

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 745 979**

51 Int. Cl.:

C02F 1/36 (2006.01)
C02F 1/463 (2006.01)
C02F 1/467 (2006.01)
C02F 1/32 (2006.01)
C02F 101/20 (2006.01)
C02F 103/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.03.2016 PCT/GB2016/050692**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **22.09.2016 WO16146986**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.03.2016 E 16710313 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.06.2019 EP 3268315**

54 Título: **Sistema y método para tratar fluidos mediante sonoelectroquímica**

30 Prioridad:

13.03.2015 GB 201503638

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.03.2020

73 Titular/es:

**KP2M LIMITED (100.0%)
C10 Ashmount Business Park
Swansea SA6 8QR , GB**

72 Inventor/es:

MORGAN, PHILIP GRAEME

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 745 979 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema y método para tratar fluidos mediante sonoelectroquímica

5 La invención se refiere al tratamiento de fluidos. Más particularmente, la invención se refiere al tratamiento o descontaminación de fluidos mediante el uso de sonoelectroquímica.

10 Con frecuencia se requiere el tratamiento o descontaminación de fluidos para eliminar la materia arrastrada (por ejemplo, la materia suspendida o disuelta) y/o para desinfectar impurezas. El fluido a tratar o descontaminar puede ser especialmente agua contaminada, por ejemplo, agua potable, aguas residuales, efluentes industriales, aguas de a bordo de un barco, aguas de procesos, aguas de escorrentía subterránea o agua lixiviadas. Los fluidos pueden contener uno o más contaminantes, por ejemplo, inorgánicos, orgánicos, material suspendido, materia coloidal, metales, organo-metaloides, radionúclidos, herbicidas, pesticidas y bacterias, virus y otros microorganismos.

15 Hasta la fecha, la descontaminación se ha logrado ampliamente por medios físicos y/o químicos. Por ejemplo, mediante la utilización de la oxidación y la reducción, mediante el uso de filtros, sedimentadores, procesos químicos y biológicos. A medida que los contaminantes en los fluidos se han vuelto más complejos durante el siglo pasado debido a la creciente industrialización, el uso de métodos de tratamiento convencionales ha resultado menos efectivo. Al mismo tiempo, el aumento de la rigurosidad de los requisitos en cuanto a la pureza de las corrientes residuales, en particular, las corrientes de efluentes, ha aumentado las áreas de operación industrial para las cuales se necesita o requiere la descontaminación de residuos u otras corrientes de fluidos.

25 El uso de electrólisis para el tratamiento de líquidos está bien documentado. De manera similar, se ha propuesto el uso de la sonoquímica para tratar líquidos, así como también un medio para cambiar las propiedades químicas de los fluidos. Típicamente, en la electrólisis, una corriente DC o AC aplicada a través de los electrodos del ánodo y el cátodo sumergidos en el fluido (electrolito) da como resultado la disolución del ánodo para producir agentes reactivos (por ejemplo, iones de aluminio, iones ferrosos y férricos) mientras que en el electrodo del cátodo el agua se hidroliza para producir iones de hidrógeno e iones hidroxilos. El resultado neto de estas reacciones es la producción, por ejemplo, de hidróxido de aluminio, hidróxido férrico o hidróxido ferroso que actúa como un coagulante y absorbe los contaminantes del fluido. Estas reacciones se denominan típicamente como electrocoagulación y electrofloculación. La sonoquímica (ultrasonido) se ha establecido durante mucho tiempo para la limpieza y la mezcla, y para acelerar los procesos químicos. El ultrasonido (típicamente de 15 - 200 kHz o de 20 a 200 kHz de frecuencia) genera ondas alternas de baja presión y alta presión en los fluidos, lo que conduce a la formación y al colapso violento de pequeñas burbujas de vacío. Este fenómeno se denomina cavitación y provoca chorros de líquido que impactan a alta velocidad y fuertes fuerzas de corte hidrodinámicas. Estos efectos, junto con la entrada de energía aplicada y la transferencia de material a través de las capas límite del fluido, se usan para desaglomerar contaminantes, desintegrar células, mezclar reactivos, producir radicales libres (por ejemplo, radical hidroxilo). Tal efecto sonoquímico conduce a una reducción sustancial en el tiempo de reacción y el efecto de limpieza de los objetos sumergidos en un dispositivo ultrasónico.

40 La combinación de la sonoquímica con la electrólisis ofrece la ventaja del aumento de las velocidades de reacción química, niega la contaminación de los electrodos al destruir las capas límite Helmholtz, Stern en las superficies de los electrodos anódicos y la pasivación cuando se excita eléctricamente, aumentan las reacciones oxidativas a través de la producción de radicales hidroxilos y aumentan los efectos de mezcla dentro del dispositivo reactor. El estado actual de las publicaciones de la técnica describen dispositivos que consisten en una bocina ultrasónica metálica (también conocida como bocina acústica, sonotrodo, guía de onda acústica, sonda ultrasónica) sumergida en un reactor electrolítico que contiene fluidos contaminados y un ánodo y cátodo sumergidos unidos a un suministro de energía eléctrica.

50 Un inconveniente con los procesos conocidos para la descontaminación de líquidos que usan una sonda ultrasónica y una celda electrolítica es el posible cortocircuito eléctrico entre la sonda ultrasónica y los electrodos del ánodo y el cátodo o el dispositivo reactor cuando la sonda ultrasónica y los electrodos reciben un voltaje aplicado. Se requiere la colocación cuidadosa de la sonda ultrasónica y el funcionamiento de la celda electrolítica para evitar la electrocución o daños eléctricos a los dispositivos.

55 El documento CN104129833 describe un reactor de tratamiento de aguas residuales que tiene un electrodo de placa de tierra y un ánodo de alambre ubicado dentro de un recipiente. El documento US2003/0164308 describe un aparato de desinfección electroiónica de agua para la desinfección del agua contaminada con microorganismos.

60 Es un objetivo de la invención actual mitigar al menos parcialmente uno, algunos o todos los inconvenientes asociados con la técnica anterior.

La presente invención proporciona, en un primer aspecto, una unidad de tratamiento de fluidos de acuerdo con la reivindicación 1.

65 La unidad de la invención permite la descontaminación de fluidos, especialmente de agua contaminada y corrientes residuales, para llevarse a cabo de manera simple, eficiente y efectiva. En particular, debido a que la descontaminación

puede depender, al menos en parte, de la sonicación y la electrólisis, puede evitar el requisito de la adición de sustancias químicas líquidas en comparación con la tecnología existente.

5 Además, la sonicación puede negar la contaminación del electrodo y la acumulación de capas de pasivación a lo largo de las superficies del electrodo en la zona de tratamiento. Se cree que la unidad de la invención permite que la electrólisis y la sonicación se apliquen satisfactoriamente a un procedimiento continuo de descontaminación y/o a un proceso por lotes porque la disposición es tal que la corriente líquida fluye a lo largo de las superficies de los electrodos en los que pueden producirse la electrólisis y las reacciones de sonicación, y cuando está en el modo por lotes, el proceso de sonicación evita la contaminación de cualquier electrodo a partir de la pasivación, tal como la acumulación de burbujas de gas o material 'flóculo' que puede reducir el amperaje y aumentar el voltaje a través de los electrodos. Sin embargo, en la unidad de la invención, se evita que tales productos de reacción ocurran en el reactor que puede procesar velocidades de flujo de hasta 10 MLD (millones de litros por día) o hasta o más de 100 MLD o hasta o más de 200 MLD o hasta o más de 500 MLD.

