro aspecto de la presente invención, virtualmente todos los subproductos de este proceso de tratamiento ecológico y biológico se usan en otros procesos. Por ejemplo, en un aspecto, cuando las algas y las bacterias crecen en las ruedas de medio rotativas, las colonias de algas y bacterias son desalojadas de la rueda de medio rotativa. La extracción eficiente de las colonias de bacterias y algas cargadas de sólidos se lleva a cabo automáticamente mediante el aire y el agua que fluyen a través de la superficie de crecimiento de la rueda de medio. La biomasa sedimenta en la base de los clarificadores secundarios y terciarios. La biomasa puede ser sacada posteriormente de los clarificadores para procesado adicional como un biocombustible, fertilizante, etc.

55 La biomasa a base de algas también se puede usar en un sistema de energía regenerativo. La biomasa obtenida de toda la planta puede ser secada y procesada térmicamente como parte de un proceso de generación de electricidad. Con la biomasa de algas se puede usar la mayoría de los tipos de procesos térmicos incluyendo combustión directa, gasificación y pirólisis. Los subproductos del proceso térmico, tal como ceniza y CO<sub>2</sub>, pueden ser realimentados a las ruedas de medio para mejorar y maximizar el proceso de tratamiento así como la generación de biomasa de algas adicional. A medida que el proceso continúa, los subproductos del proceso térmico reciclados de nuevo al sistema de tratamiento exceden de las necesidades del sistema, punto en el que se puede poner en línea un sistema de tratamiento adicional. Este sistema adicional produce biomasa adicional que puede ser procesada igualmente térmicamente para generar electricidad. Se puede poner en línea sistemas de tratamiento adicionales cuando los subproductos procesados térmicamente son reciclados de nuevo a los sistemas hasta que se alcance un punto de equilibrio deseado.

Esta invención se aparta de los denominados sistemas de energía “renovable” anteriores porque el sistema de esta invención es verdaderamente “renovable”. A diferencia de las plantas de etanol y biodiesel que usan más energía de la que crean, esta invención no solamente produce suficiente biomasa para producir su propia energía de manera que sea autosostenible, sino que produce biomasa adicional para uso fuera de la instalación.

Esta invención también proporciona un medio sumamente eficiente de reducir de forma significativa o de eliminar la huella de carbono de las plantas de carbón de forma única y nueva. Esto se logra creando una materia prima renovable para sustituir al combustible fósil o una “sustitución de combustible”. Como se ha explicado previamente, es inviable secuestrar y almacenar todas las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la combustión de carbón. Es mucho más práctico sustituir el carbón. Esta invención elimina la producción del CO<sub>2</sub> procedente de carbón de combustibles fósiles en primer lugar creando un “carbón verde” que no tiene huella de carbono cuando es procesado térmicamente. Es inviable usar una PTAR convencional para producir una “sustitución de combustible” porque una PTAR convencional usa más energía que la que se podría crear con la biomasa que produce y porque no puede crear biomasa adicional a través de fotosíntesis. Igualmente, es inviable usar un sistema convencional de producción de algas tal como un fotobiorreactor, balsa o sistema de raceway a causa de la falta de biomasa de las bacterias. Solamente a través de la combinación de biomasa de bacterias y algas, proporcionada por esta invención, es práctico producir una “sustitución de combustible”.

Esta invención también proporciona un medio de costo razonable y eficiente de capturar las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de generadores de CO<sub>2</sub>, tal como plantas de carbón, porque las aguas residuales tienen típicamente una cantidad limitada de carbono. Las algas que se encuentran en aguas residuales se componen de una mezcla de carbono:nitrógeno:fósforo típicamente con una relación de C:N:P de 50:8:1. Las aguas residuales tienen típicamente una relación de C:N:P de 20:8:1. Por lo tanto, el carbono es el factor limitador del crecimiento de algas usando aguas residuales y presenta una oportunidad de añadir más carbono, específicamente CO<sub>2</sub> a las aguas residuales no solamente para capturar el carbono, sino para aumentar la eficiencia de tratamiento del sistema. Como muestran las composiciones, la biomasa de algas se puede más que duplicar mediante la adición de CO<sub>2</sub> en aguas residuales.

Se construyó una planta pequeña de tratamiento de aguas residuales municipales incluyendo una rueda de medio 66 como el medio de tratamiento, como se ilustra en la figura 4, y como se describe aquí con más detalle. Se logró una tasa media de producción de biomasa de algas de 113 g (0,25 lb/rueda de medio/día que es equivalente a 662,5 toneladas/0,4 ha/año (662,5 toneladas/acre/año) o más de 6 veces la tasa de producción de los sistemas más eficientes de producción de algas. También se indica que la tasa de producción de 113 g (0,25 lb)/rueda de medio/día no mejoró con CO<sub>2</sub>. En base a estudios de algas utilizando enriquecimiento con CO<sub>2</sub>, se prevé que la tasa de producción aumentará de forma significativa. La EPA de Estados Unidos estima que hay 16.225 plantas de tratamiento de aguas residuales en funcionamiento que tratan más de 151 miles de millones de litros (40 miles de millones de galones) de aguas residuales a diario. En base a una tasa de producción conservadora, se podría generar 21,9 millones de toneladas secas de biomasa de algas de alto valor BTU cada año en las plantas de tratamiento de Estados Unidos implementando la presente invención. Las algas y biomasa de lodo no digerida tiene un valor BTU de aproximadamente 10.000 BTUs por libra seca que es equivalente a un valor BTU de carbón típico. Por lo tanto, si Estados Unidos convirtiese todas las plantas de tratamiento de aguas residuales a los sistemas de tratamiento de algas de la presente invención, la biomasa combinada generada por estas instalaciones podría sustituir aproximadamente 2% de los 1.046 millones de toneladas de carbón que se consumen cada año en Estados Unidos. Esta estimación conservadora no incluye la biomasa adicional que se generaría a partir de la suplementación con CO<sub>2</sub>. Compárese esto con la estimación de la EPA de 8 millones de toneladas secas de lodo a base de bacterias de valor BTU relativamente bajo que actualmente se está generando cada año.

Esta invención también permite la extracción de sólidos mejorada en comparación con los procesos existentes de tratamiento de aguas residuales basados en bacterias. Las algas crecen rápidamente, atrapando sólidos en suspensión y quitando materia orgánica disuelta para utilizar ambos tipos de materiales como alimento. Mediante fotosíntesis, el material orgánico es convertido a nuevos compuestos por las algas, y se libera oxígeno. Este oxígeno oxida sólidos de las aguas residuales que producen separación y compactación del lodo. El efecto coagulante de los filamentos de algas, con juntamente con el efecto de oxidación, produce una masa de algas pesada y densa que sedimenta o se quita fácilmente, produciendo un efluente claro.

Esta invención permite una mejor extracción de nutrientes en comparación con los procesos existentes de tratamiento de aguas residuales basados en bacterias. Las plantas actuales de tratamiento bacteriológico descargan nitratos, fosfatos, sulfatos, etc, a alguna masa de agua natural para dilución y tratamiento continuado por la flora y fauna natural. Se reconoce que dichos nitratos y fosfatos en las aguas residuales se han convertido en un problema creciente porque producen un gran aumento de la cantidad de algas en nuestros lagos y ríos. Esta invención logra más claramente la función deseada de descargar agua solamente con sus elementos minerales naturales porque usa la porción de vida vegetal del ciclo de vida y muerte en lugar de la porción de muerte y decadencia. Los nitratos, los fosfatos y sus antecedentes son alimentos para las plantas, y como tales, son asimilados por las algas mediante fotosíntesis. Las algas pueden metabolizar nitrógeno y fósforo mucho más rápidamente de lo que pueden ser tratados por bacterias. El tratamiento es más completo y más rápido, dado que el tratamiento bacteriológico es un proceso de decadencia, mientras que el tratamiento con algas es un tratamiento de conversión de materia orgánica en vida vegetal sana activa.

Los objetos anteriores se logran en la práctica de esta invención por la relación simbiótica y las condiciones operativas medioambientales creadas por la rueda de medio. En una realización preferida se facilita el tratamiento de aguas residuales, la reducción y captura de GEI, y la producción de biomasa proporcionando una rueda de medio para el crecimiento de bacterias fototrópicas y no fototrópicas vivas y algas y medios para mover la rueda de medio a través de dichas aguas residuales y para exponer las algas y las bacterias fototrópicas a la luz durante períodos de tiempo suficientes para mantener el crecimiento de las bacterias fototrópicas y de las algas. El oxígeno producido a partir de las algas así como de la rotación de la rueda de medio que entra y sale del agua mantendrá el crecimiento de las bacterias no fototrópicas. Se facilitan múltiples ruedas de medio en serie y etapas separadas para el nivel de tratamiento necesario de las aguas residuales, la captura de GEIs, y la producción de biomasa. Una porción de la rueda de medio está dispuesta encima del nivel superficial del agua de las aguas residuales con el fin de proporcionar la exposición a la luz y, mediante su rotación, transmitir a las aguas residuales el oxígeno disuelto procedente de la atmósfera y las algas. Las algas se mantienen en un estado húmedo a través de su sumergencia y reteniendo agua encima por la fuerza centrífuga. Las algas también deben tener luz suficiente, luz solar natural directa o luz solar distribuida mediante fibra óptica para mantener el crecimiento de las algas. En climas fríos, las ruedas de medio se encierran en un invernadero para proteger las algas y bacterias de las temperaturas de congelación o casi de congelación.

Las algas utilizadas en la práctica de esta invención son de los tipos que viven naturalmente en aguas residuales. Tales algas son de los tipos filamentosos que tienen filamentos extendidos y microalgas. Las algas filamentosas están recubiertas con un moco pegajoso que capta y sujeta partículas sólidas, incluyendo partículas coloidales. Las partículas de filamento cargadas con sólidos de aguas residuales se descomponen por el aire que hace girar la rueda de medio y la acción de erosión del líquido contra las aletas de las ruedas de medio cuando las ruedas de medio se hacen girar pasando por las aguas residuales. Los sólidos de aguas residuales que son atrapados en dichos filamentos de algas se pueden mantener durante horas antes de que cada filamento salga del lecho de soporte de algas y la masa de lodo resultante sedimente en forma basta, pesada y bien oxidada.

En algunas realizaciones, la mitad de la porción interna de cada rueda de medio puede incluir un biomedio para el crecimiento de bacterias no fototrópicas. Estas bacterias no fototrópicas oxidan el carbono orgánico presente en las aguas residuales y lo convierten a CO<sub>2</sub> para las algas.

Por la noche, la fotosíntesis se puede continuar si se suministra luz artificial. Sin embargo, esto no es necesario para mantener niveles de oxígeno adecuados en el sistema de ruedas de medio para crecimiento y respiración durante las 24 horas del día por organismos tanto fototróficos como no fototróficos. Durante el día, las algas saturan el agua con oxígeno. Por la noche, cuando las algas respiran, el nivel de oxígeno cae, pero no cae por debajo de 3-4 mg/l como se ha comprobado en pruebas piloto con ruedas de medio a pequeña escala. La aireación y la rotación de la rueda de medio que entra y sale del agua proporcionan suficiente oxigenación del agua para mantener unas condiciones medioambientales de las ruedas de medio óptimas para la actividad biológica 24 horas al día, 365 días al año. La aireación y la rotación también proporcionan un excelente intercambio de gas y evitan la acumulación de gases como los fotobiorreactores de bucle cerrado.

El uso de aguas residuales como un medio de crecimiento de algas es ventajoso en climas fríos porque las aguas residuales que entran en las PTARs están típicamente a entre (10- 21,1°C) (50- 70°F) todo el año. La utilización tanto de algas como de bacterias para tratar aguas residuales también es ventajosa porque los organismos biológicos en el proceso de tratamiento son mucho más diversos, lo que incrementa la estabilidad y la fiabilidad del sistema para resistir choques hidráulicos y orgánicos.

### Descripción de las figuras

La figura 1 es un diagrama de flujo de proceso de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) según una realización de la presente invención.

La figura 2 es un perfil hidráulico de la PTAR representada en la figura 1.

La figura 3 es un diagrama de proceso de un sistema de energía regenerativo según una realización de la presente invención usando la instalación de tratamiento de aguas residuales representada en la figura 1.

La figura 4 es una vista en sección transversal de una rueda de medio usada en la PTAR representada en la figura 1.

La figura 5 es una vista en planta de un sistema de tratamiento con ruedas de medio primarias y secundarias, reducción y captura de GEI y producción de biomasa usado en la PTAR representada en la figura 1.

La figura 6 es una vista en sección del sistema de tratamiento con ruedas de medio primarias y secundarias, reducción y captura de de GEI, y producción de biomasa representado en la figura 5.

La figura 7 es otra vista en sección de un sistema de tratamiento con ruedas de medio primarias y secundarias, reducción y captura de GEI, y producción de biomasa representado en la figura 5.

