(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **3 009 574**

(51) Int. Cl.:

C02F 1/46 (2013.01)
C02F 1/467 (2013.01)
C02F 1/461 (2013.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.09.2019 PCT/IL2019/051050**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **25.06.2020 WO20129039**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.09.2019 E 19794261 (8)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.10.2024 EP 3894358**

(54) Título: **Sistema y método para el tratamiento de fluidos de aguas residuales**

(30) Prioridad:

16.12.2018 IL 26372418

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.03.2025

(73) Titular/es:

WADIS LTD. (100.00%)
3 Golda Meir Street, Science Park
7403648 Nes Ziona, IL

(72) Inventor/es:

GAFRI, OREN

(74) Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

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

Sistema y método para el tratamiento de fluidos de aguas residuales

Campo de la invención

La presente invención se refiere a sistemas y métodos para el tratamiento de líquidos, lodo u otros fluidos de aguas residuales que contienen contaminantes orgánicos duraderos, tales como un alto contenido bacteriano y/u orgánico, toxinas, hormonas, antibióticos y otros materiales de naturaleza orgánica; y más particularmente a un sistema para el tratamiento de fluidos de aguas residuales mediante descargas eléctricas y procesos de oxidación avanzada.

Antecedentes de la invención

Los materiales y agentes patógenos perniciosos que se encuentran en los fluidos contaminados y/o residuales, incluidos el agua de estanques, las aguas de escorrentía subterránea, los lagos y ríos infestados o contaminados, las aguas residuales, los lodos de aguas residuales y los lodos de desecho activados, pueden presentar un riesgo significativo para el medio ambiente y la salud humana si no se tratan. En consecuencia, diversos componentes orgánicos, inorgánicos, químicos y microbianos de los fluidos de aguas residuales deben tratarse antes de que los productos de desecho puedan reutilizarse o descargarse al medio ambiente. Los ejemplos de tales fluidos de aguas residuales incluyen aguas subterráneas contaminadas, aguas de lagos infestadas de algas, aguas de arroyos contaminadas, lodos residuales industriales, aguas residuales municipales, efluentes de procesamiento químico, efluentes de fábricas de papel, residuos de ganado, aguas hidropónicas y de piscicultura, etc.

Se conocen muchos tipos de técnicas de tratamiento para el tratamiento de aguas residuales. Estas técnicas pueden emplear procesos físicos, químicos y biológicos o, en algunos casos, combinaciones de estas operaciones. Por ejemplo, se sabe que se utilizan procesos de oxidación avanzada (AOP) para tratar las aguas residuales en la industria de tratamiento de aguas residuales. El principio básico de los AOP implica la producción de especies reactivas de oxígeno, tales como los radicales hidroxilo (·OH), y la interacción de estas especies reactivas con compuestos orgánicos en las aguas residuales. Como resultado de tal interacción, los compuestos orgánicos se pueden degradar, deconstruir, desactivar, desactivar y/o desintoxicar. Por lo tanto, los AOP disminuyen significativamente la concentración de contaminantes en las aguas residuales.

Los AOP también son útiles para eliminar los agentes patógenos, ya que hacen que los radicales ataquen y destruyan las proteínas que forman las paredes celulares de las bacterias y las cápsulas de los virus.

Los AOP son útiles por cierto número de razones, incluida la alta reactividad de los radicales hidroxilo y su aplicabilidad para oxidar una variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos, su capacidad para tratar compuestos orgánicos directamente cuando están en una fase acuosa y la ausencia de sustancias peligrosas o corrientes de residuos adicionales.

Los ejemplos de procesos de oxidación avanzada incluyen aquellos en los que se usan radiación de oxígeno (O_2), ozono (O_3), peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y/o ultravioleta (UV) para generar radicales hidroxilo en el proceso de reacción, ya sea solos o en combinación entre sí. Algunas técnicas avanzadas de oxidación utilizan catalizadores de óxido metálico tales como dióxido de titanio (TiO_2) u óxido de aluminio (Al_2O_3) para reducir las energías de activación, reducir el consumo de ozono y/o mejorar los parámetros de reacción.

Las técnicas que emplean campos eléctricos pulsados mediante la aplicación de una potente corriente eléctrica sin formación de arcos a los fluidos de aguas residuales se describen en las patentes US- 6,491,820; 6,540,919; 6,709,594 y 7,001,520. En tales técnicas, el fluido de aguas residuales se coloca entre dos electrodos, que generan un campo eléctrico de alta intensidad. El campo eléctrico pulsado provoca la electroporación de las paredes celulares de los microorganismos dentro del fluido de aguas residuales, lo que provoca la disgregación de la estructura celular y la ruptura de los enlaces moleculares intracelulares e intercelulares de las células microbianas. Como resultado, las células microbianas liberan agua intracelular e intercelular. Tras liberar el agua intracelular e intercelular, el contenido de sólidos orgánicos, suspendidos en solución, se reduce en volumen y masa, lo que puede simplificar los procesos de postratamiento de aguas residuales.

Una técnica conocida en la técnica, usualmente con el nombre de “electrohidráulica”, utiliza descargas eléctricas de alta tensión con formación de arco en un volumen de líquido o suspensiones u otro fluido con el fin de desinfectar, cambiar los constituyentes químicos y recuperar metales y otras sustancias de los fluidos (véanse, por ejemplo, las patentes US- 3,366,564 de Allen; 3,402,120 de Allen y col.; y 4,957,606 de Juvan). Según esta técnica, una onda de choque electrohidráulica dentro del líquido o las suspensiones, se inician una radiación luminosa intensa y reacciones termoquímicas mediante una descarga de arco formada en la distancia disruptiva formado entre los electrodos sumergidos en dichos fluidos.

La solicitud de patente US - 2017/281813 describe un aparato generador de plasma que incluye un contenedor para contener un líquido, un primer electrodo, un segundo electrodo dispuesto en una posición en contacto con el líquido

cuando el líquido se mantiene en el contenedor, una fuente de alimentación y un dispositivo de suministro de gas. Durante el funcionamiento, la fuente de alimentación aplica una tensión entre el primer electrodo y el segundo electrodo. En funcionamiento, D1 enseña el suministro de un líquido en el contenedor para que el segundo electrodo esté en contacto con el líquido. En un primer período, generar el primer plasma en una burbuja generada en el líquido mediante la aplicación de una primera tensión entre el primer electrodo y el segundo electrodo. Suministrar un primer gas en el líquido en un segundo período después del primer período y generar un segundo plasma en el primer gas mediante la aplicación de una segunda tensión entre el primer electrodo y el segundo electrodo. Al generar el primer plasma, no se suministra el primer gas en el líquido. La burbuja contiene un segundo gas.

La patente US-6,328,898 describe un aparato para formar agua altamente oxidante que comprende un recipiente a alta presión para disolver un gas rico en oxígeno a alta presión en agua, y un recipiente de descarga a baja presión mantenido a una presión inferior a la del recipiente a alta presión y que recibe un suministro de agua en el que el gas rico en oxígeno se disuelve del recipiente a alta presión y en donde una fuente de impulsos está conectada a los electrodos dispuestos en el recipiente de descarga a baja presión.

La solicitud de patente US - 2015/136591 describe un sistema para tratar electrolíticamente el agua a través de disposiciones de entrada de afluentes para cavitación y uno o más pares de electrodos. Los electrodos pueden proporcionar un funcionamiento anódico y catódico continuo para tratar el agua. El afluente presurizado premezclado con gas oxidante se puede bombear hacia el recipiente del reactor a través de las boquillas de mezcla dispuestas radialmente a lo largo de la circunferencia. Se puede usar un electrodo de paleta electrocatalítico para el tratamiento del flujo de retorno y el agua producida. El electrodo de paleta puede consistir en electrodos de placa plana pentagonales alternos separados por espaciadores de teflón de distancia variable ajustables.

La patente US-9,932,252 describe un sistema y un método para tratar sistemas de agua que fluye con una descarga de plasma para eliminar o controlar el crecimiento de especies microbiológicas. El gas ozono generado por un generador de alta tensión que alimenta la descarga de plasma se recicla para tratar aún más el agua. Se puede usar un sistema de infusión de gas para crear burbujas finas de ozono, aire u otros gases en el agua que se está tratando para ayudar a la generación de plasma, particularmente cuando la conductividad del agua es alta. Un conjunto de montaje de electrodos mantiene un electrodo de alta tensión y un electrodo de tierra a una distancia fija entre sí para optimizar la generación de plasma. Una estructura de soporte abierta para el circuito generador de alta tensión separa físicamente los electrodos con distancia disruptiva y resiste los depósitos metálicos que pueden romper la descarga de un impulso de alta tensión para crear el plasma.

La solicitud de patente US - 2015/251933 describe un dispositivo de tratamiento de aguas que genera una burbuja en el agua a tratar dentro de un tanque de tratamiento y trata el agua a tratar mediante el uso de radicales que se generan por la descarga eléctrica de burbujas causada a través de la burbuja. El dispositivo de tratamiento de aguas incluye electrodos principales para formar un área de descarga principal entre un primer electrodo principal y un segundo electrodo principal, electrodos auxiliares para formar un área de descarga preliminar entre un primer electrodo auxiliar y un segundo electrodo auxiliar y un generador de burbujas que genera una burbuja en el agua a tratar mediante el uso de un gas suministrado externamente. Cuando una burbuja generada por el generador de burbujas atraviesa el área de descarga preliminar, la descarga se produce a través de la burbuja y, cuando la burbuja en estado de excitación pasa posteriormente a través del área de descarga principal, la burbuja hace que la descarga vuelva a generar radicales.

La solicitud de patente US - 2005/189278 describe un aparato que realiza tratamiento de radicales mediante descarga eléctrica. El aparato de tratamiento de radicales incluye una unidad de electrodos que tiene un paso de flujo de gas que sopla gas sobre el agua de tratamiento y un elemento de electrodo que genera la descarga eléctrica en un borde anterior para generar un radical a partir del gas.

Descripción general

Todavía existe la necesidad en la técnica de, y sería útil tener, un sistema novedoso que proporcione un tratamiento rápido y fácil de los fluidos de aguas residuales.

Sería ventajoso combinar, sinérgicamente, los efectos de los procesos de oxidación avanzada (AOP) y las técnicas que utilizan descargas eléctricas de alta tensión, para el tratamiento del fluido de aguas residuales en la industria de tratamiento de aguas residuales. El término "fluido de aguas residuales" se usa ampliamente en la memoria descriptiva de esta patente para describir cualquier líquido con un alto contenido de contaminación bacteriana y/u orgánica.

La presente invención mejora el estado de la técnica de los AOP, simplificando el proceso de generación de hidroxilo de modo que se mejoran el diseño y el funcionamiento del sistema para el tratamiento de los fluidos de aguas residuales.

Debido a la inestabilidad y la corta vida útil de los radicales hidroxilo, deben generarse dentro del fluido tratado a partir de interacciones con otros compuestos más estables, que pueden mezclarse en el fluido tratado.

Las reacciones utilizadas en el estado de la técnica incluyen mezclar peróxido de hidrógeno prefabricado en el fluido tratado y, a continuación, dividirlo en hidroxilo mediante el uso de un catalizador y/o irradiación UV:

$$H_2O_2+hv \rightarrow 2 \cdot OH$$

También se conoce en el estado de la técnica usar oxígeno para generar ozono, y a continuación, mezclarlo con el fluido tratado para interactuar con el agua del fluido y producir localmente peróxido o hidróxido de hidrógeno que puede reaccionar adicionalmente para formar hidroxilo:

Etapa 1:

$$O_3+H_2O \rightarrow O_2 + H_2O_2$$

Etapa 2:

$$O_3+H_2O_2 \rightarrow O_2 +HO_2 + \cdot OH \qquad \text{(ozono y peróxido)}$$

Etapa 3:

$$O_3+HO_2 - 2\ O_2+ \cdot OH \qquad \text{(ozono e hidróxido)}$$

La presente invención emplea una combinación de donación de electrones y un campo eléctrico concentrado localizado para dividir el oxígeno en oxígeno monoatómico ionizado y excitado que puede reaccionar directamente con el agua para formar hidroxilo, y también reaccionar con oxígeno para formar ozono para una mayor generación de hidroxilo.

$$O2+e \rightarrow e + O +O \qquad \text{(división eléctrica de O2 a monoxígeno)}$$

$$H_2O +e \rightarrow e +H + \cdot OH \qquad \text{(reacción hidroxilada por electrólisis del agua)}$$

$$O+H_2O\text{: } O +H - 2 \cdot OH +\cdot OH \qquad \text{(reacciones de monoxígeno)}$$

$$O + O_2 \rightarrow O_3 \qquad \text{(reacción de exceso de oxígeno a ozono)}$$

Por lo tanto, según la presente invención, la tasa de producción de hidroxilo se puede aumentar debido a la producción de oxígeno monoatómico directamente con una tasa de conversión teórica de cuatro ·OH para un O2. Además, según la presente invención, el ozono también se puede producir como un subproducto que se puede usar para una oxidación avanzada adicional.

El tratamiento del fluido de aguas residuales se alcanza mediante la aplicación de una descarga eléctrica a las burbujas de un gas de proceso inyectado en el fluido de aguas residuales.

Según algunas realizaciones de la presente invención, el gas de proceso puede ser un gas inerte que sirve solo como medio para la transferencia de electrones y/o que proporciona una superficie gas-líquido para una descarga luminiscente de plasma dentro del fluido de aguas residuales tratadas. Alternativamente, el gas de proceso puede ser un gas químicamente reactivo que sirve como fuente de oxidantes y/o elemento de reacción para el proceso.

La acción combinada de un campo eléctrico de alta intensidad y el gas de proceso puede elevar aún más la reactividad del tratamiento y mejorar la producción de hidroxilo y otros radicales en las aguas residuales para desinfectar el fluido de aguas residuales, oxidar una amplia gama de contaminantes orgánicos e inorgánicos, cambiar los constituyentes químicos del fluido de aguas residuales y romper los enlaces moleculares intracelulares e intercelulares de las células microbianas que residen en el fluido de aguas residuales.

Por lo tanto, sería ventajoso tener un sistema y un método novedosos que puedan ser lo suficientemente fiables y eficientes para su implementación en una planta de aguas residuales para el tratamiento de lodos de aguas residuales y otros fluidos de aguas residuales en cualquier fase. En particular, sería ventajoso disponer de una técnica que pudiera emplearse para el tratamiento de los lodos primarios para eliminar los compuestos orgánicos e inorgánicos contaminantes y tóxicos, para el tratamiento de los lodos activados mediante la destrucción de bandadas y grupos de microorganismos para exponerlos todos al tratamiento, para la destrucción de la mayoría de las unidades celulares individuales y las unidades celulares ensambladas en flóculos en los lodos activados residuales exponiendo la materia orgánica interna para una digestión útil, y para eliminar el agua intercelular de los lodos digeridos junto con otras técnicas de extracción de agua convencionales. El sistema también se puede utilizar eficazmente para la descontaminación de efluentes secundarios de aguas residuales, para destruir o eliminar materiales contaminantes y tóxicos, bacterias patógenas y materiales perniciosos en suspensión.