15 La entrada puede comprender un canal que se extiende a través de la zona de tratamiento en una dirección transversal a la dirección principal del flujo dentro de la zona de tratamiento. El propósito de esa construcción es permitir que el fluido se introduzca en la zona de tratamiento en un flujo laminar relativamente uniforme. La salida puede comprender un canal que se extiende a través de la zona de tratamiento en una dirección transversal a la dirección principal del flujo dentro de la zona de tratamiento.

20 La unidad puede comprender además una fuente de luz UV, que se dispone para irradiar el fluido que pasa a través de la unidad. La fuente UV puede disponerse para irradiar el fluido aguas abajo de la zona de tratamiento. La fuente UV puede ser adyacente o próxima a dichos medios de salida.

25 El medio generador ultrasónico puede comprender un único elemento piezoeléctrico o una pluralidad de elementos piezoeléctricos dispuestos en una matriz en el segundo electrodo conectado a tierra. Dicho medio generador ultrasónico puede operarse o puede operar a una frecuencia operativa de 15-200 kHz o 20-200 kHz.

30 El electrodo anódico se aísla eléctricamente del electrodo conectado a tierra.

La invención proporciona además un sistema de tratamiento de fluidos que comprende una unidad de tratamiento de fluidos de acuerdo con la invención. El sistema puede incluir una fuente de energía para aplicar un voltaje positivo al primer electrodo y una conexión al suelo (tierra) al segundo electrodo conectado a tierra. La disposición puede ser tal que puede aplicarse un voltaje de AC y/o voltaje de DC de frecuencias y forma de onda variables al primer electrodo para proporcionar un amperaje operativo de 1-100,000 amps o 1-10,000 amps. El sistema puede incluir una fuente de energía para aplicar un voltaje al medio generador ultrasónico.

35 El sistema comprende ventajosamente medios para monitorear una o más características eléctricas entre el primer y el segundo electrodos en la zona de tratamiento de manera que el voltaje entre el primer y el segundo electrodos puede variar automáticamente para lograr un amperaje de corriente establecido a través del primer y el segundo electrodos, y un medio de monitoreo para monitorear uno o más parámetros químicos del fluido ya sea aguas arriba o aguas abajo de la zona de tratamiento y establecer automáticamente el amperaje operativo para la zona de tratamiento definida por el primer y el segundo electrodos.

45 Ventajosamente, el sistema comprende un medio de control. El medio de control se dispone preferentemente para controlar la corriente aplicada para la electrólisis y/o la frecuencia y/o energía aplicadas al medio generador ultrasónico y al conjunto de elementos piezoeléctricos en dependencia de una o más características monitoreadas por los medios de monitoreo.

50 El sistema puede comprender además una unidad o zona de mezcla, aguas abajo de la unidad de tratamiento. El sistema puede comprender además una unidad o zona de clarificación aguas abajo de la unidad o zona de mezcla.

La invención proporciona además un método para tratar un fluido de acuerdo con la reivindicación 15.

55 Ventajosamente, se hace que el líquido fluya a lo largo de una trayectoria de flujo que se limita en lados opuestos por los electrodos opuestos. Preferentemente, en la sección transversal con relación a la dirección del flujo, la trayectoria del flujo es de una configuración rectangular alargada. Sin embargo, ventajosamente, el área de la sección transversal de la trayectoria del flujo es sustancialmente uniforme a lo largo de la dirección del flujo del fluido.

60 La separación entre el primer electrodo anódico y el segundo electrodo conectado a tierra puede ser de 100 mm o menos. Ventajosamente, la separación entre el primer electrodo anódico y los segundos electrodos es de 80 mm o menos. Ventajosamente, la separación entre el primer y el segundo electrodos es de 5 mm o mayor.

65 La longitud de la trayectoria del flujo puede ser de 100 mm o más y, ventajosamente, de 500 mm o más. Ventajosamente, la longitud de la trayectoria del flujo es de 20,000 mm o menos, o 10,000 mm o menos.

La sonda ultrasónica y/o el electrodo pueden generar oxidantes y radicales oxidantes o hidroxilos en el fluido a medida que el fluido pasa a través de la zona de tratamiento. El peróxido de hidrógeno puede generarse como resultado de la sonoelectroquímica a medida que el fluido pasa a través de la zona de tratamiento. El peróxido de hidrógeno en presencia de iones ferrosos o sales férricas (que pueden generarse cuando se usan electrodos de hierro), puede generar además radicales hidroxilos a través de la química de Fenton para la mineralización orgánica. Además, los iones de cloruro cuando reaccionan con electrodos con exceso de potencial de oxígeno pueden generar oxidantes y radicales potentes para la destrucción de contaminantes orgánicos y nitrogenados. Además, cuando se combinan con una fuente de luz UV, puede iniciarse una reacción foto-Fenton para la destrucción de contaminantes orgánicos. Tales reacciones que generan radicales hidroxilos se denominan comúnmente como procesos de oxidación avanzada (AOP).

La presente invención proporciona una unidad de tratamiento de fluidos que comprende un primer electrodo anódico, un segundo electrodo conectado a tierra y una sonda ultrasónica montada externamente, que define entre el primer electrodo anódico y el segundo electrodo conectado a tierra una zona de tratamiento que tiene un medio de entrada para la introducción del fluido en dicha zona de tratamiento y una salida para la salida del fluido desde dicha zona de tratamiento, la zona de tratamiento que proporciona una trayectoria de flujo a lo largo de la cual el fluido que ingresa a través del medio de entrada puede fluir hacia el medio de salida, la trayectoria de flujo que se extiende sustancialmente a lo largo de la superficie de cada uno de los electrodos.

La unidad de la invención permite la descontaminación de fluidos, especialmente de agua contaminada y corrientes residuales, para llevarse a cabo de manera simple, eficiente y efectiva. En particular, debido a que la descontaminación depende al menos en parte de la sonicación y la electrólisis, lo que evita así la adición de productos químicos líquidos en comparación con la tecnología existente y niega la contaminación de los electrodos y la acumulación de capas de pasivación a lo largo de las superficies de los electrodos en la zona de tratamiento. Se cree que la unidad de la invención permite que la electrólisis y la sonicación se apliquen satisfactoriamente a un procedimiento continuo de descontaminación y/o a un proceso por lotes porque la disposición es tal que la corriente líquida fluye a lo largo de las superficies de los electrodos en los que ocurren la electrólisis y las reacciones de sonicación, y cuando está en el modo por lotes, el proceso de sonicación evita la contaminación de cualquier electrodo a partir de la pasivación, tal como la acumulación de burbujas de gas o material 'flóculo' que puede reducir el amperaje y aumentar el voltaje a través de los electrodos. Sin embargo, en la unidad de la invención, se evita que tales productos de reacción ocurran en el reactor que puede procesar velocidades de flujo de hasta, y en algunos casos más de 10 MLD (millones de litros por día).

Los medios de entrada pueden comprender un canal que se extiende a través de la zona de tratamiento en una dirección transversal a la dirección del flujo dentro de la zona de tratamiento. Eso permite que el fluido se introduzca en la zona de tratamiento en un flujo laminar relativamente uniforme. Los medios de salida pueden comprender un canal que se extiende a través de la zona de tratamiento en una dirección transversal a la dirección del flujo dentro de la zona de tratamiento.

La unidad puede comprender además una fuente de luz UV, que se dispone para irradiar el fluido que pasa a través de la unidad. La fuente UV puede disponerse para irradiar el fluido que está aguas abajo de la zona de tratamiento. La fuente UV puede estar en o cerca del medio de salida.