5 La figura 8 es una vista superior de la rejilla para soportar la serie de ruedas de medio para el sistema representado en las figuras 5-7.

La figura 9 es una vista de extremo de la rejilla representada en la figura 8.

10 La figura 10 es una vista lateral de un sistema multinivel de tratamiento con ruedas de medio primarias y secundarias, reducción y captura de GEI, y producción de biomasa según otra realización de la invención.

### Descripción de las realizaciones ilustradas

15 Al objeto de facilitar la comprensión de los principios de la invención, ahora se hará referencia a las realizaciones ilustradas en los dibujos y descritas en la siguiente memoria descriptiva escrita. Se entiende que con ello no se prevé ninguna limitación del alcance de la invención. También se entiende que la presente invención incluye cualesquiera alteraciones y modificaciones de las realizaciones ilustradas e incluye aplicaciones adicionales de los principios de la invención en las que pensarían normalmente los expertos en la técnica a la que pertenece esta invención.

20 La invención se define por las reivindicaciones anexas.

25 Las algas nunca han sido usadas satisfactoriamente para el tratamiento primario y secundario en plantas de tratamiento de aguas residuales porque las algas, para crecer, deben tener luz durante una gran parte del tiempo. Durante las horas de luz del día, las algas desprenden oxígeno como un subproducto y por la noche producen dióxido de carbono. Si se corta toda la luz, en último término morirán. Las aguas residuales son tan turbias que nunca forman algas en las plantas de tratamiento en cantidades suficientes para ser utilizadas hasta después del proceso de tratamiento. Sin embargo, si las algas entran y salen de las aguas residuales exponiéndolas a la luz solar, las algas crecerán profusamente y metabolizarán componentes adicionales presentes en las aguas residuales.

30 El tratamiento bacteriológico de las aguas residuales requiere grandes cantidades de oxígeno procedente de la atmósfera que puede ser suministrado completamente por las algas si se les permite crecer. El oxígeno liberado a las aguas residuales por las algas contribuye materialmente a la extracción de sólidos de las aguas residuales. Se ha hallado que si se introduce una pequeña cantidad de oxígeno disuelto en los sólidos de aguas residuales en sedimentación, los sólidos sedimentan mucho más rápidamente y los sólidos coagulan mejor, se adhieren mejor y se pueden drenar libremente de modo que puedan ser deshidratados y secados mucho más eficientemente que un lodo a base de bacterias solamente.

35 En un aspecto de la presente invención, la densa capa de algas que crece en las aletas de una rueda de medio de algas también funciona como un filtro mecánico. En raceways y balsas de algas, las capas de algas pronto son obstruidas por los sólidos atrapados por las algas. Tales sólidos impiden que llegue luz a la capa y las algas mueren. Aireando la rueda de medio y moviendo el lecho de algas a través de las aguas residuales, se produce una acción de erosión haciendo que los filamentos cargados de sólidos se rompan exponiendo nuevos filamentos para tratamiento, crecimiento, y acción de debilitamiento. Se evita la obstrucción mecánica y las algas son expuestas alternativamente a la luz para mantener su crecimiento y se sumergen en las aguas residuales para realizar un tratamiento biológico y una filtración mecánica. Tal exposición a luz se logrará normalmente en cantidades adecuadas durante las horas del día. Se deberá indicar, sin embargo, que demasiada luz solar directa es nociva para las algas dando lugar a fotoinhibición. La rotación de la rueda de medio elimina este problema.

40 Aunque hay miles de especies de algas, el proceso de la presente invención usa preferiblemente microalgas así como algas filamentosas multicelulares que son capaces de unirse a un medio fijo, tal como la rueda de medio de plástico. Las algas se enfundan en una película gelatinosa pegajosa capaz de agarrar y sujetar partículas sólidas de todos tipos incluyendo material coloidal y bacterias. Este tipo de algas es inherente a las aguas residuales.

45 La rueda de medio, cuando se mantiene húmeda, puede ser manipulada para exponerla a la luz solar directamente o a través de fibra óptica o luz artificial adecuada, y alternativamente para sumergirla a contacto con las aguas residuales. Se ha hallado que tal exposición alternativa a la luz y las aguas residuales promueve el crecimiento de algas dando lugar a la formación de una capa pesada de algas en la rueda de medio. Esta capa de algas constituye un filtro biológico y mecánico que quita nutrientes biológicamente y materia particulada mecánicamente y que descarga dicho material en agregados fuertemente unidos de forma bastante diferente de los sólidos floculentos comúnmente conocidos. La mayor parte de las bacterias generadas por los componentes biológicos de la rueda de medio se unen en los sólidos atrapados por las algas. Es sabido que el oxígeno mejora la eficiencia de sedimentación para sedimentar sólidos de las aguas residuales.

50 Con referencia a las figuras 1-3, las aguas residuales sin tratar se introducen en una planta de tratamiento de aguas residuales 100 a una estación de elevación de aguas residuales sin tratar 10 que contiene un número adecuado de

bombas con capacidad de manejar los flujos previstos máximo diario y medio que llegan a la PTAR. Las aguas residuales son bombeadas entonces a través de una tubería de impulsión a un tamiz fino limpiado mecánicamente 12 que quita papel, plástico y sólidos grandes. Las aguas residuales tamizadas fluyen entonces por gravedad a clarificadores primarios 14. Los clarificadores primarios 14 están dimensionados típicamente para quitar el 30% de la DBO y 70% del SST (sólidos en suspensión totales) en las aguas residuales. Si se desea, se puede usar sustancias químicas a través de clarificación primaria mejorada químicamente (CPMQ) para aumentar la DBO y la extracción de SST en los clarificadores primarios 14. Las aguas residuales fluyen entonces por gravedad desde los clarificadores primarios 14 a las ruedas de medio primarias 16 donde las aguas residuales entran en contacto con microalgas vivas, algas filamentosas, y bacterias fotosintéticas y no fotosintéticas. Las ruedas de medio primarias 16 operan como una etapa de extracción de compuesto orgánico carbonoso donde la mayor parte de la DBO es convertida a CO<sub>2</sub> por las bacterias. Las algas quitan nitrógeno y fósforo presentes en las aguas residuales y convierten el CO<sub>2</sub> de las bacterias a oxígeno y biomasa.

Las aguas residuales fluyen entonces por gravedad desde las ruedas de medio primarias 16 a clarificadores secundarios 18 donde tiene lugar la sedimentación y la separación de la biomasa generada a partir de las ruedas de medio primarias 16. El efluente clarificado de los clarificadores secundarios 18 es transportado posteriormente por gravedad a un sistema secundario de ruedas de medio 20. En el sistema secundario de ruedas de medio sustancialmente toda la DBO restante es convertida a CO<sub>2</sub> por las bacterias, y las algas quitan todo el CO<sub>2</sub>, nitrógeno y fósforo. El agua fluye entonces desde las ruedas de medio secundarias a clarificadores terciarios 22. En los clarificadores terciarios 22 los sólidos coagulados pueden sedimentar y son sacados del agua. El efluente clarificado procedente de los clarificadores terciarios 22 fluye entonces por gravedad a una unidad de desinfección 24, que puede realizar cloración/decloración o desinfección por ultra violeta (UV). El agua desinfectada fluye entonces por gravedad a un dispositivo de dosificación de flujo 26 que podría ser un medidor Parshall y luego fluye por gravedad a un dispositivo de reaeración 28 que podría ser aireación en cascada. En ese punto el agua está suficientemente limpia para cumplir los más estrictos requisitos de descarga establecidos y puede ser descargada a una masa de agua o reutilizada para otra finalidad.

Los sólidos (biomasa) quitados del tamiz 12, los clarificadores primarios 14, los clarificadores secundarios 18, y los clarificadores terciarios 22 son recogidos en un depósito de mezcla de biomasa 30 donde se mezcla la biomasa para obtener una biomasa uniforme para procesamiento posterior adicional. La biomasa de los clarificadores 14, 18, 22 tendrá una concentración de sólidos en suspensión de aproximadamente 2-4 por ciento. El contenido de sólidos se puede incrementar en el depósito de mezcla de biomasa 30 decantando supernadante de nuevo a la cabecera de la planta, como se representa en la figura 1. La biomasa es bombeada entonces usando bombas de biomasa 32 a un dispositivo de deshidratación 34. Las bombas de biomasa pueden ser de cualquier tipo usado en PTARs convencionales para bombear lodo, tal como bombas de cavidad progresiva o peristálticas. El dispositivo de deshidratación puede ser de cualquier tipo usado en PTARs convencionales, tal como una prensa centrífuga o de correa.

Debido al efecto coagulante de las algas en los sólidos, se mejora en gran medida la eficiencia de deshidratación. Las concentraciones de sólidos típicas de la biomasa del dispositivo de deshidratación serán entre 20-30% de sólidos en base a pruebas piloto. La biomasa deshidratada es transportada posteriormente a una secadora de biomasa 36 que puede ser de cualquier tipo usado en PTARs convencionales, tal como un sistema de secado solar. Un sistema de secado solar es preferible a otros tipos de secadoras si se dispone de terreno con el fin de minimizar los requisitos de energía de la PTAR. Si el terreno es un problema, entonces se puede usar una secadora de biomasa del tipo de tornillo, por ejemplo. El sistema de secado de biomasa 36 secará la biomasa al contenido de humedad óptimo deseado para el sistema de procesamiento posterior.

Después del secado 36, la biomasa es transportada a un sistema de procesamiento térmico 38, que puede ser un número de sistemas tal como un incinerador, sistema de combustión, sistema de gasificación, o sistema de pirólisis. Como una alternativa al procesamiento térmico, la biomasa se puede vender como una biomasa de alto valor BTU, fertilizante, pienso para animales, u otros usos. La biomasa de algas también puede ser enviada a un digestor anaeróbico convencional, si se desea. Se ha descubierto recientemente que añadir algas a un digestor anaeróbico incrementa sustancialmente el biogás producido y elimina casi por completo los molestos gases corrosivos típicos de los digestores que usan lodo a base de bacterias. También cae dentro de lo contemplado en esta invención que la materia tamizada y la biomasa de los clarificadores individuales se mantengan separados para usos diferentes. Por ejemplo, la materia tamizada puede ser llevada a un vertedero, la biomasa primaria puede ser procesada térmicamente para obtener energía, la biomasa secundaria puede ser procesada para obtener fertilizante, y la biomasa terciaria puede ser procesada para obtener aceite biológico.

En la figura 4 se ilustran detalles de la rueda de medio usada en el sistema primario de ruedas de medio 16 y el sistema secundario de ruedas de medio 20. En algunas realizaciones aquí descritas, los sistemas de ruedas de medio 16 y 20 emplean tecnología descrita en las Patentes de Estados Unidos números 5.647.983, 5.755.961, y 6.158.386, y en particular la descripción de la unidad de tratamiento 66, como se muestra en la figura 4 de las patentes. Aunque los detalles de la unidad de tratamiento 66 en el sistema primario de ruedas de medio 16 de la presente invención y el sistema secundario de ruedas de medio 20 se pueden obtener de estas patentes, sigue una descripción general con referencia a la figura 4 de la presente solicitud.

Un componente primario del sistema primario de ruedas de medio 16 y del sistema secundario de ruedas de medio 20 es la rueda de medio 66 que se soporta dentro de un depósito 52 para rotación alrededor de un eje 71. La rueda de medio 66 incluye elementos de captura de aire, o aletas, 62 que se usan para girar la rueda de medio dentro de las aguas residuales que entran al depósito 52 en la entrada 54. En particular, el aire difundido proporcionado por un ventilador de aire exterior 80 (figura 7) a través del conducto 112, sale por la salida de aire 58 chocando en las aletas 62 para hacer girar la rueda de medio. En efecto, las aletas están configuradas preferiblemente para capturar una bolsa de aire entre aletas sucesivas de modo que la flotabilidad relativa de la bolsa de aire haga girar la rueda de medio cuando la bolsa de aire se eleve dentro del depósito. Además de proporcionar una fuerza motriz para hacer girar la rueda de medio, el aire también introduce oxígeno, calor y CO<sub>2</sub> a las aguas residuales por las razones beneficiosas explicadas aquí con más detalle.

En la realización ilustrada, la rueda de medio 66 incluye un medio de filtro biológico 56 contenido en una porción interna de la rueda de medio. Este medio está configurado para soportar el crecimiento bacteriano, tal como biobolas de plástico. Las biobolas están configuradas preferiblemente para proporcionar una relación alta de área superficial a volumen. Como se ha explicado anteriormente, el tratamiento de las aguas residuales requiere poner los compuestos orgánicos e inorgánicos dentro de las aguas residuales en contacto con colonias bacterianas que usan los compuestos como alimento. El nivel de aguas residuales 72 dentro del depósito 52 se mantiene de modo que el medio de filtro 56 se sumerja y salga alternativamente de las aguas residuales, lo que mejora la transferencia de nutrientes, oxígeno y CO<sub>2</sub> entre la colonia bacteriana y las aguas residuales.