Del mismo modo, sería ventajoso tener una técnica que se pueda emplear para el tratamiento de aguas subterráneas y agua potable para destruir o eliminar bacterias patógenas, toxinas, residuos de fármacos y sustancias que producen color, sabor y olor.

La presente invención elimina parcialmente los inconvenientes de las técnicas convencionales y proporciona un sistema novedoso para el tratamiento del fluido de aguas residuales. El sistema de fluido de aguas residuales incluye un sistema de suministro de gas configurado para inyectar un gas de proceso en el fluido de aguas residuales, un generador de energía eléctrica pulsada configurado para generar impulsos de alta tensión eléctrica y un aparato reactor acoplado neumáticamente al sistema de suministro de gas y acoplado eléctricamente al generador de energía eléctrica pulsada.

El aparato reactor está configurado para producir una pluralidad de microburbujas de gas del gas de proceso inyectado en el fluido de aguas residuales que se suministra hacia el aparato reactor para el tratamiento. El aparato reactor también está configurado para aplicar los impulsos de alta tensión eléctrica generados por el generador de energía eléctrica pulsada a la pluralidad de microburbujas. Los impulsos de alta tensión eléctrica tienen energía suficiente para crear una descarga luminosa de plasma dentro de la pluralidad de microburbujas y, respectivamente, en una interfaz de las microburbujas con el fluido de aguas residuales, resultando de este modo en un campo eléctrico intenso capaz de ionizar, excitar o activar de cualquier otra manera el gas de proceso para una reactividad superior, y/o en una electrólisis parcial del fluido de aguas residuales tratado.

El aparato reactor incluye una carcasa. La carcasa incluye un plénum de entrada de gas, una cámara de reacción y una cámara de gas.

El plénum de entrada de gas está dispuesto en una porción inferior de la carcasa e incluye una entrada neumática configurada para recibir el gas de proceso del sistema de suministro de gas. La cámara de gas está dispuesta en una porción superior de la carcasa e incluye una salida neumática para liberar los productos de gas de reacción recolectados en la cámara de gas durante el tratamiento del fluido de aguas residuales. La cámara de reacción está dispuesta entre el plénum de entrada de gas y la cámara de gas.

La cámara de reacción incluye una entrada hidráulica configurada para recibir un fluido de aguas residuales y una salida hidráulica para liberar el fluido de aguas residuales de la cámara de reacción después del tratamiento.

La cámara de reacción también incluye una placa de potencial dispuesta en la parte inferior de la cámara de reacción y que separa la cámara de reacción del plénum de entrada de gas. La placa de potencial está configurada para contener una pluralidad de electrodos tubulares. Cada uno de los electrodos tubulares incluye una porción sobresaliente y una porción pasante. La porción sobresaliente de los electrodos tubulares sobresale de la placa de potencial y está configurada para proporcionar un acoplamiento eléctrico conductivo o capacitivo al fluido de aguas residuales tratado en la cámara de reacción. La porción pasante de los electrodos tubulares pasa a través de la placa de potencial para proporcionar una comunicación neumática entre el plénum de entrada de gas y la cámara de reacción para suministrar el gas de reacción para la producción de las microburbujas.

El aparato reactor incluye además un electrodo de potencial y un electrodo conectado a tierra. El electrodo de potencial está conectado eléctricamente a un lado inferior de la placa de potencial y pasa a través o alrededor del plénum de entrada de gas. El electrodo conectado a tierra está conectado eléctricamente a un lado superior de la placa conectada a tierra y pasa a través o alrededor de la cámara de gas. El electrodo de potencial y el electrodo conectado a tierra pueden, por ejemplo, acoplarse al generador de energía eléctrica pulsada a través de una conexión de alta tensión y baja impedancia, tal como un cable coaxial.

Según la presente invención, la placa de soporte es una placa de potencial que es eléctricamente conductora. En este caso, el electrodo de potencial está conectado eléctricamente a un lado inferior de la placa de potencial, mientras que un electrodo conectado a tierra está conectado eléctricamente a un lado superior de la placa conectada a tierra.

En una alternativa no reivindicada, la placa de soporte se elabora de un material eléctricamente aislante que tiene una alta resistencia dieléctrica. En este caso, el electrodo de potencial está conectado eléctricamente a la pluralidad de electrodos tubulares mediante cables eléctricos.

La cámara de reacción también incluye una placa conectada a tierra dispuesta en una porción superior de la cámara de reacción y que separa la cámara de reacción de la cámara de gas. La placa conectada a tierra incluye una pluralidad de aberturas que pasan a través de la placa conectada a tierra desde la cámara de reacción hacia la cámara de gas. Las aberturas permiten que un exceso de mezcla de gases que contiene el gas químicamente activo liberado por las microburbujas que llega a la placa conectada a tierra y otros productos gaseosos de reacción producidos durante el tratamiento pasen a través de la pluralidad de aberturas y se recojan en la cámara de gas.

Según algunas realizaciones de la presente invención, la placa conectada a tierra se acopla de manera conductiva o capacitiva al fluido tratado. Una distancia entre la placa de potencial y la placa conectada a tierra puede estar, por ejemplo, en el intervalo de 10 mm a 50 mm.

Según algunas realizaciones de la presente invención, los electrodos tubulares están conificados o bifurcados para tener un borde superior afilado o puntiagudo configurado para concentrar e intensificar el campo eléctrico local. Un diámetro exterior de los electrodos tubulares puede estar, por ejemplo, en el intervalo de 0,1 mm a 5 mm.

La cámara de reacción incluye además una placa aislante dispuesta en una superficie superior de la placa de potencial. La placa aislante incluye una pluralidad de aberturas capilares que pasan a través de la placa de potencial y entran en la cámara de reacción. Las aberturas capilares están configuradas para alojar herméticamente las porciones sobresalientes de los electrodos tubulares que sobresalen de la placa de potencial.

Según algunas realizaciones de la presente invención, los orificios capilares incluyen además un inserto dispuesto entre las paredes interiores de los orificios capilares y los electrodos tubulares.

Según algunas realizaciones de la presente invención, la superficie interior de las aberturas capilares está construida, o recubierta con, un material que actúa como catalizador para facilitar la activación e ionización del gas de proceso.

Según algunas realizaciones de la presente invención, estas aberturas capilares están construidas de, o recubiertas con, un material que actúa para dar forma al campo eléctrico, con el fin de crear zonas de campos eléctricos localizados intensos para facilitar la activación e ionización del gas de proceso.

La altura de las porciones sobresalientes de los electrodos tubulares es menor que la anchura total de la placa aislante para formar orificios capilares dentro de las aberturas capilares que se extienden desde una superficie superior de la placa aislante hacia los extremos sobresalientes de los electrodos tubulares. El diámetro de los orificios capilares puede estar, por ejemplo, en el intervalo de 0,1 mm a 5 mm, la anchura total de la placa aislante puede estar, por ejemplo, en el intervalo de 5 mm a 50 mm, y la profundidad de los orificios capilares puede estar, por ejemplo, en el intervalo de 5 mm a 10 mm.

Según algunas realizaciones de la presente invención, el sistema de tratamiento de aguas residuales incluye además un tanque de contacto dispuesto corriente abajo de la cámara del reactor. El tanque de contacto está acoplado hidráulicamente a la cámara de reacción del aparato reactor a través de un tubo de salida para recibir el fluido de aguas residuales que sale de la cámara de reacción. El tanque de contacto también está acoplado neumáticamente a la salida neumática de la cámara de gas a través de un tubo de producto gaseoso para recibir un exceso de mezcla de gases. El exceso de mezcla de gases contiene el gas de proceso liberado por las microburbujas que llegan a la cámara de gas y también otros productos de gas de reacción producidos durante el tratamiento con los impulsos de alta tensión eléctrica.

Según una realización de la presente invención, el tubo de salida que conecta el aparato reactor al tanque de contacto es un tubo en forma de cono que funciona sobre la base del efecto Venturi para recoger el exceso de mezcla de gases.

Según algunas realizaciones de la presente invención, el sistema de tratamiento de aguas residuales incluye además un generador de nanoburbujas dispuesto corriente arriba del aparato reactor para el pretratamiento del fluido de aguas residuales suministrado para el tratamiento. El generador de nanoburbujas está acoplado neumáticamente a la salida neumática de la cámara de recolección del exceso de gas a través de un tubo de producto gaseoso. El generador de nanoburbujas está configurado para recibir gas de proceso y/o productos de gas de proceso producidos durante la descarga de plasma dentro de las microburbujas y en la interfaz entre las microburbujas y el fluido de aguas residuales, y para introducir estos gases en el fluido de aguas residuales en forma de nanoburbujas.

Según algunas realizaciones de la presente invención, el sistema comprende un generador de nanoburbujas dispuesto corriente arriba del aparato reactor para el pretratamiento del fluido de aguas residuales suministrado para el tratamiento. Según esta realización, el generador de nanoburbujas está acoplado neumáticamente al tanque de contacto.

Según algunas realizaciones de la presente invención, el sistema comprende un generador de nanoburbujas dispuesto corriente arriba del aparato reactor para el pretratamiento del fluido de aguas residuales suministrado para el tratamiento. Según esta realización, el generador de nanoburbujas está acoplado neumáticamente al sistema de suministro de gas.

El sistema de tratamiento de aguas residuales de la presente invención tiene muchas de las ventajas del estado de la técnica, al tiempo que se superan algunos de los inconvenientes normalmente asociados con el mismo.

El sistema de tratamiento de aguas residuales según la presente invención puede fabricarse y comercializarse de manera fácil y eficiente.

El sistema de tratamiento de aguas residuales según la presente invención es de estructura duradera y fiable.

El sistema de tratamiento de aguas residuales según la presente invención puede tener un coste de fabricación relativamente bajo.

Según otro aspecto general de la presente invención, se proporciona un método para el tratamiento de un fluido de aguas residuales. El método incluye recibir el fluido de aguas residuales para su tratamiento, producir una pluralidad de microburbujas de gas de un gas de proceso en el fluido de aguas residuales y aplicar impulsos de alta tensión eléctrica a la pluralidad de microburbujas. Los impulsos de alta tensión eléctrica tienen energía suficiente para crear una descarga luminosa de plasma dentro de la pluralidad de microburbujas y, respectivamente, en la interfaz de las microburbujas con el fluido de aguas residuales.

Según algunas realizaciones de la presente invención, la amplitud de tensión de los impulsos de alta tensión eléctrica está en el intervalo suficiente para crear campos eléctricos localizados capaces de activar e ionizar eléctricamente el gas de proceso.

Según algunas realizaciones de la presente invención, la amplitud de tensión de los impulsos de alta tensión eléctrica está en el intervalo suficiente para alcanzar una temperatura de plasma electrónico de 5,2 eV y dividir el gas O2 para reaccionar con H2O y O2 y producir *OH y O3 utilizando un campo eléctrico en el intervalo de 30 kV/cm a 60 kV/cm con una corriente pulsada pico en el intervalo de 100 A a 5 kA.

Según algunas realizaciones de la presente invención, la amplitud de tensión de los impulsos de alta tensión eléctrica está en el intervalo de 15 kV/cm a 60 kV/cm, una corriente pulsada pico puede estar en el intervalo de 100 A a 5 kA, la anchura de impulso de los impulsos de alta tensión eléctrica puede estar en el intervalo de 10 nanosegundos a 100 nanosegundos y la tasa de repetición de impulsos puede estar en el intervalo de 10 pps a 104 pps (impulsos por segundo).

Según algunas realizaciones de la presente invención, el método para el tratamiento de fluidos de aguas residuales incluye además recoger un exceso de mezcla de gases que contiene el gas de proceso liberado por las microburbujas y otros productos de gas de reacción producidos durante el tratamiento del fluido de aguas residuales con los impulsos de alta tensión eléctrica, y aplicar el exceso de mezcla de gases al fluido de aguas residuales tratado mediante la descarga luminiscente de plasma a través de un tubo en forma de cono que funciona sobre la base del efecto Venturi para continuar el tratamiento del fluido de aguas residuales.

Según algunas realizaciones de la presente invención, el método para el tratamiento de fluidos de aguas residuales incluye además recoger un exceso de mezcla de gases que contiene el gas de proceso liberado por las microburbujas y otros productos de gas de reacción producidos durante el tratamiento con los impulsos de alta tensión eléctrica, producir nanoburbujas que contienen el exceso de mezcla de gases y pretratar el fluido de aguas residuales inyectando nanoburbujas en el fluido de aguas residuales. El pretratamiento del fluido de aguas residuales se lleva a cabo antes de las etapas de producir la pluralidad de microburbujas de gas de un gas de proceso en el fluido de aguas residuales y aplicar los impulsos de alta tensión eléctrica.

Por lo tanto se ha descrito, de forma bastante general, las características más importantes de la invención, para que pueda entenderse mejor la descripción detallada de la misma a continuación en la descripción. En la descripción detallada se expondrán detalles y ventajas adicionales de la invención, y en parte se apreciarán a partir de la descripción, o pueden aprenderse mediante la práctica de la invención.

Breve descripción de los dibujos

Para entender la invención y ver cómo puede llevarse a cabo en la práctica, ahora se describirán realizaciones preferidas, únicamente como ejemplo no limitativo, con referencia a los dibujos adjuntos, en las que:

La Figura 1 ilustra un diagrama de bloques esquemático de un sistema para el tratamiento de un fluido de aguas residuales, según una realización de la presente invención;

la Figura 2 ilustra una vista esquemática en sección transversal de un aparato reactor del sistema de la Figura 1, según una realización de la presente invención;

la Figura 3 ilustra una vista esquemática en sección transversal ampliada de una porción del aparato reactor que incluye una distancia entre electrodos entre la placa de potencial y la placa conectada a tierra, según una realización de la presente invención;

la Figura 4 ilustra un esquema eléctrico de un generador de energía eléctrica pulsada para el tratamiento de un fluido de aguas residuales, según una realización de la presente invención;

la Figura 5 ilustra un diagrama de bloques esquemático de un sistema para el tratamiento de un fluido de aguas residuales, según otra realización de la presente invención;

la Figura 6 ilustra un diagrama de bloques esquemático de un sistema para el tratamiento de un fluido de aguas residuales, según una realización adicional de la presente invención;

la Figura 7 ilustra un diagrama de bloques esquemático de un sistema para el tratamiento de un fluido de aguas residuales, según otra realización más de la presente invención; y

la Figura 8 ilustra un diagrama de bloques esquemático de un sistema para el tratamiento de un fluido de aguas residuales, según otra realización más de la presente invención.

Descripción detallada de las realizaciones

Los principios y el funcionamiento del sistema para el tratamiento de fluidos de aguas residuales según la presente invención pueden entenderse mejor con referencia a los dibujos y la descripción adjunta, en donde se han utilizado números de referencia similares en todas partes para designar elementos idénticos, cuando es conveniente para la descripción. Debe entenderse que estos dibujos, que no están necesariamente a escala, se proporcionan únicamente con fines ilustrativos y no pretenden limitar el alcance de la invención. Se proporcionan ejemplos de construcciones para elementos seleccionados. Los expertos en la técnica apreciarán que muchos de los ejemplos proporcionados tienen alternativas adecuadas que pueden utilizarse.