La sonda ultrasónica puede consistir en un elemento piezoeléctrico singular o una pluralidad de elementos piezoeléctricos dispuestos en una matriz en el segundo electrodo conectado a tierra. La disposición puede ser que el voltaje de AC o DC de energía y frecuencia variables proporcione una frecuencia operativa de 20-200 kHz.

El sistema comprende ventajosamente medios para monitorear una o más características eléctricas entre el primer y el segundo electrodos en la zona de tratamiento de manera que el voltaje entre el primer y el segundo electrodos puede variar automáticamente para lograr un amperaje de corriente establecido a través del primer y el segundo electrodos, y un medio de monitoreo para monitorear uno o más parámetros químicos del fluido ya sea aguas arriba o aguas abajo de la zona de tratamiento y establecer automáticamente el amperaje operativo para la zona de tratamiento definida por el primer y el segundo electrodos.

La longitud de la trayectoria del flujo puede ser no menos de 100 mm y, ventajosamente, no menos de 500 mm. Ventajosamente, la longitud de la trayectoria del flujo es no más de 10,000 mm.

El método de tratamiento de la invención puede usarse para el tratamiento de cualquier fluido, especialmente corrientes líquidas contaminadas, tales como corrientes de agua contaminada seleccionadas de aguas residuales, efluentes industriales, aguas de procesos, aguas subterráneas, ríos y lixiviados. El método puede usarse, con la selección apropiada de las condiciones en la zona de tratamiento, para descontaminar fluidos que contienen inorgánicos, orgánicos, material suspendido y coloidal, metales, organo-metaloides, radionúclidos, bacterias, virus y otros microorganismos.

Cuando se incluye la irradiación UV, el método de tratamiento es especialmente efectivo en la eliminación de metales y la destrucción oxidativa de contaminantes orgánicos tales como PCB o la descomposición de tensioactivos, pesticidas y herbicidas u orgánicos de cadena larga en residuos de cadena corta.

La invención se describirá ahora a manera de ejemplo solamente y con referencia a los dibujos acompañantes, en los cuales:-

La Figura 1 es una sección en corte longitudinal de una unidad de tratamiento de acuerdo con la invención;

La Figura 2 es una sección en corte transversal a través de la unidad de tratamiento de la Figura 1;

La Figura 3 es una representación esquemática de un sistema de la invención;

5 Las Figuras 4A, 4B y 4C son, respectivamente, una vista isométrica frontal de una planta de tratamiento de agua de acuerdo con la invención, una vista isométrica trasera de la planta de la Figura 4A y una vista en planta de la planta de la Figura 4A;

Las Figuras 5A, B y 5C son, respectivamente, una vista en corte isométrica de la planta de la Figura 4A, una vista en sección transversal a lo largo de la línea A-A de la Figura 4C y una vista en planta de la planta de la Figura 4C sin la tapa.

10 Con referencia a la Figura 1, un sistema de tratamiento sonoelectroquímico TS comprende una unidad de tratamiento TU, la unidad de tratamiento TU comprende una celda sonoelectroquímica 1, en esta modalidad un par de celdas sonoelectroquímicas paralelas 1a, 1b, y un conducto de entrada 2 y un conducto de salida 3. El sistema TS comprende además un suministro de energía de la electrólisis 4, un electrodo 5 para cada celda 1a, 1b conectado al suministro de energía de la electrólisis 4 mediante una barra colectoras 6. El electrodo conectado a tierra 7 proporciona un alojamiento del reactor o tanque T conectado de forma fluida al conducto de entrada 2 y al conducto de salida 3. El conducto de entrada se proporciona o forma con un canal perforado 8 para proporcionar un flujo laminar uniforme en la zona de tratamiento 9 para la celda 1 (en esta modalidad para cada celda 1a, 1b). La zona de tratamiento 9 se define como el espacio entre el electrodo 5, el electrodo de tierra 7 (que proporciona el alojamiento o tanque T) y que se extiende hasta el vertedero de salida transversal 10. Los electrodos 5 se extienden hacia dentro de la zona de tratamiento 9 de cada celda 1a, 1b y se aseguran al electrodo de tierra 7 por medio de los accesorios revestidos aislados 11 (se muestra x3). La sonda de ultrasonido consiste en un conjunto de transductores piezoeléctricos 12 (se muestra x8 y cuatro para cada celda 1a, 1b) conectados al suministro de energía ultrasónica 13. Una lámpara UV opcional 14 puede asegurarse aguas abajo de la zona de tratamiento 9 después del vertedero de salida transversal 10 y preferentemente recibe energía del suministro de energía UV 16.

25 Además, o en lugar de la lámpara UV 14, puede incluirse un dispositivo de monitoreo de la calidad del agua 17 junto con su sonda de calidad del agua 18.

30 Puede incluirse un instrumento de monitoreo eléctrico 19 en el suministro de energía de la electrólisis 4. El instrumento de monitoreo eléctrico 19, el dispositivo de monitoreo de la calidad del agua 17, el suministro de energía de la lámpara UV 16, el suministro de energía ultrasónica 13 retroalimentan a un controlador maestro 20. Una salida de desbordamiento 15 se proporciona en la celda sonoelectroquímica 1. Se apreciará que, si se desea, las posiciones del conducto de entrada 2 y el conducto de salida 3 pueden intercambiarse (o puede invertirse la dirección del flujo) o las posiciones del conducto de entrada 2 y el conducto de salida 3 pueden alterarse, siempre que el líquido pase a través de los electrodos 5 para el tratamiento. En algunas circunstancias, puede ser ventajoso usar la salida de desbordamiento 15 como una salida de retorno para devolver el líquido parcialmente tratado para reciclarlo a través de la celda sonoelectroquímica 1. Tal instalación de reciclaje permite que los líquidos de baja conducción, los líquidos 'duros' difíciles o los líquidos con alta carga de contaminación reciban múltiples pases para lograr el nivel adecuado de tratamiento requerido. Mientras que el electrodo de tierra 7 se construye preferentemente de acero inoxidable o un material similar, el electrodo 5 (ánodo) puede construirse de varios materiales conductores. La selección de los materiales apropiados puede basarse en las características de las corrientes residuales y los requisitos de tratamiento. Por ejemplo, el hierro es especialmente ventajoso para la eliminación de aceite porque proporciona una desestabilización efectiva para la eliminación de aceite, el aluminio es eficaz para la eliminación de fosfatos, sólidos suspendidos y metales, y los materiales con exceso de potencial de oxígeno, como los óxidos metálicos mixtos de platino son eficaces para la oxidación.