Mientras una porción o la mitad de la rueda de medio interior está llena del medio de filtro biológico 56, la porción interna o la mitad restante 70 está preferiblemente vacía. Así, cuando la rueda de medio 66 gira, el medio de filtro 56 desplaza alternativamente las aguas residuales, produciendo una elevación y bajada continuas del nivel del agua 72 u oleaje de las aguas residuales dentro del depósito 52. Este movimiento continuo incrementa la tasa de extracción de nutrientes de las algas soportadas por la rueda de medio 66. Las aletas 62 también proporcionan el área superficial en la que crecen las algas. La geometría tridimensional de la rueda de medio 66 proporciona un área superficial de crecimiento de algas de más de 7,6 veces la huella bidimensional de la rueda de medio 66, dándole una ventaja significativa sobre las balsas y los raceways. El movimiento de entrada y salida de las aletas 62 de las aguas residuales realiza un eficiente intercambio de gas entre las algas, el agua y el aire, y proporciona una intensidad variable de luz natural en las algas, todo lo cual da lugar a un crecimiento sano y continuo de las algas. Además, la rotación de las aletas y por ello la entrada y la salida de las algas del agua controla la exposición de las algas a períodos alternos de alta densidad de flujo fotónico (DFF) y bajo DFF u oscuridad. Esta mezcla ordenada de luz y oscuridad evita la fotoinhibición del crecimiento de las algas asociada con la exposición continua a la luz y mejora el ciclo de crecimiento de las algas.

Otro beneficio de la subida y bajada del nivel del agua 72 es que permite que el aire se distribuya uniformemente a las múltiples ruedas de medio 66 empleadas en las instalaciones representadas en las figuras 5, 6 y 7. Cuando se distribuya aire a una rejilla de tubos de aire con un nivel constante del agua, el aire tenderá a dividirse no uniformemente en el "recorrido de menos resistencia" y hay que usar válvulas de aire para controlar el flujo de aire dividido. La subida y la bajada del nivel del agua 72 en el depósito 52 crea una carga variable en el sistema de distribución de aire que hace que el aire se divida uniformemente a cada rueda de medio 66 en la rejilla sin la necesidad de válvulas de aire.

El chorro de aire en la salida 58 es beneficioso para el crecimiento de las algas y bacterias fototrópicas porque la espuma del chorro de aire fracciona las aguas residuales. Esta espuma 64 se recoge en la superficie del agua entre la rueda de medio 66 y las paredes del depósito. Esta espuma apoya contra las aletas 62 y más en concreto las algas y bacterias fototrópicas que crecen encima de modo que las algas y bacterias fototrópicas puedan extraer fácilmente los nutrientes necesarios y los sólidos dentro de la espuma 64.

Se puede apreciar que las bacterias que crecen en el biomedio 56 y las algas y bacterias que crecen en las aletas 62 forman una biomasa que puede ser usada para biodiesel, fertilizante y otros usos descritos anteriormente. Las ruedas de medio primarias 16 y las ruedas de medio secundarias 20 contemplan así que las algas sean desalojadas de forma continua de las aletas 62 y puedan pasar a los clarificadores secundarios 18 y los clarificadores terciarios 22. El chorro de aire que atraviesa la salida 58 puede desalojar algas del tamiz una vez que la colonia de algas llegue a una masa crítica. Normalmente no se necesita un raspador, pero también se puede facilitar, como se describe en la Patente de Estados Unidos número 5.647.983. Una vez quitada de las aletas 62, la biomasa de algas se retira a través de la salida 60. Las salidas de tratamiento primario 60 de las ruedas de medio primarias comunican con los clarificadores secundarios 18 y las salidas 60 de las unidades de tratamiento secundarias comunican con los clarificadores terciarios 22, como se representa en la figura 1. Los clarificadores secundarios 18 y los clarificadores terciarios 22 sirven primariamente como depósitos de sedimentación para la extracción final de biomasa liberada del sistema de tratamiento primario 16 y el sistema de tratamiento secundario 20, respectivamente, constando la biomasa de algas y bacterias. Las algas quitadas de las aletas 62 de la rueda de medio 66 son filamentosas y están recubiertas con un moco pegajoso que facilita la sedimentación de sólidos residuales dentro de los clarificadores por coagulación de la biomasa, lo que también facilita la extracción.

No se precisa ningún tratamiento adicional del efluente después de la post-aireación 28 porque el efluente resultante está libre de los materiales tóxicos presentes en las aguas residuales originales. Los sólidos en suspensión totales (SST) también son eliminados virtualmente a través de la instalación 100. El nitrógeno y el fósforo que suelen contenerse en aguas residuales es alimento para las colonias de bacterias y algas residentes dentro del sistema de tratamiento primario 16 y el sistema de tratamiento secundario 20. Las algas convierten nitrógeno y fósforo, a través de fotosíntesis, a biomasa de algas y oxígeno. El oxígeno oxida sólidos de las aguas residuales, facilitando por ello la compactación o la coagulación de los sólidos. Como se ha explicado anteriormente, el oxígeno también alimenta el crecimiento de las colonias bacterianas en la rueda de medio 66, mientras que las bacterias producen CO<sub>2</sub> que ayuda a promover el crecimiento de las algas. Así, todo el sistema proporciona un ciclo ecológico virtualmente autosostenible, alimentado por los materiales tóxicos presentes en las aguas residuales y la luz solar.

Se puede colocar un invernadero 82 construido de vidrio, plástico, tal como policarbonato de pared doble, u otro material transparente o translúcido, sobre el sistema primario de ruedas de medio 16 y el sistema secundario de ruedas de medio 22 para proteger las algas y las bacterias, como se ilustra en las figuras 5-9. Un beneficio del invernadero 82 es que el sistema primario de ruedas de medio 16 y el sistema secundario de ruedas de medio 22 pueden estar completamente dentro de un invernadero 82, como se representa en la figura 6. El invernadero 82 protege el sistema primario de ruedas de medio 16 y el sistema secundario de ruedas de medio 22, y en particular las ruedas de medio 66, de las temperaturas frías, la predación de animales e insectos, y sirve para filtrar la luz ultra violeta nociva de la luz solar para proteger las algas. El invernadero 82 puede ser ventilado por los impulsores de rueda de medio 80 para mantener una atmósfera óptima para operación de las ruedas de medio. Esta característica elimina ventajosamente el costo de capital adicional y los costos de energía que suelen ser necesarios para ventilar y calentar invernaderos para el crecimiento óptimo de las plantas. También es ventajoso porque proporciona un medio de distribuir de forma fácil y eficiente calor y gas CO<sub>2</sub> a las ruedas de medio 66 y de atrapar y contener el calor y CO<sub>2</sub> dentro del invernadero para óptimo crecimiento de las algas durante todo el año. El invernadero 82 puede ser de cualquier tamaño y forma para acomodar el sistema primario de ruedas de medio 16 y el sistema secundario de ruedas de medio 22 deseados. Se entenderá que también se puede variar el diseño del alojamiento para acomodarlo a las necesidades del servicio, las pruebas, el mantenimiento, etc, para cualquier sistema específico de ruedas de medio primarias 16 y el sistema secundario de ruedas de medio 22 que pueden ser usados según los principios conocidos por los expertos en la técnica.

La investigación ha demostrado que la tasa de crecimiento de algas se duplica con cada aumento de 11,1 °C (20°F) de la temperatura del agua. Durante los meses de invierno es deseable mantener las algas a temperaturas superiores a la congelación, y preferiblemente superiores a 10°C (50°F) dado que las algas y bacterias dejarán de crecer a temperaturas muy bajas y crecerán a una tasa muy lenta a temperaturas inferiores a aproximadamente 4,4°C (40°F). Durante los meses de verano es deseable que la temperatura del invernadero se mantenga por debajo de 37,8°C (100°F) para optimizar el crecimiento de las algas. Esto se puede hacer abriendo agujeros en el invernadero. En algunos lugares donde las temperaturas permanecen moderadas durante todo el año, el uso de un invernadero puede no ser necesario para mantener las algas y las bacterias a las temperaturas óptimas de crecimiento.

En aplicaciones donde el espacio de terreno es limitado, el sistema primario de ruedas de medio 16 y el sistema secundario de ruedas de medio 22 se pueden construir como una instalación multinivel como se representa en la figura 10. Cada nivel de la instalación multinivel está configurado de forma sustancialmente idéntica a los sistemas de un solo nivel representados en las figuras 5-9. Se puede apreciar que puede ser necesario un sistema de bombeo para la entrada directa al nivel superior, mientras que la descarga desde el nivel puede ser por gravedad uniéndose a la descarga del nivel inferior. Esta construcción multinivel es factible con la presente invención debido a la poca profundidad del agua (aproximadamente 38 cm [15 pulgadas]) que se mantiene en el sistema primario de ruedas de medio 16 y el sistema secundario de ruedas de medio 22. Una instalación convencional de lodo activado no se puede construir de esta manera debido a que precisa grandes profundidades de 10 pies y más del agua. La carga en el suelo del sistema primario de ruedas de medio 16 y el sistema secundario de ruedas de medio 22 sería aproximadamente 78 libras por pie cuadrado que se puede colocar de forma fácil y económica en estructuras de construcción multinivel.

También se puede apreciar que el nivel superior puede recibir luz solar ambiente a través del techo del invernadero transparente o translúcido 82. Ambos niveles recibirán luz solar adicional a través de las paredes laterales del invernadero. Sin embargo, los sistemas primario y secundario de ruedas de medio en el nivel inferior pueden requerir todavía más luz solar, equivalente a la luz recibida por el nivel superior a través del techo del invernadero. En otro aspecto de la invención, se colocan aparatos de luz 124 en los techos al menos en el nivel inferior, como se ilustra en la figura 9, para proporcionar la luz necesaria para las algas y bacterias fototrópicas. Los aparatos de luz 124 pueden ser aparatos de luz artificial. Sin embargo, es preferiblemente que la exposición a la luz de todas las ruedas de medio de algas sea a luz natural. Así, en la realización ilustrada, colectores solares 120 alimentan luz solar natural mediante tubos de luz 122 a los aparatos de luz 124 dentro de la instalación.

Los medios dispuestos en las realizaciones ilustradas de la presente invención para hacer girar las ruedas de medio proporcionan el contacto deseado entre las aguas residuales, el aire, las bacterias y las algas, y también permiten que las algas tengan un contacto suficiente con la luz para promover el crecimiento natural. Otra función importante

de la sumergencia alternativa continua de las algas dentro del líquido y su movimiento a través de la atmósfera es que elimina la fotoinhibición que es el único gran problema de la producción eficiente de algas. La eficiencia de las algas aumenta drásticamente cuando se cultivan bajo cortos periodos de luz y ciclos de oscuridad. Según recientes estudios científicos, la producción de algas se optimiza con ciclos intermitentes de luz y oscuridad de 5 a 15 segundos. La velocidad rotacional de las ruedas de medio 66 se puede mantener controlando el nivel del agua 72 de tal manera que las RPM de las ruedas de medio 66 sea aproximadamente 3-10 RPMs proporcionando un ciclo intermitente de luz y oscuridad de 6-20 segundos. La construcción de la rueda de medio 66 de material plástico ligero para crear una rueda de medio flotante 66 permite una flexibilidad aún mayor de la velocidad de la rueda de medio 66 cambiando simplemente la cantidad de aire a través de la salida 58 y el nivel del agua 72. Una rueda de medio más ligera 66 también permite usar menos aire por rueda de medio 66, lo que reduce el consumo de energía de la instalación 100. Otra función importante de la sumergencia alternativa continua de las algas dentro del líquido y su movimiento a través de la atmósfera es que las algas y bacterias se pueden mantener por ello húmedas, lo que es necesario para su crecimiento y también a velocidad suficiente para evitar cualquier secado sustancial del lecho de algas durante su paso a través de la atmósfera.

La instalación 100 representada en la figura 1 también se puede incorporar a un sistema de energía regenerativo 200, como se representa en la figura 3, en que los subproductos de la instalación se usan como combustible para generación de electricidad y los subproductos de la generación de electricidad se usan como "combustible" para la instalación. Todo el sistema de energía regenerativo usa aguas residuales sin tratar como "combustible" y es movido esencialmente por energía solar de modo que las pérdidas asociadas con los subproductos generados son mínimas. La instalación 200 es idéntica a la instalación 100 descrita anteriormente a excepción de que se añaden unidades secundarias de ruedas de medio adicionales 20a a 20n. La biomasa producida por la instalación 200 es procesada de la misma manera que la descrita en la instalación 100 para mover un generador 40. La salida del generador 40 es electricidad que puede ser suministrada de nuevo para alimentar la instalación 200 y/o a la red eléctrica. Además, alguna porción del calor creado durante la generación de electricidad puede ser desviada a la secadora de biomasa 36 y a las ruedas de medio primarias 16 y las ruedas de medio secundarias 20 si es necesario.