Con referencia a la Figura 1, se ilustra un diagrama de bloques esquemático de un sistema 10 para el tratamiento de un fluido de aguas residuales, según una realización de la presente invención. Una corriente del fluido de aguas residuales se muestra con el número de referencia 14. El sistema 10 de tratamiento de aguas residuales incluye un aparato reactor 11 que está configurado para crear una descarga de plasma dentro de una pluralidad de microburbujas (no mostradas) de un gas de proceso inyectado en el fluido de aguas residuales que se suministra hacia el aparato reactor 11 y, respectivamente, en una interfaz de las microburbujas con el fluido de aguas residuales.

Las dimensiones de las microburbujas pueden estar, por ejemplo, en el intervalo de 0,1 micrómetros a 1000 micrómetros. El tipo de gas de proceso utilizado para la creación de las microburbujas depende del tipo de fluido de aguas residuales. Los ejemplos de gases adecuados para el propósito de la presente solicitud incluyen, aunque no de forma limitativa, aire, oxígeno, ozono, dióxido de carbono y mezclas de los mismos.

La descarga de plasma a base de burbujas que se crea dentro de las aguas residuales va acompañada de radiación ultravioleta (UV), generación de ondas de choque y formación de una variedad de especies químicamente activas y partículas cargadas, incluidos radicales libres reactivos, electrones e iones. Debido a la gran diferencia entre la constante dieléctrica del agua, $\varepsilon w \approx 81$, y la constante dieléctrica del gas, $\varepsilon g \approx 1$, se puede obtener un aumento significativo del campo eléctrico en las microburbujas de gas, en comparación con el campo eléctrico del agua. Un campo eléctrico mejorado de este tipo puede ser suficiente para iniciar la descarga eléctrica acompañada de la formación de plasma dentro de las microburbujas de gas. Una estimación simple muestra que se requiere un campo eléctrico $E = \varepsilon ion ng \sigma ion / e \geq 25$ kV/cm para obtener un proceso de avalancha de electrones en un gas a presión normal, acompañado de la formación de plasma, donde $\varepsilon ion \approx 10$ eV=1,6·10-18J es la energía de ionización típica, ng ≈ 2,6·1025m-3 es la densidad del gas, σion ≈ 10-20 m2 es la sección transversal de ionización típica y e = 1,6·10-19 C es la carga del electrón. De hecho, la trayectoria media de los electrones en el gas se puede estimar como $\lambda e = (ng\sigma i)-1 \approx 4$ µm (micrómetros), que es significativamente inferior que los tamaños típicos de las burbujas que tienen cientos de micrómetros o diámetros aún mayores. El uso de la descarga de plasma basada en burbujas no solo reduce el umbral de ruptura eléctrica requerido en comparación con la descarga de agua, reduciendo de este modo la entrada de energía para producir especies reactivas, sino que también proporciona un suministro eficiente y rápido de las especies reactivas hacia el fluido y aumenta la interacción entre el fluido y el plasma.

Los inventores de la presente solicitud demostraron que una descarga de plasma basada en burbujas de este tipo creada dentro del fluido de aguas residuales puede mejorar los procesos de oxidación avanzada (AOP) que se producen en el fluido de aguas residuales para la creación de radicales activos, tales como radicales hidroxilo, peróxido de hidrógeno, ozono, iones nitrato y otros radicales químicos. Durante el tratamiento, los radicales activos pueden oxidar, hidrolizar y, por lo tanto, descomponer o desactivar diversos materiales y productos químicos, tales como compuestos orgánicos, materia orgánica, toxinas, hormonas, compuestos químicos, metales residuales, herbicidas y otras contaminaciones que pueden estar presentes en el fluido de aguas residuales.

El sistema 10 de tratamiento de aguas residuales también incluye un sistema 12 de suministro de gas acoplado neumáticamente al aparato reactor 11, y un generador 13 de energía eléctrica pulsada acoplado eléctricamente al aparato reactor 11.

El sistema 12 de suministro de gas está configurado para suministrar un gas de proceso 19 hacia el fluido de aguas residuales 14 que se trata en el aparato reactor 11, para la producción de una pluralidad de microburbujas de gas en el fluido de aguas residuales. La estructura e implementación del sistema 12 de suministro de gas dependen del tipo de gas de proceso seleccionado para el proceso de tratamiento, es decir, se basa en el tipo de contaminación del fluido de aguas residuales.

Por lo tanto, según una realización de la presente invención, el sistema 12 de suministro de gas incluye un tanque de gas (no mostrado) que almacena el gas de proceso y está configurado para liberar el gas cuando sea necesario. Según otra realización, el sistema 12 de suministro de gas incluye uno o más compresores (no mostrados) configurados para proporcionar aire o cualquier otro gas deseado a una presión deseada hacia el aparato reactor 11. Según otra realización, el sistema 12 de suministro de gas incluye uno o más generadores (no mostrados) configurados para producir cualquier gas deseado y suministrar el gas a una presión deseada hacia el aparato reactor 11.

Cabe señalar que una corriente 18 de salida que sale del aparato reactor 11 incluye una mezcla de un líquido tratado y un exceso de gases de proceso. Tal cual se describe en detalle a continuación en la corriente memoria, la corriente 18 de salida puede entrar en un mezclador situado corriente abajo (no mostrado en la Figura 1), un tanque de almacenamiento (no mostrado en la Figura 1) y/o en un separador gas-líquido (no mostrado en la Figura 1).

El sistema 10 también incluye válvulas controlables 141, 142 y 151 para controlar y alcanzar los caudales, la presión y la relación de mezcla deseados del fluido de aguas residuales, tal cual se describe a continuación en la corriente memoria.

El generador 13 de energía eléctrica pulsada está configurado para proporcionar impulsos de alta tensión eléctrica que tenía una energía suficiente para crear la descarga luminiscente de plasma dentro de las burbujas y en la interfaz entre las burbujas y las aguas residuales, y/o para proporcionar la activación eléctrica del gas de reacción. La estructura y la implementación del generador 13 de energía eléctrica pulsada adecuado para el propósito de la presente invención se describen en detalle a continuación en la corriente memoria.

Con referencia a la Figura 2, se ilustra una vista esquemática en sección transversal del aparato reactor 11, según una realización de la presente invención. El aparato reactor 11 incluye una carcasa 110 que contiene un plénum 112 de entrada de gas dispuesto en una porción inferior de la carcasa 110, una cámara 113 de recolección de gas dispuesta en una porción superior de la carcasa 110 y una cámara 111 de reacción dispuesta entre el plénum 112 de entrada de gas y la cámara 113 de recolección de gas de la carcasa 110. El término "carcasa" se usa ampliamente en la presente memoria descriptiva de patente para describir cualquier contenedor, tanque, recipiente, conjunto de armazón o cualquier otra estructura que tenga un cuerpo que pueda usarse para contener un fluido de aguas residuales y un gas de proceso durante el tratamiento, según las enseñanzas de la presente invención. La carcasa 110 puede construirse con un metal, plástico o material compuesto adecuado para los productos químicos del fluido tratado y los gases reactivos, proporcionando un aislamiento adecuado de las partes cargadas del aparato reactor 11 y teniendo una resistencia y un espesor de paredes suficientes para resistir la tensión en las paredes provocada por la presión, los choques y los flujos dentro de la cámara 111 de reacción.

Según algunas realizaciones de la presente invención, la cámara 111 de reacción incluye una entrada hidráulica 114 configurada para introducir el fluido de aguas residuales 14 en la cámara 111 de reacción a través de un conducto de entrada hidráulico (no mostrado).

Según algunas realizaciones de la presente invención, la cámara 111 de reacción también incluye una salida 115 hidráulica configurada para liberar el fluido de aguas residuales de la cámara 111 de reacción después del tratamiento, para facilitar el modo de flujo continuo. La salida 115 también puede actuar para liberar el exceso de gas de proceso como la corriente de salida bifásica (18 en la Figura 1) o puede servir como una salida solo de líquido.

Según algunas realizaciones de la presente invención, la cámara 111 de reacción puede funcionar en modo por lotes, donde el fluido de aguas residuales en tratamiento es una porción del líquido colocado en la cámara 111 de reacción para su tratamiento. Según algunas realizaciones de la presente invención, la cámara 111 de reacción puede funcionar en un modo de flujo continuo, con el fluido de aguas residuales fluyendo continuamente a través de la cámara 111 de reacción.

Con referencia a las Figuras 1 y 2 juntas, la válvula de entrada controlable 141 del sistema 10 de tratamiento de aguas residuales está dispuesta dentro del conducto de entrada del fluido de aguas residuales 14 corriente arriba de la entrada 114, mientras que la válvula de salida controlable 142 está dispuesta corriente abajo de la salida 115 dentro de un conducto de salida (no mostrado) para la corriente 18 de salida. La válvula de entrada controlable 141 y la válvula de salida controlable 142 están configuradas para regular un caudal de entrada del fluido de aguas residuales proporcionado para el tratamiento y un flujo de salida del fluido de aguas residuales tratado para controlar la relación y la presión de la mezcla de gas y líquido. El término "válvula", como se usa en la presente memoria, tiene un significado amplio y se refiere a cualquier dispositivo eléctrico o mecánico adaptado para regular de manera controlable el caudal y/o la presión de los fluidos del proceso.

La cámara 111 de reacción incluye un cátodo en la parte inferior de la cámara 111 de reacción y un ánodo en la parte superior de la cámara 111 de reacción.

Según algunas realizaciones de la presente invención, el cátodo está configurado en forma de una placa 116 de soporte dispuesta en la parte inferior de la cámara 111 de reacción.

En una alternativa no reivindicada, la placa 116 de soporte se elabora de un material eléctricamente aislante que tiene una alta resistencia dieléctrica. El material eléctricamente aislante puede ser, por ejemplo, poliimida, cerámica, nanocerámica, etc. La placa 116 de soporte está configurada para contener una pluralidad de electrodos tubulares 118 que atraviesan y sobresalen de la placa 116 de potencial. En este caso, los electrodos tubulares 118 están conectados directamente a un cámara 1112 de reacción que pasa a través del plénum 112 de entrada de gas a través de cables eléctricos (no mostrados). Los electrodos tubulares 118 reciben electrones del cámara 1112 de reacción y los emiten en la corriente del fluido de aguas residuales que pasa a través de la cámara 11 de reacción.

Según otra realización de la presente invención, la placa 116 de soporte es una placa eléctricamente conductora que está conectada eléctricamente a un cámara 1112 de reacción que pasa a través del plénum 112 de entrada de gas y, en consecuencia, la placa 116 de soporte se denomina de aquí en adelante "placa 116 de potencial". Según esta realización, los electrodos tubulares 118 están acoplados eléctricamente a la placa 116 de potencial. La placa 116 de potencial recibe electrones del cámara 1112 de reacción y los emite a través de los electrodos tubulares 118 en la corriente del fluido de aguas residuales que pasa a través de la cámara 11 de reacción de la manera que se describe en detalle a continuación en la corriente memoria.

Según algunas realizaciones de la presente invención, el ánodo incluye un electrodo anódico que está configurado en forma de una placa 117 conectada a tierra que está dispuesta en una porción superior de la cámara 111 de reacción. La placa 117 conectada a tierra puede estar en contacto conductor o en acoplamiento capacitivo con el fluido en tratamiento. Esta placa 117 conectada a tierra sirve para recoger los electrones que pasan a través de la cámara 111 de reacción y para formar parte del campo eléctrico requerido.

Según algunas realizaciones de la presente invención, el lado inferior de la placa 116 de potencial está conectado eléctricamente a un cámara 1112 de reacción que pasa a través del plénum 112 de entrada de gas, mientras que el lado superior de la placa 117 conectada a tierra está conectado eléctricamente a un electrodo 1114 conectado a tierra que pasa a través de la cámara 113 de recolección de gas.

La conexión del cámara 1112 de reacción a la placa 116 de potencial y la conexión del electrodo 1114 de tierra a la placa 117 conectada a tierra se pueden llevar a cabo mediante cualquier técnica adecuada, tal como mediante soldadura, broncesoldadura, soldadura blanda, etc., o mediante un "enchufe y toma" adecuados para la conexión eléctrica.

La placa 116 de potencial separa la cámara 111 de reacción del plénum 112 de entrada de gas. Una zona de reacción de la cámara 111 de reacción se forma en una distancia entre la placa 116 de potencial y la placa 117 conectada a tierra. Esta distancia puede estar, por ejemplo, en el intervalo de 10 mm a 50 mm.

La cámara 113 de recolección de gas está situada por encima de la placa 117 conectada a tierra que separa la cámara 111 de reacción de la cámara 113 de gas.

Con referencia a la Figura 3, se ilustra una vista esquemática en sección transversal ampliada de una porción del aparato reactor 11, según una realización de la presente invención. Esta vista esquemática ilustra una distancia entre electrodos entre la placa 116 de potencial y la placa 117 conectada a tierra. Según una realización, la placa 116 de potencial está configurada para contener una pluralidad de electrodos tubulares 118 que atraviesan y sobresalen de la placa 116 de potencial. Cada uno de los electrodos tubulares 118 tiene una porción sobresaliente 1181 que sobresale de la placa 116 de potencial y una porción pasante 1182 que pasa a través de la placa 116 de potencial.

Las porciones sobresalientes 1181 de los electrodos tubulares 118 están configuradas para proporcionar un acoplamiento eléctrico conductivo o capacitivo al fluido de aguas residuales tratado en la cámara 111 de reacción. Los electrodos tubulares 118 también están configurados para proporcionar campos eléctricos y densidades de corriente eléctrica concentrados localizados.

Los electrodos tubulares 118 están configurados, entre otras cosas, para proporcionar una comunicación neumática entre el plénum 112 de entrada de gas y la cámara 111 de reacción. La comunicación neumática entre el plénum 112 de entrada de gas y la cámara 111 de reacción es necesaria para formar una pluralidad de microburbujas 119 del gas de proceso y la inyección de las burbujas en el fluido de aguas residuales. En funcionamiento, las microburbujas 119 fluyen hacia arriba dentro del fluido de aguas residuales desde los electrodos tubulares 118 hacia la placa 117 conectada a tierra y, a continuación, hacia la cámara 113 de recolección de gas.

Según otra realización de la presente invención, cada electrodo tubular 118 está conificado o bifurcado para tener un borde superior 1183 afilado o puntiagudo. Estos bordes superiores 1183 afilados sirven para concentrar e intensificar el campo eléctrico local. El diámetro exterior de los electrodos tubulares 118 puede estar, por ejemplo, en el intervalo de 0,1 a 2 mm.

Los electrodos tubulares 118 pueden fabricarse, por ejemplo, a partir de un material eléctricamente conductor con una conductividad relativamente alta y pueden fabricarse a partir de metales de diversos grupos, por ejemplo, acero inoxidable o aleaciones multicomponente adecuadas para el gas de reacción químicamente activo que se utilice. Los

electrodos tubulares 118 están conectados eléctricamente a la placa 116 de potencial mediante cualquier técnica adecuada, por ejemplo, mediante soldadura, broncesoldadura, soldadura blanda, etc. El diámetro exterior de los electrodos tubulares 118 depende, entre otros factores, de la velocidad deseada de flujo de gas de proceso en la aplicación de tratamiento de aguas residuales, de la energía de descarga y de la densidad de corriente utilizada para el tratamiento.