45 Con referencia a la Figura 2, el electrodo de tierra 7 integra el conducto de entrada 2 y el conducto de salida 3 y proporciona el tanque de reacción T. El electrodo 5 se fija centralmente por los accesorios revestidos aislados 11 de manera que el electrodo de tierra 7 se envuelve alrededor de las superficies exteriores opuestas del electrodo 5. Los transductores piezoeléctricos 11 se montan externamente en el electrodo de tierra de manera que hay dos zonas de tratamiento opuestas 9 definidas entre el electrodo de tierra 7, el electrodo 5 y el electrodo de tierra 7. Tal diseño del electrodo es monopolar y tiene la ventaja de un diseño simple, duplica las capacidades de flujo y tratamiento y tiene una mayor capacidad eléctrica sobre las disposiciones de electrodos bipolares, lo que resulta en requisitos de voltaje más bajos de la unidad de tratamiento TU. El canal perforado 8 a lo largo del borde inferior del electrodo de tierra 7 proporciona el flujo laminar más allá de cada una de las superficies externas del electrodo 5. En la modalidad mostrada, el grosor del electrodo 5 está ventajosamente dentro del intervalo de 3 a 25 mm, o de 3 a 50 mm, o de 3 a 100 mm, y muestra dos electrodos cada uno de aproximadamente 1200 mm x 800 mm. Ventajosamente, tener la facilidad de alojar múltiples electrodos 5 también permite que varios materiales de electrodos se usen simultáneamente dentro de la zona de tratamiento 9, tales como aluminio, hierro, magnesio, metales con exceso de potencial de oxígeno, materiales a base de carbono, carbono impregnado y grafito y otros materiales conductores y semiconductores. En tal celda de reacción, los volúmenes de flujo típicos pueden ser de 20,000 litros por hora. La unidad de tratamiento TU puede variar en tamaño para atender los volúmenes de líquido apropiados para tratar mediante la adición o sustracción del primer electrodo anódico y el tamaño de la cubierta del segundo electrodo conectado a tierra. Con referencia a la Figura 2, en la modalidad se muestran ocho transductores piezoeléctricos a cada lado del electrodo de tierra 7, que se extienden a través de la zona de tratamiento 9. Se apreciará que puede requerirse una pluralidad de transductores piezoeléctricos en dependencia del tamaño de la unidad de tratamiento, la aplicación, el nivel de contaminante y el resultado del tratamiento deseado. En el dibujo, la celda sonoelectroquímica se ha dibujado como rectangular pero puede ser cuadrada, cilíndrica o de cualquier otra forma,

siempre que el electrodo y el electrodo de tierra se separen entre sí y el líquido pueda entrar y salir de la zona de tratamiento.

5 Durante el uso, el líquido se bombea mediante una bomba externa (no se muestra la bomba) a una velocidad controlada a través del conducto de entrada 2 de la celda sonoelectroquímica 1 y pasa a través del canal perforado 8 hacia la zona de tratamiento 9 que fluye entre el electrodo de tierra externo 7 y el electrodo interno 5 que actúan ellos mismos como sondas para monitorear las características eléctricas del medio fluido-electrodo mediante el monitor eléctrico 19. El fluido se vierte luego sobre el vertedero de salida transversal 10 hacia la cámara que contiene la lámpara UV 14 y/o la sonda de calidad del agua 18 del dispositivo de monitoreo de la calidad del agua 17 antes de salir de la celda sonoelectroquímica 1 a través del conducto de salida 3. Se apreciará que la sonda de calidad del agua 18 también podría ubicarse en la zona de tratamiento 9, aguas arriba de la celda sonoelectroquímica 1 o aguas abajo de la celda sonoelectroquímica 1 junto con múltiples combinaciones de dispositivos para monitorear un intervalo de características de calidad del agua. En la automatización completa, las características del líquido se determinan mediante el monitor eléctrico 9 y el dispositivo de monitoreo de la calidad del agua 17 junto con datos externos tales como la velocidad de flujo y se comunican al controlador maestro 20. El controlador maestro 20 usa la información para determinar las configuraciones apropiadas de voltaje y corriente eléctrica para el suministro de energía de la electrólisis 4, y la frecuencia de ultrasonido y la energía para el suministro de energía ultrasónica 13. El régimen de tratamiento correcto puede, por ejemplo, mediante referencia a modelos matemático-químicos almacenados, velocidad de flujo diario y perfiles de carga de contaminantes, algoritmos y puede implicar el uso de control de lógica difusa, redes neuronales y software de ordenador predictivo. En modo manual o semiautomático, el voltaje, la corriente, la frecuencia de ultrasonido y la energía pueden seleccionarse manualmente mediante interruptores, HMI o similares en el controlador maestro 20. La información retransmitida al controlador maestro 20 puede almacenarse en una tarjeta de datos interna, mostrarse en la pantalla HMI o similar o retransmitirse a una ubicación remota mediante la transferencia de datos. El control remoto de la celda sonoelectroquímica 1 también puede controlarse mediante el uso de software habilitado para la web o redes de transferencia de datos similares.

25 Durante el funcionamiento, se seleccionan la velocidad de flujo bombeado, el voltaje, el amperaje y la frecuencia y energía de ultrasonido para proporcionar el grado óptimo de tratamiento y eficiencia. Esto puede hacerse de forma manual o automática como se describió anteriormente. Durante el funcionamiento normal, se prefiere bombear continuamente el líquido a través de la celda sonoelectroquímica 1 y aplicar continuamente un voltaje, corriente, frecuencia de ultrasonido y energía al electrodo 5. Si bien la celda sonoelectroquímica 1 es adecuada para su uso en el tratamiento de un flujo continuo de líquido, se apreciará que la unidad también podría usarse en modo por lotes en el que un volumen predeterminado de líquido se bombea hacia la zona de tratamiento 9, un voltaje, corriente, frecuencia de ultrasonido y energía se aplica a través de la zona de tratamiento para tratar el líquido durante un tiempo predeterminado después del cual los sistemas de electrólisis y sonicación se apagan y la bomba comienza a eliminar el líquido tratado de la unidad de tratamiento y a introducir la siguiente alícuota de líquido para el tratamiento.

35 En la modalidad descrita anteriormente, el proceso de tratamiento UV es integral con la electrólisis y la sonoquímica. Para una alta carga de sólidos, puede ser conveniente aumentar la efectividad del proceso de tratamiento, para que el material se elimine antes del tratamiento UV ya que el proceso UV depende de la penetración de la luz a través de líquidos transparentes. Eso puede lograrse mediante la separación o fraccionamiento de sólido-líquido antes del tratamiento UV. Por lo tanto, puede preferirse que la fuente UV se proporcione aguas abajo de la celda sonoelectroquímica 1.

45 En la modalidad descrita anteriormente y mostrada en los dibujos, sólo se ha descrito una celda sonoelectroquímica (con unidades de celdas paralelas 1a, 1b) que tiene una configuración de electrodo monopolar. Puede ser ventajoso, para corrientes residuales de gran volumen, incluir una cantidad de electrodos y tamaños de celdas sonoelectroquímicas y también aumentar la cantidad de celdas sonoelectroquímicas en un proceso de tratamiento. En ese caso, podrían configurarse varias celdas de manera que los electrodos para cada celda puedan configurarse como bipolares o multipolares. Las celdas de tratamiento también podrían configurarse como simples (unidades individuales), dobles (servicio, en espera y servicio y asistencia) o de múltiples etapas. En estos casos, las unidades de tratamiento individuales podrían consistir en unidades montadas sobre bastidores de soporte con colectores de entrada y salida comunes. Tal sistema podría consistir en celdas en disposición en serie o en paralelo, en dependencia de las características de las corrientes residuales y el grado de tratamiento requerido. Para las corrientes residuales mixtas también puede ser ventajoso incluir unidades de tratamiento que tienen diferentes materiales y combinaciones de electrodos. Para un alto rendimiento de sólidos también puede ser ventajoso realizar un pretratamiento antes de que el líquido se introduzca en la unidad.

55 Además, aunque la modalidad muestra celdas paralelas 1a, 1b, también sería posible usar las celdas 1a, 1b en serie con diferentes ánodos 5.

60 La unidad de tratamiento TU sonoquímico mencionada anteriormente u otra unidad de tratamiento sonoelectroquímico de la invención puede desplegarse como parte de una planta de tratamiento de agua 100 como se muestra en la Figura 3. La planta 100 comprende una zona o unidad sonoelectroquímica 101 de acuerdo con la invención, una zona o unidad de mezcla 102 y una zona o unidad de clarificación 103.