El ciclo de este proceso se completa con la transferencia de gases de escape del proceso térmico de biomasa 38 y el generador 40 de nuevo a las ruedas de medio primarias 16 y las ruedas de medio secundarias 20 para alimentar el crecimiento de algas en la instalación 200 como se ha explicado anteriormente. Los gases de escape, a saber CO<sub>2</sub>, y el calor mejoran y maximizan la producción de algas, lo que da lugar a una mayor producción de biomasa, que aumenta el proceso térmico de biomasa 38, lo que da lugar a una mayor producción de electricidad y/o biocombustibles. Aunque este ciclo tiene el aspecto de un ciclo de energía perpetuo, la fuente de potencia externa, y esencialmente sin límite, para todo el proceso es energía solar.

Se contempla que la instalación 100 pueda tratar el flujo de diseño diario para el volumen de aguas residuales específicas sin tratar. Así, se contempla que la instalación 100 esté dimensionada y configurada para depender únicamente de los nutrientes contenidos en las aguas residuales suministradas a la estación de bombeo 10. Sin embargo, como se ha sugerido anteriormente, los aspectos regenerativos del sistema 200 producirán mayores cantidades de escape térmicamente procesado, a saber CO<sub>2</sub>, que es necesario o que puede ser manejado por la instalación 100. En lugar de expulsar estos gases a desecho, la presente invención contempla poner en línea una instalación de tratamiento adicional 20a, como se ilustra en la figura 3. Esta instalación adicional recibiría efluente del clarificador secundario 18 así como ceniza, CO<sub>2</sub> y el calor excedente obtenido del proceso térmico 38 y el generador 40. El ciclo de crecimiento de algas comienza entonces en esta instalación adicional 20a hasta que se logra el mismo resultado, a saber, que el crecimiento de algas haya alcanzado sus límites en la instalación adicional y los subproductos hayan excedido la capacidad de la combinación de las instalaciones primaria y adicional 100, 20a. Entonces, se puede poner en línea una tercera instalación 20b. Esta secuencia de eventos se repite hasta que se logre el pleno complemento de las instalaciones de tratamiento 100 y 20a-20(n), determinado por la salida deseada del proceso térmico. En ese punto, los gases de escape que no sean necesarios para alimentar las muchas instalaciones de producción de algas pueden ser expulsados o almacenados de manera adecuada.

Las instalaciones de tratamiento 100 y 200 aquí descritas proporcionan un beneficio significativo porque las instalaciones son autosostenibles, alimentándose el proceso con aguas residuales y luz solar. Además de los beneficios de ser autosostenibles, las instalaciones aquí descritas producen biomasa excedente que puede ser usada para fines fuera de la instalación 100. La biomasa excedente puede ser usada como materia prima para procesado térmico, sinterización, digestores de metano, y la producción de fertilizante o biocombustibles, tal como biodiesel. Se conocen procesos para usar la biomasa en cada uno de estos entornos, pero hasta la fecha el problema ha sido la disponibilidad. En otros términos, no ha habido una fuente renovable de suficientes cantidades de algas y biomasa para soportar estos usos externos de los subproductos del tratamiento de aguas residuales, o más exactamente para justificar la inversión en las instalaciones de procesado. La energía renovable procedente de la biomasa es un método mucho más práctico que la energía eólica o solar porque las tecnologías térmicas de biomasa tienen un largo registro de éxito con el carbón. Además, la biomasa puede ser procesada de la misma manera que el carbón para suministrar electricidad a la red cuando sea realmente necesario. Las energías eólica y solar son fuentes poco fiables de energías renovables porque la generación de potencia no puede ser controlada. A las compañías eléctricas no les gustan las energías eólica y solar porque generalmente producen electricidad cuando la compañía eléctrica simplemente no la necesita. Dado que la electricidad no puede ser almacenada a un

costo razonable, la energía renovable se desperdicia y no tiene valor para la compañía eléctrica o el consumidor. Históricamente, los problemas principales de la biomasa han sido la no fiabilidad y la inconsistencia de su suministro. La mayor parte de los suministros de biomasa no se pueden garantizar para siempre y este simple hecho crea demasiado riesgo para el inversor. Sin embargo, las aguas residuales y la luz solar son obviamente muy fiables y reducen de forma significativa el riesgo asociado con el suministro fiable y consistente de biomasa. La energía que entra a estas instalaciones 100 y 200 procede primariamente del sol. Los procesos biológicos que tienen lugar en los sistemas de ruedas de medio 16, 20 son de autoiniciación y autosostenibles. Por lo tanto, las instalaciones 100 y 200 aquí descritas superan los problemas asociados con la energía renovable procedente de la biomasa. De hecho, las instalaciones 100 y 200 dan al propietario un medio de garantizar sus costos de energía durante toda la vida de la instalación.

Así, la presente invención proporciona una solución sumamente consciente del medio ambiente al problema actual del tratamiento de aguas residuales, con las ventajas adicionales de reducir los gases de efecto invernadero procedentes del tratamiento de aguas residuales, capturar CO<sub>2</sub> de los emisores de CO<sub>2</sub>, y producir un recurso renovable para uso en otros procesos.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales y los procesos de la presente invención evitan los problemas asociados con los anteriores esfuerzos de producción de biocombustible de algas. Las ruedas de medio rotativas (figura 4) aumentan esencialmente el área superficial disponible para crecimiento de algas. En las balsas de raceway, la balsa debe ser poco profunda para que la luz solar llegue a las algas suspendidas y que flotan en el agua que circula alrededor de la balsa. Con el sistema de la presente invención, las ruedas de medio rotativas 66 exponen de forma continua a la luz solar las colonias de algas que crecen en las superficies de las ruedas de medio 66.

El sistema de balsas de raceway requiere la inyección tanto de CO<sub>2</sub> como de nutrientes a la balsa para consumo por parte de las algas. El sistema de la presente invención utiliza tanto algas como bacterias que forman una relación simbiótica que da lugar a un crecimiento más rápido de las algas. Aunque se puede introducir CO<sub>2</sub> a las ruedas de medio 66 del sistema de la presente invención, no es necesario. Sin embargo, si se dispone de él, CO<sub>2</sub> adicional soportará el crecimiento adicional de algas. Así, los sistemas de ruedas de medio 16, 20 de la presente invención pueden ser usados para tratar tanto aguas residuales como CO<sub>2</sub> residual procedente de una instalación o factoría adyacente.

Otro beneficio del sistema de la presente invención es que la biomasa de algas puede ser extraída más fácilmente de los depósitos de clarificación 18, 22 de este sistema que de la balsa de raceway del sistema anterior. La balsa de raceway requiere el uso de depuradores o espumaderas arrastrados a través de la balsa o a través de un flujo desviado para recoger las algas. Por otra parte, el sistema de la presente invención se basa en los chorros de aireación usados para hacer girar las ruedas de medio para desalojar las algas crecidas de las superficies de las ruedas de medio 66. Las algas desalojadas sedimentarán en el fondo de los depósitos de clarificación 18, 22 para fácil extracción.

Se ha descubierto recientemente que las algas producen cantidades significativas de gas hidrógeno durante sus reacciones de fotosíntesis. Así, las instalaciones descritas anteriormente pueden ser modificadas para extraer gas hidrógeno, que luego puede ser usado como combustible. Los sistemas anteriores de balsa de raceway no están adaptados para la extracción de hidrógeno dado que el gas hidrógeno se filtrará de toda el área superficial de la balsa. Por otra parte, la instalación de la figura 1 se adapta fácilmente a extraer el gas hidrógeno que emana de un sistema primario de ruedas de medio 16 y el sistema secundario de ruedas de medio 20, dado que el gas se recogerá en la parte superior del invernadero 82.

Se construyó una pequeña planta de tratamiento de aguas residuales municipales que realiza la rueda de medio 66 como los medios de tratamiento, como se ilustra en la figura 4. Cada rueda de medio 66 tenía 16,5 pulgadas de diámetro y 15,5 pulgadas de ancho. El sistema operó inicialmente con aguas residuales sin tratar que entraban en dos ruedas de medio primarias 66 en serie seguidas de un clarificador y luego dos ruedas de medio secundarias adicionales 66 en serie seguido de un clarificador. El número de ruedas de medio primarias y secundarias 66 se aumentó posteriormente a seis ruedas de medio en serie y luego finalmente a nueve ruedas de medio en serie. Las ruedas de medio 66 operaron con aguas residuales que fluían tanto paralelas como perpendiculares al eje de la rueda de medio 66, fluyendo aguas residuales a través de las ruedas de medio en serie. Las ruedas de medio 66 se pusieron en funcionamiento a varias profundidades del agua, varias velocidades rotacionales, varios flujos de influente, y con y sin iluminación artificial. Se descubrió gracias a las pruebas que las aguas residuales deben fluir a la manera de flujo tapón a través de dos etapas (primaria y secundaria) de ruedas de medio 66, constando cada etapa de ruedas de medio de nueve ruedas de medio en serie con el fin de proporcionar sistemáticamente el tratamiento necesario requerido por las agencias reguladoras.

El tiempo total de retención hidráulica en el depósito 52 de las ruedas de medio 66 era 5,4 horas para lograr un efluente que cumpliera los requisitos establecidos para descarga directa. Un proceso de lodo activado requiere típicamente 12-18 horas de tiempo de retención para lograr este mismo nivel de tratamiento. Esto se debe principalmente a la extracción adicional de nutrientes mediante las algas además del tratamiento proporcionado por

las bacterias. El sistema piloto también demostró la eficiente sedimentación de los sólidos como resultado de las algas. Los clarificadores usados en las pruebas piloto solamente proporcionaron un tiempo de retención de 2 horas y no frustraron la disipación del flujo de energía, sino que lograron una tasa de extracción de sólidos en suspensión que cumplía los requisitos de descarga establecidos. Los clarificadores de las plantas de lodo activado convencionales están dimensionados para proporcionar un tiempo de retención de más de 6 horas con el fin de quitar adecuadamente sólidos en suspensión. Esto es debido a que el lodo del proceso de lodo activado no forma un lodo compactado incluso ni siquiera aunque se introduzcan inmensas cantidades de oxígeno procedente de la atmósfera para ayudar a activar el lodo. De hecho, muchas plantas de lodo activado deben añadir polímero a sus clarificadores con el fin de sedimentar el lodo.

Las figuras 5-7 muestran las ruedas de medio de etapa primaria 16 y las ruedas de medio de etapa secundaria 20 usadas en la instalación 100 y la instalación 200. Tanto la etapa primaria 16 como la secundaria 20 son de construcción y operación idénticas, pero están situadas dentro de las instalaciones 100, 200 en etapas separadas en el proceso. La cada una de las etapas primaria 16 y secundaria 20 incluye una serie de múltiples ruedas de medio 66 dispuestas en trenes de nueve ruedas de medio 66 en serie que operan en forma de flujo tapón con múltiples filas de ruedas de medio 66 paralelas una a otra. El número de filas necesario es una función de la cantidad de aguas residuales a tratar y/o de la captura de CO<sub>2</sub> deseada y/o la producción de biomasa deseada. Las ruedas de medio 66 son soportadas por una red de rejilla de plástico 96 que soporta y permite que las ruedas de medio giren y crea cámaras individuales 97 para cada rueda de medio 66 para proporcionar una configuración de flujo tapón a través de cada tren de nueve ruedas. La red de rejilla 96 incluye agujeros 106 en las paredes entre cada cámara de rueda de medio 66 en cada tren de flujo que permiten que las aguas residuales, las algas y las bacterias pasen de una rueda de medio 66 a una rueda de medio 66 y finalmente sobre un rebosadero de control de agua de salida 102 a un canal de efluente común 104 que alimenta el tubo de efluente 84.

Como se representa con más detalle en las figuras 8-9, la red de rejilla 96 está formada por una serie de paneles paralelos 125 montados dentro del depósito de red 108 y que se extienden desde el canal de entrada principal 86 al extremo opuesto del depósito. La red incluye además una serie de paneles paralelos 127 que están dispuestos perpendiculares a los primeros paneles 125 de modo que la combinación de los paneles 125, 127 defina la pluralidad de cámaras 97 dentro de las que se encuentran las ruedas de medio individuales 66. Cada uno de los paneles perpendiculares 127 define una ranura 128 para recibir el eje 71 de la rueda de medio correspondiente. Alternativamente, solamente tres paneles perpendiculares 129a, 129b y 129c están provistos de las ranuras 128. En esta realización alternativa, un solo eje 71 se extiende a lo largo de una fila dada de la matriz, soportando cada rueda de medio dentro de su propia cámara 97. Se puede disponer elementos de soporte en cada ranura para soportar los ejes 71 si es necesario. Se contempla que los paneles de enclavamiento 125, 127, 129a-c estén formados de un material plástico duradero capaz de resistir la exposición a aguas residuales potencialmente nocivas. La red de rejilla 96 puede estar prefabricada de modo que se instale extraíblemente dentro de cada depósito 108.