Haciendo referencia de nuevo a las Figuras 1 y 2, según algunas realizaciones de la presente invención, el plénum 112 de entrada de gas incluye una entrada neumática 1110 acoplada neumáticamente al sistema 12 de suministro de gas. La entrada neumática 1110 está configurada para recibir el gas de proceso 19 del sistema 12 de suministro de gas.

Según algunas realizaciones de la presente invención, la válvula 151 de suministro de gas controlable del sistema 10 está dispuesta dentro de un conducto 15 que acopla neumáticamente el plénum 112 de entrada de gas al sistema 12 de suministro de gas. La válvula 151 de suministro de gas controlable está configurada para regular un caudal de salida del gas de proceso 19 hacia el plénum 112 de entrada de gas. El gas se puede suministrar a presión elevada. Una presión en el plénum 112 de entrada de gas adecuada para el propósito de la presente invención puede estar, por ejemplo, en el intervalo de (1-3)·105 Pa.

El suministro del fluido de aguas residuales a la cámara 111 de reacción y el suministro del gas de proceso hacia el plénum 112 de entrada de gas se controlan mediante un sistema de control (no mostrado en las Figuras 1 y 2). El sistema de control está acoplado operativamente a la válvula de entrada controlable 141, la válvula de salida controlable 142 y la válvula 151 de suministro de gas controlable, y está configurado para controlar el funcionamiento del mismo para el suministro de las aguas residuales y el gas de proceso hacia el aparato reactor 11 y para mantener los parámetros del proceso tales como caudales, presión, relación de mezcla, tiempo de permanencia del lote, etc.

Según algunas realizaciones, el sistema de control es un sistema informático que, generalmente, puede incluir, aunque no de forma limitativa, fluxímetros, sensores, actuadores y dispositivos de monitorización, así como otros dispositivos similares o adecuados. Cada uno de ellos puede ser un componente disponible comercialmente. El sistema de control también incluye un controlador electrónico programado con un modelo de software almacenado en un medio legible por ordenador y está configurado para controlar el funcionamiento del sistema 10 de tratamiento de aguas residuales.

Con referencia a las Figuras 2 y 3 juntas, según algunas realizaciones de la presente invención, la placa 117 conectada a tierra incluye una pluralidad de aberturas 1171. Cada abertura 1171 pasa a través de la placa 117 conectada a tierra (ánodo) hacia la cámara 113 de recolección de gas. La función de la abertura 1171 es permitir que el exceso de gas, formado a partir del gas de proceso 19 no utilizado y otros productos gaseosos del proceso de tratamiento, penetre a través de la placa 117 conectada a tierra hasta la cámara 113 de recolección de gas sin formar una capa de gas excesiva cerca o debajo de la placa 117 conectada a tierra que pueda dificultar el funcionamiento de la placa 117 conectada a tierra. La distancia entre la placa 117 conectada a tierra y una pared interior superior de la carcasa 110 tiene un valor predeterminado óptimo. Se descubrió que el valor de la distancia afecta a la calidad del fluido tratado. En consecuencia, el valor óptimo puede estar, por ejemplo, en el intervalo de 3 mm a 10 mm.

Las aberturas 1171 pueden tener, por ejemplo, una forma circular de un diámetro predeterminado, espaciadas por igual y, generalmente, pueden disponerse en una o más filas, círculos, etc., aunque se contemplan otras disposiciones y configuraciones de las aberturas 1171. El diámetro de la abertura 1171 puede estar, por ejemplo, en el intervalo de 1 a 5 mm.

Según algunas realizaciones de la presente invención, los productos de gas de reacción pueden incluir oxígeno, ozono y otros componentes reactivos que pueden usarse en un tratamiento adicional del fluido de aguas residuales que se libera de la cámara 111 de reacción a través de la salida 115 hidráulica para continuar y completar los AOP. En consecuencia, la cámara 113 de recolección de gas incluye una salida neumática 1111 dispuesta en la carcasa 110 para liberar (p. ej., mediante sifón) los productos del gas de reacción.

Uno de los problemas de las descargas subacuáticas en las microburbujas formadas por la inyección de gas a través de los electrodos tubulares 118 es la creación de una gran capacitancia parásita C entre la placa 116 de potencial (conectada al electrodo 1112 de potencial) de la que sobresalen los electrodos tubulares y la placa 117 conectada a tierra (conectada al electrodo 1114 conectado a tierra). De hecho, para producir un gradiente de alta tensión entre los electrodos y, en consecuencia, entre los electrodos tubulares 118 y la placa 116 de potencial, es necesario cargar esta gran capacitancia parásita. Por ejemplo, en el caso de una distancia entre electrodos de 20 mm y un diámetro de la placa de potencial de 100 mm, la capacitancia parásita es C ≈ 0,1 nF. En consecuencia, para cargar esta capacitancia dentro del tiempo de 10 ns a la tensión de 30 kV, es necesario aplicar un impulso con una amplitud de corriente de aproximadamente 1,5 kA. Teniendo en cuenta que la descarga dentro de las burbujas es una descarga incompleta, lo que no debería conducir a un cortocircuito en la distancia entre electrodos, solo se requieren unos pocos cientos de A para encender esta descarga. Sin embargo, la corriente total suministrada por el generador debe ser de aproximadamente 2 kA. Por lo tanto, se debe utilizar un generador de alta corriente con una impedancia de 15 Ω (ohmios) o inferior, una potencia en el intervalo de 0,5 - 5 kW y que funcione con una alta tasa de repetición en el intervalo de 0,5 - 5 kHz.

Para evitar una descarga de arco completo entre los electrodos, se dicta una aplicación corta, en una escala temporal de nanosegundos, del impulso de alta tensión, lo que inactiva el arco antes de que se forme y, por lo tanto, minimiza las pérdidas de corriente a través del fluido en la distancia entre electrodos, que puede considerarse como un conductor con una resistencia R conectado en paralelo al capacitador parásito C. Por lo tanto, la descarga del capacitador formado por la distancia entre electrodos lleno de agua se logra con un tiempo de descarga típico $\tau = RC$. Por ejemplo, en el caso considerado anteriormente, la resistencia de la distancia entre electrodos lleno de fluido puede ser de aproximadamente 300 Ω para la resistencia específica del agua $\rho = 10\ k\Omega \cdot cm$, que es un valor típico del agua corriente. Tal resistencia de la distancia entre electrodos proporciona una descarga bastante rápida del potencial con una constante de descarga $\tau = 30$ ns.

Según la presente invención, la duración del impulso de tensión es lo suficientemente corta como para evitar una descarga por arco. Por ejemplo, la anchura de impulso de los impulsos de alta tensión eléctrica puede estar en el intervalo de 10 nanosegundos a 100 nanosegundos para permitir solo la descarga luminiscente del plasma, al tiempo que se evita cualquier transición de brillo a arco entre las dos placas de potencial de la cámara de reacción.

Para evitar los inconvenientes asociados con el gran valor de la capacitancia parásita (lo que resulta en una corriente de carga demasiado grande) y alcanzar la descarga rápida de esta capacitancia parásita, la presente invención enseña a cubrir el electrodo de potencial con un aislante para evitar el contacto "galvánico" entre el fluido y el electrodo de potencial. Por lo tanto, según una realización de la presente invención, la cámara 111 de reacción incluye una placa aislante 1113 dispuesta en una superficie superior de la placa 116 de potencial. Cabe señalar que la placa aislante 1113, entre otros efectos, disminuye la capacitancia total entre los electrodos de potencial y los conectados a tierra.

La placa aislante 1113 tiene una alta rigidez dieléctrica y se elabora, por ejemplo, de poliimida, material cerámico, material nanocerámico, etc. Cuando se desee, la placa aislante 1113 puede estar fabricada de varias capas aislantes hechas de material dieléctrico que se pueden conectar entre sí mediante el uso de un aglutinante para aumentar la resistencia a la ruptura dieléctrica y mejorar la resistencia a la erosión.

La placa aislante 1113 tiene una pluralidad de aberturas capilares 1116 que pasan a través de la placa 117 conectada a tierra y entran en la cámara 111 de reacción. Las aberturas capilares 1116 sirven como concentradores para el campo eléctrico local y están configuradas para alojar herméticamente porciones de los electrodos tubulares 118 que sobresalen de la placa 116 de potencial.

Según una realización de la presente invención, la altura de las porciones sobresalientes de los electrodos tubulares 118 es menor que la anchura total de la placa aislante 1113; por lo tanto, se forman orificios capilares 1115 dentro de las aberturas capilares 1116 que se extienden desde una superficie superior de la placa aislante 1113 hacia los extremos sobresalientes de los electrodos tubulares 118. Por ejemplo, un diámetro interior de los orificios capilares 1115 puede estar, por ejemplo, en el intervalo de 0,1 mm a 5 mm, una anchura total de la placa aislante 1113 puede estar, por ejemplo, en el intervalo de 5 mm a 500 mm y una profundidad de los orificios capilares 1115 puede estar, por ejemplo, en el intervalo de 1 mm a 10 mm.

Según una realización de la presente invención, los electrodos tubulares 118 pueden tener un orificio 1118 que se extiende a través de la placa 116 conectada a tierra hacia el plénum 112 de entrada de gas. Los orificios 1118 sirven como conductos locales para el gas de proceso y lo dirigen a través de la zona de alto campo eléctrico en los orificios capilares 1115 y las aberturas capilares 1116 para ionizarlo y activarlo, antes de entrar en la cámara 111 de reacción para formar microburbujas 119.

Con referencia a las Figuras 1, 2 y 3 juntas, el electrodo 1112 de potencial y el electrodo 1114 conectado a tierra están acoplados eléctricamente al generador 13 de energía eléctrica pulsada. El acoplamiento eléctrico puede implementarse, por ejemplo, mediante un cable coaxial de alta tensión (no mostrado). El cable coaxial de alta tensión se puede conectar al electrodo 1112 de potencial a través de su cable central (potencial) de núcleo y al electrodo de tierra a través del blindaje trenzado del cable. El blindaje del cable se puede conectar a tierra o poner a cero. El cable eléctrico tiene una capa aislante entre el núcleo y el blindaje del cable que se elabora de un material dieléctrico que tiene una alta rigidez dieléctrica, por ejemplo, un tipo de teflón (politetrafluoroetileno), etc. Al realizar la conexión mencionada anteriormente, el núcleo del cable con su aislamiento y el blindaje trenzado del cable se pelan previamente para retirar una cubierta externa del cable coaxial. La conexión del núcleo y el blindaje del cable al electrodo 1112 de potencial y al electrodo 1114 conectado a tierra se puede fabricar mediante cualquier método adecuado usado en la unión de cables eléctricos.

El gas suministrado al plénum 112 de entrada de gas se distribuye equitativamente entre los orificios 1118 y los electrodos tubulares 118, y entra en la cámara 111 de reacción. El fluido de aguas residuales que llena el volumen de la cámara 111 de reacción no penetra en los orificios capilares 1115 y, por lo tanto, no hay contacto eléctrico directo entre las aguas residuales y los electrodos tubulares 118. Esta disposición proporciona una gran ventaja del sistema de la presente invención sobre los sistemas del estado de la técnica, en los que los electrodos se sumergen en aguas residuales. Específicamente, debido a la mejora del campo eléctrico (hasta un factor de 102) en el borde superior de la aguja, se puede alcanzar un campo eléctrico de hasta 107 V/cm, que es significativamente mayor que el umbral del

campo eléctrico necesario para iniciar la descarga eléctrica entre gases dentro de los orificios capilares 1115. Es importante señalar aquí que, dado que no hay contacto eléctrico directo entre las aguas residuales y los electrodos tubulares 118, la descarga de gas que se produce a través de los orificios capilares 1115 resulta en una erosión insignificante de los electrodos tubulares 118, en comparación con el caso de una descarga subacuática, en la que los electrodos estén sumergidos en aguas residuales. La erosión de los electrodos en la cámara 111 de reacción también puede disminuirse, ya que tal descarga de gas no va acompañada de la formación de fuertes ondas de choque, que son típicas de las descargas en la masa de aguas residuales.

Como se muestra en la Figura 3, los orificios capilares 1115 incluyen un inserto 1117 fabricado de un material no conductor o poco conductor de electricidad. Según una realización, el inserto 1117 es un manguito colocado entre la pared interior de los orificios capilares 1115 y los electrodos tubulares 118. Según una realización, el inserto 1117 es un recubrimiento en la pared interior de los orificios capilares 1115. Los ejemplos de materiales adecuados para el inserto 1117 incluyen, aunque no de forma limitativa, alúmina, óxido de titanio y diversos materiales mesoporosos.

El inserto 1117 puede actuar como un catalizador para la activación del gas de proceso a medida que fluye a través de él. Además, el inserto 1117 puede concentrar el campo eléctrico local en los orificios capilares 1115 y/o en la interfaz de aislamiento entre gas y líquido en las aberturas capilares 1116, para mejorar aún más la descarga eléctrica entre gases y/o la ionización y activación del gas de proceso a medida que fluye a través de las aberturas capilares 1116. El inserto 1117 también puede mejorar la durabilidad de la placa aislante 1113 al protegerla de la acción química del gas de proceso, así como del calor y la luz generados por el plasma de gas de la descarga eléctrica entre gases.

El plasma gaseoso generado dentro de los orificios capilares 1115 formados en la placa aislante 1113 está caracterizado por una temperatura electrónica de varios eV y una densidad en el intervalo de 1014 - 1016 cm-3. Tales parámetros del plasma proporcionan un aumento de la presión dentro del capilar y la eyección de las correspondientes microburbujas 119 de plasma hacia el volumen de aguas residuales. Como resultado, la distancia efectiva entre la placa 116 de potencial y la placa 117 conectada a tierra disminuye, mientras que el campo eléctrico en la distancia entre los electrodos tubulares 118 y la placa 117 conectada a tierra se intensifica y proporciona una formación de plasma más eficiente dentro de las microburbujas inyectadas en esta distancia.

Cabe señalar que el plasma rico en electrones con una temperatura electrónica superior a los 5,2 eV puede dividir el O2 para generar las especies *O y O-. Estas pueden energizarse con los electrones prestados a un orbital superior (de πu a πg), lo que ayuda a la conversión de hidroxilo descrita anteriormente. Además, la generación de O3 también es probable en este caso.

Con referencia a la Figura 4, se muestra un esquema eléctrico de un generador 13 de energía eléctrica por impulsos para el tratamiento de un fluido de aguas residuales, según una realización de la invención. El esquema eléctrico de la Figura 4 se basa en el esquema eléctrico expuesto en la patente US- 7,459,806 y se muestra en la Figura 4 en la configuración para generar una tensión potencial negativa.

Como se muestra en la Figura 4, el generador 40 de energía eléctrica por impulsos incluye una porción de baja tensión 41, una porción de media tensión 42 y una porción de alta tensión 43.

La porción de baja tensión 41 incluye una fuente 411 de carga y medios de control (no mostrados) para regular la tensión proporcionada por la fuente 411 de carga.

La sección de media tensión 42 incluye un capacitador C1 de almacenamiento de energía primaria conectado (en un terminal) al terminal positivo de la fuente 411 de carga y (en el otro terminal) a los devanados primarios de un transformador elevador T1 en un extremo. La sección de media tensión 42 también incluye un inductor Ls conectado al terminal negativo de la fuente 411 de carga y a los devanados primarios de un transformador elevador T1 en otro extremo, completando de este modo el circuito en serie. La sección de media tensión 42 también incluye un conmutador S1 conectado a través de los terminales de la fuente 411 de carga.