65 La zona o unidad de mezcla 102 puede comprender un tanque 120 para recibir fluidos desde la zona o unidad sonoelectroquímica 101 y para suministrar el fluido a la zona o unidad de clarificación 103.

5 El tanque 120 puede comprender el medio 121 para facilitar la mezcla del fluido que pasa a través del mismo. Tal medio de mezcla 121 puede comprender uno o más medios de mezcla mecánicos y/o deflectores dispuestos para proporcionar una trayectoria de flujo tortuosa a través del tanque 120. El tanque 120 puede diseñarse para provocar la aglomeración y/o floculación de partículas dentro del mismo de manera que las partículas arrastradas pueden aumentar de tamaño a medida que transitan a lo largo o a través del tanque 120. La presencia de deflectores aumenta la longitud efectiva de la trayectoria del flujo para el fluido y, por lo tanto, aumenta los tiempos de residencia para una velocidad de flujo de fluido dada (y/o rendimiento de volumen), lo que brinda de esta manera a las partículas dentro del fluido en tránsito la oportunidad de aglomerarse y/o flocular. Cuando se despliegan los medios de mezcla mecánicos, puede ser ventajoso tener un mayor grado de mezcla en un extremo aguas arriba de la zona o unidad de mezcla en comparación con el extremo aguas abajo. Esto puede lograrse, por ejemplo, al tener un mezclador rápido aguas arriba de un agitador de paletas. Diferentes partes de la zona o unidad de mezcla pueden delimitarse, por ejemplo, mediante uno o más deflectores, o las porciones aguas arriba y aguas abajo pueden no demarcarse formalmente.

15 Aguas abajo de la zona o unidad de mezcla 102 está la zona o unidad de clarificación 103. Dentro de la zona o unidad de clarificación 103 pueden proporcionarse medios de clarificación para hacer que las partículas dentro del fluido arrastrado se sedimenten, o de cualquier otra manera se eliminen del fluido, para garantizar de esta manera que el fluido que sale de la zona o unidad de clarificación 103 tenga una carga de partículas reducida (por ejemplo, medida en gramos de partículas por centímetro cúbico [g/cc] o número de partículas por centímetro cúbico [N/cc] en comparación con el que ingresa a la zona o unidad de clarificación 103). Los ejemplos de tales medios de clarificación 131 incluyen filtros, sedimentadores lamelares, centrifugadoras y similares.

25 De hecho, debido a la construcción única de la unidad de tratamiento sonoroquímica de la invención, es posible construir una planta de tratamiento de agua completa con un tamaño reducido y con una baja demanda de energía concomitante.

30 Con referencia a las Figuras 4A, 4B y 4C, se muestra una planta de tratamiento de agua 200 con un tamaño reducido. La planta de tratamiento de agua 200 comprende un bastidor 250 que tiene un par de paredes 251 y los puntales de conexión 252. Se proporcionan los asideros 253 en las paredes 251 (cuatro en cada pared 251 en esta modalidad) para permitir que la planta 200 se levante y se maneje con la mano. La planta de tratamiento de agua 200 incluye una cubierta frontal 254 proporcionada con una entrada de fluido 255 y una tapa 256.

En la parte trasera de la planta de tratamiento 200 hay una salida de fluido 257 para la salida del fluido tratado y una salida de residuos 258 para la salida de los residuos.

35 Durante el uso, un suministro de fluido a tratar se conecta a la entrada 255 y el fluido tratado se recoge desde la salida 257. Se usa una bomba (no mostrada) para conducir el fluido desde la fuente hacia la entrada 255.

40 Se usa una fuente de energía para energizar la bomba y una fuente de electricidad para energizar la planta de tratamiento 200.

Con referencia ahora a las Figuras 5A, 5B, 5C, se muestran los diversos componentes internos de la planta de tratamiento 200 que incluyen una zona sonoelectroquímica 201, una zona de mezcla 202 y una zona de clarificación 203.

45 La zona sonoelectroquímica 201 comprende un tanque 210 proporcionado con una entrada relativamente más baja 211 y una salida de vertedero relativamente más alta 212. La entrada 211 se comunica con la entrada de fluido 255 y la salida de vertedero 212 proporciona un punto de salida a la zona o unidad de mezcla 202.

50 En el tanque 210 se montan una pluralidad de medios de generación ultrasónicos 213. Un electrodo 214 se ubica dentro del tanque 210. El electrodo 214 se aísla eléctricamente del tanque 210 mediante los elementos de revestimiento no conductivos 216. El tanque 210 es o forma un electrodo de tierra y el electrodo 214 es un ánodo. Típicamente, el tanque se formará de acero inoxidable u otra aleación de hierro y el electrodo 214 puede formarse a partir de una variedad de materiales, como se explicó anteriormente.

55 La zona de mezcla 202 comprende un tanque de mezcla 220 que recibe el fluido desde la salida de vertedero 212 y suministra agua a la zona de clarificación 203 a través de un vertedero de salida 221. Dentro del tanque de mezcla 220 hay una pluralidad de deflectores 222 que definen un pasaje de flujo tortuoso (indicado por la flecha P) para el fluido que pasa a través de la zona de mezcla 202. Los deflectores 222 actúan para aumentar la longitud de la trayectoria del flujo de fluido P a través del tanque 220. Los deflectores 222 se muestran como equidistantes, sin embargo, preferentemente los deflectores 222 estarán relativamente separados en el extremo de entrada de la zona o unidad de mezcla 202 y relativamente más separados en el extremo de salida de la zona o unidad de mezcla 202 (una separación más estrecha es probable que aumente la cantidad de turbulencia generada en tránsito y, por lo tanto, la mezcla).

60 El fluido que sale de la zona o unidad de mezcla 202 por el vertedero de salida 221 pasa a la zona o unidad de clarificación 203. En esta modalidad, la zona o unidad de clarificación comprende una unidad de sedimentación lamelar 230. Convenientemente, la unidad de sedimentación lamelar 230 está en ángulo para acomodarse parcialmente debajo de la zona o unidad de mezcla 202, lo que asegura de esta manera un tamaño reducido de la unidad 200. El fluido que sale de

la zona o unidad de clarificación 203 lo hace por un vertedero de salida 232 y de allí a la salida 257. La unidad de sedimentación lamelar 230 está provista de una salida de residuos 233 que se conecta de forma fluida a la salida 258 para la eliminación de lodo residual, lechada o partículas separadas del fluido.

5 Durante el uso, y con los electrodos 210, 214 energizados por un suministro de energía y con los medios de generación de ultrasonidos 213 energizados por el mismo o un suministro de energía dedicado (donde el suministro es el mismo circuito que se proporcionará para garantizar el suministro eléctrico a cada uno de los electrodos 210, 214 y los medios de generación de ultrasonidos 213 son apropiados) el fluido a tratar (por ejemplo, agua sucia o residual) se bombea mediante una bomba (no mostrada) desde una fuente hacia la entrada 25 y de allí a la zona sonoelectroquímica 201 con lo cual el fluido pasará entre las paredes del tanque 210 (que es el electrodo conectado a tierra) y el electrodo anódico 214 para exponerse al campo eléctrico entre ellos. Al mismo tiempo, el fluido estará expuesto a la energía de ultrasonido generada por los medios de generación de ultrasonidos 213.