Las aguas residuales influentes son distribuidas uniformemente a las filas de ruedas de medio 66 utilizando un canal de influente común 90 bordeando el depósito de red de rejilla de rueda de medio 108. Un rebosadero de ranura en V regulable común 94 está montado en el borde superior de la pared de canal de influente 92 delante de cada red de rejilla 96, como se representa en la figura 6. Una serie de ranuras en V a lo largo del rebosadero 94 están configuradas para controlar y distribuir uniformemente las aguas residuales a las ruedas de medio 66 en la red de rejilla 96. El nivel del agua mantenido en la red de rejilla de rueda de medio 96 se controla utilizando un canal de efluente común 104 bordeando cada depósito de red 108. Un rebosadero de ranura en V de efluente regulable común 102 está montado en el borde superior del efluente canal pared de canal de efluente 98 en el extremo de cada red de rejilla 96.

La red de rejilla 96 también incorpora un sistema de distribución de tubos de aire 112 que consta de tubos de aire que bajan por cada tren de nueve ruedas de medio 66. Una salida 114 en el tubo está situada debajo de cada rueda de medio 66 en la posición correcta para permitir que el aire sea capturado en las aletas 62 de la rueda de medio 66 (similar a la salida 58 de la figura 4). La subida y la bajada del nivel del agua 72 en cada cámara de rueda de medio 52 producidas por el biomedio interno 56 que entra y sale alternativamente del agua permite una división uniforme del aire a través de toda la red de rejilla de rueda de medio de trabajo 96 sin la necesidad de válvulas de control del aire. Unos impulsores de aire 80 distribuyen el flujo de aire requerido para girar las ruedas de medio 66 a través de la red de tubos de aire 112 incluida en el sistema de rejilla 96. Estos impulsores 80 también proporcionan los medios para distribuir CO<sub>2</sub> adicional procedente del proceso térmico o de una fuente fuera de la instalación a las ruedas de medio 66.

Así, como se describe aquí, una realización de la presente invención contempla un proceso para tratar simultáneamente aguas residuales, reducir los gases de efecto invernadero, capturar CO<sub>2</sub>, y producir biomasa que incluye hacer fluir aguas residuales a contacto con un aparato que aloja algas y bacterias vivas para tratar las aguas residuales, evitar la liberación y producción de los gases de efecto invernadero producidos por las bacterias con las algas, suministrar el CO<sub>2</sub> a las algas para captura a través del crecimiento de las algas, pasar el aparato, las algas y las bacterias a través de las aguas residuales para airear las aguas residuales y romper las algas cargadas de sólidos, separar las algas y las bacterias de las aguas residuales, deshidratar las algas y las bacterias, y secar las

algas y las bacterias para crear la biomasa. Las aguas residuales pueden ser aguas residuales domésticas, industriales o agrícolas. El proceso es especialmente adecuado para quitar el gas CO<sub>2</sub> desprendido por la respiración bacteriana en depósitos de aireación, el gas N<sub>2</sub>O desprendido por el proceso de nitrificación bacteriana, y gas CH<sub>4</sub> desprendido por el proceso de digestión bacteriana. El CO<sub>2</sub> capturado también procede de un emisor de CO<sub>2</sub> tal como una central eléctrica o la producción de potencia distribuida.

Según un aspecto de la invención, el aparato para alojar las algas y las bacterias incluye al menos una rueda de medio configurada para el crecimiento de algas y bacterias encima de ella, estando montada la rueda de medio para rotación dentro de un depósito de modo que una porción de la rueda de medio se sumerja en aguas residuales durante la rotación y una porción de la rueda de medio esté por encima de las aguas residuales durante la rotación. Esta rotación expone así alternativamente las algas y las bacterias fototrópicas que crecen en el exterior de la rueda de medio a luz solar y a las aguas residuales para realizar la absorción de nutrientes por las algas y las bacterias y la extracción de nutrientes resultante en las aguas residuales, para permitir el intercambio de gas con la atmósfera, y para crear ciclos intermitentes de luz y oscuridad en las algas y las bacterias fototrópicas. La rueda de medio también puede contener un biomedio interno para bacterias no fototrópicas. La rueda de medio incorpora aletas para capturar aire y para proporcionar un área superficial para el crecimiento de algas. La geometría tridimensional de la rueda de medio puede estar configurada para proporcionar un área superficial total de crecimiento de algas de más de 7,6 veces la huella bidimensional. Preferiblemente, la rueda de medio se puede fabricar o moldear por inyección de plástico para crear una rueda de medio ligera que flote en las aguas residuales, reduciendo por ello de forma significativa el desgaste en el eje y el soporte y reduciendo la cantidad de aire requerido para girar la rueda de medio.

En una característica de la invención, la velocidad rotacional de la rueda de medio es controlada por la profundidad del agua en el depósito de rueda de medio. La velocidad rotacional de las ruedas de medio también se mantiene a velocidades que evitan la fotoinhibición de las algas usando una técnica llamada mezcla ordenada que hace que las algas experimenten cambios de períodos de alta densidad de flujo fotónico (DFF) a oscuridad. Se ha demostrado que este ciclo de pasar de alto DFF a bajo DFF mejora el crecimiento de las algas. La velocidad de rotación también es suficiente para proporcionar suficiente erosión de la biomasa de las algas cargadas de sólidos de las ruedas de medio. En un aspecto, el suministro de CO<sub>2</sub> y el movimiento la rueda de medio, las algas, y las bacterias a través de las aguas residuales se pueden llevar a cabo simultáneamente inyectando aire debajo del aparato para hacer girar el aparato. El proceso y el sistema aquí descritos contemplan que las algas sean microalgas y algas filamentosas vivas. Las algas proporcionarán una porción del oxígeno requerido por las bacterias, reduciendo así la energía requerida para tratar las aguas residuales, lo que también reduce la huella de carbono del proceso de aguas residuales. Las algas también capturarán y convertirán el CO<sub>2</sub> suministrado al sistema a masa de algas adicional, incrementando así el potencial de producción de biomasa del sistema y evitando la liberación del CO<sub>2</sub> como un gas de invernadero a la atmósfera. Las algas también convertirán el amoníaco directamente a masa de algas adicional, incrementando así la producción de biomasa potencial del sistema y evitando que las bacterias nitrificantes (inherentes a las aguas residuales ordinarias) creen gas N<sub>2</sub>O a partir del amoníaco. Las bacterias son bacterias fototrópicas y no fototrópicas vivas. Las bacterias convierten el carbono orgánico (DBO) presente en las aguas residuales a carbono inorgánico (CO<sub>2</sub>) que es utilizado por las algas que crecen en el sistema.

En cierto aspecto de la invención, el paso de separar las algas y bacterias se lleva a cabo en un clarificador por gravedad. El paso de deshidratar las algas y las bacterias puede ser realizado con una prensa centrífuga o de correa, mientras que el paso de secado se puede lograr con un sistema solar o térmico de secado de lodo.

La presente invención contempla que la biomasa creada es un subproducto valioso del proceso que puede ser usada para crear la potencia para realizar el proceso propiamente dicho. El subproducto de biomasa también se puede usar para fines fuera del proceso de tratamiento de aguas residuales, tal como para la producción de electricidad, biocombustibles, y otros productos valiosos.

En otro aspecto de la invención, una instalación de tratamiento de aguas residuales multifuncional autosostenible, reducción de gases de efecto invernadero, captura de CO<sub>2</sub>, producción de biomasa, y central eléctrica incluye un tamiz mecánico, clarificadores primarios, ruedas de medio de etapa primaria, clarificadores secundarios, ruedas de medio de etapa secundaria, clarificadores terciarios, desinfección, dosificación de flujo, post-aireación, depósito de mezcla de biomasa, sistema de deshidratación de biomasa, sistema de secado de biomasa, sistema de procesado térmico de biomasa, y sistema generador eléctrico. Las ruedas de medio de etapa primaria y las ruedas de medio de etapa secundaria están alojadas dentro de un invernadero que permite la captura de calor y CO<sub>2</sub> del proceso térmico de biomasa para óptimo crecimiento de algas y bacterias durante todo el año, incluso en climas fríos.

Según una característica, las ruedas de medio de etapa primaria y las ruedas de medio de etapa secundaria son de construcción y operación idénticas, pero están situadas dentro de la instalación en etapas separadas en el proceso. Las ruedas de medio de etapa primaria y las ruedas de medio de etapa secundaria incluyen una serie de múltiples ruedas de medio dispuestas en trenes de nueve ruedas en serie que operan en forma de flujo tapón con múltiples filas de ruedas de medio paralelas una a otra. El número de filas necesario es una función de la cantidad de aguas residuales a tratar y/o la captura de CO<sub>2</sub> deseadas y/o la producción de biomasa deseada. En una característica, las ruedas de medio son soportadas por una red de rejilla de plástico que soporta y permite que las ruedas de medio

giren y que crea cámaras individuales para cada rueda para proporcionar una configuración de flujo tapón a través de cada tren de nueve ruedas. El sistema de rejilla incluye agujeros en las paredes entre cada cámara de rueda de medio en cada tren de flujo que permiten que las aguas residuales, las algas y las bacterias pasen de una rueda de medio a otra rueda de medio y finalmente sobre un rebosadero de control del agua de salida a un canal de efluente común.

En una característica, las aguas residuales influentes son suministradas uniformemente a las filas de ruedas de medio utilizando un canal de entrada común bordeando el depósito de rueda de medio y un rebosadero de ranura en V regulable común montado en el borde superior de la pared de canal de influente delante del sistema de rejilla. Una serie de ranuras en V a lo largo del rebosadero están configuradas para controlar y suministrar uniformemente las aguas residuales al sistema de ruedas de medio de rejilla. El nivel del agua mantenido en el sistema de ruedas de medio de rejilla se controla utilizando un canal de efluente común bordeando el depósito de rueda de medio y un rebosadero de ranura en V de efluente regulable común montado en el borde superior de la pared de canal de efluente en el extremo del sistema de rejilla.

El sistema de rejilla aquí descrito también incorpora un sistema de distribución de tubos de aire con tubos de aire que bajan por cada tren de nueve ruedas de medio. Un orificio que se abre en el tubo está situado debajo de cada rueda de medio en la posición correcta para permitir que el aire sea capturado en las aletas de rueda de medio. La subida y la bajada del nivel del agua en cada cámara de rueda de medio producidas por el biomedio interno que entra y sale alternativamente del agua permite una división uniforme del aire a través de toda la rejilla operativa de ruedas de medio sin necesidad de válvulas de control del aire. Unos impulsores de aire suministran el flujo de aire requerido para hacer girar las ruedas de medio a través de la red de tubos de aire incluidos en el sistema de rejilla. Estos impulsores también proporcionan los medios para suministrar a las algas CO<sub>2</sub> adicional procedente del proceso térmico o de una fuente fuera de la instalación.

Según otro aspecto de la instalación autosostenible, la biomasa se saca de los clarificadores, se deshidrata y se secado para crear una biomasa utilizable. La biomasa utilizable puede ser procesada entonces térmicamente para generar aceite biológico, bio-gas, calor, CO<sub>2</sub> y ceniza. El aceite biológico resultante puede ser usado fuera de la instalación, mientras que el bio-gas se puede quemar en un generador para producir electricidad. Una porción de la electricidad se usa para el funcionamiento de la instalación mientras que la electricidad excedente es enviada a la red eléctrica. Según un atributo del sistema, el calor, el CO<sub>2</sub> y la ceniza creados por el proceso térmico y la generación de electricidad son suministrados de nuevo a las ruedas de medio de etapa primaria y las ruedas de medio de etapa secundaria para la producción adicional de algas, para optimizar los parámetros operativos del proceso de tratamiento de aguas residuales, y para capturar el CO<sub>2</sub> de estos procesos externos.

La instalación multifuncional también puede incluir una instalación multifuncional adicional para recibir el efluente procedente del sistema primario de ruedas de medio y la salida reciclada de la instalación separada cuando se exceda la capacidad de la primera instalación multifuncional de usar la salida reciclada. Se puede añadir instalaciones de tratamiento adicionales hasta que se optimice la operación de la instalación separada.

La presente invención contempla una instalación de tratamiento de aguas residuales que es muy útil cuando el espacio de terreno es limitado. En particular, en esta instalación el sistema primario de ruedas de medio y el sistema secundario de ruedas de medio se pueden construir como una instalación multinivel. Se colocan aparatos de luz en los techos en cada nivel a excepción del nivel superior para proporcionar la luz necesaria para las algas y bacterias fototrópicas. Los aparatos de luz pueden ser aparatos de luz artificial o aparatos de luz de fibra óptica. Los sistemas de ruedas de medio se pueden construir de la misma manera que los sistemas de un solo nivel con bombas apropiadas para distribuir aguas residuales a las tomas de influente en los varios niveles.