La porción de alta tensión 43 está formada por un devanado secundario del transformador elevador T1 enrollado en un núcleo ferromagnético que tiene una curva de magnetización rectangular, un capacitador C2 conectado a través del devanado secundario del transformador elevador T1 y un capacitador C3 conectado en serie con el capacitador C2. El capacitador C3 está conectado al transformador elevador T1 a través de un elemento conmutador magnético MS y un diodo D de recuperación rápida, formando un duplicador de tensión. El diodo D de recuperación rápida puede ser, por ejemplo, una matriz de uno o más diodos de circulación libre. La impedancia total del aparato de reacción (11 en la Figura 1) y todo el cableado y las conexiones se representan en la Figura 4 como una carga Z. Los terminales de la carga Z en la Figura 4 son el electrodo conectado a tierra (1114 en la Figura 2) y el electrodo de potencial (1112 en la Figura 2) del aparato reactor 11. La salida de carga Z del generador de impulsos está conectada a través del diodo D de recuperación rápida.

La fuente 411 de carga es un dispositivo comercial adecuado para la carga por impulsos del capacitador C1 a través del devanado primario del transformador elevador T1 de impulsos y el inductor Ls. La potencia media de la fuente 411 de carga de alta tensión puede estar, por ejemplo, en el intervalo de 1,5 kW a 2 kW, con una tensión de salida de

hasta 5 kV. Por ejemplo, la serie EVA de Spellman High Voltage Electronics Corporation y/o el modelo 152-5kV-POS de TDK-LAMBDA Americas Inc., pueden ser adecuados para el propósito de la presente invención. La fuente 411 de carga puede controlarse mediante una señal TTL (lógica transistor a transistor) que puede encender y apagar el funcionamiento de la fuente 411 con una frecuencia requerida de funcionamiento de, p. ej., 1 Hz a 1000 Hz.

En funcionamiento, cuando la fuente 411 de carga ha cargado C1 a la tensión objetivo, se desconecta y el conmutador S1 se cierra, descargando de este modo el capacitador C1 a través de Ls y el transformador elevador T1 a una alta frecuencia de oscilación. En consecuencia, los capacitadores C2 y C3 se cargan con alta tensión desde el devanado secundario del transformador T1. Tras la saturación del núcleo T1, el capacitador C2 se recarga a la polaridad opuesta, mientras que el diodo D se corta y el capacitador C3 mantiene su carga anterior. Por lo tanto, la tensión a través del conjunto de capacitadores C2 + C3 conectado en serie equivale a aproximadamente el doble de la tensión de salida del T1. En este momento, la corriente de descarga del capacitador C3 a través del devanado secundario del transformador T1 saturado permite que los diodos D de recuperación rápida pasen a un estado abierto y no conductor, mientras que el núcleo del conmutador magnético MS se satura y se vuelve muy conductor, y la tensión de C2+C3 se aplica a la carga Z, y la carga almacenada en el conjunto de capacitadores C2+C3 se suministra a la carga Z. La duración del impulso es hasta que la corriente de carga agota la carga del conjunto de capacitadores C2+C3 o cuando el conmutador magnético MS pierde su saturación. En consecuencia, una selección adecuada de los componentes del generador 40 de energía eléctrica por impulsos puede producir un impulso en la escala temporal de nanosegundos requerido para el tratamiento del fluido de aguas residuales.

Según una realización de la presente invención, la fuente 411 de carga carga el capacitador C1 hasta una tensión de hasta 4 kV durante un tiempo inferior a 10-3 s. La energía almacenada en el capacitador C1, siguiendo el requisito de la potencia media del generador de energía eléctrica por impulsos, debería ser superior a 1 J. Esto indica que la capacitancia de este capacitador C1 debe ser superior a 0,125 µF. Tales capacitadores están comercializados por General Atomics Companies y/o en HK Film Capacitor Ltd.

Según una realización de la presente invención, la corriente de carga del capacitador C1 suministrada por la fuente 411 de carga de alta tensión es superior a 0,6 A para cargar el capacitador C1 a 4 kV durante 1 ms (milisegundo) o menos. La inductancia total del circuito de carga del capacitador C1 con el inductor Ls y el devanado primario del transformador elevador T1 de impulsos debe, por lo tanto, ser inferior a 10 µH (microhenrios), para no limitar el proceso de carga.

Una vez completada la carga del capacitador C1, la potencia de alta tensión suministrada por la fuente 411 de carga de alta tensión se apaga y, con un tiempo de retardo de varios microsegundos, el impulso de control se suministra al conmutador S1 para cerrarlo.

Según una realización de la presente invención, el conmutador S1 incluye un tiristor de avalancha de alta tensión y alta corriente. El principal requisito para este tiristor es la posibilidad de conmutar corriente con una amplitud de 2 kA-3 kA, y dV/dt y dI/dt en el intervalo de 2 - 4 kV/µs y 1 - 2 kA/µs o superior, respectivamente. Son tiristores adecuados para el propósito de la presente invención, por ejemplo, los comercializados por Infineon Technologies AG.

En el caso en el que el conmutador S1 de tiristor sea capaz de funcionar con una tasa $d\phi/dt$ de cambio de potencial ϕ a través del conmutador S1 de tiristor de 4 kV/µs, se puede obtener la descarga (durante un cuarto del período T) del capacitador C1 (a través del devanado primario del transformador elevador T1 de impulsos y del inductor Ls) durante 1 µs. Esto resulta en una amplitud máxima de la corriente de descarga $I = 2\pi\phi C / T \approx 800$ A y, respectivamente, en dI/dt de aproximadamente 0,8 kA/µs, que el tiristor puede mantener en un modo fiable. La inductancia total (inductancia de los cables, el inductor Ls y el devanado primario del transformador T1) del circuito de descarga del capacitador C1 no debe superar $L = T2 / 4\pi 2C \leq 32{,}5$ µH, donde C es la capacitancia eléctrica del capacitador C1.

Según una realización de la presente invención, el transformador T1 elevador de impulsos es al menos un transformador de 1:8, para proporcionar la carga de los capacitadores C2 y C3 hasta una tensión de aproximadamente 30 kV cada uno y 60 kV en total. El devanado primario del transformador T1 puede ser, por ejemplo, de 2 espiras y el devanado secundario del transformador T1 puede ser de 16 espiras, respectivamente. La carga de los capacitadores C2 se produce a través del devanado secundario del transformador T1, mientras que la carga del capacitador C3 se produce a través del devanado secundario del transformador T1, el conmutador magnético MS y el elemento semiconductor unidireccional de recuperación rápida D.

Con la carga máxima de los capacitadores C2 y C3, el transformador T1 debe transferirse a saturación. Esto requiere que la sección transversal $S = V \Delta t / n\Delta B$ (en el caso de los materiales ferromagnéticos con $\Delta B \approx 2T$). Para manejar V de hasta 32 kV con un número de vueltas de n = 16, la sección transversal S debe ser de unos 18 cm2.

El transformador elevador T1 de impulsos puede fabricarse, por ejemplo, a partir de una aleación amorfa. Por ejemplo, los núcleos metálicos amorfos toroidales ACP110 (con un diámetro exterior de núcleo toroidal de 180 mm, un diámetro interior de núcleo de 100 mm y una altura de núcleo de 50 mm) comercializados por Advanced Core Production Ltd. (ACP) son adecuados para el propósito de la presente invención. El conmutador magnético MS de la porción de alta

tensión 43 puede fabricarse, por ejemplo, utilizando ferritas de NiZn, para reducir las pérdidas en la conmutación de alta frecuencia.

Debido a la saturación del núcleo del transformador elevador T1 de impulsos, la reluctancia de T1 cae drásticamente durante el ciclo inverso de la descarga de oscilación de C1, lo que permite una descarga rápida seguida de una carga inversa del capacitador C2, lo que resulta en la duplicación de la tensión en la salida del capacitador C3 suministrado al conmutador magnético MS. La inductancia residual del devanado secundario del transformador T1, cuando se construye, por ejemplo, como dos bobinas paralelas, puede reducirse a aproximadamente 5 µH, permitiendo de este modo que la tensión en el capacitador C2 se invierta en aproximadamente 8 ns (presuponiendo que C2 y C3 sean de aproximadamente 1,2 nF cada uno para mantener la energía de impulso de 1 J requerida a 30 kV).

Durante la carga del capacitador C3, el conmutador magnético MS funciona en un modo no saturado. Esto significa que el MS debe mantener una tensión de 35 kV durante este proceso de carga, es decir, durante aproximadamente 1 µs. Sin embargo, cuando la tensión en los capacitadores C2 más C3 aumenta hasta 60-70 kV (debido a la descarga inversa del capacitador C2), el conmutador magnético MS se satura y se produce una descarga inversa de los capacitadores C2 más C3 a través del conmutador magnético saturado MS a la carga Z y al diodo de recuperación rápida (elemento semiconductor unidireccional) D. Ya que el diodo D de recuperación rápida bloquea esta descarga dentro de 30 ns - 50 ns, puede aparecer una tensión de aproximadamente 60 kV a través del diodo D y la carga Z conectados a la salida del conmutador magnético MS. Por lo tanto, esta alta tensión se aplica a la carga Z.

Según una realización de la presente invención, el conmutador magnético MS puede fabricarse, por ejemplo, en forma de cinco espiras de cable enrolladas en dos núcleos toroidales CMI NiZn apilados (D.E.: 120 mm, D.I.: 60 mm y una altura de núcleo: 35 mm). Los capacitadores C2 y C3 pueden ser, por ejemplo, una matriz de capacitadores cerámicos de 4 nF, 50 kV. El (los) diodo(s) D de circulación libre se pueden ensamblar, por ejemplo, utilizando diodos de recuperación rápida de alta tensión (80 BYX104G Philips) que tienen un tiempo de recuperación de 50 ns. El conjunto de diodos puede incluir, por ejemplo, diez ramas conectadas en paralelo con ocho diodos conectados en serie en cada rama.

Cabe señalar que el generador de energía eléctrica por impulsos descrito anteriormente es un ejemplo no limitativo de generadores de energía eléctrica por impulsos que pueden utilizarse para el propósito de la presente invención. Por lo tanto, para obtener una formación de plasma eficiente, también se pueden usar otros generadores de energía eléctrica por impulsos que pueden proporcionar, por ejemplo, una amplitud de tensión en el intervalo de 25 kV/cm a 60 kV/cm, una corriente pulsada pico en el intervalo de 100 A a 5 kA, una anchura de impulso en el intervalo de 10 nanosegundos a 100 nanosegundos y una tasa de repetición de impulsos (frecuencia de impulso) en el intervalo de 10 pps a 10×103 pps (impulsos por segundo). Cabe señalar que estos valores dependen de los parámetros de tratamiento, tales como el caudal y el tipo de contaminación del fluido de aguas residuales, etc.

El sistema 10 de tratamiento de aguas residuales mostrado en la Figura 1 se ha sometido a ensayo en varios modelos de contaminación. Se han sometido a ensayo dos configuraciones del aparato reactor 11 mostrado en la Figura 2.

En una primera configuración del aparato reactor 11, la placa 116 de potencial de la cámara 111 de reacción incluía cuarenta electrodos tubulares 118 que tenían tubos con un D.I. de 0,7. La distancia entre la placa 116 de potencial y la placa 117 conectada a tierra se estableció en 26 mm, mientras que la distancia entre la placa 117 conectada a tierra y la pared interior superior de la carcasa 110 se estableció en 20 mm. Se utilizó un generador de energía eléctrica por impulsos que tenía una potencia de 1 kW. La amplitud de tensión se estableció de 25 kV a 40 kV y la tasa de repetición de impulsos se estableció en 1000 Hz. Se usó oxígeno como gas de proceso a una tasa de 10 litros por minuto. El caudal de aguas residuales se estableció en 1 metro cúbico por hora.

En un primer modelo de contaminación, la eficiencia del tratamiento del agua contaminada que contenía tres compuestos farmacéuticos, tales como iopromida (IPRM), carbamazepina (CBZ) y bezafibrato (BZF) se sometió a ensayo utilizando el aparato reactor 11 de la primera configuración. La iopromida es soluble en agua y, usualmente, no se considera peligrosa para el ecosistema. Sin embargo, debido a su uso común en procedimientos médicos, se puede encontrar en cantidades masivas en los fluidos de aguas residuales. La carbamazepina es un analgésico, no narcótico y anticonvulsivo, que se usa como antiepiléptico, para trastornos del dolor y para tratamiento psiquiátrico. Cuando se encuentra en concentraciones relativamente bajas (menos de 18 mg/l) en agua, puede liberarse al medio ambiente a través de corrientes de residuos. El bezafibrato es un fármaco de fibrato que se usa como agente de control de lípidos para tratar la hiperlipidemia. Muestra una baja solubilidad en agua (aproximadamente 1,55 mg/l) y un pKa (constante de disociación ácida) de 3,6, y se puede encontrar en las aguas residuales y el suelo.

El solicitante descubrió que el tratamiento de tal agua contaminada que contiene tres compuestos farmacéuticos mediante el sistema 10 de tratamiento de aguas residuales puede reducir el contenido de iopromida entre un 15-20 %, el contenido de carbamazepina entre un 90-100 % y el contenido de bezafibrato entre un 30-50 %. Cabe señalar que se puede alcanzar una mayor descomposición mediante el uso de un tratamiento con más tiempo y/o energía.

En un segundo modelo de contaminación, la eficiencia del tratamiento del agua contaminada que contenía herbicidas, acaricidas y productos químicos para el crecimiento vegetal en aguas residuales industriales se sometió a ensayo

utilizando el aparato reactor 11 de la primera configuración. Los ensayos se realizaron para aguas residuales que contienen los siguientes componentes: bromacilo ($C_9H_{13}BrN_2O_2$), clomazona (grupo 2-clorobencilo unido a un heterociclo N-O), florasulam ($C_{12}H_8F_3N_5O_3S$), flurocloridona ($C_{12}H_{10}Cl_2F_3NO$), imazamox ($C_{15}H_{19}N_3O_4$), quinmerac ($C_{11}H_8ClNO_2$) y terbutrina ($C_{10}H_{19}N_5S$).

Los resultados del tratamiento de las aguas residuales del segundo modelo por el sistema 10 de la primera configuración se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1

Compuesto	Entrada (mg/litro)	Salida (mg/litro)	Eliminación (%)
Bromacilo	0,21	0,10	52,38
Clomazona	0,34	0,11	67,65
Florasulam	0,02	0,02	50,00
Flurocloridona	0,02	0,00	100,00
Imazamox	0,17	0,08	52,94
Quinmerac	0,08	0,03	62,25
Terbutrina	0,18	0,09	50,00

En un tercer modelo de contaminación, la eficiencia del tratamiento de aguas subterráneas contaminadas que contienen diversos contaminantes de la industria militar, tales como perclorato, clorato, nitrato, metales y componentes explosivos, tales como RDX y HMX, se sometió a ensayo utilizando el aparato reactor 11 de la primera configuración, junto con un pretratamiento con biofiltro. El agua subterránea bajo tratamiento contenía estos contaminantes en las siguientes concentraciones: ClO_4 - 300 mg/litro, ClO_3 - 120 mg/litro, RDX - 0,220 mg/litro, HMX - 0,01 mg/litro, NO_3 - 190 mg/litro y Cr - 0,350 mg/litro. Los resultados del tratamiento mostraron una reducción de más del 60 % en los aromáticos nitro y de más del 90 % en TNT, RDX y HMX. El tratamiento también fue eficaz en la reducción del carbono orgánico total (TOC).