15 El fluido tratado sale de la zona o unidad sonoelectroquímica 201 a través de la salida de vertedero 212 y de allí a la zona de mezcla 202. A medida que el fluido transita por el tanque 220 a lo largo de la trayectoria de fluido P alrededor de los deflectores 222, las partículas o especies arrastradas en el mismo comenzarán a aglomerarse y/o flocular. A medida que el fluido sale de la zona o unidad de mezcla 202 y pasa a la zona o unidad de clarificación 203, las partículas arrastradas se transportarán con el mismo. En la zona o unidad de clarificación 203, mediante la acción de la unidad de sedimentación lamelar 230, las partículas arrastradas (aglomeradas y/o floculadas) se depositarán desde el fluido y el fluido limpio (o al menos relativamente más limpio) puede salir a través del vertedero 233 y la salida 257.

25 En nuestras pruebas iniciales, una unidad de tamaño reducido (1200 mm x 570 mm) ha sido capaz de generar 10 litros de agua potable limpia para hasta 200 personas al día cuando recibe energía de paneles solares plegables. Los paneles solares generaron 5 V a 12 A, que fue suficiente para proporcionar continuamente agua potable a partir de una fuente de agua sucia. Consideramos que esto indica que una planta de agua de tamaño reducido 200 fabricada de acuerdo con la invención, y que es manejable por el hombre, puede usarse para proporcionar agua potable a partir de una fuente de agua sucia para varias familias o individuos, incluso en los lugares más remotos. Adicional o alternativamente, otras fuentes de energía renovable también podrían usarse como fuentes de energía externa, por ejemplo, turbinas, celdas de combustible, bombas de calor, etc.

30 La planta de tratamiento de agua pequeña es enormemente beneficiosa, sobre todo porque puede transportarse en un palé estándar (que proporciona una plataforma de 1000x1200 mm) a un área remota. Si se le proporciona electricidad a partir de paneles solares, la planta 200 puede ser autoalimentada y operativa a los pocos minutos de estar ubicada en el sitio.

35 Como se apreciará, pueden desplegarse unidades más grandes y, si no se encuentran en ubicaciones remotas (o si hay un suministro de electricidad disponible), la energía puede suministrarse mediante cualquier medio de generación adecuado.

40 El siguiente ejemplo no limitante ilustra la invención:

EJEMPLO

45 Se bombeó una corriente de residuos líquidos que consistía en agua contaminada de la red de agua a través de una unidad de tratamiento de acuerdo con las Figuras 1 y 2 a una velocidad de flujo de 5 a 11 litros/segundo. Se mantuvo una corriente de 1 amp entre el electrodo de aluminio y el electrodo de tierra de acero inoxidable. El voltaje se midió con el proceso de ultrasonido APAGADO y luego se repitió con el proceso de ultrasonido ENCENDIDO y se repitió 5 veces para determinar si había una ganancia de eficiencia energética al incluir el ultrasonido en el proceso de electrólisis:

50 *Tabla 1. Efecto del ultrasonido en el proceso de electrólisis*

Ejecutar	Ultrasonido APAGADO	Ultrasonido ENCENDIDO	% de Eficiencia
1	159 V	114 V	28
2	158 V	111 V	30
3	160 V	114 V	29
4	155 V	112 V	28
5	157 V	114 V	28

65 En un segundo ejemplo, la composición líquida era agua de mina ácida rica en hierro (AMD) que contenía hierro soluble a una concentración de 70 mg/l. El líquido se bombeó a través de la unidad a una velocidad de 5000 litros por hora. Se usó un MMO (óxido metálico mixto) de platino como el electrodo con un cátodo de tierra de acero inoxidable. El tratamiento se realizó con el ultrasonido APAGADO y luego se repitió con el ultrasonido ENCENDIDO. Las muestras resultantes se

dejaron reposar durante 30 minutos para permitir el asentamiento del material de floculo de hierro y se midió el sobrenadante para el hierro residual. Esta prueba se repitió después de 24 horas de asentamiento:

Tabla 2. Comparación de la velocidad de eliminación de hierro por electrólisis con y sin ultrasonido

Tiempo	Muestra	Ultrasonido APAGADO		Ultrasonido ENCENDIDO	
	mg ^l -1 Fe	mg ^l -1 Fe	% de Eliminación	mg ^l -1 Fe	% eliminación
Después de 30 minutos	70	37	47 %	10	86 %
Después de 24 horas	70	8	89 %	4	94 %

En un tercer ejemplo, la eficiencia de la configuración del electrodo de electrólisis propuesta de manera que el primer electrodo anódico central se opone en ambos lados por un segundo electrodo conectado a tierra simple se comparó con el filamento de 3 electrodos en el que los 2 electrodos externos estaban conectados como cátodos conectados a tierra y el ánodo central estaba conectado como un ánodo. Para cada prueba, se seleccionó un punto de ajuste de corriente fijo de 1 amp. Luego se bombeó líquido a través de cada unidad y se anotó el voltaje. La distancia de separación entre el cátodo y el ánodo se fijó en 10 mm para cada unidad de tratamiento.

Tabla 3. Comparación entre el ánodo central opuesto en ambos lados por un cátodo de tierra simple y un electrodo de 3 filamentos que consta de dos cátodos externos y un ánodo central.

Configuración de electrodos	Núm. de superficies anódicas	Punto de ajuste de corriente	Voltaje requerido	% de eficiencia
Ánodo central + cátodo simple conectado a tierra	2	1 amp	109 volts	70 %
Electrodo de 3 filamentos con 2 cátodos externos y ánodo central	2	1 amp	175 volts	n/a

La combinación de sonoquímica con electrólisis ofrece ventajas sobre el tratamiento convencional de aguas y aguas residuales, el procesamiento de efluentes industriales, y la sonoquímica o electrólisis cuando se usan por su propia cuenta para la descontaminación de fluidos. Un inconveniente con los procesos existentes es que, cuando se combinan los dos sistemas de tratamiento, se produce interferencia eléctrica entre los electrodos de la unidad electrolítica y los transductores de la unidad de sonicación. La presente invención supera esta interferencia eléctrica al colocar los transductores piezoeléctricos (ultrasónicos) en la superficie exterior de un electrodo conectado a tierra (cátodo). El electrodo anódico se coloca en el lado opuesto del electrodo conectado a tierra y define una zona de tratamiento a través de la cual puede pasar el líquido y al mismo tiempo ser tratado por electrólisis y sonicación. Los ensayos que usaron la presente invención demostraron una mejor efectividad, eficiencia y costo reducido del tratamiento en comparación con la electrólisis pura.