**REIVINDICACIONES**

1. Una instalación de tratamiento de aguas residuales (100) incluyendo:
- 5 un recorrido de flujo de entrada (54, 90) para recibir aguas residuales de una fuente;
- un sistema de tratamiento primario (14) incluyendo;
- 10 un primer depósito (52) para contener aguas residuales recibidas a través de dicho recorrido de flujo de entrada (54, 90);
- una pluralidad de ruedas de medio rotativas (66) montadas en dicho primer depósito (52) para rotación dentro de las aguas residuales y conteniendo cada una una colonia bacteriana capaz de digerir carbono orgánico en las aguas residuales y de respirar CO<sub>2</sub>, e incluyendo cada rueda de medio superficies (62) para soportar el crecimiento de algas, estando dispuestas dichas superficies de manera que alternativamente se sumerjan en las aguas residuales y queden expuestas a la luz solar;
- 15 un suministro de aire (112) dispuesto dentro de dicho primer depósito (52) y que tiene una pluralidad de salidas (58, 114) dirigidas en una rueda correspondiente de dicha pluralidad de ruedas de medio (66) para girar dichas ruedas dentro de las aguas residuales y operable para airear las aguas residuales; y
- 20 una salida primaria (60) para descarga del efluente tratado por dicho sistema de tratamiento primario (16) después del contacto con las bacterias y las algas;
- 25 un sistema de tratamiento secundario (20) incluyendo;
- un segundo depósito (52) para recibir el efluente descargado de dicha salida primaria (60) de dicho sistema de tratamiento primario (16);
- 30 una pluralidad de ruedas de medio (66), estando configurada cada una de forma sustancialmente idéntica a dichas ruedas de medio (66) en dicho sistema de tratamiento primario (16);
- un suministro de aire (112) dispuesto dentro de dicho segundo depósito (52) y configurado de forma sustancialmente idéntica a dicho suministro de aire de dicho sistema de tratamiento primario (16); y
- 35 una salida secundaria (60, 86) para descarga del efluente tratado por dicho sistema de tratamiento secundario (20) después del contacto con las bacterias y algas.
- 40 2. La instalación de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 1, donde dicho sistema de tratamiento primario (16) incluye un clarificador primario dispuesto entre dicho recorrido de flujo de entrada y dicho primer depósito (52), pudiendo operar dicho clarificador primario para quitar biosólidos de las aguas residuales.
- 45 3. La instalación de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 2, donde dicho sistema de tratamiento secundario (20) incluye un clarificador secundario (18) dispuesto entre dicha salida primaria (60) y dicho segundo depósito (52), pudiendo operar dicho clarificador secundario (18) para quitar biosólidos del efluente de dicho sistema de tratamiento primario (16).
- 50 4. La instalación de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 3, donde dicho sistema de tratamiento secundario (20) incluye un clarificador terciario (22) en dicha segunda salida para tratar el efluente procedente de dicho sistema de tratamiento secundario (20), pudiendo operar dicho clarificador terciario para quitar biosólidos del efluente de dicho sistema de tratamiento secundario (20).
- 55 5. La instalación de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 4, incluyendo además una unidad de desinfección (24) hacia abajo de dicho clarificador terciario.
- 60 6. La instalación de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 5, incluyendo además una unidad de aireación (28) hacia abajo de dicha unidad de desinfección (24).
7. La instalación de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 4, incluyendo además un depósito (30) para recibir biomasa extraída por dichos clarificadores primario, secundario y terciario.
- 65 8. La instalación de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 1, donde cada una de dichas ruedas de medio (66) define una porción interior (56) que comunica con las aguas residuales dentro de un depósito correspondiente de dichos depósitos, conteniendo dicha porción interior bacterias no fototróficas.
9. La instalación de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 1, donde dichos sistemas de tratamiento

primario y secundario incluyen una rejilla de paneles interconectados (96) que define una pluralidad de cámaras (97) en cuyo interior está montada rotativamente una rueda correspondiente de dichas ruedas de medio (66).

5 10. La instalación de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 9, donde dicha rejilla (96) define una pluralidad de filas de cámaras, estando cámaras adyacentes en cada fila en comunicación de fluido para proporcionar una configuración de aguas residuales de flujo tapón a través de cada fila.

10 11. La instalación de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 10, donde cada fila de dicha rejilla define nueve cámaras para recibir rotativamente un número análogo de dichas ruedas de medio (66).

15 12. La instalación de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 10, incluyendo además una rejilla de distribución de aire (112) asociada con dicha rejilla (96) de paneles interconectados, incluyendo dicha rejilla de distribución de aire un tubo asociado con cada una de dichas filas, definiendo dicho tubo una abertura de salida de aire (114) en cada una de dichas cámaras para dirigir aire para girar dicha rueda de medio asociada con dicha cámara.

20 13. La instalación de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 1, donde dicha pluralidad de ruedas de medio rotativas (66) en cada uno de dichos sistemas de tratamiento primario y secundario están dispuestas en filas de nueve ruedas de medio (66).

14. La instalación de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 1 adaptada de tal manera que dichos sistemas de tratamiento primario y secundario puedan estar alojados dentro de un invernadero (82).

25 15. La instalación de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 1, donde dichos sistemas de tratamiento primario y secundario están dispuestos en una disposición multinivel en la que al menos un depósito (52) de dichos sistemas se soporta verticalmente encima de otro depósito (52) de los sistemas.

30 16. La instalación de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 15, donde al menos un depósito inferior de dichos depósitos está provisto de un sistema de iluminación (120, 122, 124) para proporcionar luz a dicho depósito (52).

35 17. La instalación de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 16, donde dicho sistema de iluminación incluye un colector (120) para recoger luz solar, un tubo de luz (122) para transportar la luz solar y un aparato de fijación de luz interior (124) conectado a dicho tubo de luz.