En una segunda configuración del aparato reactor 11, la placa 116 de potencial de la cámara 111 de reacción incluía cuarenta electrodos tubulares 118 que tenían tubos con un D.I. de 0,7. La distancia entre la placa 116 de potencial y la placa 117 conectada a tierra se estableció en 21 mm, mientras que la distancia entre la placa 117 conectada a tierra y la pared interior superior de la carcasa 110 se estableció en 7 mm. Se utilizó un generador de energía eléctrica por impulsos que tenía una potencia de 1 kW. La amplitud de tensión se estableció de 25 kV a 40 kV y la tasa de repetición de impulsos se estableció en 1000 Hz. Se usó oxígeno como gas de proceso a una tasa de 10 litros por minuto. El caudal de aguas residuales se estableció en 1,8 metros cúbicos por hora.

En un cuarto modelo de contaminación, la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales contaminadas con nueve oligocontaminantes orgánicos (TROC), tales como sulfametoxazol (SMX), diclofenaco (DCF), carbamazepina (CBZ), bezafibrato (BZF), naproxeno, ibuprofeno, iopromida (IPRM), iohexol (IHX) e iopamidol (IPDL) en aguas residuales se sometió a ensayo usando el aparato reactor 11 de la segunda configuración.

Los resultados del tratamiento de las aguas residuales del cuarto modelo por el sistema 10 de la segunda configuración se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2

Compuesto	IPDL ng/l	HX ng/l	IPRM ng/l	Ibuprofeno ng/l	Naproxeno ng/l	BZF ng/l	CBZ ng/l	DCF ng/l	SMX ng/l
Antes del tratamiento	32	$2 \cdot 10^4$	6800	140	740	250	690	103	200
Después del tratamiento	<LD	580	130	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Restos	100 %	97 %	98 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Los resultados del tratamiento mostraron que, para la mayoría de los compuestos, la reducción es mejor que el límite de detección (LD).

En un quinto modelo de contaminación, la eficiencia de la desinfección de las aguas residuales que contienen microorganismos se sometió a ensayo utilizando el aparato reactor 11 de la segunda configuración.

Los resultados del tratamiento de las aguas residuales del quinto modelo por el sistema 10 de la segunda configuración se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3

Microorganismos	Coliformes MPN/100 ml	Coliformes fecales MPN/100 ml	Estreptococos fecales MPN/100 ml	Recuento total de bacterias UFC/1 ml	Giardia n/10 l	Cryptosporidium n/10 l
Antes del tratamiento	1700	33	<1,8	6600	0,8	0,4
Después del tratamiento	0	0	0	120	0	0

Como puede verse, el tratamiento mediante el sistema de la presente invención fue eficaz para la desinfección de los microorganismos de las aguas residuales.

En un sexto modelo de contaminación, la eficiencia de la desinfección de las aguas residuales que contienen virus se sometió a ensayo utilizando el aparato reactor 11 de la segunda configuración.

Los resultados del tratamiento de las aguas residuales del quinto modelo por el sistema 10 de la segunda configuración se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4

Virus	Fagos (UFP/ml)	Cultivo celular	Adenovirus molecular (UFP/ml)	Norovirus molecular (UFP/ml)
Antes del tratamiento	11	Positivo (P)	P (32,4)	P (37,77)
Después del tratamiento de biofiltración	2	Negativo	P (38,04)	Negativo
Después del tratamiento mediante el sistema 10	1	Negativo	Negativo	Negativo

Como puede verse, el tratamiento mediante el sistema de la presente invención fue eficaz para la desinfección de los virus de las aguas residuales.

Con referencia a la Figura 5, se ilustra un diagrama de bloques esquemático de un sistema 50 para el tratamiento de un fluido de aguas residuales, según otra realización de la presente invención. El sistema 50 de tratamiento de aguas residuales difiere del sistema 10 en el hecho de que incluye además un tanque 16 de contacto dispuesto corriente abajo del aparato reactor 11. El tanque 16 de contacto está acoplado hidráulicamente a la salida hidráulica 115 de la cámara 111 de reacción a través del tubo 18 de salida para recibir el fluido de aguas residuales que sale del aparato reactor 11. El tanque 16 de contacto también está acoplado neumáticamente a la salida neumática (1111 en la Figura 2) de la cámara de gas (113 en la Figura 2) a través de un tubo 17 de recuperación de producto gaseoso para recibir el exceso de gas que contiene productos de gas de reacción producidos durante la descarga de plasma dentro de las microburbujas y en la interfaz entre las burbujas y el fluido de aguas residuales en el aparato reactor 11. El tanque 16 de contacto utiliza este exceso de gas para procesos de oxidación avanzada adicionales dentro del fluido de aguas residuales ubicado en el tanque de contacto y mejora de este modo el tratamiento del fluido de aguas residuales.

Según una realización de la presente invención, el tubo de salida 18 que conecta el aparato reactor 11 al tanque 16 de contacto es un tubo en forma de cono que funciona sobre la base del efecto Venturi. Esta disposición puede acelerar el flujo del fluido de aguas residuales que entra en el tanque 16 de contacto al restringirlo en el tubo en forma de cono. Tal disposición permite, entre otros efectos, crear succión para el tubo 17 de recuperación del producto gaseoso y mejorar la agitación en el tanque 16 de contacto.

Con referencia a la Figura 6, se ilustra un diagrama de bloques esquemático de un sistema 60 de tratamiento de aguas residuales para el tratamiento de un fluido de aguas residuales, según una realización adicional de la presente invención. El sistema 60 se diferencia del sistema (10 en la Figura 1) en que incluye además un generador 61 de nanoburbujas dispuesto corriente arriba del aparato reactor 11 para el pretratamiento del fluido de aguas residuales. El generador 61 de nanoburbujas está acoplado neumáticamente a la cámara 113 de gas a través de un tubo 171 de recuperación de productos gaseosos para recibir el exceso de gas que contiene productos de gas de reacción producidos durante la descarga de plasma en el aparato reactor 11, y para generar nanoburbujas de dicho gas en el fluido de aguas residuales suministrado para el tratamiento. Las nanoburbujas pueden servir además para infundir el producto gaseoso en el fluido de aguas residuales, para mejorar la saturación química, para cambiar el pH de las aguas residuales, etc. Las nanoburbujas también proporcionan más fuentes para la descarga de plasma en el aparato reactor 11, además de las creadas por las microburbujas 119 producidas por la introducción del gas de proceso en la

cámara 111 de reacción. Según una realización, el acoplamiento neumático se puede establecer mediante el acoplamiento del tubo 171 de producto gaseoso a la salida neumática (1111 en la Figura 2) de la cámara de gas (113 en la Figura 2) del aparato reactor 11.

El generador 61 de nanoburbujas está configurado para recibir el fluido de aguas residuales suministrado para su tratamiento y enriquecerlo con nanoburbujas que contienen los productos de gas de reacción suministrados a través del tubo 171 de recuperación de productos gaseosos. Un ejemplo de un generador de nanoburbujas adecuado para el propósito de la presente invención es un generador de nanoburbujas producido por la empresa Moleaer.

Con referencia a la Figura 7, se ilustra un diagrama de bloques esquemático de un sistema 70 de tratamiento de aguas residuales para el tratamiento del fluido de aguas residuales, según otra realización más de la presente invención. El sistema 70 se diferencia del sistema 50 en que incluye además el generador 61 de nanoburbujas descrito anteriormente, que está dispuesto corriente arriba del aparato reactor 11 para el pretratamiento del fluido de aguas residuales. El generador 61 de nanoburbujas está acoplado neumáticamente a la cámara 113 de gas a través de un segundo tubo 172 de recuperación de productos gaseosos y está configurado para recibir el exceso de gas que contiene productos de gas de reacción producidos durante la descarga de plasma en el aparato reactor 11, y para generar nanoburbujas en el fluido de aguas residuales suministrado para el tratamiento.

Por ejemplo, el acoplamiento neumático se puede establecer mediante el acoplamiento del segundo tubo 172 de producto gaseoso al tubo 17 de recuperación de producto gaseoso que está conectado a la salida neumática (1111 en la Figura 2) de la cámara de gas (113 en la Figura 2). Alternativamente, el segundo tubo 172 de recuperación de producto gaseoso se puede conectar a otra salida neumática (no mostrada) de la cámara de gas (113 en la Figura 2).

Según una realización adicional de la presente invención, los tubos 17, 171, 172 de recuperación de gas pueden contener componentes (no mostrados) tales como separadores de líquido, separadores de neblina, trampas de vapor, compresores de flujo, etc., que se usan en la práctica industrial común.

Según otra realización de la presente invención, los tubos 17, 171, 172 de recuperación de gas pueden tener su función integrada o asignada a los tubos que contienen líquido. Por ejemplo, los tubos 17 y 18 pueden unirse a un único tubo de corriente mixta.

Con referencia a la Figura 8, se ilustra un diagrama de bloques esquemático de un sistema 80 de tratamiento de aguas residuales para el tratamiento del fluido de aguas residuales, según otra realización más de la presente invención. El sistema 80 se diferencia del sistema 70 en que la función de recolección del exceso de gas se transfiere desde el aparato reactor 11 al tanque 16 de contacto. En consecuencia, el sistema 80 incluye además un tubo 173 de recuperación de productos gaseosos acoplado neumáticamente a un puerto neumático (no mostrado) del tanque 16 de contacto para extraer el exceso de gas de proceso de vuelta al generador 61 de nanoburbujas, que está dispuesto corriente arriba del aparato reactor 11 para el pretratamiento del fluido de aguas residuales. El fluido 14 de aguas residuales se infunde primero con nanoburbujas proporcionadas por el generador 61 de nanoburbujas y, a continuación, pasa al aparato reactor 11, donde se agrega gas de proceso adicional y se aplica el tratamiento de descarga de plasma. A continuación, el fluido y el gas llenos de burbujas (como una corriente mixta) fluyen a través del conducto 18 hasta el tanque 16 de contacto, donde permanecen durante un tiempo suficiente para que el exceso de gas y el gas de las nanoburbujas se filtren hasta la parte superior del tanque 16 de contacto y después pasen al tubo 173 de recuperación. Esta configuración ofrece una mejor conservación y reutilización del gas de proceso y los productos de descarga de gas.

Según algunas realizaciones de la presente invención, el generador 61 de nanoburbujas puede además acoplarse neumáticamente al sistema 12 de suministro de gas además de (o en lugar de) el acoplamiento neumático a la cámara de gas (113 en la Figura 2) del aparato reactor 11.

Debe entenderse que la fraseología y la terminología empleadas en la corriente memoria tienen el fin de descripción y no deben considerarse como limitativas.

Cabe señalar que las palabras “que comprende” y “que incluye” como se utilizan en todas las reivindicaciones adjuntas debe interpretarse como “que incluye, aunque no de forma limitativa”.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para el tratamiento de un fluido de aguas residuales que comprende:

un sistema (12) de suministro de gas configurado para proporcionar un gas de proceso hacia el fluido de aguas residuales;
un generador (13) de energía eléctrica pulsada configurado para generar impulsos de alta tensión eléctrica;
un aparato reactor (11) acoplado neumáticamente al sistema de suministro de gas y acoplado eléctricamente al generador de energía eléctrica pulsada,
en donde el aparato reactor (11) está configurado para producir una pluralidad de microburbujas de gas del gas de proceso inyectado en el fluido de aguas residuales suministrado hacia el aparato reactor (11) para el tratamiento, y para aplicar los impulsos de alta tensión eléctrica generados por el generador (13) de energía eléctrica pulsada a dicha pluralidad de microburbujas; los impulsos de alta tensión eléctrica tienen energía suficiente para crear una descarga luminiscente de plasma dentro de la pluralidad de microburbujas y en una interfaz de las microburbujas con el fluido de aguas residuales; **caracterizado porque** el aparato reactor incluye una carcasa (110) que comprende:

un plénum (112) de entrada de gas dispuesto en una porción inferior de la carcasa (110) e incluye una entrada neumática (1110) configurada para recibir el gas de proceso desde el sistema (12) de suministro de gas;
una cámara de gas (113) dispuesta en una porción superior de la carcasa y que incluye una salida neumática (1111) para liberar los productos de gas de reacción recolectados en la cámara de gas (113) durante el tratamiento del fluido de aguas residuales;
una cámara (111) de reacción dispuesta entre el plénum de entrada de gas y la cámara de gas, incluyendo la cámara de reacción:

una entrada hidráulica (114) para recibir un fluido de aguas residuales;
una salida hidráulica (115) para liberar el fluido de aguas residuales de la cámara de reacción después del tratamiento;
una placa (116) de potencial que es eléctricamente conductora dispuesta en la parte inferior de la cámara (111) de reacción y que separa la cámara de reacción del plénum (112) de entrada de gas, la placa (116) de potencial configurada para contener una pluralidad de electrodos tubulares (118), incluyendo cada uno de los electrodos tubulares:

una porción sobresaliente (1181) que sobresale de la placa (116) de soporte y está configurada para proporcionar un acoplamiento eléctrico conductivo o capacitivo al fluido de aguas residuales tratado en la cámara de reacción, y
una porción pasante (1182) que pasa a través de la placa (116) de potencial para proporcionar una comunicación neumática entre el plénum de entrada de gas y la cámara de reacción para suministrar el gas de reacción para la producción de dicha pluralidad de las microburbujas;
una placa aislante (1113) dispuesta en una superficie superior de la placa (116) de potencial; incluyendo dicha placa aislante una pluralidad de aberturas capilares (1116) que pasan a través de la placa (116) de potencial hacia la cámara (111) de reacción; las aberturas capilares están configuradas para alojar herméticamente las porciones sobresalientes (1181) de los electrodos tubulares (118) que sobresalen de la placa (116) de potencial; en donde la altura de las porciones sobresalientes (1181) de los electrodos tubulares (118) es menor que la anchura total de la placa aislante (1113) para formar orificios capilares (1115) dentro de las aberturas capilares (1116) que se extienden desde una superficie superior de la placa aislante (1113) hacia los bordes superiores (1183) de las porciones sobresalientes (1181) de los electrodos tubulares (118);
una placa (117) conectada a tierra dispuesta en una porción superior de la cámara de reacción y que separa la cámara de reacción de la cámara de gas, incluyendo la placa puesta a tierra una pluralidad de aberturas que pasan a través de la placa puesta a tierra hacia la cámara de gas para permitir que un exceso de mezcla de gases que contiene un gas químicamente activo liberado de las microburbujas que llegan a la placa conectada a tierra y otros productos gaseosos de reacción producidos durante el tratamiento pasen a través de la pluralidad de aberturas y se recojan en la cámara de gas; y
un electrodo (1112) de potencial conectado eléctricamente a un lado inferior de la placa (116) de potencial; y un electrodo (1114) conectado a tierra conectado eléctricamente a un lado superior de la placa (117) conectada a tierra.