REIVINDICACIONES

1. Una unidad de tratamiento de fluidos (TU) que comprende un primer electrodo anódico de placa (5) con un par de superficies principales coincidentes, un segundo electrodo conectado a tierra (7) que define un tanque (T) dentro del cual el fluido puede fluir desde una entrada (2) hacia una salida (3) y un generador de ultrasonido (12) montado externamente en el segundo electrodo conectado a tierra (7), el segundo electrodo conectado a tierra (7) y el primer electrodo anódico de placa (5) definen entre ellos una zona de tratamiento (9), la entrada (2) es para la introducción del fluido en la zona de tratamiento y la salida (3) es para la salida del fluido tratado desde la zona de tratamiento, la zona de tratamiento (9) proporciona una trayectoria de flujo a lo largo de la cual el fluido que entra a través de la entrada (2) puede fluir hacia la salida (3), la trayectoria del flujo se extiende sustancialmente a lo largo de la superficie del segundo electrodo conectado a tierra (7) y cada una del par de superficies principales coincidentes del primer electrodo anódico de placa (5).
2. Una unidad (TU) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el primer electrodo anódico de placa (5) se ubica simétricamente dentro del tanque (T).
3. Una unidad (TU) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde la separación entre el primer electrodo anódico de placa (5) y el segundo electrodo conectado a tierra opuesto (7) es de 100 mm o menos.
4. Una unidad (TU) de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde el generador de ultrasonidos (12) comprende una pluralidad de elementos piezoeléctricos dispuestos en una matriz directamente unida a la superficie exterior del segundo electrodo conectado a tierra (7).
5. Una unidad (TU) de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde el segundo electrodo conectado a tierra (7) se aísla eléctricamente para evitar las interferencias eléctricas entre el primer electrodo anódico de placa (5) y el generador de ultrasonidos (12).
6. Una unidad (TU) de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde la entrada (2) se conecta de forma fluida a un canal de entrada (8) que se proporciona con perforaciones o aberturas de entrada y en donde el canal de entrada se extiende preferentemente a través de la zona de tratamiento (9), preferentemente en una dirección transversal a la dirección principal del flujo dentro de la zona de tratamiento (9).
7. Una unidad (TU) de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde la salida (3) comprende una salida de desbordamiento (15).
8. Una unidad (TU) de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende además una fuente de luz UV (14) dispuesta para irradiar el líquido que pasa a través de la unidad y en donde la fuente UV (14) está preferentemente en o cerca de la salida (3).
9. Un sistema de tratamiento de fluidos (TS) que comprende una unidad (TU) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 que comprende un monitor o medios de monitoreo (17) para monitorear una o más características del fluido dentro del sistema de tratamiento, por ejemplo, el monitor o los medios de monitoreo (17, 18, 19) son para monitorear una o más características del fluido aguas arriba de la unidad de tratamiento (TU) y/o para monitorear una o más características del fluido aguas abajo de la unidad de tratamiento (TU).
10. Un sistema de tratamiento de fluidos (TS) de acuerdo con la reivindicación 9, en donde el monitor o los medios de monitoreo (17, 18, 19) pueden operarse para realizar una medición de las características eléctricas del fluido a través del primer electrodo anódico de placa (5) y el segundo electrodo conectado a tierra (7) y/o el monitor o los medios de monitoreo (17, 18, 19) pueden operarse para realizar o determinar una medición de las características de la calidad del agua del líquido.
11. Un sistema de tratamiento de fluidos (TS) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 o 10, que comprende además un medio de control o controlador (20) para recibir información desde el monitor o los medios de monitoreo (17, 18, 19) e información externa para la velocidad de flujo.
12. Un sistema de tratamiento de fluidos (TS) de acuerdo con la reivindicación 11, en donde el controlador o el medio de control (20) puede operarse para controlar la corriente y el voltaje aplicados a los electrodos en dependencia de una o más características monitoreadas por el monitor o los medios de monitoreo (17, 18, 19) y/o en donde el controlador o el medio de control (20) puede operarse para controlar la frecuencia de ultrasonido y la energía aplicadas al generador de ultrasonidos (12) en dependencia de una o más características monitoreadas por el monitor o los medio de monitoreo (17, 18, 19) y/o en donde el controlador o el medio de control (20) puede operarse para controlar la corriente y el voltaje aplicados a los electrodos y la frecuencia y la energía del generador de ultrasonidos (12) independientemente de los medios de monitoreo (17, 18, 19).
13. Un sistema de tratamiento de fluidos (TS) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, que comprende además una zona o unidad de mezcla (102), dispuesta para aceptar el fluido que sale de la unidad de tratamiento

(TU) y/o que comprende además una zona o unidad de clarificación (103) dispuesta para aceptar el fluido que ha salido de la unidad de tratamiento (TU) o que comprende además una zona o unidad de mezcla (102) dispuesta para aceptar el fluido que sale de la unidad de tratamiento y una zona o unidad de clarificación (103) dispuesta para aceptar el fluido desde la zona o unidad de mezcla (102).

- 5
14. Un sistema de tratamiento de fluidos (TS) de acuerdo con la reivindicación 13, que tiene un tamaño de menos de 1000x1200 mm.
- 10
15. Un método para tratar fluidos, que comprende hacer que el líquido fluya a lo largo de una superficie de cada uno de un primer electrodo anódico de placa (5) con un par de superficies principales coincidentes y un segundo electrodo opuesto conectado a tierra (7), el segundo electrodo conectado a tierra define un tanque (T) en el que el fluido puede fluir desde una entrada (2) hacia una salida (3), y el segundo electrodo conectado a tierra y el primer ánodo de placa definen entre ellos una zona de tratamiento (9) que proporciona una trayectoria de flujo que se extiende sustancialmente a lo largo de la superficie del segundo electrodo conectado a tierra y cada una del par de superficies principales coincidentes del primer electrodo anódico de placa, y en donde un generador de ultrasonidos (12) se monta externamente al segundo electrodo conectado a tierra y simultáneamente aplica un voltaje a través del primer electrodo anódico de placa y el segundo electrodo conectado a tierra para producir una corriente electrolítica, por medio de un suministro de energía, a través del líquido que fluye y una onda ultrasónica entre el primer electrodo anódico de placa y el segundo electrodo opuesto conectado a tierra a través del líquido que fluye por el generador de ultrasonidos.
- 15
- 20