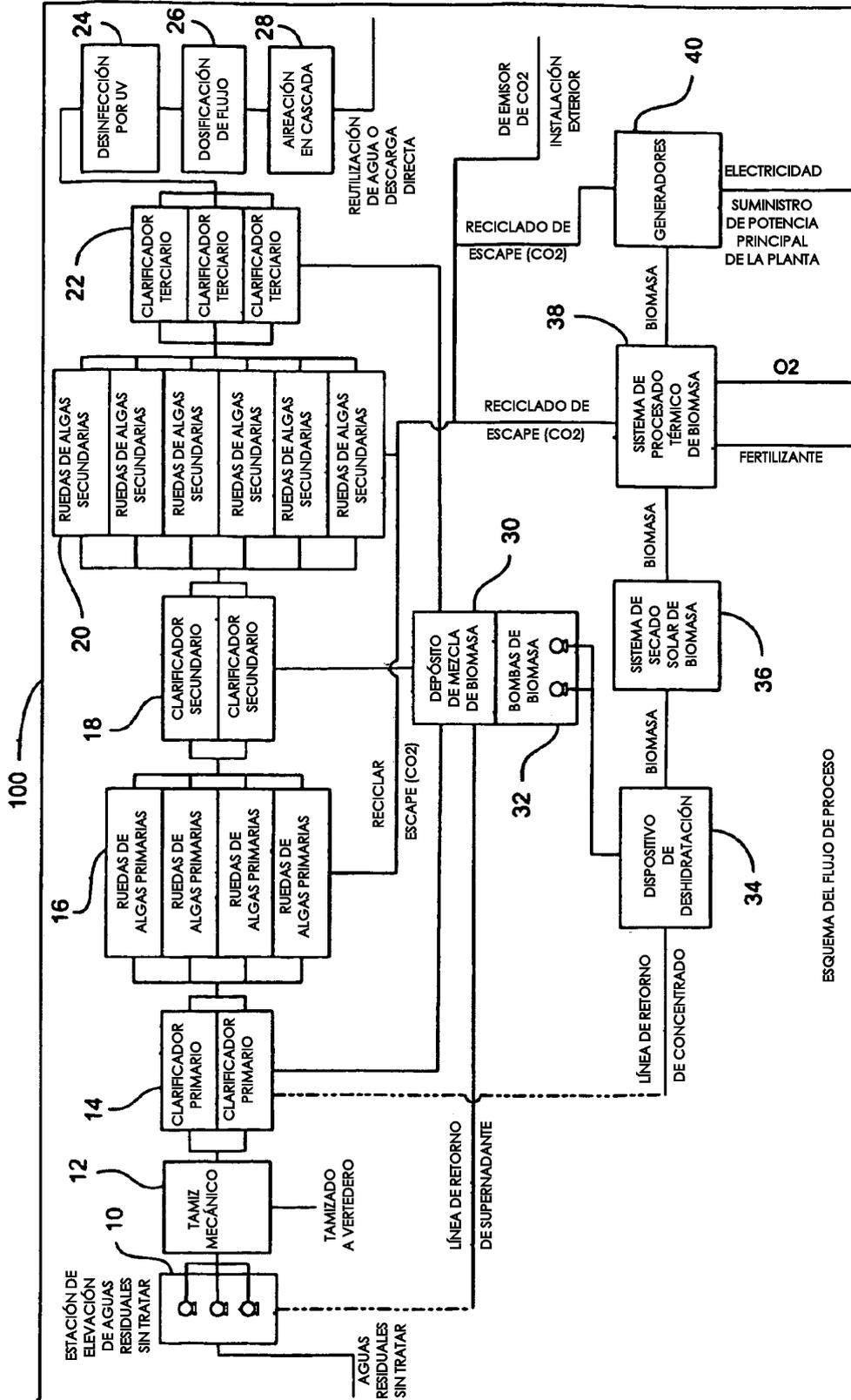


FIG. 1

ESQUEMA DEL FLUJO DE PROCESO

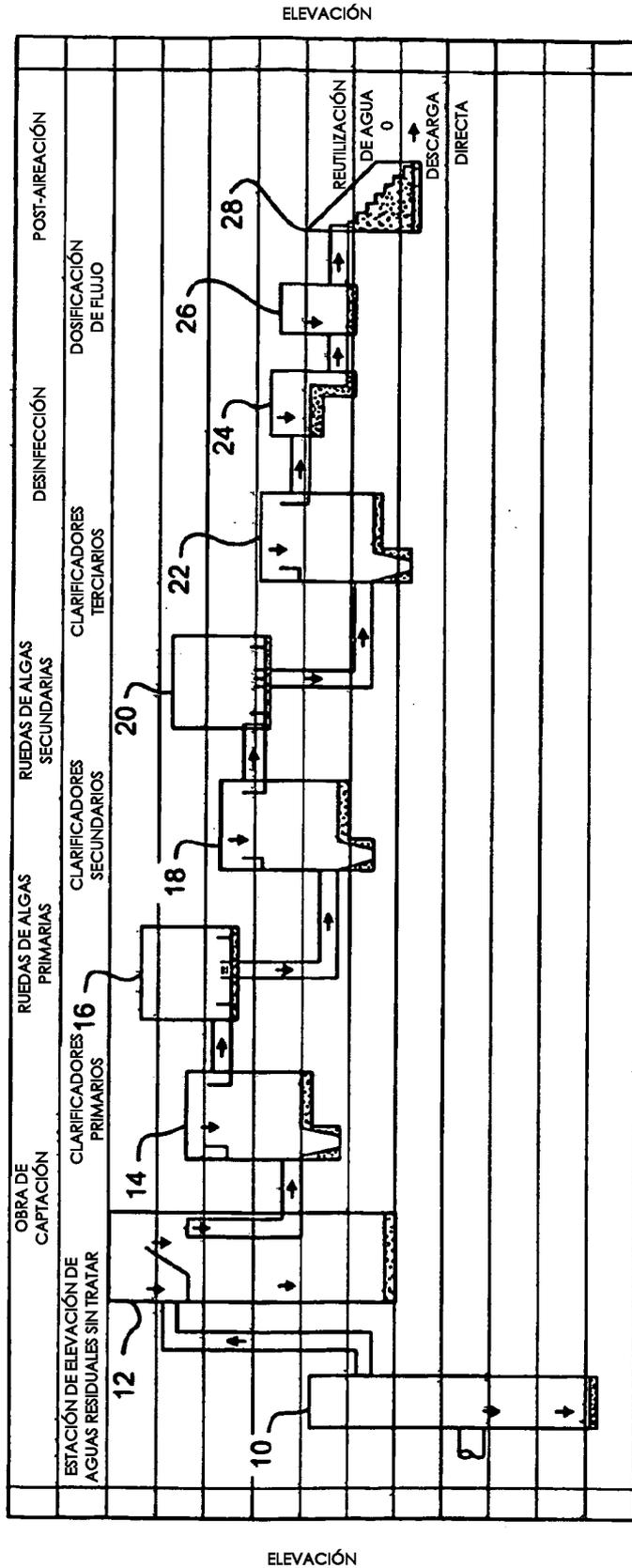


DIAGRAMA DE FLUJO HIDRÁULICO - FLUJO DE PROCESO

FIG. 2

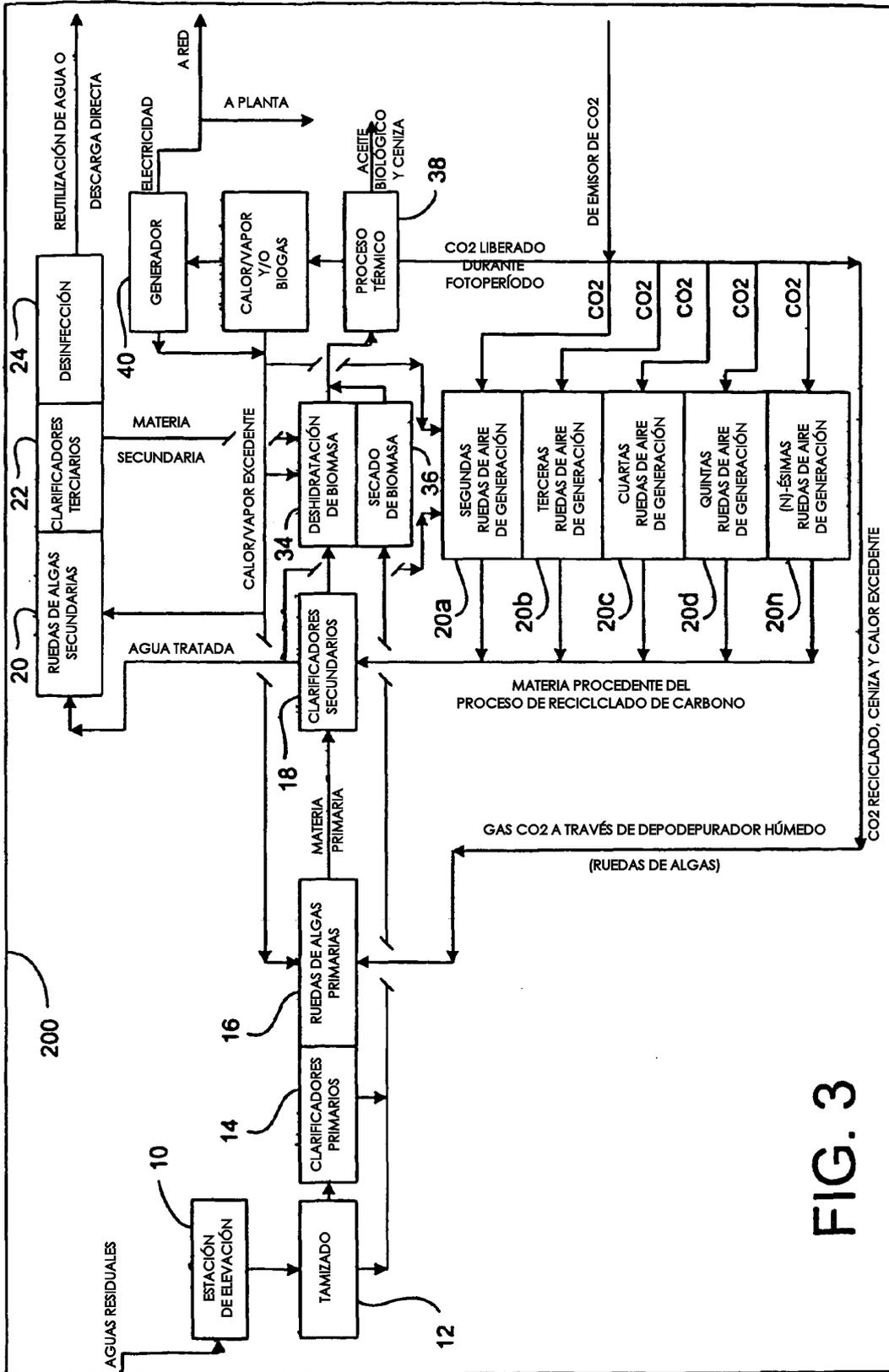


FIG. 3

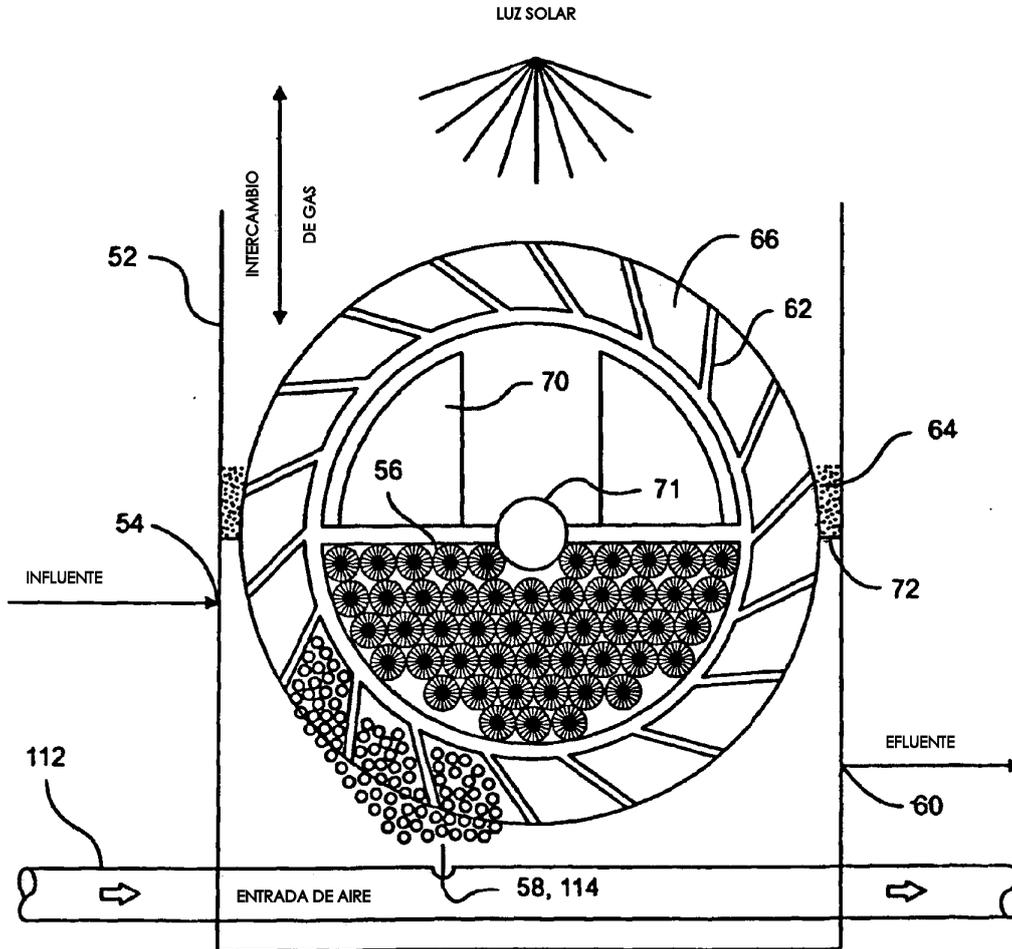