2. El sistema de la reivindicación 1, en donde los orificios capilares (1115) incluyen además un inserto (1117) dispuesto entre las paredes interiores de los orificios capilares y los electrodos tubulares (118).

3. El sistema de la reivindicación 1, que comprende además un tanque (16) de contacto dispuesto corriente abajo de la cámara del reactor (111), el tanque (16) de contacto acoplado hidráulicamente a la cámara de reacción del aparato reactor (11) mediante un tubo de salida para recibir el fluido de aguas residuales que sale de la cámara de reacción, y acoplado neumáticamente a la salida neumática (1111) de la cámara de gas a través de al menos un tubo de recuperación de productos gaseosos para recibir (i) el fluido de aguas residuales después del tratamiento en la cámara de reacción y (ii) el exceso de mezcla de gases que contiene el gas de proceso no utilizado liberado de las microburbujas que llegan a la cámara de gas y otros productos gaseosos de reacción producidos durante el tratamiento con los impulsos de alta tensión eléctrica.

4. El sistema de la reivindicación 3, en donde el tubo de salida que conecta el aparato reactor al tanque de contacto es un tubo en forma de cono que funciona sobre la base del efecto Venturi.

5. El sistema de la reivindicación 1, que comprende además un generador de nanoburbujas dispuesto corriente arriba del aparato reactor para el pretratamiento del fluido de aguas residuales suministrado para el tratamiento, el generador de nanoburbujas acoplado neumáticamente a la cámara de gas del aparato reactor mediante un tubo de recuperación de productos gaseosos, el generador de nanoburbujas configurado para recibir una mezcla de gases que incluye gas de proceso y productos de gas de reacción no utilizados producidos durante la descarga de plasma dentro de las microburbujas y en la interfaz entre las microburbujas y el fluido de aguas residuales, y para producir nanoburbujas de la mezcla de gases en el fluido de aguas residuales antes de que el fluido de aguas residuales entre en la cámara de reacción.

6. El sistema de la reivindicación 1, que comprende además un generador de nanoburbujas dispuesto corriente arriba del aparato reactor para el pretratamiento del fluido de aguas residuales suministrado para el tratamiento, el generador de nanoburbujas acoplado neumáticamente al tanque de contacto.

7. El sistema de la reivindicación 1, que comprende además un generador de nanoburbujas dispuesto corriente arriba del aparato reactor para el pretratamiento del fluido de aguas residuales suministrado para el tratamiento, el generador de nanoburbujas acoplado neumáticamente al sistema de suministro de gas.

8. Un método para el tratamiento de un fluido de aguas residuales, que comprende:

proporcionar el sistema para el tratamiento de un fluido de aguas residuales de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores;
recibir el fluido de aguas residuales para el tratamiento mediante dicho sistema;
producir una pluralidad de microburbujas de gas de un gas de proceso en el fluido de aguas residuales, y
aplicar impulsos de alta tensión eléctrica a dicha pluralidad de microburbujas; teniendo los impulsos de alta tensión eléctrica energía suficiente para crear una descarga luminiscente de plasma dentro de la pluralidad de microburbujas y en una interfaz de las microburbujas con el fluido de aguas residuales.

9. El método de la reivindicación 8, en donde la amplitud de tensión de los impulsos de alta tensión eléctrica está en el intervalo suficiente para alcanzar una temperatura de plasma electrónico de 5,2 eV y dividir el gas O2 para reaccionar con H2O y O2 y producir *OH y O3 utilizando un campo eléctrico en el intervalo de 30 kV/cm a 60 kV/cm con una corriente pulsada pico en el intervalo de 100 A a 5 kA.

10. El método de la reivindicación 8, en donde la anchura de impulso de los impulsos de alta tensión eléctrica está en el intervalo de 10 nanosegundos a 100 nanosegundos.

11. El método de la reivindicación 8, en donde la frecuencia de repetición de impulsos está en el intervalo de 10 pps a 10×103 pps.

12. El método de la reivindicación 8, que comprende:

recoger un exceso de mezcla de gases que contiene el gas de proceso liberado de las microburbujas y otros productos de gas de reacción producidos durante el tratamiento del fluido de aguas residuales con los impulsos de alta tensión eléctrica; y
aplicar el exceso de mezcla de gases al fluido de aguas residuales tratado mediante la descarga luminiscente de plasma a través de un tubo en forma de cono que funciona sobre la base del efecto Venturi para continuar el tratamiento del fluido de aguas residuales.

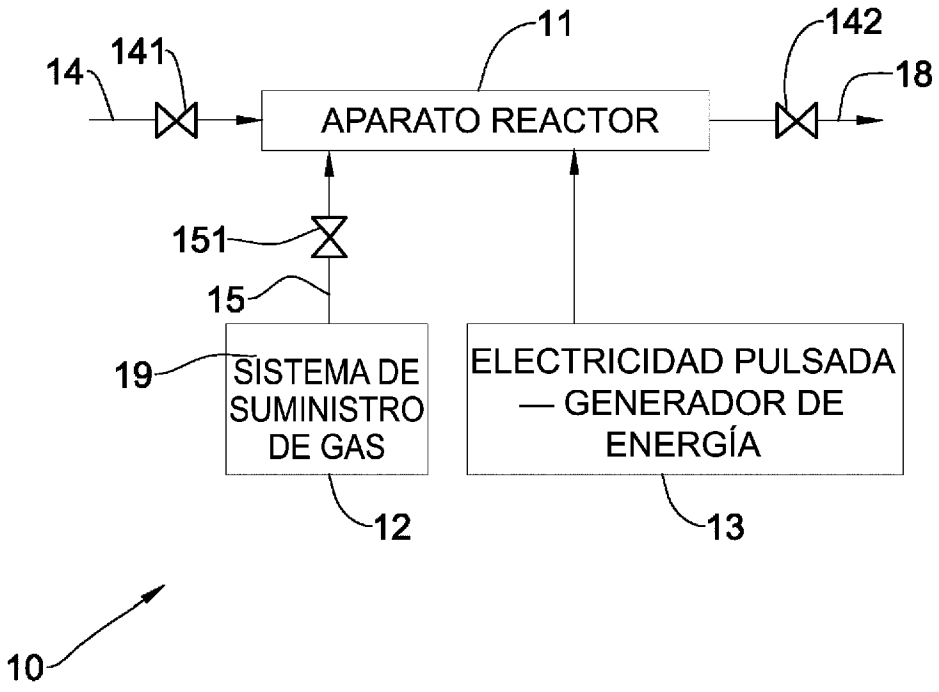

11
142
141
14
18
APARATO REACTOR
151
15
19
SISTEMA DE SUMINISTRO DE GAS
ELECTRICIDAD PULSADA — GENERADOR DE ENERGÍA
12
13
10