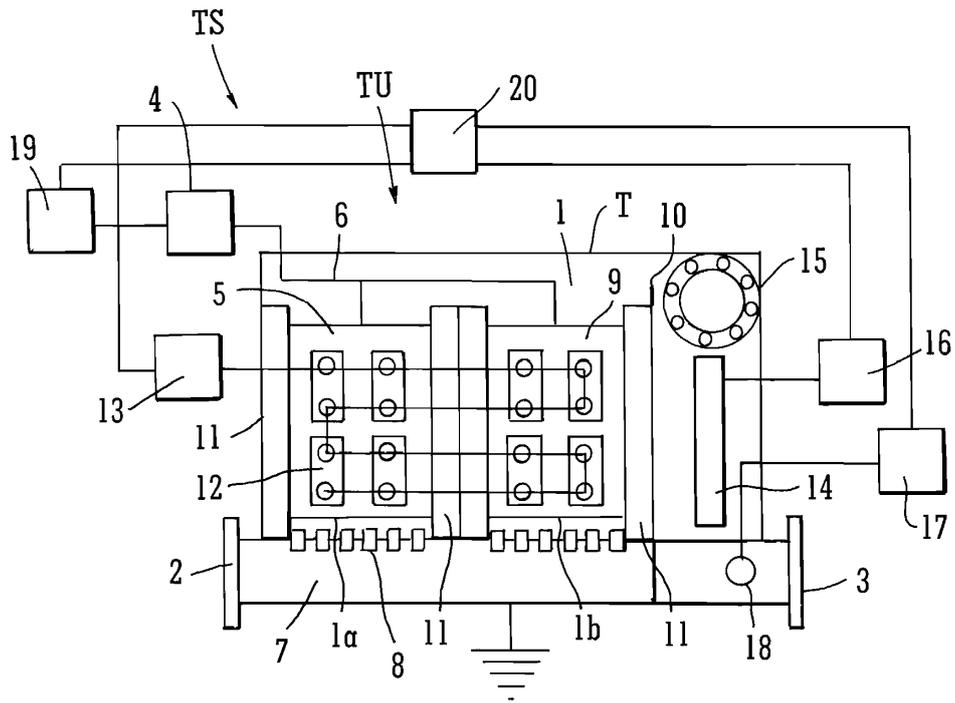


FIG. 1

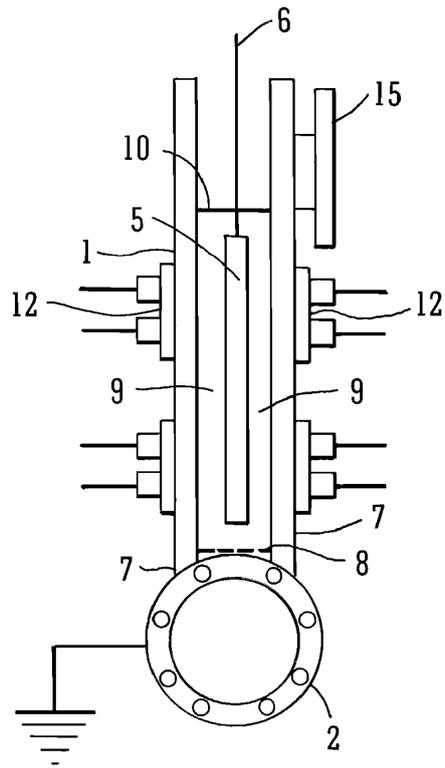
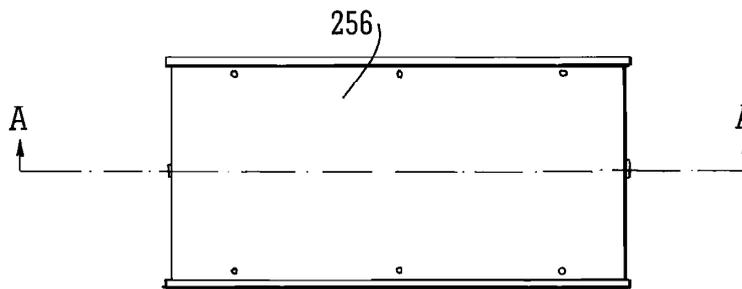
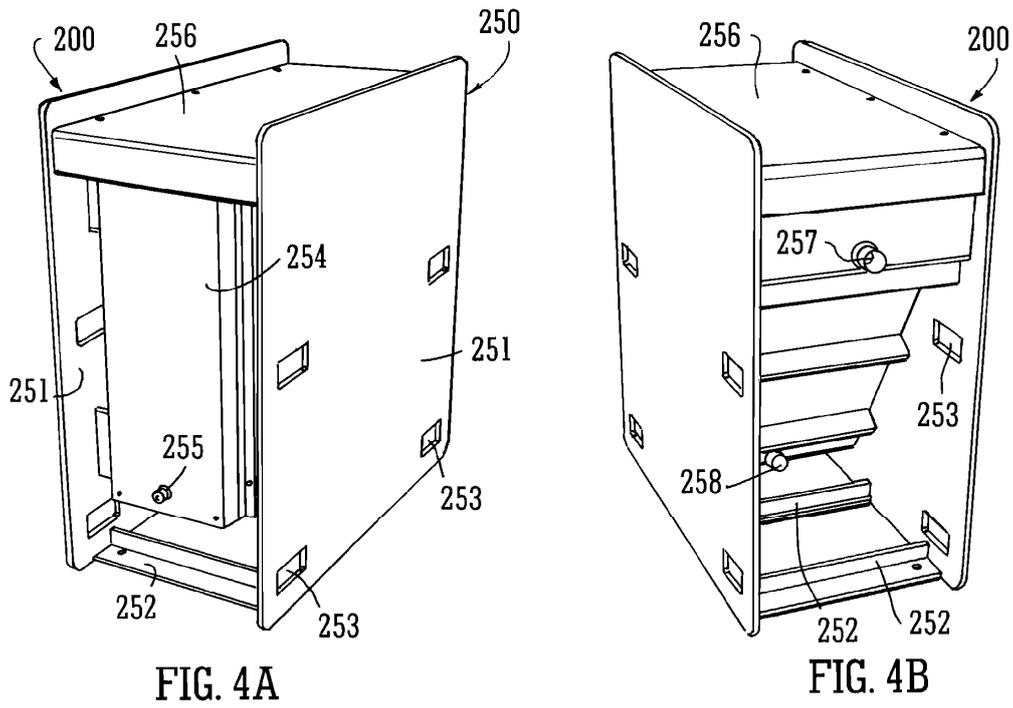
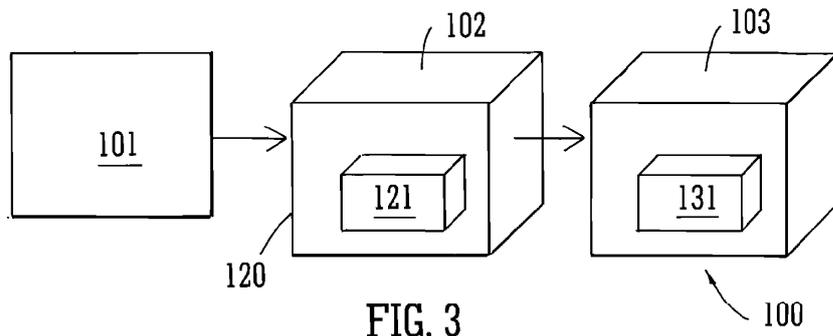


FIG. 2



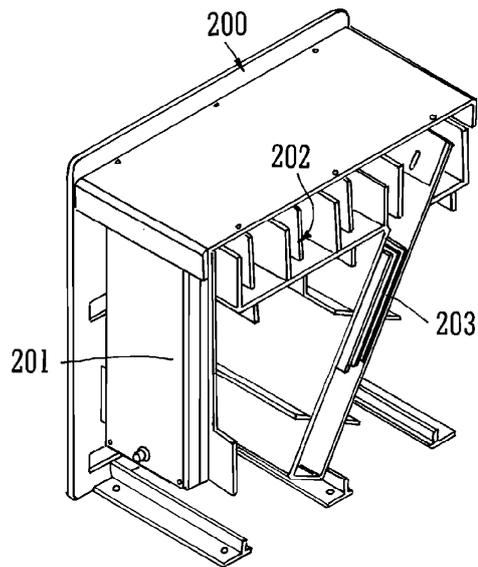


FIG. 5A

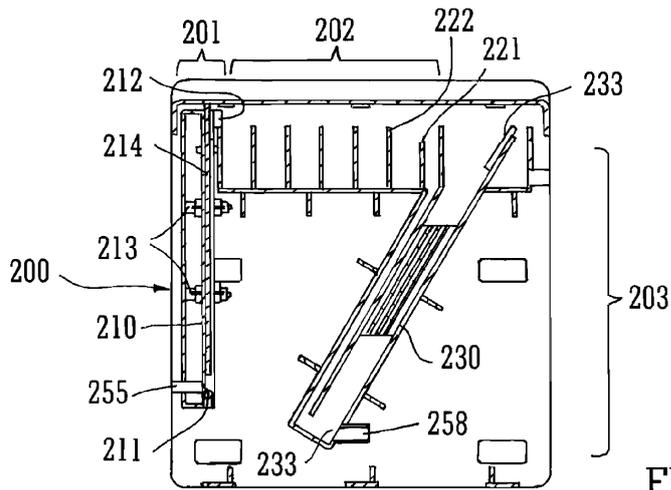


FIG. 5B

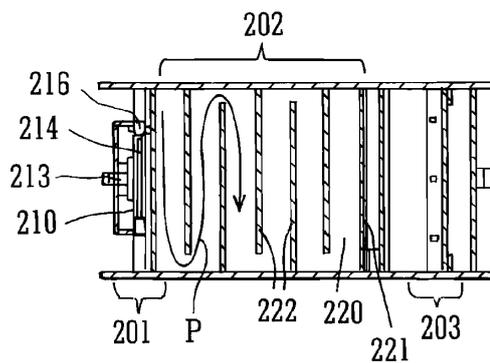


FIG. 5C