FIG. 4

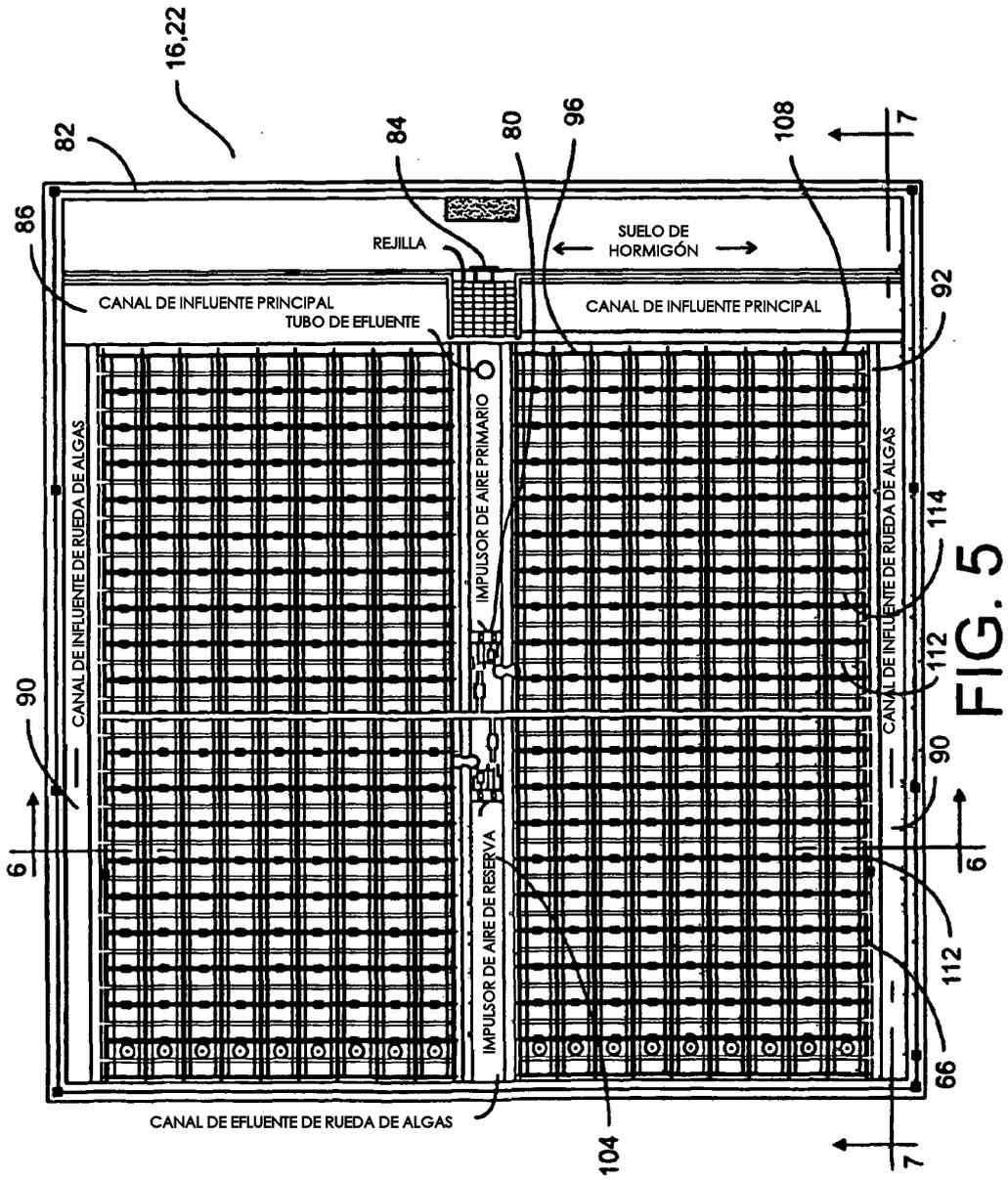


FIG. 5



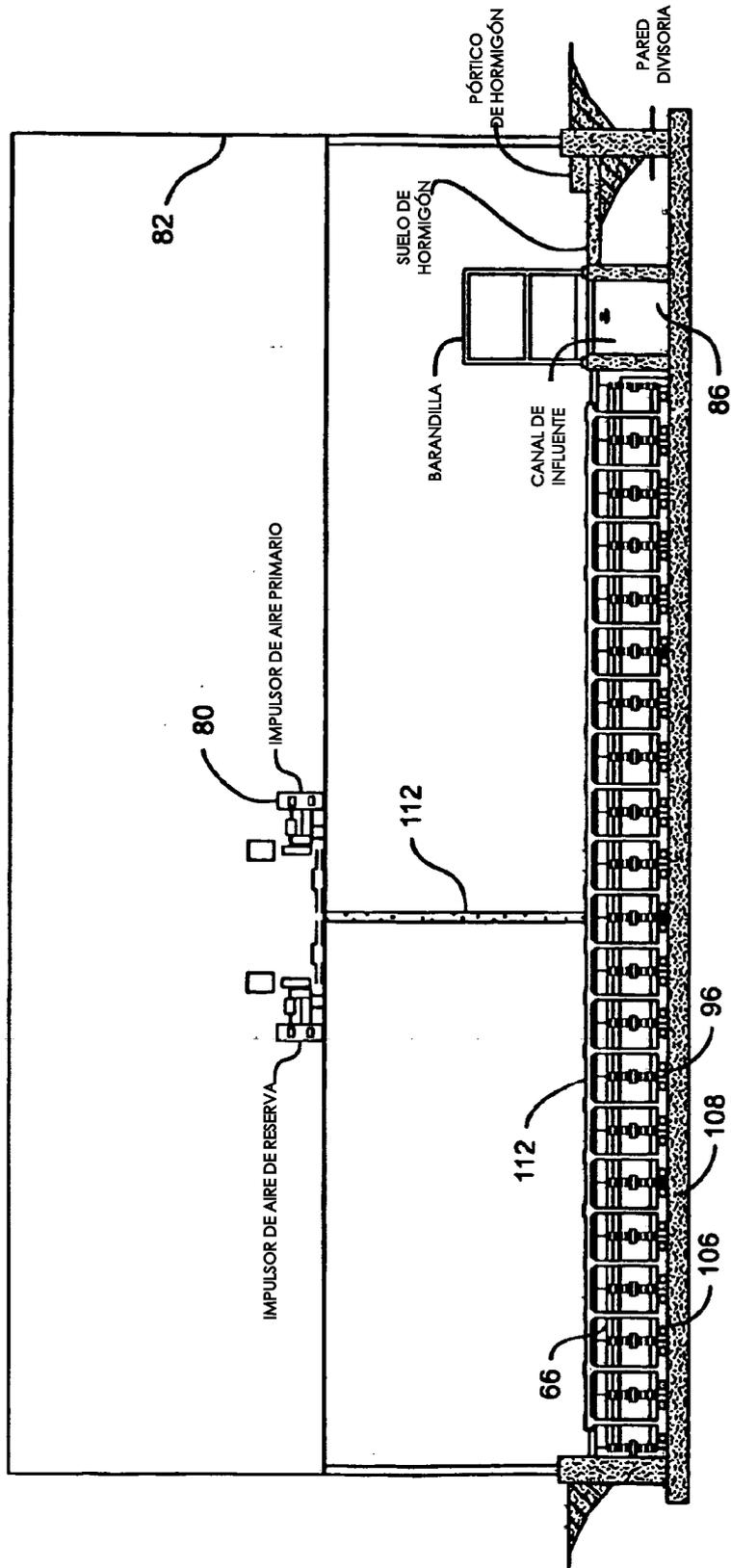


FIG. 7

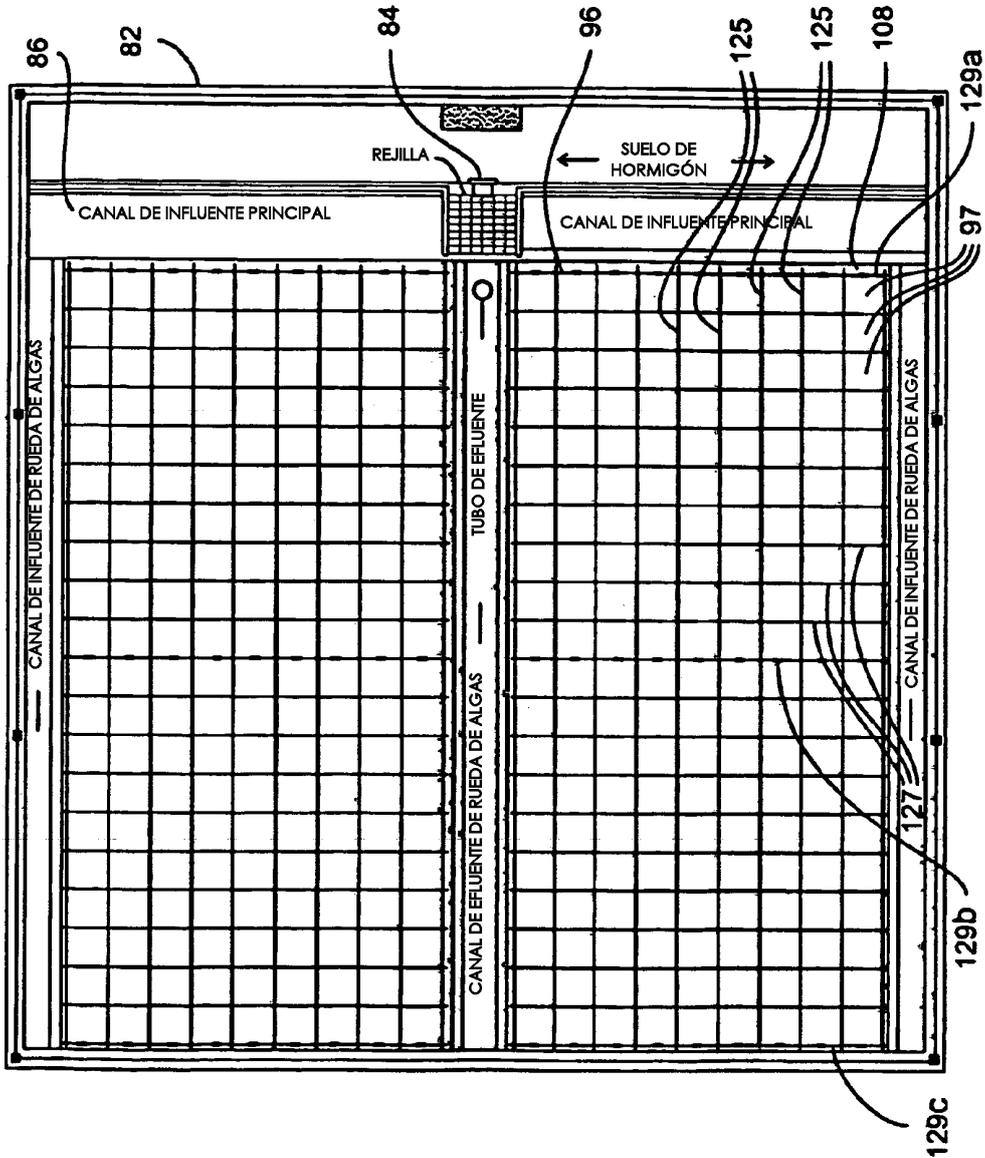


FIG. 8

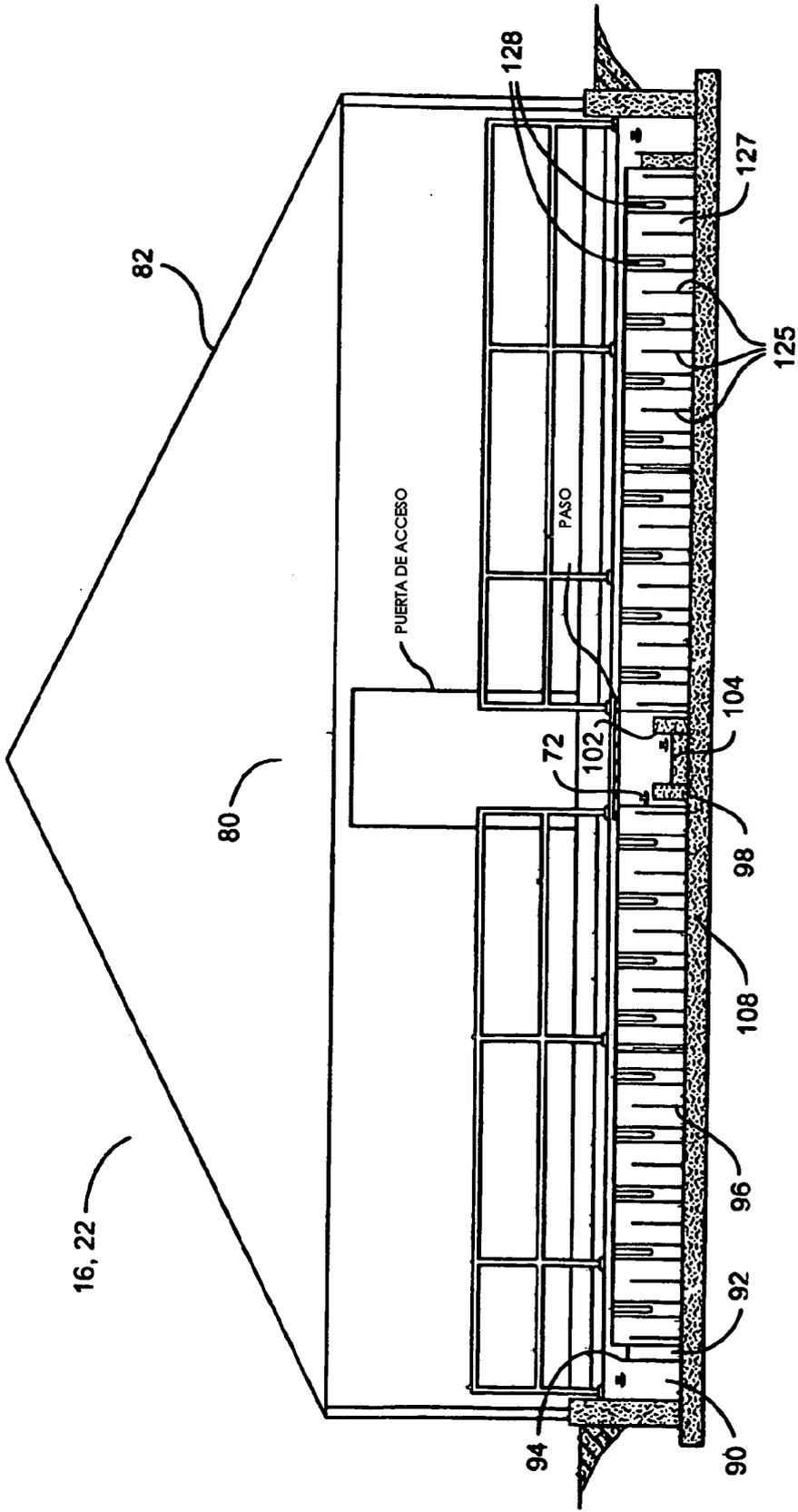


FIG. 9

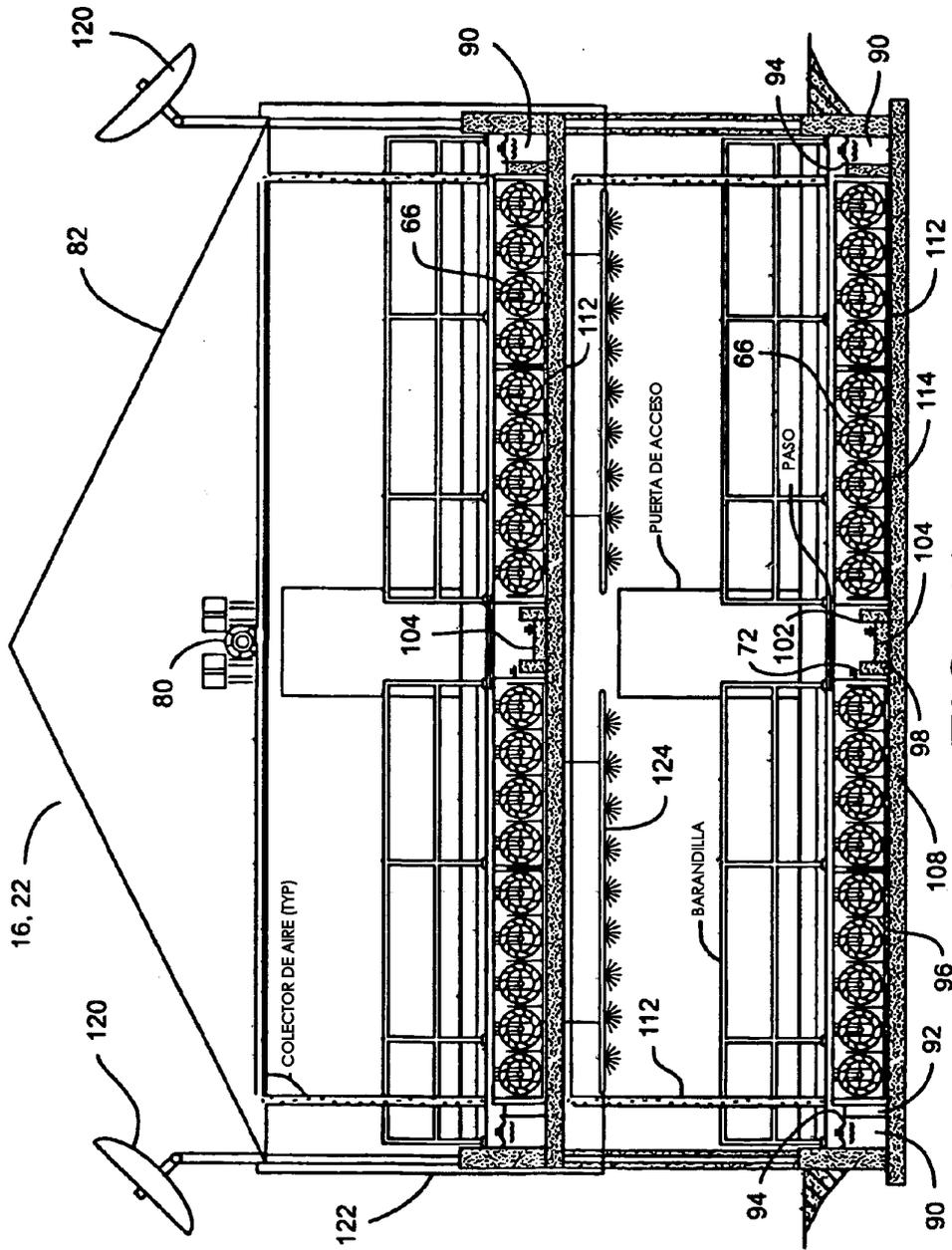


FIG. 10