Figura 1

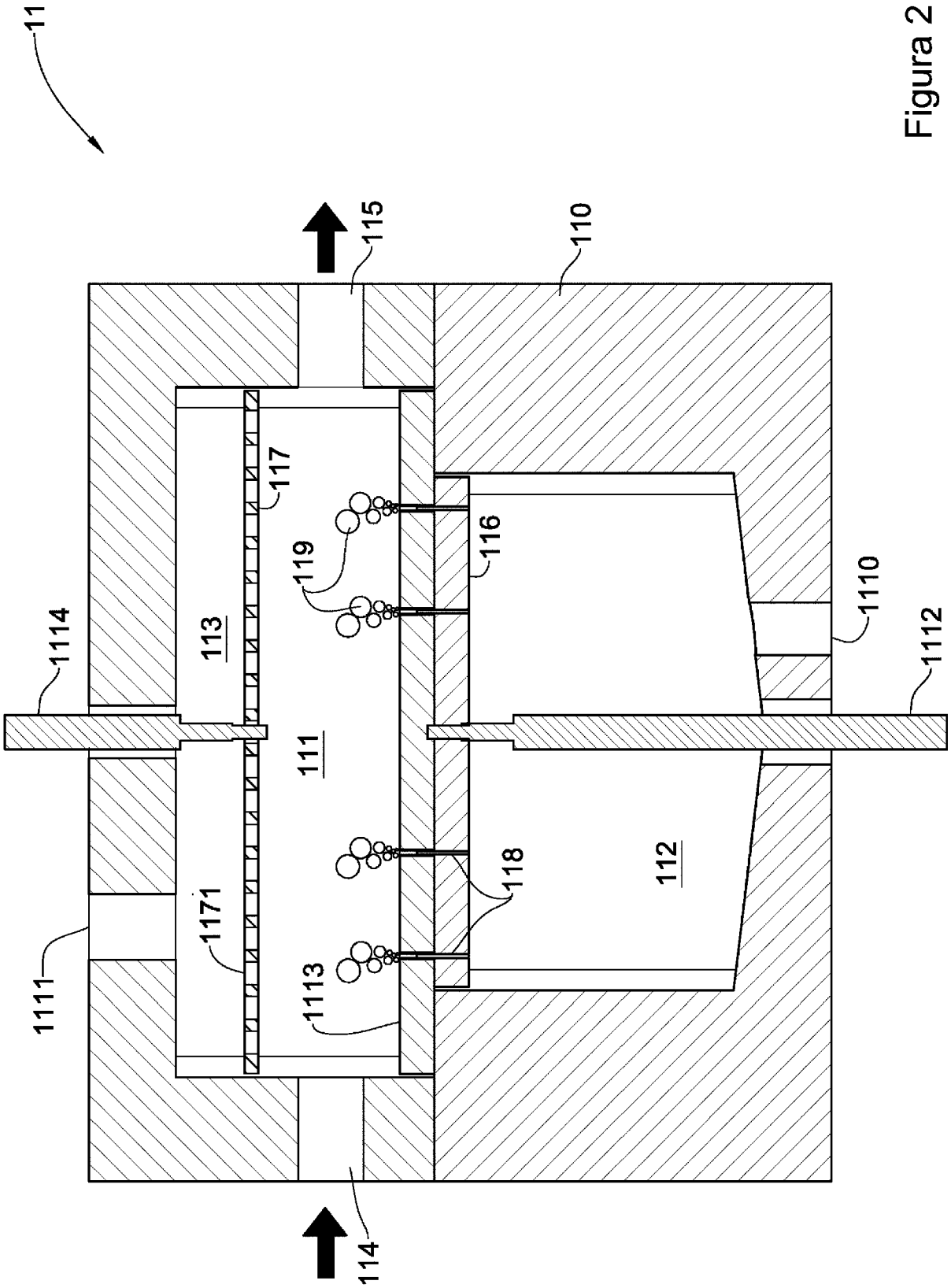

11
115
110
117
119
116
1110
1114
113
1112
111
1171
118
112
1111
1113
114

Figura 2

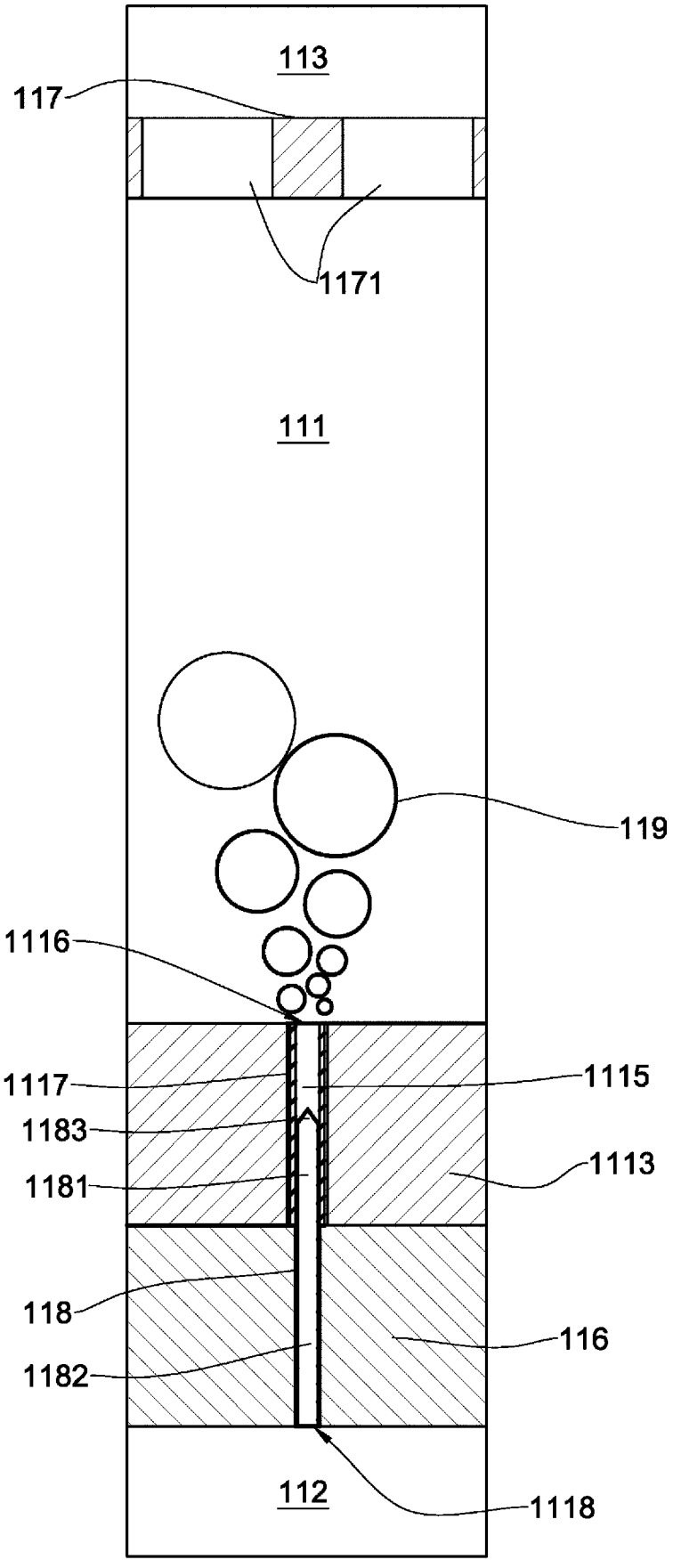

113
117
1171
111
119
1116
1117
1115
1183
1113
1181
118
116
1182
112
1118

Figura 3

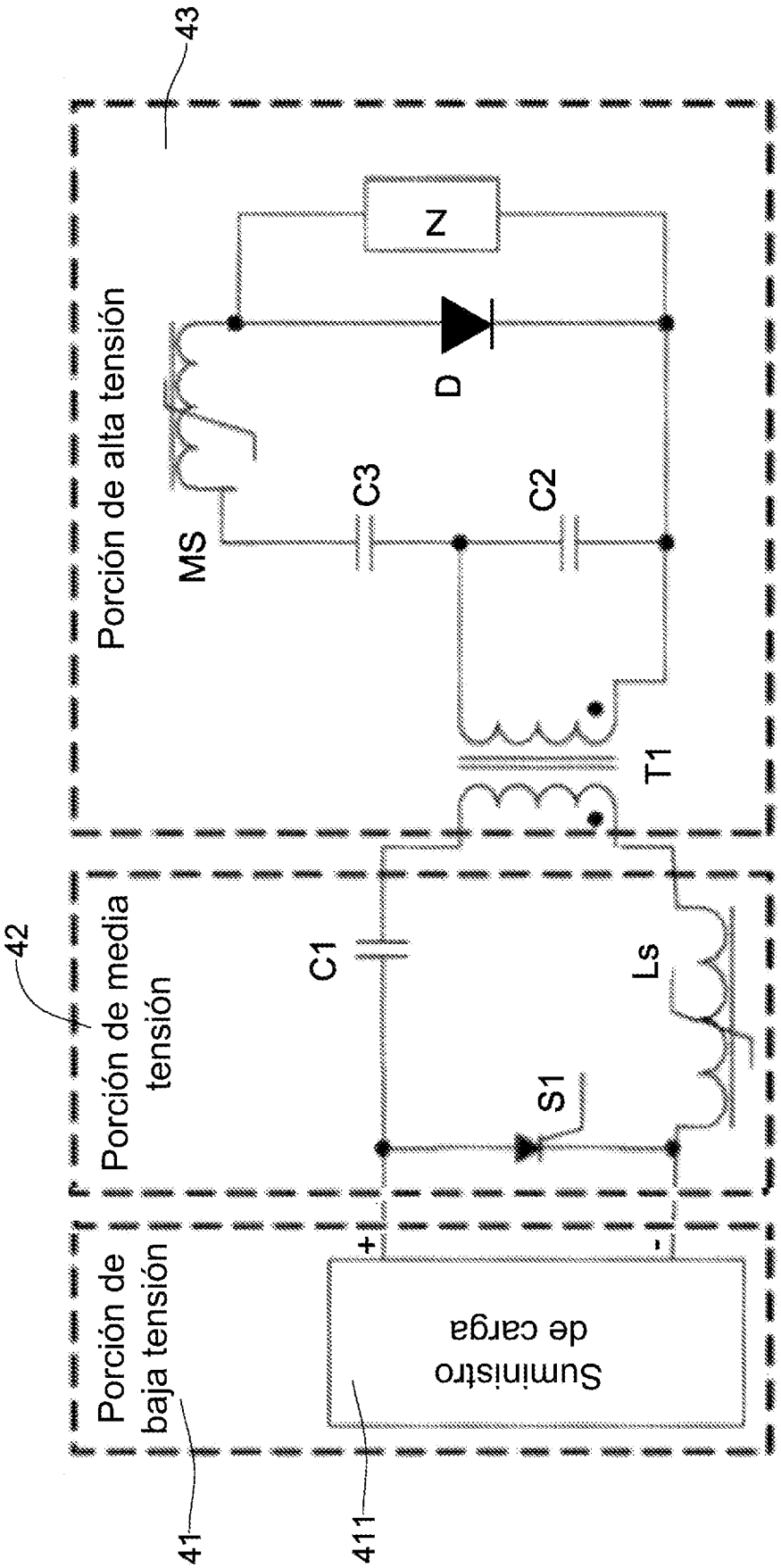

43
Porción de alta tensión
Z
D
MS
C3
C2
T1
42
Porción de media tensión
C1
Ls
S1
+
-
Porción de baja tensión
Suministro de carga
41
411
13

Figura 4

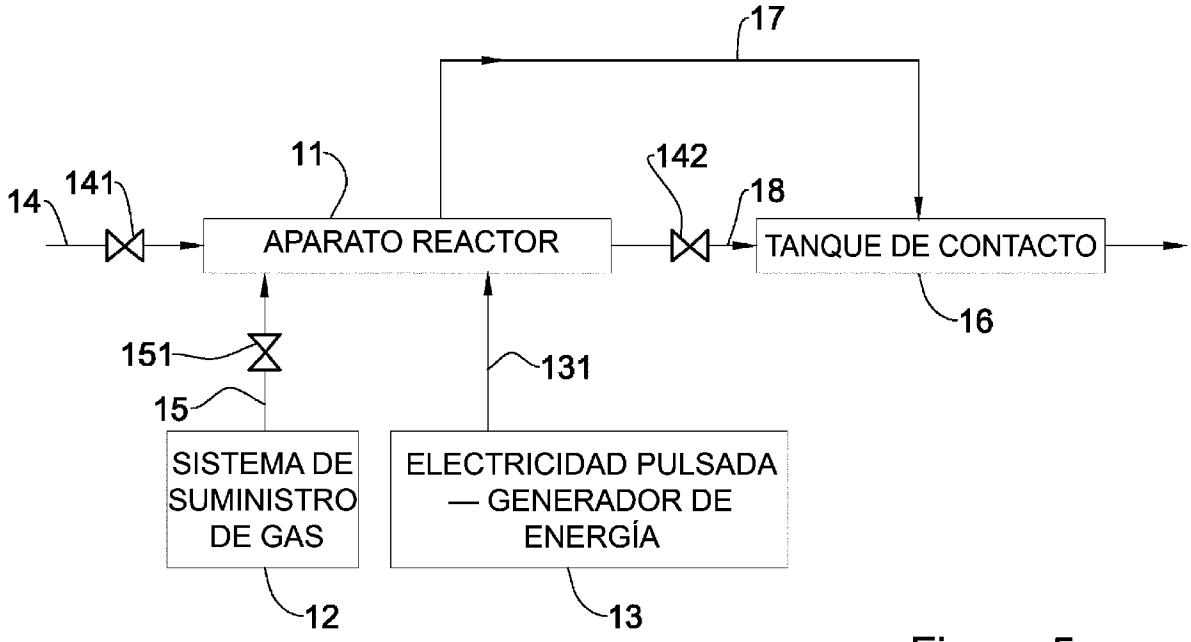


Figura 5

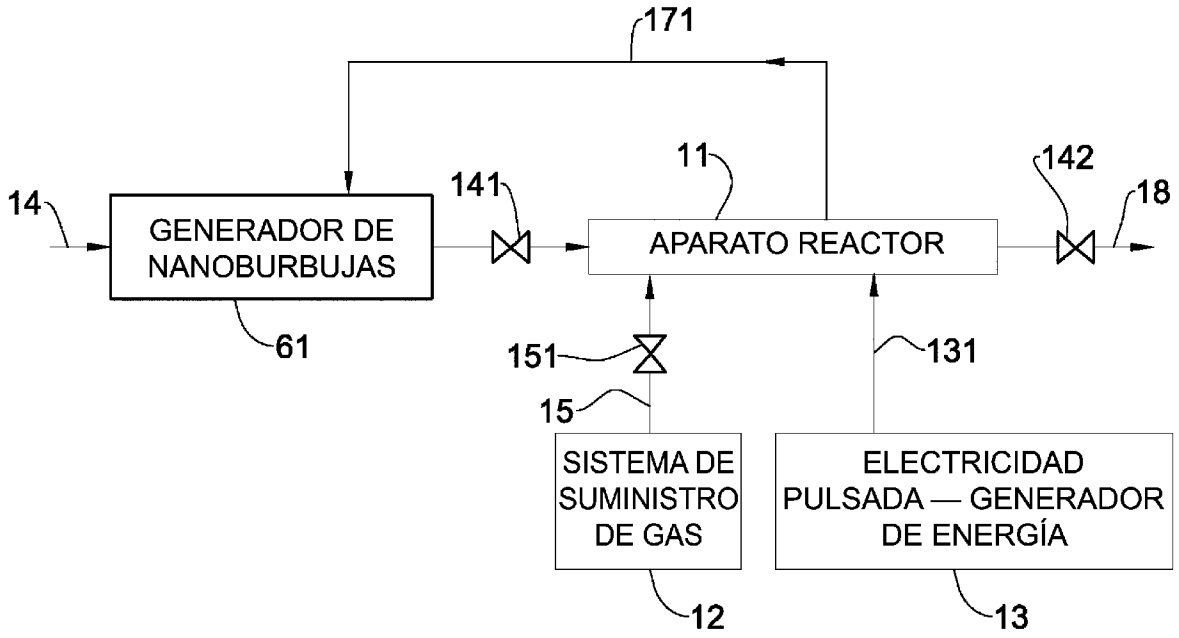


Figura 6

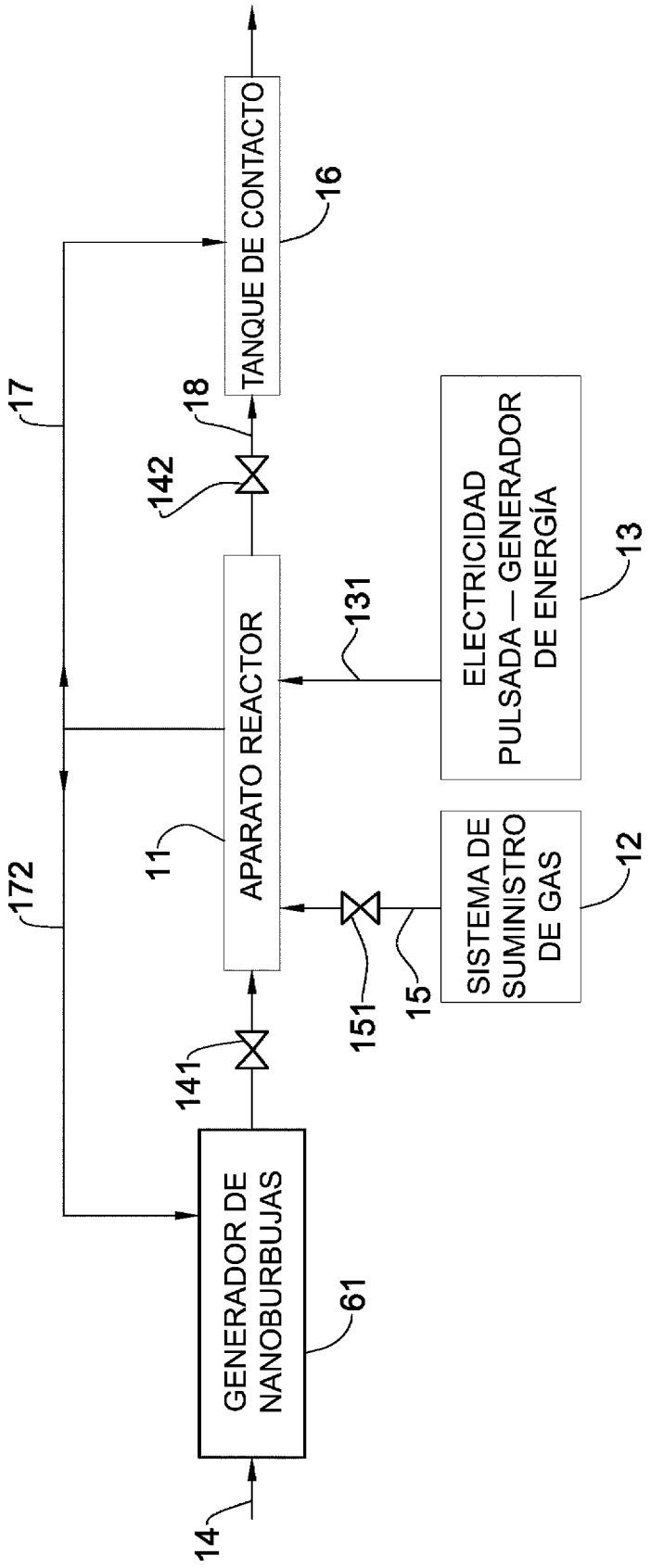

TANQUE DE CONTACTO
16
17
18
142
APARATO REACTOR
11
131
ELECTRICIDAD PULSADA — GENERADOR DE ENERGÍA
13
172
SISTEMA DE SUMINISTRO DE GAS
12
151
15
141
GENERADOR DE NANOBURBUJAS
61
14

Figura 7

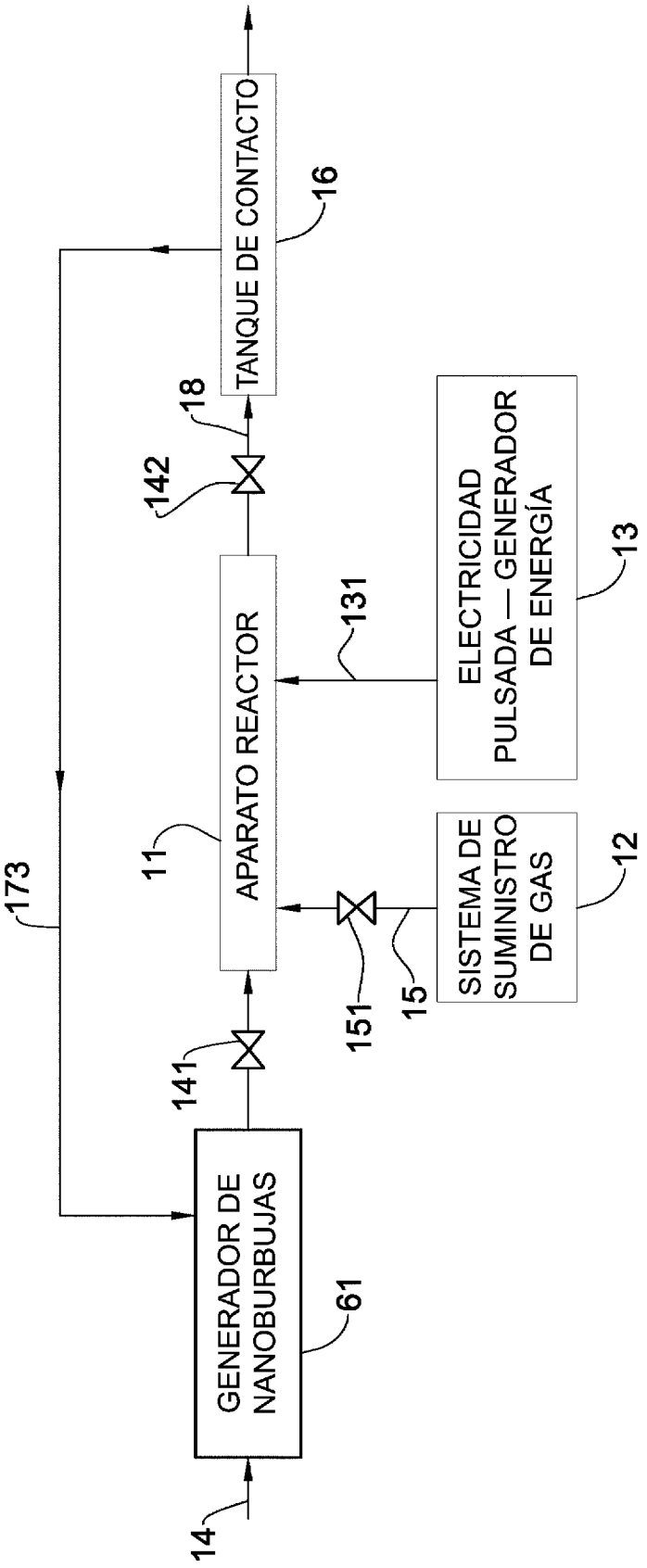

TANQUE DE CONTACTO
16
18
142
APARATO REACTOR
11
131
ELECTRICIDAD PULSADA — GENERADOR DE ENERGÍA
13
173
SISTEMA DE SUMINISTRO DE GAS
12
151
15
141
GENERADOR DE NANOBURBUJAS
61
14

Figura 8